



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

TEMA:

**Diseño y construcción de un traductor de lenguaje de señas, para  
facilitar la comunicación entre personas mediante una computadora y  
una mano robótica**

AUTOR:

España Cajiao, Marlon Patricio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

TUTOR:

Ing. Daniel Bayardo Bohórquez Heras

Guayaquil, Ecuador

27 de Febrero del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **España Cajiao, Marlon Patricio** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

---

Ing. Daniel Bayardo Bohórquez Heras

DIRECTOR DE CARRERA

---

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 27 días del mes de febrero del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **España Cajiao, Marlon Patricio**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación “**Diseño y construcción de un traductor de lenguaje de señas, para facilitar la comunicación entre personas mediante una computadora y una mano robótica**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 27 días del mes de febrero del año 2020

EL AUTOR

---

España Cajiao, Marlon Patricio



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **España Cajiao, Marlon Patricio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Diseño y construcción de un traductor de lenguaje de señas, para facilitar la comunicación entre personas mediante una computadora y una mano robótica”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 27 días del mes de febrero del año 2020

EL AUTOR

---

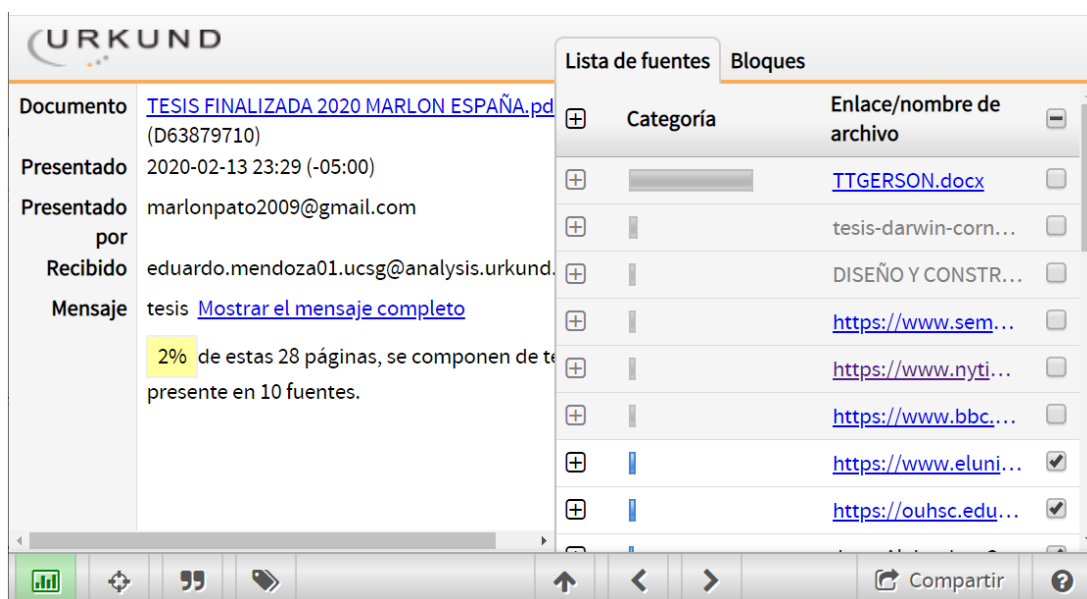
España Cajiao, Marlon Patricio

## REPORTE DE URKUND

### REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA URKUND CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

**TÍTULO:** “Diseño y construcción de un traductor de lenguaje de señas, para facilitar la comunicación entre personas mediante una computadora y una mano robótica”.

**AUTOR:** ESPAÑA CAJIAO MARLON PATRICIO



The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a document summary is shown:

- Documento:** TESIS FINALIZADA 2020 MARLON ESPAÑA.pdf (D63879710)
- Presentado:** 2020-02-13 23:29 (-05:00)
- Presentado por:** marlonpato2009@gmail.com
- Recibido:** eduardo.mendoza01.ucsg@analysis.urkund.
- Mensaje:** tesis [Mostrar el mensaje completo](#)

A yellow highlight indicates that 2% of the 28 pages are composed of text present in 10 sources. On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table is visible:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	<a href="#">TTGERSON.docx</a>
	tesis-darwin-corn...
	DISEÑO Y CONSTR...
	<a href="https://www.sem...">https://www.sem...</a>
	<a href="https://www.nyti...">https://www.nyti...</a>
	<a href="https://www.bbc...">https://www.bbc...</a>
	<a href="https://www.eluni...">https://www.eluni...</a>
	<a href="https://ouhsc.edu...">https://ouhsc.edu...</a>

Después de analizar el resultado enviado por el programa Urkund, se determinó que el trabajo de titulación del estudiante: **ESPAÑA CAJIAO MARLON PATRICIO**, observa un porcentaje inferior al 4% de coincidencias con otros documentos encontrados en el internet.

.....  
**Ing. Eduardo Mendoza Merchán, Mgs**  
**DOCENTE TC UCSG**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de titulación representa el esfuerzo y apoyo de mi madre Ana María Cajiao Ruiz, con sus sabios consejos inculco en mí el valor de la perseverancia para no rendirme y luchar por alcanzar mis metas. A mi querida madre le dedico la culminación de este proyecto, con la ayuda de Dios y mi familia espero poder dedicarle muchos triunfos más para demostrarle que es la mejor madre del mundo y que merece esta dedicatoria y mucho más.

## **EL AUTOR**

---

España Cajiao, Marlon Patricio

## **AGRADECIMIENTO**

Mi total agradecimiento a Dios por colmarme de bendiciones, permitiéndome tener una familia que siempre me demuestra amor y apoyo para seguir adelante tanto en mi vida personal como profesional. Gracias a mi madre Ana María Cajiao Ruiz y a mi padre Marlon Patricio España Gonzales que son un pilar fundamental en mi vida ya que con la educación que recibí en mi hogar pude seguir avanzando en mi vida estudiantil para llegar a cumplir esta meta.

También agradezco a todos los docentes que han formado parte de mi vida estudiantil y permitieron que adquiriera nuevos conocimientos, a mis amigos y compañeros que se convirtieron en mi segunda familia y con la que compartimos buenos y malos momentos que hoy permiten que logre la culminación de este proyecto de titulación.

**EL AUTOR**

---

España Cajiao, Marlon Patricio



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y  
AUTOMATISMO

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**  
COORDINADOR DEL ÁREA

f. \_\_\_\_\_

**Eduardo Vicente Mendoza Merchán**  
OPONENTE



## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT .....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>2</b>
1.1. Definición del Problema.....	2
1.2. Justificación del Problema.....	3
1.3. Delimitación.....	3
1.4. Objetivos del Problema de Investigación.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Metodología de Investigación.....	4
<b>CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. Estado del Arte.....	5
2.2. Lenguaje de Señas.....	6
2.2.1. Incapacidad para hablar.....	7
2.3. Estructura de la mano.....	7
2.3.1. Articulaciones y huesos.....	7
2.3.2. Arcos de movilidad de la mano.....	12
2.3.3. Arcos de movilidad de las articulaciones.....	14
2.3.4. Grados de libertad.....	16
2.3.5. Movimientos básicos.....	17
2.4. Uso de la mano como medio de comunicación.....	18
2.5. Mano Robótica.....	19
2.5.1. Giradora.....	19
2.5.2. Pinza.....	20
2.5.3. Selector.....	21
2.5.4. Manos robóticas utilizadas en la traducción a lenguaje de señas.....	22

2.6.	Microcontroladores .....	24
2.6.1.	Arduino.....	24
2.6.2.	Shield EKG/EMG .....	26
2.7.	Actuadores .....	27
2.7.1.	Servomotores .....	28
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA MANO ROBÓTICA .....</b>		<b>29</b>
3.1.	Consideraciones iniciales del sistema .....	30
3.1.1.	Descripción del Sistema .....	30
3.1.2.	Características del Sistema .....	30
3.1.3.	Función del Sistema .....	31
3.2.	Análisis del sistema de Hardware .....	32
3.2.1.	Arquitectura del sistema .....	32
3.2.2.	Fuentes de Alimentación .....	32
3.2.3.	Adaptación de la señal .....	34
3.2.4.	Configuración del microcontrolador .....	34
3.3.	Análisis del sistema de Firmware .....	35
3.3.1.	Arquitectura de Firmware .....	35
3.3.2.	Diseño de controladores y actuadores .....	36
3.3.3.	Comunicación de la mano robótica con el computador .....	37
3.3.4.	Interfaz de usuario.....	38
3.4.	Materiales.....	39
3.4.1.	Diseño estructural .....	40
3.4.2.	Implementación .....	42
3.4.3.	Conexiones del Sistema.....	42
3.5.	Pruebas de Implementación .....	44
3.5.1.	Consumo de Energía .....	44
3.5.2.	Tiempos de reacción .....	45
3.5.3.	Pruebas de posicionamiento .....	47
3.5.4.	Pruebas de abecedario.....	50
3.5.5.	Pruebas de formación de palabras.....	51

<b>CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>52</b>
4.1 Resultados del Estado del arte .....	52
4.2 Resultado del Hardware.....	52
4.3 Resultado del Software y Firmware .....	52
4.4 Resultado de las pruebas del prototipo .....	53
4.5 Resultado Generales del Sistema.....	53
4.6 Discusión de resultados .....	53
4.6.1. Análisis de las características y funciones del sistema .....	54
4.6.2. Cumplimiento de los Objetivos .....	54
4.6.3. Análisis de la metodología.....	55
4.6.4. Analisis de la solución del problema de la investigación.....	55
4.6.5. Discusión Final .....	55
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>56</b>
5.1 Conclusiones .....	56
5.2 Recomendaciones .....	56
5.3 Trabajo Futuro.....	57
Referencias Bibliográficas.....	58
<b>ANEXOS</b> .....	<b>63</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2

Figura 2. 1 Huesos de la mano.....	8
Figura 2. 2 Huesos de la muñeca en vista dorsal .....	9
Figura 2. 3 Huesos de la muñeca en vista palmar .....	9
Figura 2. 4 Huesos Metacarpianos .....	9
Figura 2. 5 Falanges .....	10
Figura 2. 6 Articulaciones de la muñeca .....	10
Figura 2. 7 Articulaciones del carpo .....	11
Figura 2. 8 Articulaciones Carpo metacarpianas .....	11
Figura 2. 9 Articulaciones Metacarpo falángicas.....	12
Figura 2. 10 Articulaciones Interfalángicas .....	12
Figura 2. 11 Arcos de movilidad de la mano .....	13
Figura 2. 12 Movimiento de extensión y flexión de la mano .....	14
Figura 2. 13 Amplitud de las articulaciones Metacarpo falángicas .....	15
Figura 2. 14 Flexión y extensión de falanges distal y media .....	15
Figura 2. 15 Abducción y aducción de los dedos.....	16
Figura 2. 16 Abducción y aducción del pulgar .....	16
Figura 2. 17 Estrategias de agarre de la mano .....	17
Figura 2. 18 Letra P y W del Alfabeto Dactilológico .....	18
Figura 2. 19 Letra A y B del Alfabeto Dactilológico.....	18
Figura 2. 20 Mano Giratoria.....	19
Figura 2. 21 Mano Robótica "Pinza", recolectando el objeto.....	20
Figura 2. 22 Mano Robótica "Pinza", depositando el objeto.....	20
Figura 2. 23 Mano selectora.....	21
Figura 2. 24 Mano selectora, recolección por pinza .....	21
Figura 2. 25 Mano selectora, recolección por ventosa.....	22
Figura 2. 26 Proyect ASLAN.....	23
Figura 2. 27 Proyect ASLAN, arquitectura interna.....	23
Figura 2. 28 Prototipo SignBot .....	24
Figura 2. 29 Microcontroladores ATMEL .....	25
Figura 2. 30 Shield EKG/EMG.....	27
Figura 2. 31 Servomotor .....	28

### Capítulo 3

Figura 3. 1 Proceso a seguir el usuario .....	31
Figura 3. 2 Fuentes de alimentación .....	33
Figura 3. 3 Pines microcontrolador ATmega 328p.....	35
Figura 3. 4 Proceso para el movimiento de la mano robótica.....	36
Figura 3. 5: Declaración de la librería Servo.h .....	37
Figura 3. 6 Placa Arduino y Shield EKG/EMG.....	38
Figura 3. 7 Interfaz de usuario monitor serie .....	39
Figura 3. 8 Diseño final de mano y elementos, Software Cura. ....	41
Figura 3. 9 Diseño final de mano y elementos, Software Cura. ....	41
Figura 3. 10 Placa Arduino y Shield EKG/EMG.....	42
Figura 3. 11 Placas Arduino y EKG/EMG.....	42

Figura 3. 12 Servomotor accionador del dedo pulgar .....	43
Figura 3. 13 Servomotor accionador del brazo .....	43
Figura 3. 14 Servomotor accionador del codo .....	44
Figura 3. 15 Prueba de flexión (índice).....	47
Figura 3. 16 Prueba de Extensión (índice).....	48
Figura 3. 17 Prueba de flexión (medio) .....	48
Figura 3. 18 Pruebas de extensión (medio).....	49
Figura 3. 19 Pruebas de extensión (pulgares).....	49
Figura 3. 20 Pruebas de Flexión (pulgares).....	49
Figura 3. 21 Calibración abecedario: letra "A" .....	50
Figura 3. 22 Calibración abecedario: letra "B" .....	50
Figura 3. 23 Ingreso de palabra a monitor serial del Arduino .....	51
Figura 3. 24 Traducción de la palabra "HOLA" .....	51

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

### Capítulo 3

Diagrama3.1 Etapas del proyecto .....	29
Diagrama3.2 Consumo Energético .....	33
Diagrama3.3 Consumo Energético .....	45
Diagrama3.4 Tiempo de Respuesta .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 2

Tabla 2. 1: Estudio antropométrico de la mano por Garrett.....	17
--	----

### Capítulo 3

Tabla 3.1 Presupuestos.....	41
Tabla 3.2 Consumo de energía.....	45
Tabla 3.3 Tiempo de respuesta.....	46

## **RESUMEN**

La inclusión de personas sordo mudas es una necesidad que se encuentra presente en las distintas instituciones pública y privadas del Ecuador, por tal motivo este proyecto de titulación presenta una alternativa para solucionar esta problemática de manera eficiente y eficaz. La solución presentada es un equipo portátil que permita la traducción de texto a lenguaje de señas por medio de un brazo robótico que permitirá la interacción del personal de atención al cliente con las personas sordo mudas, alcanzando un nivel de comprensión del 99% entre el emisor y el receptor. El equipo funciona por medio de una mano robótica que es la que se encarga de transmitir el mensaje, previamente escrito en la computadora, por medio de señas en tiempo real. Se concluye que el prototipo implementado de una mano robótica que permita traducir palabras en señas, es una solución viable, económica y buena para empezar a tener prácticas de inclusión con personas sordo – mudas en centros regulares de atención al cliente tanto públicos como privados.

**Palabras claves: MICROCONTROLADOR, TRADUCTOR ROBÓTICO, MANO ROBÓTICA, LENGUAJE DE SEÑAS, COMUNICACIÓN CON SORDO MUDOS.**



## **ABSTRACT**

The inclusion of deaf mute people is a necessity that is present in the different public and private institutions of Ecuador, for this reason this degree project presents an alternative to solve this problem efficiently and effectively. The solution presented is a portable device that allows the translation of text into sign language by means of a robotic arm that will allow the interaction of customer service personnel with deaf people, reaching a 99% level of understanding between the issuer and the receiver. The equipment works by means of a robotic hand that is responsible for transmitting the message, previously written on the computer, by means of real-time signs. It is concluded that the prototype implemented of a robotic hand that allows to translate words into signs, is a viable, economical and good solution to start having inclusion practices with deaf people - in regular public and private customer service centers.

**Keywords: MICROCONTROLLER, ROBOTIC TRANSLATOR, ROBOTIC HAND, SIGN LANGUAGE, COMMUNICATION WITH MUDOS DEAF.**

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de titulación se documenta un sistema de traducción de palabras a lenguaje de señas como solución al problema de comunicación en lugares de tránsito regular, donde es sumamente necesaria una buena comunicación con personas que posean cualquier tipo de discapacidades, ya sean bancos, escuelas, u otros centros de atención al cliente. El método común y más usado en el caso de traducción a lenguaje de señas, es usar a personas que realicen la traducción, pero la complejidad de este método es que son muy limitados los casos en que se usa a dichas personas y así mismo es muy escaso el número de personas que se dedican a este trabajo. Este estudio tiene como propósito diseñar un sistema que permita la comunicación con personas sordo – mudas en lugares donde se considera necesario, basado en un sistema portátil y fácil de usar.

El desarrollo de este trabajo se realiza con el interés de brindar inclusión en centros o instituciones de atención al cliente a personas con problemas de audición, no han sido documentados sistemas similares dentro del país y esta es una opción muy viable para dar solución a esta problemática. En la redacción del trabajo de titulación se presenta el capítulo 1 que se basa en los aspectos generales de la investigación, como por ejemplo planteamiento del problema, metodología de la investigación, los objetivos propuestos para lograr el desarrollo del proyecto, entre otros.

A continuación, se aborda el capítulo 2 en el que se presenta el estado del arte, el cual fue analizado para la obtención de ideas que puedan desarrollarse de manera factible, además se plasma el desarrollo de la investigación en todo el sentido de la palabra, sistemas similares y una breve exposición de materiales que tienen un lugar fundamental en la implementación del sistema. En el capítulo 3, se muestran los diseños que aportaron a la implementación del sistema, también enumeran los materiales y se expone la función que tiene cada uno de ellos en el sistema. Por último, se realizan las pruebas de funcionamiento.

En el capítulo 4, se definen los resultados obtenidos en base a lo recopilado en el capítulo 3. Al final, en el capítulo 5, del trabajo de titulación se exponen las conclusiones obtenidas a lo largo del trabajo de investigación y se aportan recomendaciones que ayuden al funcionamiento o mejora del prototipo.

## CAPÍTULO 1

### 1.1. Definición del Problema.

En el Ecuador y el mundo, según Sánchez (2018) existe un porcentaje considerable de personas con discapacidad auditiva, a las cuales acceder a una forma de educación escolar o profesional es complicado; puesto que para esto se requieren como mínimo tres opciones: una de ellas es que la persona con discapacidad auditiva tenga la facultad de poder leer los labios y receptar el mensaje de la persona que hable. Por otro lado, que la persona que emita el mensaje posea un nivel de lenguaje de señas apto para impartir cátedra y así la persona que carezca del sentido auditivo pueda entender del todo el conocimiento que se intenta transmitir. Como última opción está la posibilidad de que una de las partes, ya sea la persona con esta discapacidad o la que no, tenga a disposición una persona que se encargue de hacer la traducción (de palabras a señas) todo el tiempo de la cátedra o conversación que este por darse.

Para ver la utilidad de un sistema traductor de palabras en lenguaje de señas, a nivel de la comunicación intrapersonal, es necesario saber que un sistema de esta categoría ayuda en sobre manera a la forma de relación entre personas con capacidades auditivas diferentes.

Hace un tiempo en el país se desarrollaron programas de inclusión y educación para personas con discapacidad, incluidas personas que poseen este tipo de problemas auditivos, pero aun así existen vacíos y dificultades en la comunicación, puesto que no todas las personas dominan el lenguaje de señas como tal, además con el pasar del tiempo estos programas fueron quitados por diferentes razones. (Badillo Chicango & Lanas Gonzales, 2015) Aun así, existen personas con esta discapacidad que tienen deseos de salir adelante y seguir con sus estudios llegando así a ser profesionales.

Ahora con los conocimientos, investigaciones y desarrollo tecnológico se pueden ofrecer diferentes opciones; entre ellas la creación de un traductor con un brazo robótico integrado, el cual ayudara a la realización de las señas para transmitir el mensaje. (Arellano, 2017) Existen investigaciones y creaciones de sistemas similares pero trabajados con materiales de muy alto costo.

## **1.2. Justificación del Problema.**

A nivel mundial existe variado número de investigaciones referentes a la búsqueda de soluciones con relación a la cuestión de la comunicación, relacionada con las personas que tienen problemas de audición. Pero en nuestro país las investigaciones que buscan darle solución a este inconveniente, son muy escasas; en lugares públicos tales como centros de estudio, centros de atención al cliente, hospitales, registro civil, entre otros, es indispensable contar con un sistema que facilite la comunicación con personas que cuenten con esta discapacidad.

Esta investigación se manifiesta como la necesidad de posibilitar un mejor nexo de relación entre personas; es por esto que se pretende realizar el diseño de un prototipo de brazo robótico, capaz de traducir palabras en señas, dando así una solución tecnológica viable y a bajo costo.

Por otra parte, la presente investigación busca proporcionar información que sea de vital interés para el desarrollo tecnológico y además como iniciativa a ideas de nuevos proyectos que busquen brindar ayuda a personas con discapacidad.

## **1.3. Delimitación**

La utilización de la electrónica como tal dentro de esta investigación, es fundamental para llegar a un resultado totalmente satisfactorio en el diseño de la mano robótica y el logro de la traducción de palabras a lengua de señas, en el desarrollo de este tema de titulación; por otro lado, de esta manera lograr que de una forma más sencilla las personas sordas puedan entender cualquier mensaje y participar en conversaciones; siendo este, un proyecto destinado al desarrollo tecnológico y social. Este trabajo se efectuará considerando lugares donde el uso del sistema sea necesario, por ejemplo, lugares de atención al cliente.

## **1.4. Objetivos del Problema de Investigación.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Desarrollar un prototipo de mano robótica controlada a través de un microcontrolador que permita traducir el lenguaje de señas para personas con problemas de audición.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Caracterizar el prototipo de mano robótica para definir variables, dispositivos de control y materiales.
- Diseñar un prototipo de mano robótica que se ajuste a los requerimientos para representar el lenguaje de señas utilizado por personas con problemas de audición.
- Implementar el prototipo de mano robótica para evaluar su funcionamiento y comportamiento a través de pruebas experimentales.

#### **1.5. Metodología de Investigación.**

El sistema de traducción de palabras a señas con enfoque al desarrollo e inclusión social, precisa una investigación correlacional, basado en el grado de relación que existe entre el sistema de traducción y las personas destinadas al uso del mismo.

El método de investigación será experimental ya que será fundamentado en pruebas a realizarse, ya sean de funcionamiento o validación del sistema. También tomamos en cuenta el método analítico , partiendo de estudios previos como (Cruz, 2016), (Cámara, 2015) para resolver de mejor manera los problemas que se presenten al implementar la mano robótica.

## CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Estado del Arte

En los últimos años, se han implementado robots humanoides en relación al lenguaje de signos. Nino es el primer robot humanoide de tamaño completo, que puede demostrar el lenguaje de señas. Nao-25 es un robot humanoide del tamaño de un niño que puede actuar como un juego interactivo de lenguaje de señas para niños con discapacidad auditiva. (Arce, 2015)

En una mano robótica humanoide demuestra que el movimiento del lenguaje de señas necesita cinco pasos para la realización de la mano del robot, que es capaz de transmitir sentimientos y sensibilidades mediante el movimiento de los dedos. (Pérez Pizco & Andagoya Jácome, 2019)

Se desarrolló una mano robótica con la capacidad de deletrear palabras usando el alfabeto manual. Además, recientemente se han realizado algunos trabajos reales, incluido el sistema de voz como entrada para el robot. En otras palabras, los robots realizan el lenguaje de señas en respuesta al discurso pronunciado por personas de habla ordinaria. (Ali et al., 2019)

Existe una nueva plataforma robótica, llamada RASA (Robot Assistant for Social Aims). Este robot social educativo está diseñado y construido para facilitar la enseñanza del lenguaje de señas persa (PSL) a niños con discapacidades auditivas. Hay tres características predominantes a partir de las cuales se generan las pautas de diseño del robot. Primero, el robot está diseñado como un robot social interactivo completamente funcional con niños como receptores de servicios sociales. En segundo lugar, viene con la capacidad de realizar PSL, que exige una parte superior del cuerpo diestro de 29 grados de libertad accionados. En tercer lugar, tiene un costo de desarrollo relativamente bajo para un robot en su categoría. Este proyecto financiado aborda los desafíos resultantes de los requisitos a veces divergentes de estas características. En consecuencia, se discute el diseño de hardware del robot y se ha llevado a cabo una evaluación del rendimiento de su lenguaje de señas. También se han informado las tasas de reconocimiento inspeccionadas de ciertos signos de PSL, realizadas por RASA. (Meghdari et al., 2018)

Según (Garrido Jaramillo & Villa Tuquinga, 2016) , el uso adecuado de la tecnología nos permite prevenir riesgos laborales ayudando a salvaguardar la vida de trabajadores mediante la implementación de brazos robóticos para desarrollar actividades de alto riesgo. Además una mano robótica permite realizar movimientos precisos y controlados en escenarios reales colaborando para tener un menor margen de error como lo plantean (Pérez Pizco & Andagoya Jácome, 2019).

## **2.2. Lenguaje de Señas**

El lenguaje de señas se basa en un medio de comunicación realizado a través de movimientos corporales, generalmente de manos y brazos; este método es empleado cuando existen limitaciones del habla o cuando la comunicación es del todo imposible. La práctica de este tipo de lenguaje es de manera probable, más antigua que el habla.

El lenguaje de señas puede ser empleado de una manera básica o vulgar, fundamentada en el movimiento arbitrario de manos o empleo de muecas; así como también se puede emplear de una forma delicada y matizada de señas manuales, que son reforzadas y codificadas por expresiones faciales y uso correcto de ciertas palabras enunciadas por un alfabeto manual. (Das et al., 2012)

El lenguaje de señas no es reconocido como una lengua universal por lo que cada país tiene su propio vocabulario adaptado a la comunidad en la que se emplea. Además de debe tener en consideración la diferencia entre la lengua y el lenguaje de señas ya que el primer término hace referencia a la representación suelta de las letras del abecedario por medio de señas mientras que el lenguaje está basado en la construcción de palabras para lograr una comunicación. (Moyano, 2016)

El lenguaje de señas nos permite incluir a las personas con capacidades especiales relacionadas con la audición para que tengan la facilidad de acceder a servicios e información que requieran sin reprimirse o sentirse desplazados al no poder lograr una comunicación eficiente entre el emisor y el receptor, en el presente proyecto se plantea la implementación de una mano robótica como una herramienta útil que evita la frustración de no lograr comunicarse una persona sorda con otra que desconozca el lenguaje de señas. (Juarez, 2017)

### 2.2.1. Incapacidad para hablar

El lenguaje de señas se codificó mediante el uso de un vocabulario de gestos que resulta explícito, el cual representa objetos, ideas y acciones; existen palabras que no pueden ser representadas a través de gestos, sin embargo, hay tipos de este lenguaje que no hacen el intento de si quiera deletrear o representar dichas palabras de una manera diferente. En otros casos el lenguaje de señas, al igual que el lenguaje hablado, desarrolla diferentes tipos en los cuales se encuentran desplegadas diferentes formas que dan permisividad al empleador del idioma deletrear palabras o sonidos. La gran mayoría de estos tipos pueden ser tan flexibles o tan complejos al igual que los idiomas hablados. (Das et al., 2012) El lenguaje de señas puede ser una herramienta de mucha ayuda en personas con diferentes trastornos o condiciones, por ejemplo:

- **Afasia:** Es una condición en la cual una lesión o derrame cerebral causa que una persona pierda la capacidad del habla. El uso del lenguaje de señas resulta efectivo para la comunicación de personas con este trastorno. (Berke, 2019)
- **Parálisis Cerebral:** La parálisis cerebral implica la pérdida de control en partes del cuerpo, en algunos casos de personas con esta condición se pierden ciertas capacidades entre ellas las del habla, y el lenguaje de señas es una opción alternativa de comunicación. (Berke, 2019)
- **Autismo:** Es una alteración enfocada en el desarrollo, caracterizada por diferentes insuficiencias cualitativas en la interacción social, así como también en la comunicación; es por esto que el lenguaje de señas es usado de manera muy frecuente en personas con autismo. (Cala Hernández et al., 2015)

### 2.3. Estructura de la mano

Se presenta la estructura de la mano del ser humano con sus principales articulaciones, arcos y grados de libertad que le permiten tener movilidad.

#### 2.3.1. Articulaciones y huesos

La mano es la parte del cuerpo usada para desempeñar funciones muy importantes, ya sean: mecánicas, sensitivas, comunicativas, entre otras; este es el

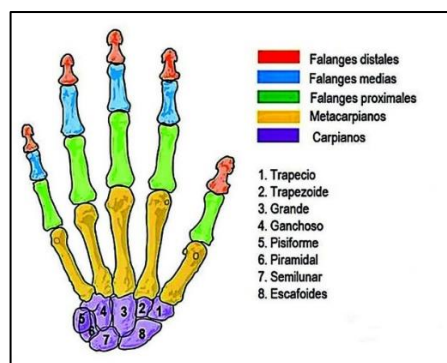


órgano principal para la manipulación del entorno con respecto a la parte física y es considerado como la principal fuente de información táctil, es por esto que el sentido del tacto y la mano, están directamente relacionados. Adicionalmente en la mano, específicamente en la punta de los dedos, es uno de los lugares donde se encuentran la mayor cantidad de terminaciones nerviosas. (Andrade & Zuñiga, 2011)

La mano se encuentra localizada en la región de la extremidad superior unida a la articulación de la muñeca, esta abarca todo el conjunto desde la muñeca a la yema de los dedos. La mano se encuentra compuesta por músculos, ligamentos y huesos, los cuajes permiten una cuantiosa cantidad de movimiento y destrezas. (MedSchoolStuff, s. f.)

Se encuentra subdividida en tres partes, las cuales tan seccionadas de la siguiente manera: en la palma central (metacarpo) surgen 5 dedos o falanges, la parte que la que la conecta con el antebrazo llamada muñeca (carpo). (MedSchoolStuff, s. f.)

En total la mano cuenta con 27 huesos incluyendo los de la muñeca, 14 falanges en los dedos, 5 metacarpianos y 8 carpianos, los cuales constituyen los grupos principales de las articulaciones existentes en la mano. (Andrade & Zuñiga, 2011) (Ver figura 2.1)

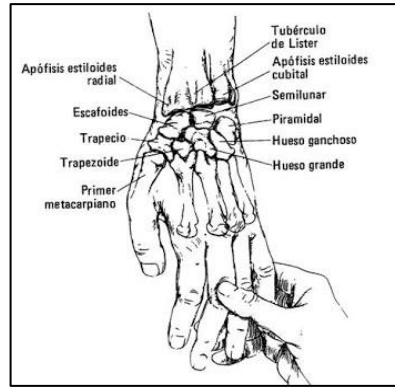


**Figura 2. 1** Huesos de la mano.

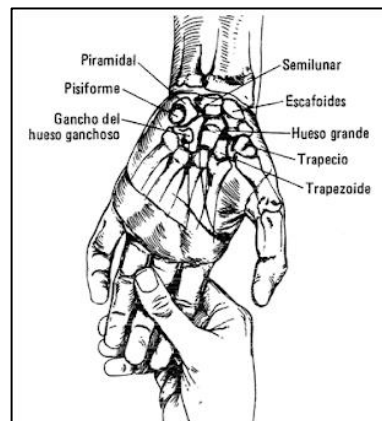
Fuente: (Trome, 2017)

## **i. Huesos**

La muñeca posee 8 huesos los cuales son conocidos por carpo o carpianos, se encuentran segmentados en dos grupos de cuatro. Estos huesos van encajados en un espacio o cavidad la cual se encuentra formada por los huesos que conforman el antebrazo y el radio. El ligamento triangular de la muñeca se encuentra bajo la cara inferior del cubito, la cual articula con los huesos. (Ver Figura 2.2 – 2.3)



**Figura 2. 2** Huesos de la muñeca en vista dorsal  
 Fuente: (Hernández & Hernández, 2011)



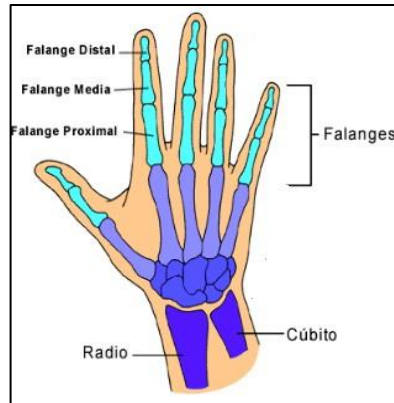
**Figura 2. 3** Huesos de la muñeca en vista palmar  
 Fuente: (Hernández & Hernández, 2011)

Los metacarpianos son los que constituyen el esqueleto de la palma y del dorso de la mano, la cual se compone de 5 huesos largos. Existen espacios limitados entre ellos que se denominan espacios interóseos. Los 5 huesos metacarpianos se relacionan con cada uno de los dedos. (Ver Figura 2.4) (MedSchoolStuff, s. f.)



**Figura 2. 4** Huesos Metacarpianos  
 Fuente: (Kaulitzki, s. f.)

Las falanges son huesos ubicados en los dedos, son huesos largos los cuales poseen cuerpo y dos extremos, los cuales son la cabeza de la falange y la base. La base de la falange se encuentra articulada con la cabeza del hueso metacarpiano correspondiente. (MedSchoolStuff, s. f.) (Ver Figura 2.5)



**Figura 2. 5** Falanges  
Fuente: (Azañero, 2007)

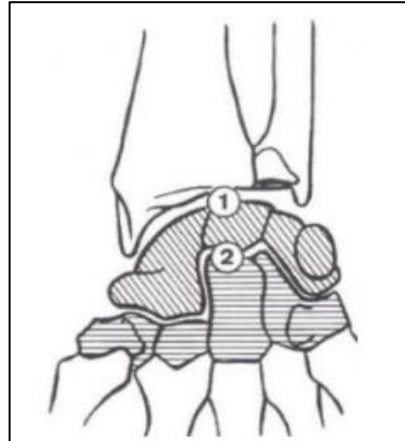
## ii. Articulaciones

La muñeca con el antebrazo está unida por una articulación, llamada articulación sinovial, la cual recubre una articulación y expulsa un líquido que lubrica dicha articulación, este se halla establecido entre el radio y el cubito articulando con los huesos escafoides, semilunar y piramidal. (MedSchoolStuff, s. f.) Las superficies articulares de los huesos de la muñeca en conjunto tienen forma ovalada, y están articulados con la superficie cóncava del radio y del disco articular. La articulación de la muñeca permite que se realicen movimientos en dos ejes. La mano se puede abducir, aducir, flexionar y extender en esta articulación. (Ver Figura 2.6) (Andrade & Zuñiga, 2011)



**Figura 2. 6** Articulaciones de la muñeca  
Fuente:(MedSchoolStuff, s. f.)

Por otro lado, las articulaciones del carpo al igual que las de la muñeca, son sinoviales y se encuentran establecida entre los huesos del carpo y comparten una cavidad en común. Aunque el movimiento de las articulaciones intercarpianas es limitado, estas contribuyen en el desplazamiento de la mano durante la abducción, aducción, flexión y en especial durante la extensión. (Ver Figura 2.7)



**Figura 2. 7** Articulaciones del carpo  
Fuente: (Andrade, 2017)

Las articulaciones carpo metacarpianas son entre los 4 huesos del carpo los cuales son: trapecio, trapezoide, grande y ganchoso; y los metacarpos. Las articulaciones que se establecen entre el II y V metacarpiano y los huesos de carpo son mucho menos móviles, y solo permiten movimientos limitados de deslizamiento. En cambio la articulación del pulgar permite realizar movimientos de flexión, extensión, abducción, aducción y circunducción (Ver Figura 2.8) (Andrade & Zuñiga, 2011)

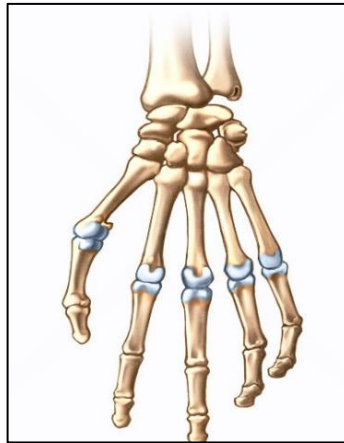


**Figura 2. 8** Articulaciones Carpo metacarpianas  
Fuente: (MedSchoolStuff, s. f.)

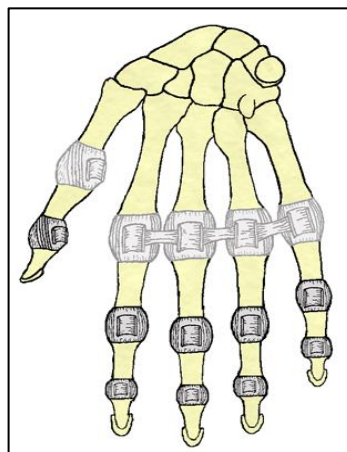
Las bases de los metacarpianos se articulan con los huesos del carpo y por otro lado las cabezas de los metacarpianos se articulan con las falanges proximales de los dedos. Cuando estos se flexionan, las cabezas de los metacarpianos forman los nudillos en la superficie dorsal de la mano. (MedSchoolStuff, s. f.)

Las articulaciones metacarpo falángicas están ubicadas entre las cabezas distales de los metacarpianos y las falanges proximales de los dedos (articulaciones condíleas, que se encargan de permitir la extensión, abducción, flexión, circunducción y rotación limitada. Estas articulaciones una capsula que se encuentran reforzadas por los ligamentos colaterales medial y lateral y por el ligamento palmar. (Ver Figura 2.9)

Por otro lado, las articulaciones interfalángicas son aquellas que existen 2 por cada dedo, exceptuando el dedo pulgar, el cual carece de falange media. (Ver Figura 2.10)



**Figura 2. 9** Articulaciones Metacarpo falángicas  
Fuente: (Centralx, 2011)

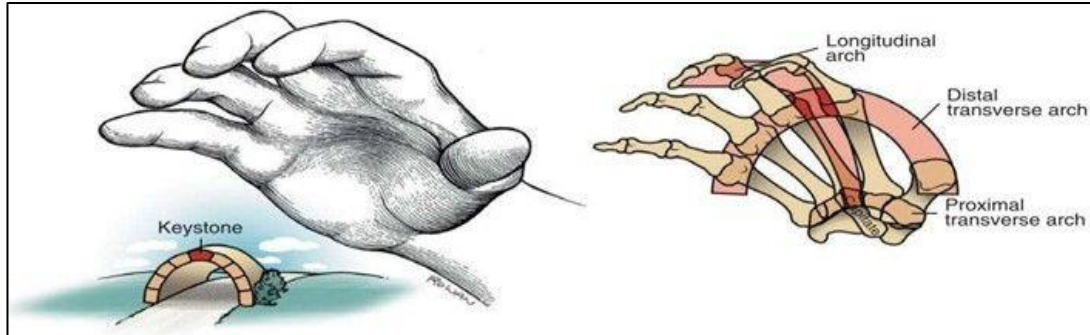


**Figura 2. 10** Articulaciones Interfalángicas  
Fuente: (Torres, 2005)

### 2.3.2. Arcos de movilidad de la mano

Los arcos de movilidad determinan pautas para saber los movimientos y grados del mismo, que puede realizar la mano de manera normal sin sufrir lesiones. Tener conocimientos de los arcos de movilidad, servirá para la implementación del prototipo y el límite de movimientos permitidos, para así evitar actividad innecesaria.

Tres son los arcos que brindan equilibrio y movilidad a la mano, los cuales son: arco transversal próximo (rígido), arco transversal distal y arco longitudinal (ambos flexibles); estos últimos se mantienen por actividad de los músculos intrínsecos de la mano. (Ver Figura 2.11) (Thompson, 2011)



**Figura 2. 11** Arcos de movilidad de la mano  
Fuente: (Collante, 2018)

Estos arcos serán descritos a continuación:

#### **i. Arco transversal próximo**

Es un arco óseo que integra el borde posterior del túnel carpiano; la integridad del arco se mantiene mediante un puntal de tejido blando formado por el retináculo flexor o el ligamento carpiano transversal o también llamado ligamento carpiano volar. Este ligamento conecta el trapecio y escafoides en el lado radial del arco con el hamato en su lado cubital y forma el borde anterior del túnel carpiano. (Thompson, 2011)

Según Hertling & Kessler, 1996 exponen a este arco como un compuesto de dos arcos, los cuales son arcos del carpo proximal y distal.

#### **ii. Arco Transversal Distal**

Hertling & Kessler denominan a este arco metacarpiano, puesto que está formado por las cabezas metacarpianas; los metacarpianos estables son los 2 y 3, mientras que los relativamente móviles son los 4 y 5.

#### **iii. Arco Longitudinal**

El comportamiento de este arco puede ser observado, cerrando el puño (sin apretar). Luego apretamos el puño y miramos el cuarto y quinto metacarpiano.

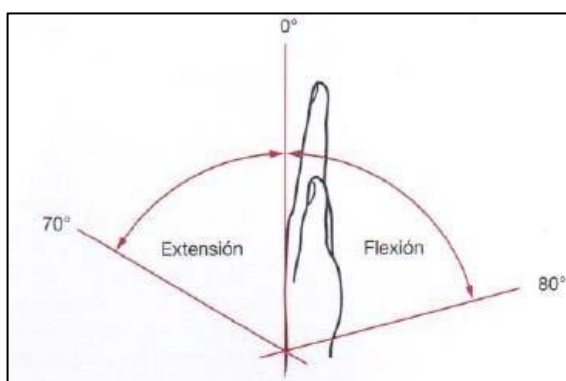
Los arcos nos proporcionan un equilibrio entre la movilidad y la estabilidad para agarrar. Por ejemplo, producimos el llamado “agarre de la tirada” usando los metacarpianos más estables (2do y 3ero), en lugar de los metacarpianos más móviles (4to y 5to). Es por esto que las férulas terapéuticas deben soportar estos 3 arcos.

### 2.3.3. Arcos de movilidad de las articulaciones

Los arcos de movilidad de las articulaciones de la mano al igual que los anteriores, nos ayudaran saber que movimientos realizan y los grados de libertad de cada movimiento, además de darnos una ligera idea para realizar el prototipo con movimiento específicamente necesarios.

#### i. Extensión y flexión de la muñeca

El movimiento de extensión que realiza la muñeca tiene una amplitud medida de 70°, mientras que el movimiento de flexión tiene una amplitud medida de 80°. (Ver Figura 2.12) (Cailliet, 2006)

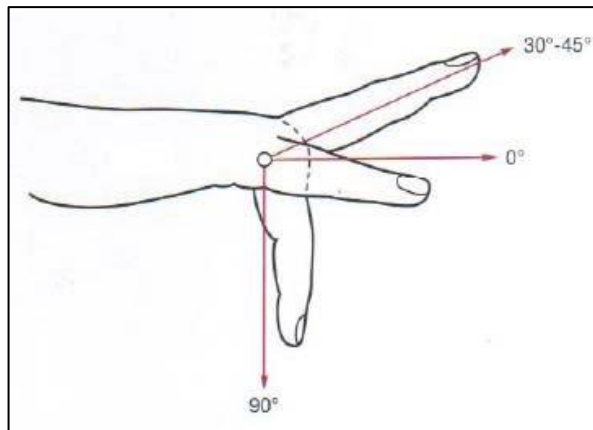


**Figura 2. 12** Movimiento de extensión y flexión de la mano  
Fuente: (Cailliet, 2006)

#### ii. Amplitud de las articulaciones Metacarpo falángicas

La amplitud en las articulaciones metacarpo falángicas en la extensión tiene un movimiento que va desde 30° hasta 45° (en algunos casos) y en la flexión un valor de 90°. (Ver Figura 2.13) (Cailliet, 2006)

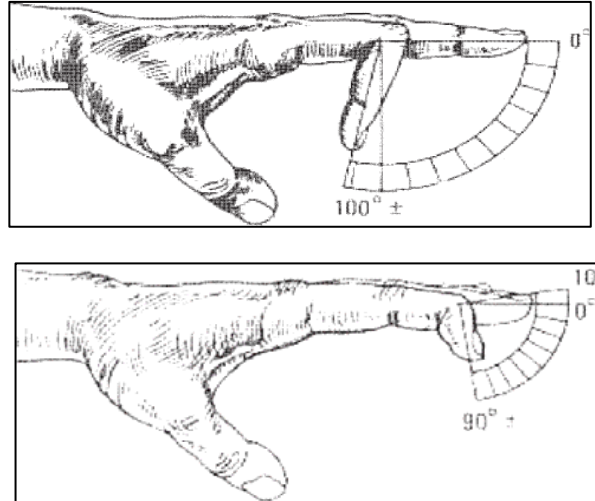




**Figura 2. 13** Amplitud de las articulaciones Metacarpo falángicas  
Fuente: (Cailliet, 2006)

### iii. Flexión y extensión de falanges distal y media

La flexión y extensión de las falanges distal y media, se la comprueba al juntar los dedos en movimiento continuo y tocando la palma de manera aproximada hasta el nivel del surco palmar distal (en ambos casos). Según estos movimientos se procede a saber el ángulo de amplitud de la flexión y extensión tanto de la falange distal como de la falange media. (Ver Figura 2.14) (Velázquez et al., 2007)

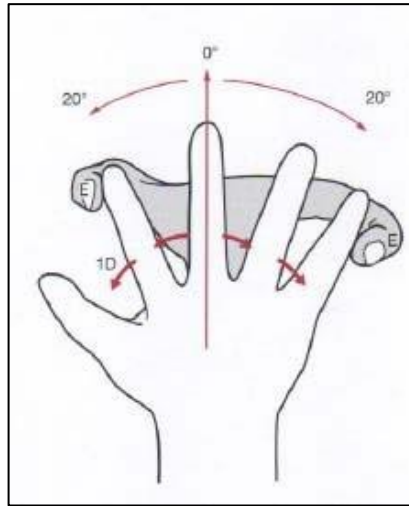


**Figura 2. 14** Flexión y extensión de falanges distal y media  
Fuente: (Tenesaca & Zeas, 2011)

### iv. Abducción y aducción

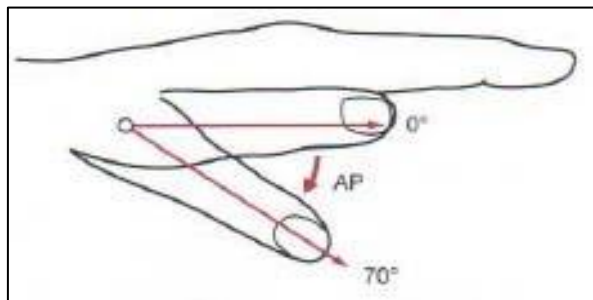
La abducción y aducción son medidas a partir de la línea axial de la mano, todos los dedos se separan formando arcos de aproximadamente 20°, mientras que en la aducción se juntan tocándose entre sí. (Ver Figura 2.15) (Velázquez et al., 2007)





**Figura 2. 15** Abducción y aducción de los dedos  
Fuente: (Cailliet, 2006)

Por otro lado, el pulgar tiene la posibilidad de abducirse en el plano de la palma, es decir  $0^\circ$ , o en ángulo recto en la abducción palmar hasta los  $90^\circ$ . (MedSchoolStuff, s. f.)



**Figura 2. 16** Abducción y aducción del pulgar  
Fuente: (Cailliet, 2006)

### 2.3.4. Grados de libertad

La mano cuenta con un alto número de grados de libertad posibles, alta relación de fuerza-peso, un sistema sensorial complejo y bajo factor de forma.

La cantidad de grados de libertad son los que permiten configuraciones múltiples de manipulación y aprehensión que van aumentando en potencialidad al cambiar los planos de trabajo, ya que estos poseen articulaciones similares a las bisagras que permiten tal característica. (Velázquez et al., 2007)

Para el análisis elástico de los dedos se debe tomar en cuenta el peso de las falanges, la gravedad, las longitudes, el punto de inserción del musculo, los puntos de contacto entre falanges y el centro de articulación.

A partir de esto se han realizado análisis con el estudio antropométrico de la mano y las falanges, en la tabla a continuación se refleja el estudio efectuado por Garrett donde es detallada la relación en longitud existente entre los dedos con respecto al porcentaje de la longitud total de la mano. (Velázquez et al., 2007)

**Tabla 2. 1:** Estudio antropométrico de la mano por Garrett

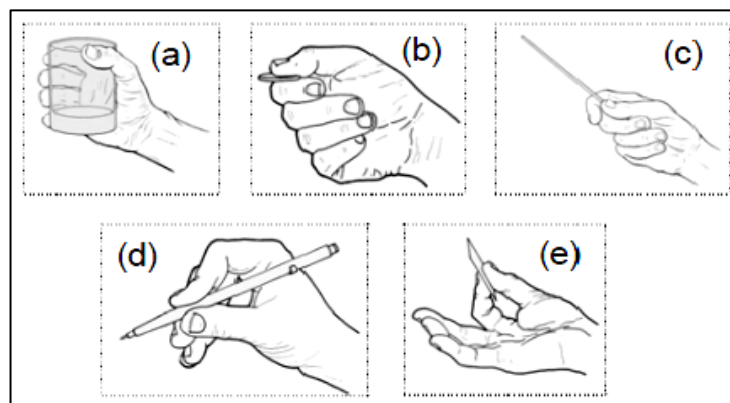
Falange	Proximal	Media	Distal
Pulgar	17.1	-	<b>12.1</b>
Índice	21.8	14.1	<b>8.6</b>
Medio	24.5	15.8	<b>9.8</b>
Anular	22.2	15.3	<b>9.7</b>
Meñique	<b>17.2</b>	<b>10.8</b>	<b>8.6</b>

Fuente: (Velázquez et al., 2007)

Para realizar el prototipo de la mano robótica se tomarán en cuenta 18 grados de libertad, y así contar con las necesidades mecánicas y poder desarrollar las diferentes señas del alfabeto.

### 2.3.5. Movimientos básicos

La cantidad de músculos de la mano, además de las juntas que se encuentran presente, permiten una gran posibilidad de configuraciones para el agarre. En 1919 se desarrolló una calificación de la taxonomía para el estudio de la destreza de las manos; las estrategias de agarre de la mano, fueron agrupadas en 5 categorías: agarre cilíndrico, de gancho, de punta, lateral (esférico y de lado) y palmar (de palma). (Ver Figura 2.17) (Andrade & Zuñiga, 2011)



**Figura 2. 17** Estrategias de agarre de la mano  
Fuente:(Dario et al., 2002)

Cuando se trata de comunicación, los movimientos de la mano se realizan basándose en un abecedario estándar el cual es denominado alfabeto dactilológico o lenguaje de señas. Se basa en movimientos y arcos que representan las letras del alfabeto; por ejemplo, las letras P y W están representadas por los movimientos de aducción y abducción respectivamente. (Ver Figura 2.18) (Andrade & Zuñiga, 2011)



**Figura 2.18** Letra P y W del Alfabeto Dactilológico  
Fuente: (Tamara, 2010)

Otro caso es la representación de las letras A y B, estas se muestran mediante los movimientos de flexión y extensión. (Ver Figura 2.19)



**Figura 2.19** Letra A y B del Alfabeto Dactilológico  
Fuente: (Tamara, 2010)

#### **2.4. Uso de la mano como medio de comunicación**

La mano humana, al igual que la voz, establece una vía de comunicación entre personas que poseen cierto grado de discapacidad, ya sea auditiva o alguna otra enfermedad que le imposibilite usar sus capacidades de habla de manera regular.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el mundo existen 360 millones de personas que sufren de pérdida auditiva, no obstante datos de la Federación Mundial del sordo, estiman que 70 millones de personas utilizan de manera frecuente el lenguaje de señas, denominándolo así su primer idioma o lengua materna. (Redacción BBC, 2014)

En el Ecuador, según la página del Consejo Nacional para la igualdad de las Discapacidades (CONADIS), hasta el 2018, existen 63 191 personas registradas con discapacidad auditiva, hasta el 2018; de los cuales 54.49% son hombres y 45.51% son mujeres. (Sánchez, 2018) Es por esto que el constante uso de la mano como forma de comunicación, ha desencadenado el interés de muchos, siendo objeto de estudio para así diagnosticar sus peculiaridades principales y grados de libertad. (Andrade & Zuñiga, 2011)

## **2.5. Mano Robótica**

Con el pasar del tiempo, los investigadores están creando manos robóticas que se acercan mucho a la realidad, esto sucede en los mejores laboratorios encargados de crear inteligencia artificial existentes en el mundo. Las principales son las siguientes:

### **2.5.1. Giradora**

En San Francisco, Estados Unidos, se encuentra el laboratorio de inteligencia artificial llamado OpenAI, fundado por Elon Musk y otros personajes importantes; donde se diseñó una mano robótica llamada Dactyl. Esta mano se basa en dedos mecánicos que se doblan y enderezan, similares a los movimientos de una mano humana; así la mano robótica tendrá la destreza de girar y voltear juguetes u objetos de la forma más ágil posible. (Ver Figura 2.20) La tarea de girar y voltear objetos es simple para una mano humana, pero para una máquina, es un propósito sumamente notable. Un dispositivo autónomo de este tipo, puede realizar tareas más complejas utilizando los métodos matemáticos que permiten el funcionamiento de Dactyl; y así también existe la posibilidad de entrenar manos robóticas con diferentes capacidades. (Mae et al., 2018)



**Figura 2. 20** Mano Giratoria  
Fuente: (Mae et al., 2018)

### 2.5.2. Pinza

Los investigadores de un laboratorio de robótica de la Universidad de California en Berkeley, llamado Autolab, crearon una mano robótica denominada “La Pinza”. Mano equipada con una pinza de dos dedos, capaz de recoger artículos y clasificarlos en contenedores. (Ver Figura 2.21 – 2.22)



**Figura 2.21** Mano Robótica "Pinza", recolectando el objeto.  
Fuente: (Mae et al., 2018)



**Figura 2.22** Mano Robótica "Pinza", depositando el objeto.  
Fuente: (Mae et al., 2018)

La pinza es un dispositivo sencillo de controlar, a comparación de una mano con 5 dedos, e incluso construir el software necesario para operarla no es tan complicado. Esta puede lidiar con objetos que no son del todo conocidos, pero si relacionarlos con objetos similares a los que se encuentran guardados en el sistema. El problema aparece cuando esta mano se encuentra con dispositivos diferentes a los existentes en su memoria, todas las acciones proceden a cancelarse. (Mae et al., 2018)

### 2.5.3. Selector

El selector se basa en un robot que puede recoger cualquier objeto, incluso objetos que no se encuentran en el sistema del robot. (Ver Figura 2.23)



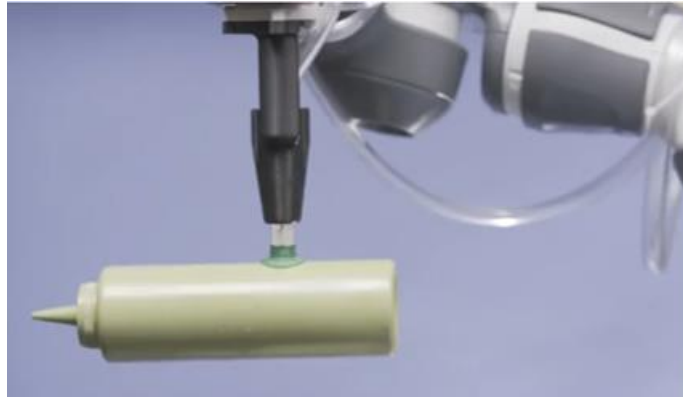
**Figura 2. 23** Mano selectora  
Fuente: (Mae et al., 2018)

Este tipo de sistemas utiliza hardware simple, como herramienta para la recolección usa una pinza y una ventosa, para así recoger todo tipo de artículos al azar.

Según (Mae et al., 2018), el sistema se beneficia de avances dramáticos en el aprendizaje automático; los investigadores de Berkeley modelaron la física de más de 10,000 objetos, identificando la mejor manera de recoger cada uno. Luego, usando un algoritmo llamado red neuronal, el sistema analizó todos estos datos, aprendiendo a reconocer la mejor manera de recoger cualquier elemento. En el pasado, los investigadores tenían que programar un robot para realizar cada tarea. (Ver Figura 2.24 – 2.25)



**Figura 2. 24** Mano selectora, recolección por pinza  
Fuente: (Mae et al., 2018)



**Figura 2. 25** Mano selectora, recolección por ventosa  
Fuente: (Mae et al., 2018)

#### **2.5.4. Manos robóticas utilizadas en la traducción a lenguaje de señas**

Existen diversos prototipos de manos robóticas creadas con el fin de traducir palabras en lenguaje de señas, pero las más importantes son:

##### **i. Proyect Aslan**

Un equipo belga de científicos, se encuentran detrás de la creación y tecnología de una mano robótica que puede traducir palabras en gestos de lenguaje de señas para personas con discapacidad auditiva; el objetivo final de este equipo es construir un robot de ambos brazos y cara expresiva, para así transmitir toda la complejidad de las formas del idioma relacionadas al lenguaje de señas. (Almond & SWNS, 2018)

Los investigadores expresaron que Aslan (nodo de activación del lenguaje de señas de Antwerp), creado por la Universidad de Antwerp, podría incluso usarse para ayudar a enseñar a las personas el lenguaje de señas.

Según lo expresado por Pettit, en 2018, la mano está impresa en 3D y tiene un valor de \$560, tiene la capacidad de hacer e interpretar tanto el texto escrito, al igual que las palabras habladas. La comunicación con este dispositivo es a través de la denominada “ortografía con los dedos”, el cuales un tipo de lenguaje de señas que consiste en deletrear letra por letra por medio de gestos separados en una sola mano. (Ver Figura 2.26 – 2.27)

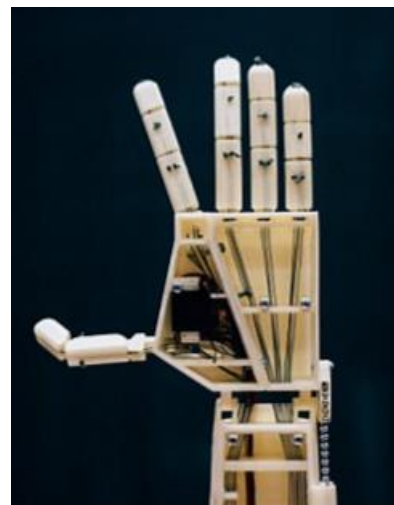
El dispositivo prototipo, funciona traduciendo voz o texto a través de una computadora. Los creadores del sistema esperan que el producto final sea un

dispositivo portátil, para realizar traducciones donde sea necesario. (Almond & SWNS, 2018)

El robot podría ayudar a algunos de los millones de personas, con esta discapacidad o con cualquier tipo de problema de audición, a comunicarse con personas que no tienen conocimiento del uso de gestos como forma de comunicación. (Pettit, 2018)



**Figura 2. 26** Proyect ASLAN  
Fuente: (Mae et al., 2018)



**Figura 2. 27** Proyect ASLAN, arquitectura interna  
Fuente: (Mae et al., 2018)

## ii. SignBot

SignBot es un prototipo creado en Malasia desarrollado por IIUM, impreso en 3D, fue uno de los primeros creado con el objetivo de eliminar las barreras de comunicación entre personas con discapacidad auditiva y la denominada “sociedad dominante”. Fue el pionero en MLS de este tipo. Las manos del robot fueron



desarrolladas de manera detallada en sus articulaciones, para un mejor movimiento de las mismas. (Ali et al., 2019)

El prototipo de mano robótica cuenta con micro servomotores para la movilidad de las uniones relevantes de los dedos y así representar letras, números y frases requeridas. La base de datos del sistema guarda los movimientos secuenciales de los servomotores; cuenta con un detector de voz receptada por un microcontrolador y finalmente ejecuta la secuencia de movimiento con los servomotores. (Ali et al., 2019)



**Figura 2. 28** Prototipo SignBot  
Fuente: (Williams, 2017)

## **2.6. Microcontroladores**

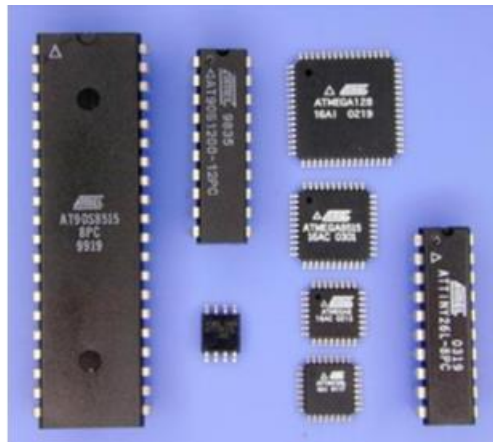
Los microcontroladores representan una gran ventaja al momento de realizar un prototipo ya que permiten minimizar los componentes a utilizar, se procede a detallar los microcontroladores empleados en este proyecto de titulación.

### **2.6.1. Arduino**

Arduino es denominada una plataforma electrónica de fácil manejo, la cual se basa en software, hardware y un código abierto. Este sistema consta de placas, que tienen la capacidad de leer entradas tales como pulso de un botón, luz de un sensor o recibir mensajes y convertirlos en salidas, que pueden ser: activación de motor, escritura en una pantalla LCD, encendido de un led, etc. Pueden ser enviadas instrucciones a la tarjeta a través de comandos los cuales recibía el microcontrolador que posee la tarjeta. El lenguaje de programación de Arduino, para el envío de comandos, se basa en Wiring y el software Arduino (IDE), es basado en procesamiento. («Arduino», 2019)

### **i. Partes principales de la placa Arduino**

La placa o tarjeta de Arduino está fabricada fundamentada en un microcontrolador denominado AVR, la famosa empresa ATMEL es la que se encarga de fabricar este tipo de dispositivos; se habla de la versión reducida de un microprocesador programable, cuenta con los elementos que resultan ser esenciales de una computadora, pero exceptuando los periféricos. El microcontrolador se convierte en el elemento central de la placa, convirtiéndola en un elemento versátil. (Ver Figura 2.29) (Céspedes Machicao, 2017)



**Figura 2. 29** Microcontroladores ATMEL  
Fuente: (Akbari, 2014)

A parte del microcontrolador, entre las partes principales de la placa Arduino se encuentran: puertos USB, terminales digitales, resets, leds indicadores, entradas analógicas, modulación por ancho de pulsos y adicionalmente. (Schmidt, 2015)

### **ii. Características generales de la placa Arduino**

Las placas de Arduino de manera general cuentan con características fijas comunes, que son presentadas a continuación:

- Microprocesador ATmega328
- 32 kbyte de memoria Flash
- 1 kbyte de memoria RAM
- 16 MHz
- 13 pines de I/O digitales (programables)

- 5 pines para entradas (I) analógicas
- 6 pines para salidas (O) analógicas (salidas PWM)
- Sistema autónomo (Una vez programado no necesita estar conectado a la PC)
- Microcontrolador ATmega328
- Voltaje de operación 5V
- Voltaje de entrada (recomendado de 7V a 12V)
- Voltaje de entrada limite (6V a 20V)
- DC corriente I/O Pin 40 mA
- DC corriente 3.3V Pin50mA
- Memoria flash 32 KB (2 KB para el bootloader)
- EEPROM 512 byte
- Velocidad del reloj 16 MHz. (Mecafenix, 2017)

A parte de las características mencionadas anteriormente, Arduino posee múltiples beneficios que hacen que sea un sistema accesible entre los cuales constan: costos bajos, multiplataforma, código abierto, entorno de programación simple y claro, software y hardware extensible, entre otras. (Mecafenix, 2017)

### **2.6.2. Shield EKG/EMG**

Este shield permite a las placas tipo Arduino capturar señales de electrocardiografía y electromiografía, además abre nuevas posibilidades para experimentar con bio-feedback. Este tipo de dispositivo Puede monitorear los latidos del corazón y así registrar el pulso, por otro lado, también reconoce los gestos al monitorear y analizar la actividad muscular. (Ver Figura 2.30) (Olimex, 2018)

Shield EKG/EMG convierte la señal diferencial analógica, es decir, los potenciales biológicos ECG / EMG generados por los músculos, en una sola secuencia de datos como salida; la señal de salida es analógica y se debe discretizar aún más con

el objetivo de ofrecer la opción de procesamiento digital. (Olimex, 2018)



**Figura 2. 30** Shield EKG/EMG  
Fuente: (Octopart, 2018)

#### **i. Características de la Shield**

- Conectores apilables: se pueden apilar y cablear hasta 6 canales a las entradas analógicas A0-A6
- Generación de señal de calibración por salida digital D4 / D9
- Potenciómetro de corte preciso para la calibración (todas las placas se envían completamente ensambladas, probadas y calibradas para que no tenga que hacer esto a menos que quiera ver cómo funcionan las cosas)
- Conector de entrada para electrodos estándar o activos.
- Funciona con placas Arduino de 3.3V y 5V. (Olimex, 2018)

### **2.7. Actuadores**

Los actuadores son los denominados músculos de los sistemas mecatrónicos, la mayoría de los motores eléctricos son utilizados para facilitar el control de los sistemas. Los motores en corriente continua, se prefieren en sistemas móviles, ya que la tecnología que tienen las baterías actuales solo puede almacenar energía en corriente continua; mientras que los motores en corriente alternan son los preferidos en otros tipos de sistemas, puesto que son económicos y muy fáciles de usar con energía de la red eléctrica. (Kececi, 2019)

### 2.7.1. Servomotores

Un servomotor es un actuador giratorio o lineal que permite un control de alta precisión y alta respuesta de la posición, la velocidad y la aceleración angular o lineal, puede ser usado para una variedad de equipos, son empleados en aplicaciones como robótica, maquinaria CNC o fabricación automatizada y generalmente como una alternativa de alto rendimiento para los motores de paso. (Farnell, 2015)

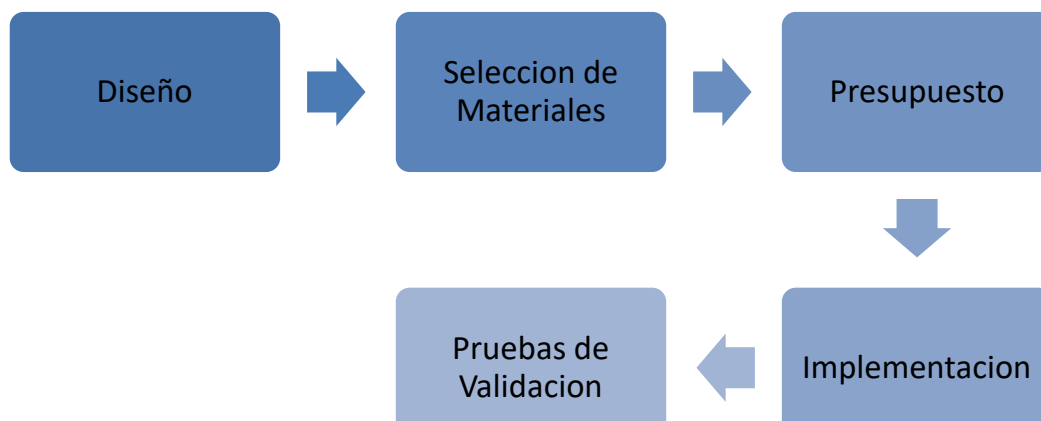
Los sistemas servo combinan un motor servo de alto rendimiento con un amplificador servo (controlador) para lograr una posición, una velocidad o un control de par motor extremadamente precisos; los servomotores tienen engranajes integrados y un eje que se puede controlar de forma precisa. Los circuitos servo se construyen dentro de la unión del motor y tienen un eje posicional que generalmente incluye un engranaje (Ver Figura 3.32). El motor lo controla una señal eléctrica que determina la cantidad de movimiento del eje. (Farnell, 2015)



**Figura 2. 31** Servomotor  
Fuente: (Tushar, 2013)

### CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA MANO ROBÓTICA

En el siguiente capítulo se plasma el análisis previo para el diseño de una mano robótica y la implementación de la misma, con el fin de usarla para la traducción de palabras a lenguaje de señas, con el fin de usarla como apoyo para personas con problemas auditivos en situaciones de atención al cliente en lugares de tránsito regular, ya sean bancos, centros educativos, organismos gubernamentales, entre otros. El proyecto se encuentra dividido en 5 etapas, enumeradas a continuación: diseño, selección de materiales, presupuesto, implementación y pruebas de validación. Como se muestra en el diagrama siguiente.



**Diagrama3.1** Etapas del proyecto  
Fuente: autor

La etapa de diseño, detalla acerca de la constitución del proyecto, basado en: Hardware, Software y Diseño Estructural. Cada ítem del diseño del proyecto se encuentra fundamentado por un diagrama que explica el funcionamiento del sistema. Seguido de esto, se ubica la etapa de selección de materiales, donde se despliega un listado de los materiales necesarios para el proyecto, además de la función que desempeña cada uno en el proyecto.

En la etapa del presupuesto, se especifican los costos y cantidad de inversión en los materiales del proyecto para su posterior implementación, la etapa de la implementación muestra el desarrollo y la sucesión de la construcción del prototipo a partir de un microcontrolador. Finalmente, se encuentra la etapa de pruebas de funcionamiento y validación donde se comprobará la funcionalidad del sistema y precisión de los actuadores para el adecuado funcionamiento del equipo.

### **3.1. Consideraciones iniciales del sistema**

En esta sección se presentan las consideraciones preliminares del sistema que se desarrolló para lograrla traducción de texto a lenguaje de señas.

#### **3.1.1. Descripción del Sistema**

En el presente proyecto de titulación se implementa una mano robótica que mediante el aprovechamiento del desarrollo tecnológico podemos emplear materiales de tamaño reducidos para programar mediante código, la traducción de las letras y palabras ingresadas al computador por medio del teclado a un lenguaje de señas que es comprensible para una persona con discapacidad auditiva con conocimiento sobre el lenguaje de señas. La mano robótica está conformada en su estructura de una carcasa plástica que se utiliza en impresiones 3D, servomotores que permiten el movimiento de las articulaciones de los dedos que están conectados mediante fibra de nylon que comúnmente se utiliza en la pesca y cableado que permiten las conexiones con la parte central o cerebro (placa arduino) de la mano robótica.

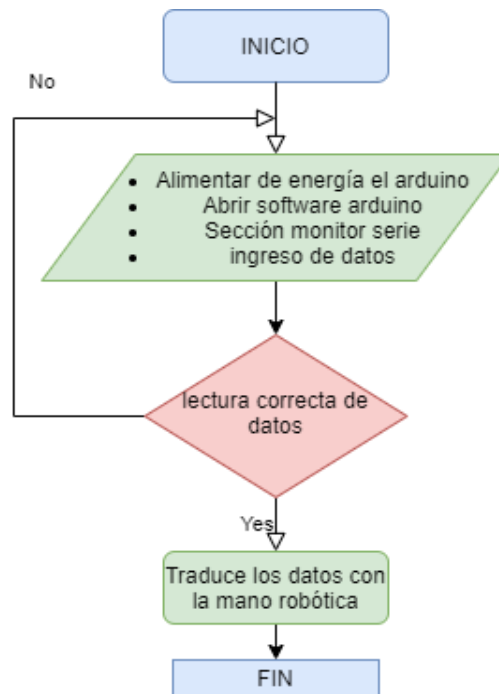
#### **3.1.2. Características del Sistema**

Entre las características que más destacan del sistema de mano robótica para la traducción de datos ingresados a lenguaje de señas son:

- Bajo consumo energético
- Alta velocidad de envío de datos
- Alta velocidad de traducción de datos
- Alto nivel de representación del lenguaje de señas
- Fácil de utilizar
- Bajo costo económico

El prototipo consiste en una mano, incluida la muñeca y el antebrazo, realizada en

impresión 3D, con filamentos fabricados en Acido Poli láctico o también conocido como PLA. La opción de realizar la estructura del sistema con esta idea es relativamente buena, ya que el PLA es un material duradero y bueno, no emana olores, además es ecológico, puesto que el Ácido Poli láctico es un material biodegradable, hecho de recursos renovables ricos en almidón.



**Figura 3. 1** Proceso a seguir el usuario  
Fuente: autor

En la figura 3. 1se representa el proceso a seguir por parte el usuario para utilizar el prototipo de mano robótica en una traducción de datos ingresados.

### 3.1.3. Función del Sistema

Para el uso de este prototipo de mono robótica el usuario debe empezar conectando la salida del adaptador de corriente de 7V y 5A a la placa arduino y la entrada a la toma de corriente alterna de 110V, se procede a abrir el software de programación arduino, en la sección monitor serie se ingresa mediante el computador las palabras que necesitan ser traducidas a lenguaje de señas. La función principal del prototipo es la traducción de los datos ingresados por medio el teclado del computador a lenguaje de señas que se representa con el movimiento de la mano robótica.



## **3.2. Análisis del sistema de Hardware**

En esta sección se realiza el análisis de la arquitectura, la fuente de alimentación y la configuración del microcontrolador utilizado en el proyecto.

### **3.2.1. Arquitectura del sistema**

En el prototipo implementado los elementos están dispuestos de la siguiente manera:

#### ➤ Controlador

La placa arduino es el cerebro del proyecto ya que desde la misma se envían todas las señales que recibe del computador por medio del monitor serie convirtiendo estas señales a corriente eléctrica para hacer efecto en los actuadores.

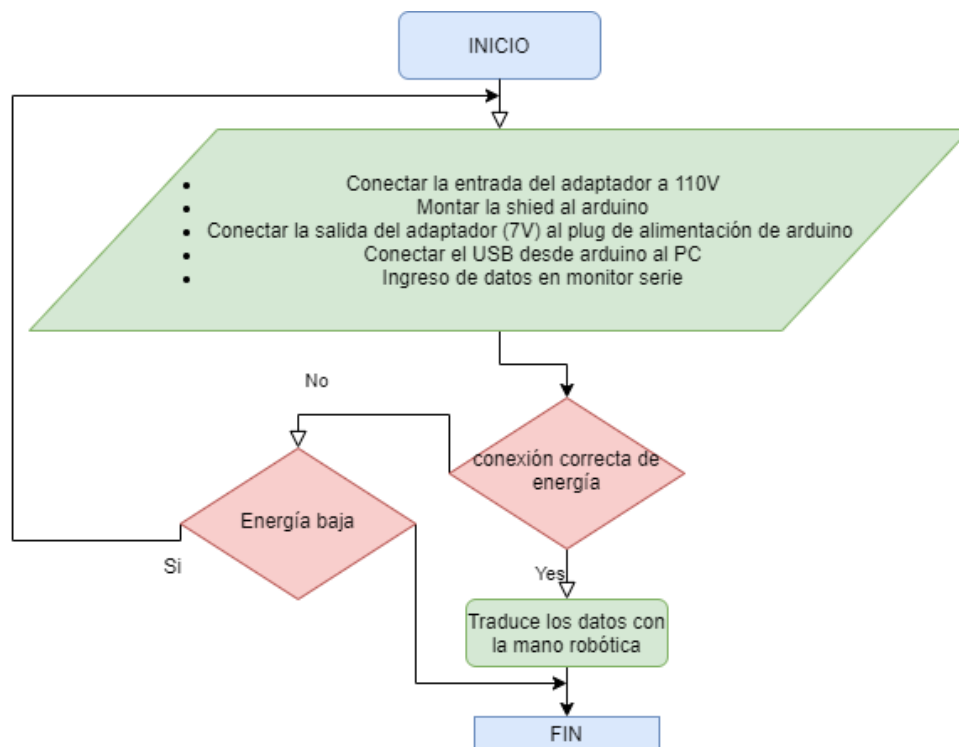
#### ➤ Actuador

El actuador es el elemento que se encarga de convertir la señal recibida del controlador en una acción, para nuestro caso los servomotores cumplen la función de dar movimiento a las articulaciones de los dedos de la mano robótica y se ayuda de una placa shield para optimizar la presentación del circuito evitando utilizar más cableado y así tener una mejor distribución de los cables.

### **3.2.2. Fuentes de Alimentación**

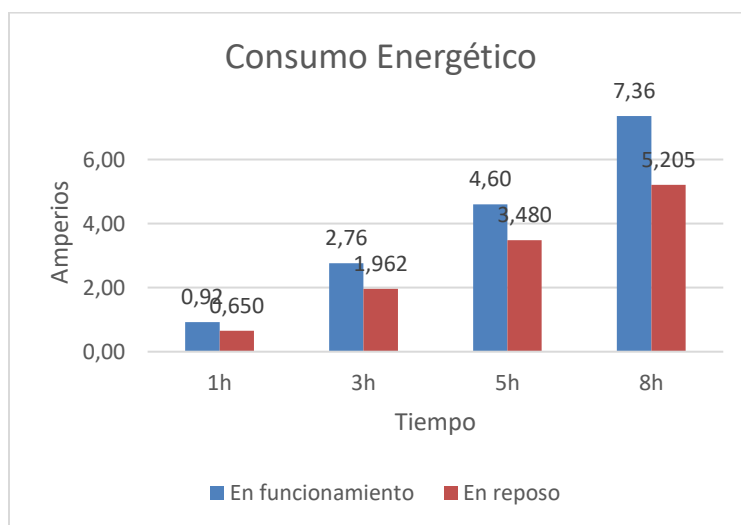
El circuito se debe alimentar de corriente continua por medio de un adaptador de corriente que cuente con las siguientes características 7V y 5A para poder abastecer la alimentación de los servomotores, además, la placa arduino se debe conectar por medio de USB al computador para poder transmitir la información en la sección monitor serial de arduino, la conexión por USB brinda un voltaje de 5v y 500mA. Se tiene que considerar que si solamente se conecta el USB el voltaje y amperaje es demasiado bajo para el funcionamiento de los servomotores, mientras que al conectar solamente el adaptador de corriente continua se presenta el inconveniente de no tener la posibilidad de enviar la

información al monitor serie de arduino, por lo que es necesario alimentar todo el circuito tanto con el adaptador de corriente como con el cable USB. (Ver Fig. 3.2)



**Figura 3. 2** Fuentes de alimentación  
Fuente: Autor

El consumo energético de sistema se representa en el diagrama 3.2 que se obtiene a partir de la tabla 3.2 de la sección 3.5.1 que trata sobre el nivel de consumo energético del sistema.



**Diagrama3.2** Consumo Energético  
Fuente: Autor

### **3.2.3. Adaptación de la señal**

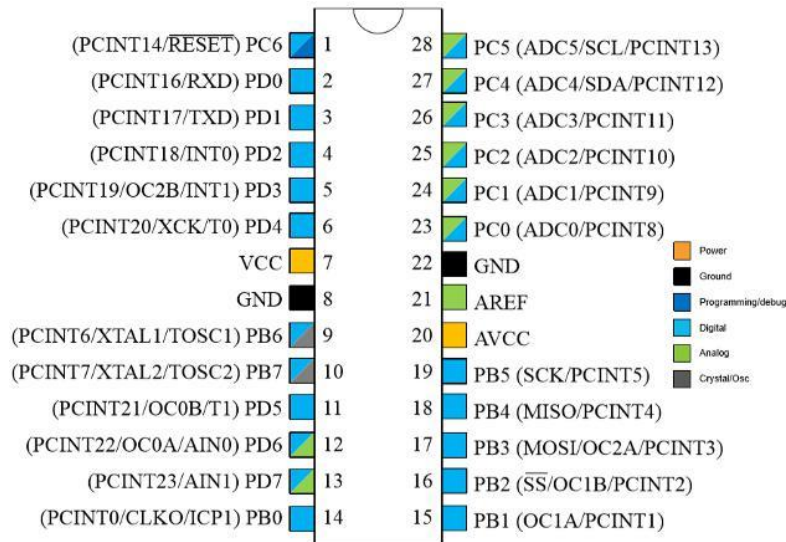
En esta sección se plasman datos del diseño del prototipo, basados en la señal de entrada, que cumple la función de control y los actuadores que intervienen en el sistema.

El sistema se energiza directamente de la fuente de 5V de la placa Arduino, incluida la Shield EKG/EMG y además se necesita alimentar el sistema con el adaptador de 7V y 5A para lograr el movimiento de los servomotores. El sistema se encuentra accionado por un setpoint, el cual es la palabra que se requiere traducir, la cual tendrá lugar por medio de la programación. El control será llevado por la placa de Arduino, la cual contiene la programación necesaria para el accionamiento de los actuadores (servomotores) y la traducción al lenguaje de señas, y a su vez la Shield EKG/EMG por medio de gestos previamente reconocidos, contribuirá a la movilidad de los servomotores, según los grados de libertad de cada dedo representado. Dentro del código de programación se encuentran declaradas las variables de representación de cada dedo de la mano, con un servomotor respectivamente, además del que simula ser el brazo y la muñeca.

Los actuadores como se comenta anteriormente, representan cada uno a un dedo de la mano, la muñeca y el brazo; con sus movimientos respectivos. En total este proyecto cuenta con 18 grados de libertad

### **3.2.4. Configuración del microcontrolador**

La placa arduino tiene como microprocesador el modelo ATmega 328p (Ver Figura 3.3) que tiene un alto nivel de desempeño y bajo consumo de energía por lo cual es utilizados en una gran variedad de proyectos electrónicos. Dicho microcontrolador cuenta con 23 puertos que se los puede programar tanto como entradas o salidas de acuerdo a la necesidad que se presente. (Pérez, 2018)



**Figura 3. 3** Pines microcontrolador ATmega 328p

Fuente: Autor

### 3.3. Análisis del sistema de Firmware

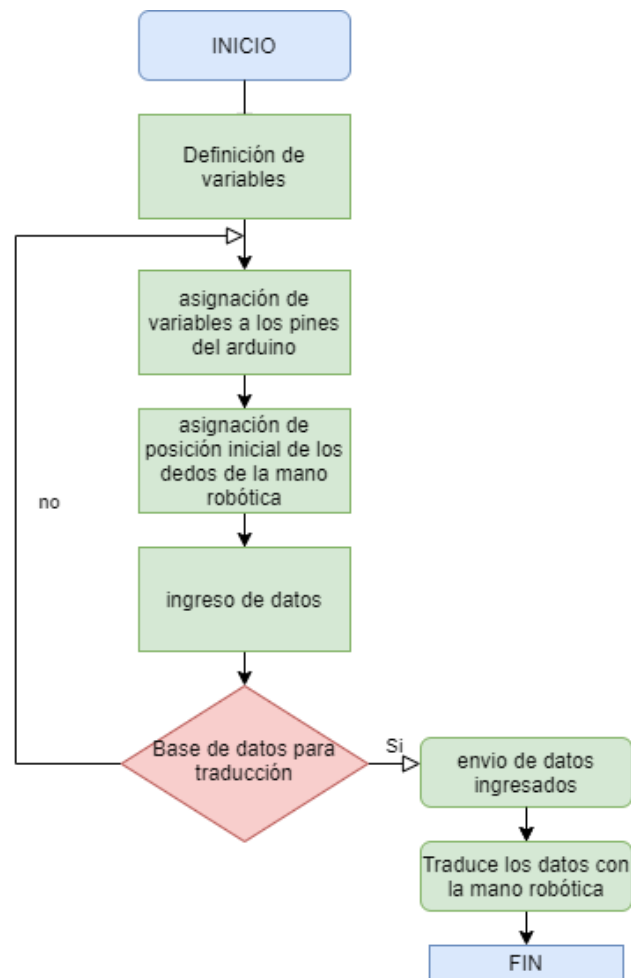
Se describe la arquitectura del firmware, el diseño de los controladores, su configuración y varios parámetros que se deben considerar al momento de desarrollar el prototipo.

#### 3.3.1. Arquitectura de Firmware

En esta sección se especifica la estructura de la programación que acciona el sistema, la cual es realizada en el software de Arduino, según las necesidades del prototipo. El software se encarga de que el sistema funcione; aquí la codificación se desarrolla mediante etapas, el diseño se encuentra distribuido de la siguiente manera. (Ver Fig 3.4)

El esquema nos indica que el algoritmo empleado necesita la declaración de las variables iniciales, para una posterior asignación, es decir que cada variable se le asigna un pin de la placa arduino para organizar la programación de mejor forma, la mano robótica tiene los dedos en una posición stand by antes de representar cualquier letra, y luego con el ingreso de datos al computador por medio de la herramienta monitor serie de arduino el software procede a realizar la comparación para saber si el dato ingresado consta en su base

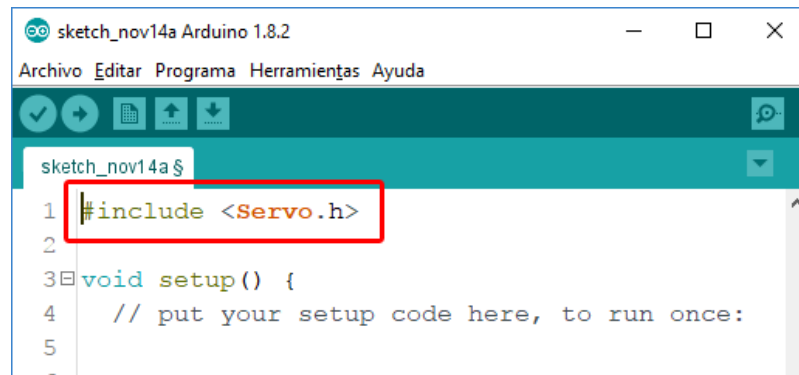
de datos programada, de ser el caso se envían los datos al actuador para que genere movimiento de los dedos de la mano robótica para que sea capaz de representar la traducción a lenguaje de señas de la letra ingresada y se cierra el algoritmo, caso contrario se revisara nuevamente la asignación de pines para verificar que este el dato bien asignado y se encuentre la información en la base de datos.



**Figura 3. 4** Proceso para el movimiento de la mano robótica  
Fuente: Autor

### 3.3.2. Diseño de controladores y actuadores

El diseño inicia con la definición de librerías, las cuales facilitan la programación, puesto que brindan cierta conexión entre los elementos a usar, tales como actuadores, sensores, módulos, etc. El software tiene incluidas librerías que pueden ser usadas de manera libre, pero las usadas en el trabajo de titulación son las de accionamiento de los servomotores. (Ver Figura 3.5)

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "sketch\_nov14a Arduino 1.8.2". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". Below the menu bar is a toolbar with icons for saving, running, and other functions. The main editor area shows the following code:

```
sketch_nov14a $
1 #include <Servo.h>
2
3 void setup() {
4   // put your setup code here, to run once:
5
```

The line "#include <Servo.h>" is highlighted with a red rectangular box.

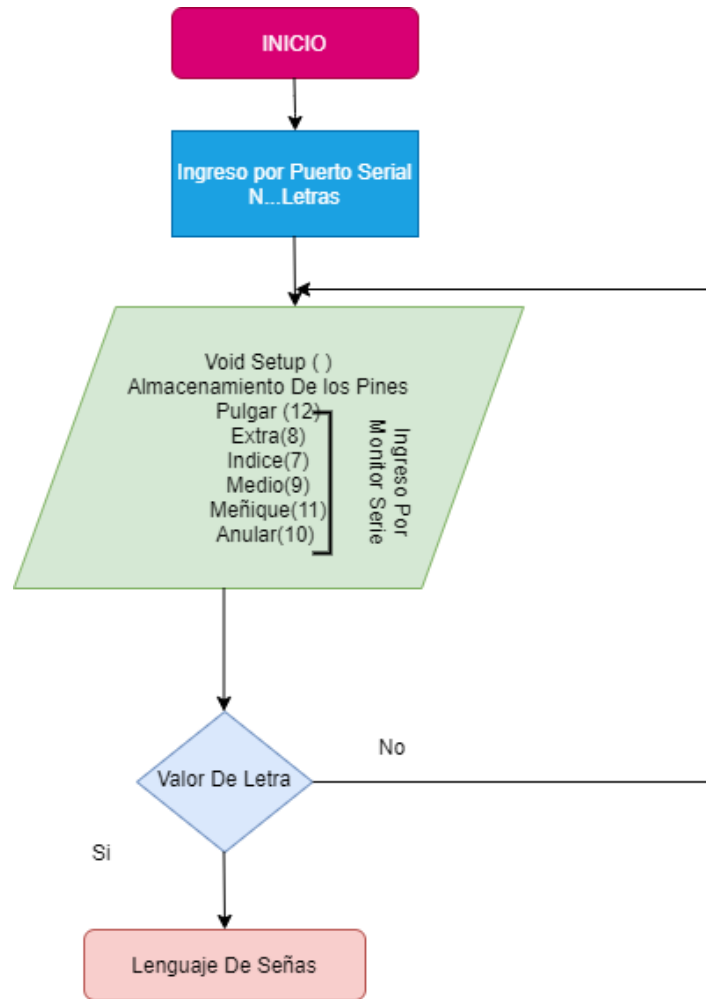
**Figura 3. 5:** Declaración de la librería Servo.h  
Fuente: Autor

Luego de las librerías usadas en el programa, se presenta la declaración de variables usadas en el código del programa, realizar este paso da la posibilidad de almacenar datos y posiciones requeridas en el sistema.

Cada placa de control tiene una capacidad limite, es por esto que se necesita especificar qué tipo de dato se usara para la variable en cuestión. Seguido de esto, se calibran los dedos de la mano uno a uno según los movimientos de flexión y extensión de las letras del abecedario, para que se pueda producir de una manera más natural la traducción en lengua de señas. Posteriormente se procede a la calibración de cada letra para la creación de palabras o frases.

### **3.3.3. Comunicación de la mano robótica con el computador**

El sistema de mano robótica que se implementó necesita utilizar la sección de monitor serie que se encuentra en el software de arduino para lograr la comunicación entre el computador que tiene la función de periférico de entrada de datos, esta comunicación se establece por medio de un cable USB para la alimentación de la placa y el transporte de datos , mediante la programación en arduino se compara el dato ingresado en el computador con la base de datos configurada en el stech arduino para asignar los datos a los pines correspondiente a los dedos de la mano robótica para que los servomotores recepen estos datos y representen la letra correspondiente. (Ver Fig. 3.6)



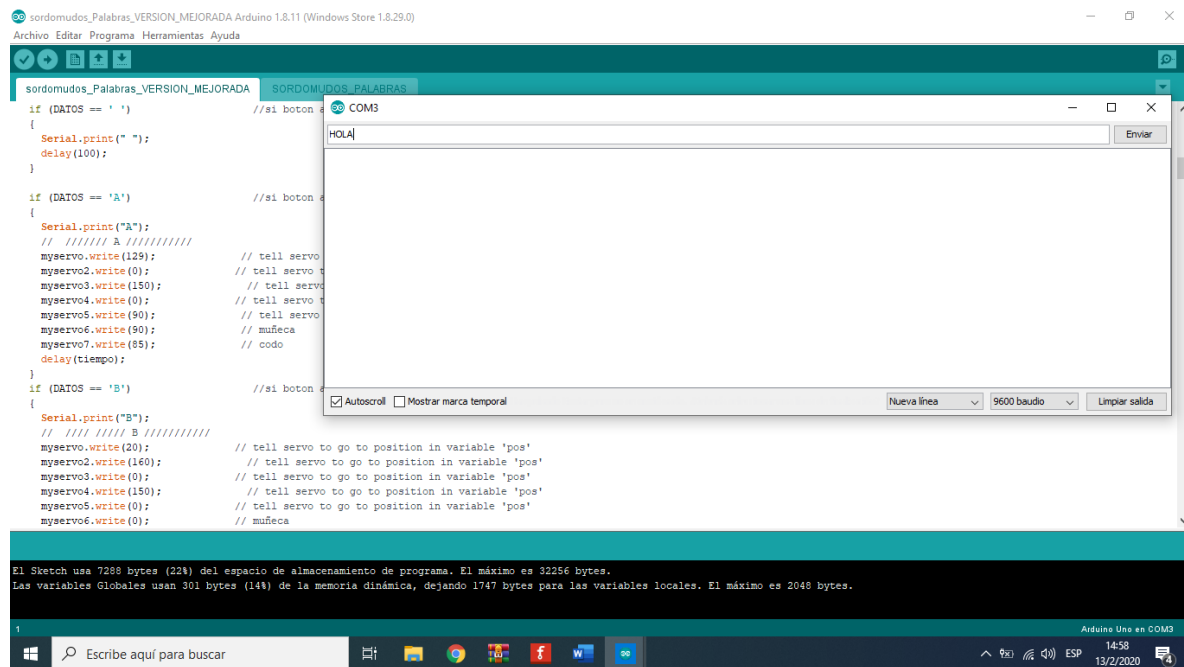
**Figura 3. 6** Placa Arduino y Shield EKG/EMG  
Fuente: Autor

### 3.3.4. Interfaz de usuario

Se optó por emplear como interfaz de usuario la sección de monitor serie que viene por defecto en el software de programación arduino, ya que es muy intuitivo de manejar y permitirá optimizar recursos económicos ya que no es necesario diseñar o comprar un software adicional para el uso eficiente del sistema de mano robótica.

El programa se encarga de verificar que el dato ingresado se encuentre en la base de datos programa para representarla por medio de lenguaje de señas, para dicha traducción es necesario que se ingrese una letra del alfabeto español para poder realizar la comparación con los datos almacenados en la programación de arduino, el software se encarga de comparar

la letra ingresada y transformar dicha señal a niveles de voltaje que sean entendibles para los servomotores. (Ver Fig. 3.7)



**Figura 3. 7** Interfaz de usuario monitor serie  
Fuente: Arduino

### 3.4. Materiales

En la siguiente etapa se encuentran listados los materiales necesarios en la construcción del sistema y posteriormente se describe la función de cada uno de ellos dentro del proyecto.

Se deben tener en cuenta la siguiente lista de materiales.

➤ **Arduino**

Llevará el control del sistema, por medio del software de la misma empresa, se creará la programación necesaria para el accionamiento de los actuadores y la traducción.

➤ **Shield EKG/EMG**

Por medio de gestos previamente reconocidos y pulsos receptados, contribuirá a la



movilidad de los servomotores, según los grados de libertad de cada dedo representado.

➤ **Servomotores**

Se encargarán de la movilidad total o parcial, según se requiera y los grados de movilidad, de cada dedo de la mano; así como también de la muñeca, y el brazo.

➤ **Filamento de PLA**

Mediante la impresión 3D, este filamento se convierte en la estructura completa del sistema.

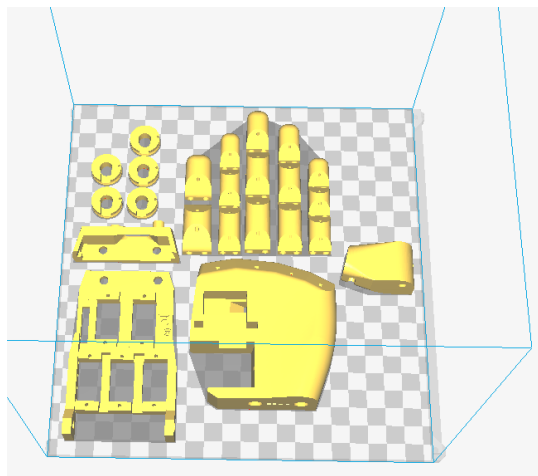
➤ **Hilos**

Tienen la función de unir las divisiones de cada dedo de la mano, además de ser fundamentales para el movimiento de cada uno de ellos, ya que van enlazados por medio de unas mini-poleas a los servomotores correspondientes.

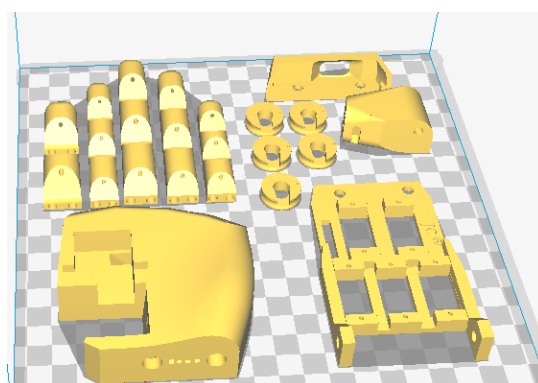
### **3.4.1. Diseño estructural**

La mano simula a una mano real con cinco dedos y “articulaciones”, incluidas las divisiones de cada dedo; cuenta con un orificio donde será introducido el servomotor encargado de controlar el dedo pulgar. Un poco más abajo de la muñeca, constan cuatro servomotores más encargados de la movilidad de los 2 dedos restantes. Estos lo hacen con el movimiento de cuerdas, que ayudan a la flexión de los dedos según los grados de libertad de los mismos. Posteriormente en el antebrazo consta un servomotor que realiza giros regulares simulando a un brazo real, y por último se tiene una base donde se encuentra un servomotor que simula los movimientos del codo (adelante y atrás).

El diseño fue realizado en un Software de diseño llamado “Cura” del cual se puede visualizar la siguiente imagen. (Figura 3.8 – 3.9)



**Figura 3. 8** Diseño final de mano y elementos, Software Cura.  
Fuente: Autor



**Figura 3. 9** Diseño final de mano y elementos, Software Cura.  
Fuente: Autor

En el siguiente apartado (Tabla 3.1) se especifica la inversión total requerida del proyecto, la cantidad de cada material a ser necesitado y los costos unitarios de cada uno de ellos.

**Tabla 3.1** Presupuestos

<b>1</b>	Arduino UNO	\$8.00
<b>1</b>	Shield EKG/EMG	\$27.00
<b>7</b>	Servomotores	\$84.00
<b>2m</b>	Hilo	\$2.00
<b>20</b>	Cables o Jumpers	\$1.00
<b>1</b>	Rollo Filamento PLA	\$28.00
<b>TOTAL</b>		<b>\$150.00</b>

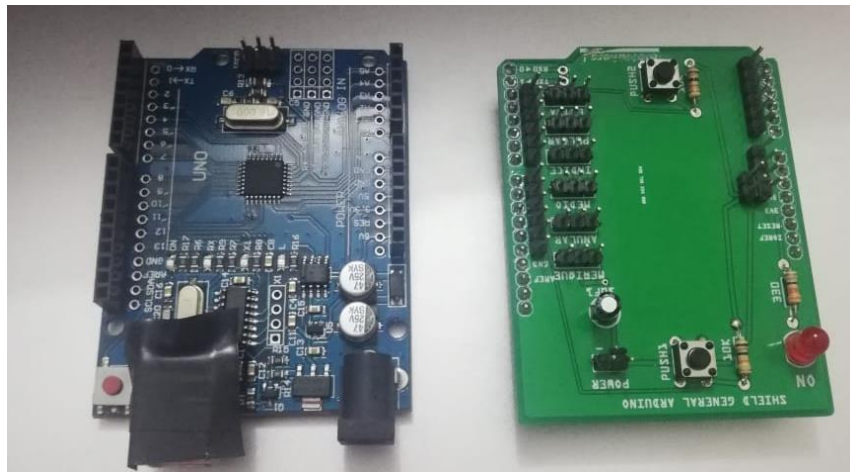
Fuente: Autor

### 3.4.2. Implementación

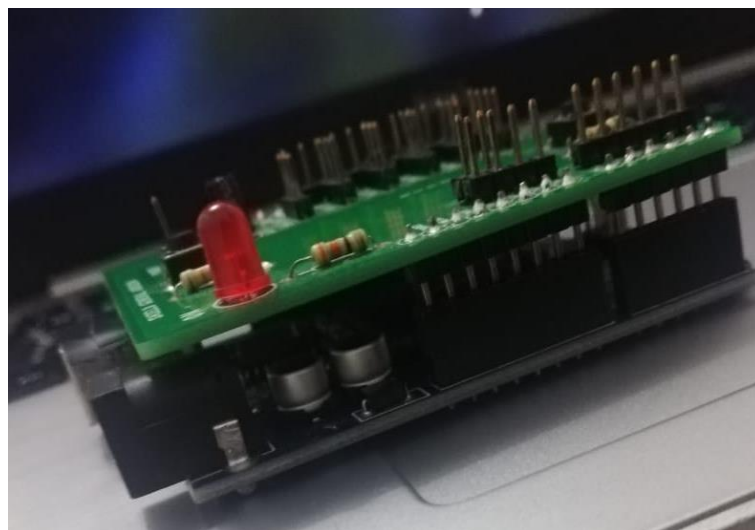
En este tramo del trabajo de investigación se conduce a la unión de todos los elementos y conexiones del mismo para la creación del prototipo y el montaje de las piezas en la parte estructural, que simulan el brazo y mano del ser humano, para obtener el resultado final.

### 3.4.3. Conexiones del Sistema

El prototipo posee una placa de Arduino y seguidamente una Shield EKG/EMG (una sobre otra), conectadas en simultaneo a una fuente de 5V, ambas tarjetas desempeñan el rol del control en el sistema, como se muestra en la figura. (Ver Figura 3.10 – 3.11)



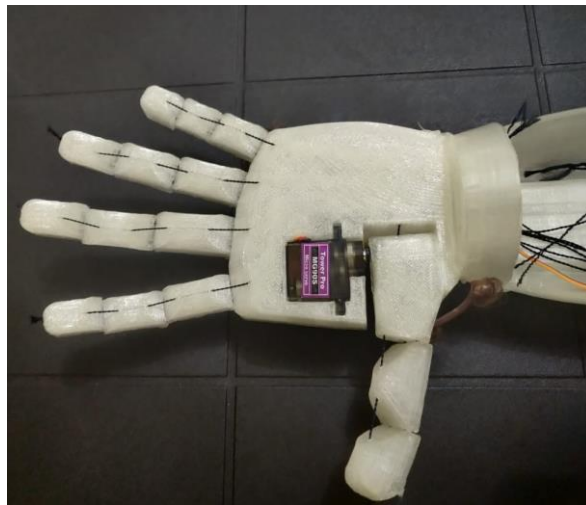
**Figura 3. 10 Placa Arduino y Shield EKG/EMG**  
Fuente: Autor



**Figura 3. 11 Placas Arduino y EKG/EMG**  
Fuente: Autor

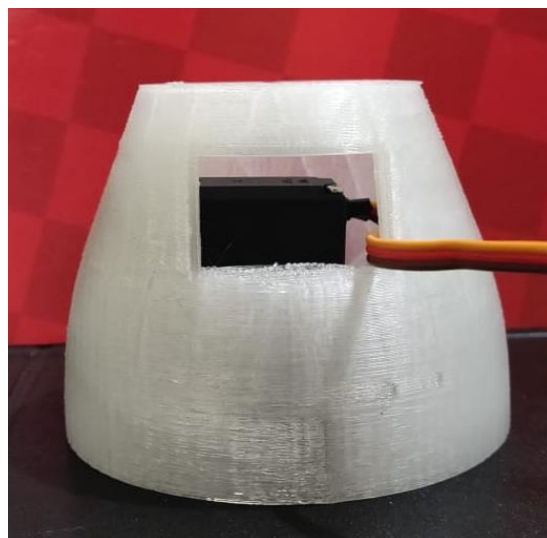
A la Shield EKG/EMG se encuentran conectados los servomotores que representan los dedos pulgar, índice, medio, anular y meñique respectivamente, conectados a los pines 3, 5, 9, 10 y 11; además del positivo y negativo y la respectiva señal, como se muestra a continuación. (Ver Figura 3.12)

Los servomotores que controlan el movimiento están unidos cada uno a los dedos de la mano por medio de un mini sistema de poleas que tensan las cuerdas según el movimiento requerido (Ver Figura 3.13). Para el caso del pulgar, el servomotor se encuentra adherido a la mano. (Ver Figura 3.14)

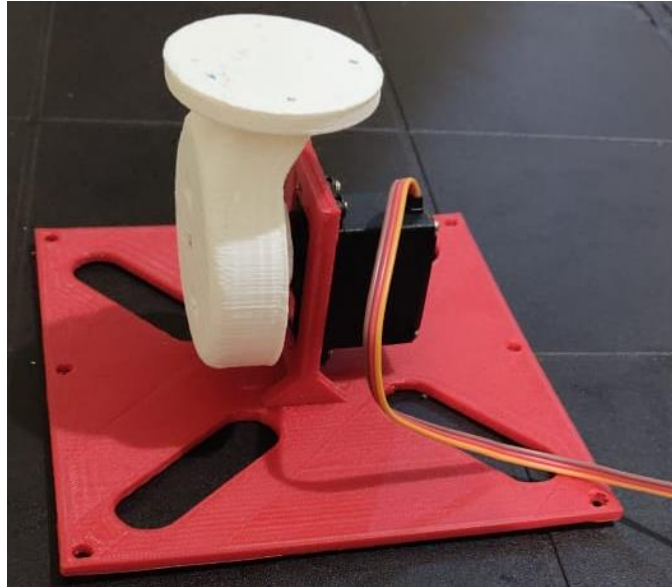


**Figura 3.12** Servomotor accionador del dedo pulgar  
Fuente: Autor

El servomotor que representan a los movimientos de rotación (brazo) y traslación (adelante y atrás) del servomotor que representa al codo están conectados a los pines 6 y 7 respectivamente, con la razón de que el codo o pin 7 será usado para movimientos especiales.



**Figura 3.13** Servomotor accionador del brazo  
Fuente: Autor



**Figura 3. 14** Servomotor accionador del codo  
Fuente: Autor

### **3.5. Pruebas de Implementación**

Como paso final, luego de la implementación completa del sistema se procede a realizar las pruebas que demuestren la funcionalidad del prototipo.

Las primeras pruebas a realizarse serán las de posicionamiento de los servomotores, esto se realiza dedo por dedo, controlando el movimiento de cada dedo por medio de un servomotor, se medirá el rango máximo y mínimo de movilidad que tiene el dedo sin ser forzado.

Para realizar la prueba de rango de posición de cada dedo, se procede a solo conectar el dedo en cuestión a la Shield y a variar el potenciómetro hasta llegar al rango máximo de flexión y extensión; el resultado del límite de movilidad será mostrado en el monitor serial del software Arduino.

#### **3.5.1. Consumo de Energía**

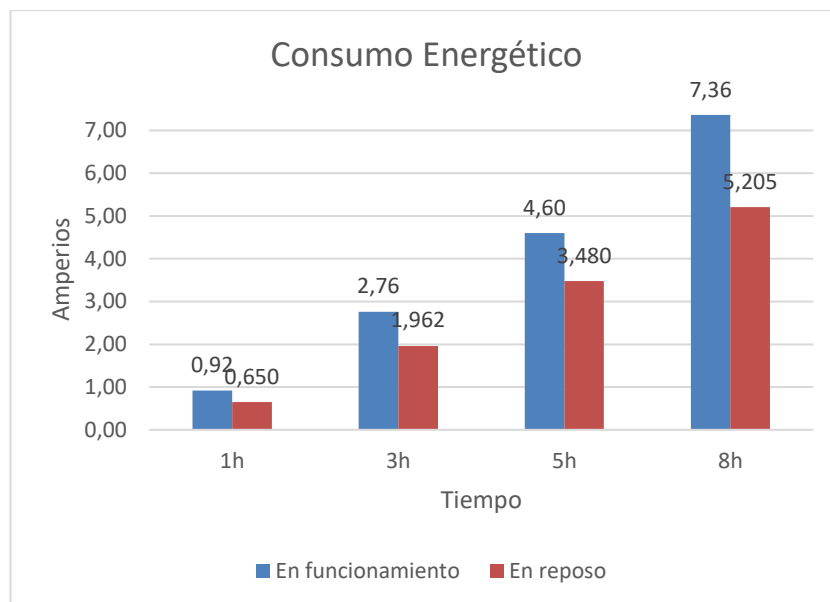
El nivel de consumo de energía es relativamente bajo por lo cual no representa un inconveniente al momento de utilizar la mano robótica (Ver tabla 3.2), sin embargo, para evitar cualquier inconveniente la conexión se a realizador por medio de un adaptador para convertir la corriente alterna de 110V y 1.2A a una corriente continua de 7V y 5A. A continuación, se detallan los valores del consumo energético obtenidos de uso de la mano robótica.

**Tabla 3.2** Consumo de energía

<b>Mano Robótica</b>		
<b>Tiempo</b>	<b>En funcionamiento</b>	<b>En reposo</b>
<b>1h</b>	920Ma	650Ma
<b>3h</b>	2,76 A	1962Ma
<b>5h</b>	4,6 A	3248Ma
<b>8h</b>	7,36 A	5205Ma

Fuente: Autor

En el diagrama 3.5 se observa que el consumo energético del sistema es considerablemente bajo incluso cuando se encuentra en funcionamiento. Para la recopilación de esta información se realizaron varias mediciones con diferentes tiempos de trabajo.



**Diagrama3.3** Consumo Energético

Fuente: Autor

### 3.5.2. Tiempos de reacción

Al realizar varias pruebas de funcionamiento con las distintas letras del abecedario Castellano, el promedio de los tiempos de reacción obtenidos en el monitor serie de arduino son los siguientes. (Ver Tabla 3.3)

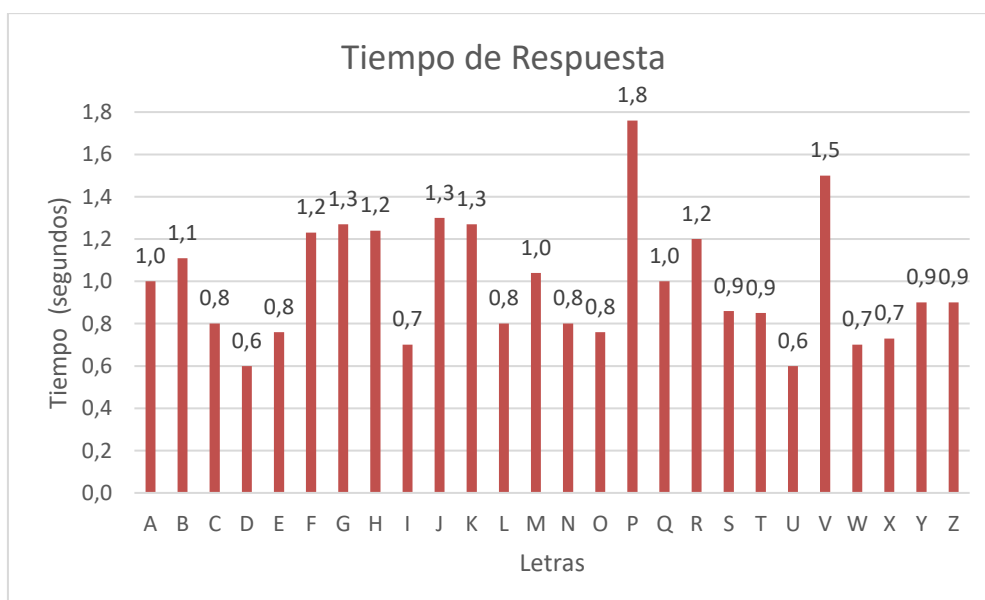
Se debe tener presente que la representación del lenguaje de señas no es universal, por lo que se debe realizar la traducción de acuerdo al país en el que se desee implementar el sistema de traductor robótico.

**Tabla 3.3** Tiempo de respuesta

LETRA	TIEMPO DE RESPUESTA (Segundos)	LETRA	TIEMPO DE RESPUESTA (segundos)
A	1	N	0,8
B	1,11	O	0,76
C	0,8	P	1,76
D	0,6	Q	1
E	0,76	R	1,2
F	1,23	S	0,86
G	1,27	T	0,85
H	1,24	U	0,6
I	0,7	V	1,5
J	1,3	W	0,7
K	1,27	X	0,73
L	0,8	Y	0,9
M	1,04	Z	0,9

Fuente: Autor

Según los datos recopilados en la tabla 3.3 se puede evidenciar que los tiempos de reacción son eficientes ya que tardan menos de 2 segundos para representar una letra asignada y al formar palabras el tiempo de reacción es una suma aproximada de los tiempos individuales de formar cada letra por separado. Del mismo modo se presenta el diagrama 3.6, mismo que obtiene un tiempo de reacción dependiendo del grado de dificultad que represente formar una letra del abecedario.



**Diagrama 3.4** Tiempo de Respuesta

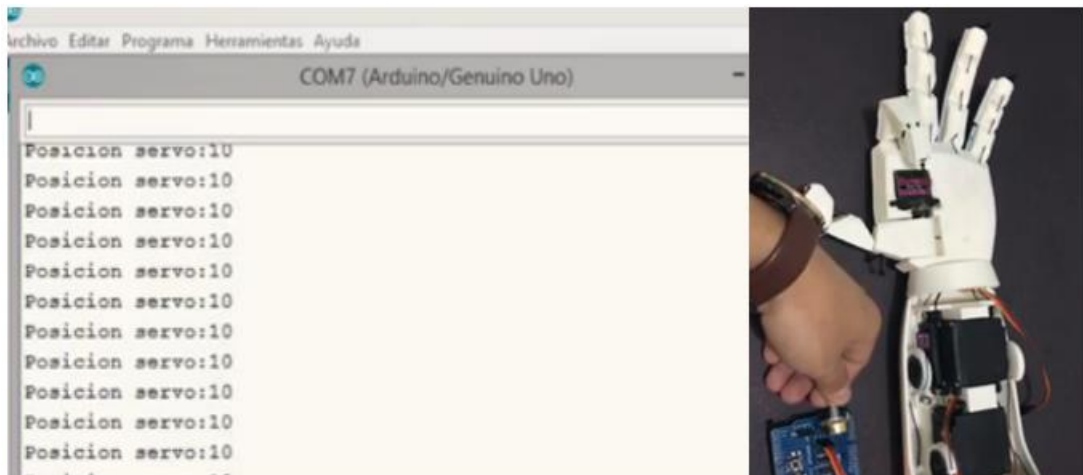
Fuente: Autor

### 3.5.3. Pruebas de posicionamiento

Se procede a calibrar el rango de flexión y extensión de los dedos de la mano robótica para que se pueda representar de manera comprensible la traducción de las letras a lenguaje de señas.

#### ➤ Pruebas de posicionamiento (índice)

El dedo índice de la mano robótica cuenta con los siguientes valores: rango de Flexión: 10 (Ver Figura 3.115) y como rango de Extensión: 160 (Ver Figura 3.16)

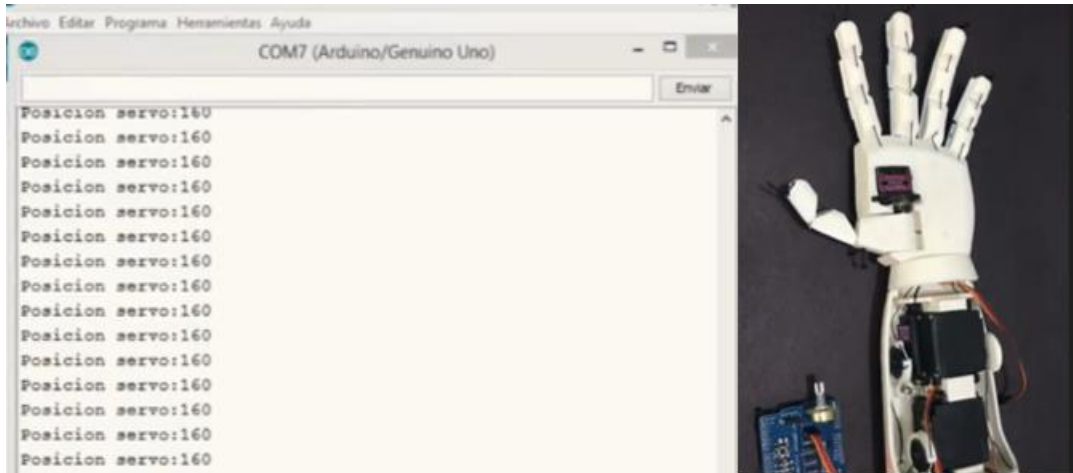


**Figura 3. 15** Prueba de flexión (índice)

Fuente: Autor

Mediante la calibración de la mano robótica es posible representar las letras y palabras q hacen uso del dedo índice. Por medio de esta prueba se corrobora que los dedos puedan mover libremente las articulaciones para no forzar el servomotor y prevenir daños en el mismo, evitando gastos innecesarios ocasionados por una mala calibración de los dedos de la mano robótica. Este proceso de calibración se lo realiza con cada uno de los dedos que conforman la mano robótica para luego proceder con la calibración de las letras que podrá traducir el sistema.





**Figura 3. 16** Prueba de Extensión (índice)  
Fuente: Autor

➤ **Prueba de posicionamiento (medio)**

El dedo medio de la mano robótica cuenta con los siguientes valores: rango de Flexión: 10 (Ver Figura 3.17) y como rango de Extensión: 170 (Ver Figura 3.18)



**Figura 3. 17** Prueba de flexión (medio)  
Fuente: Autor

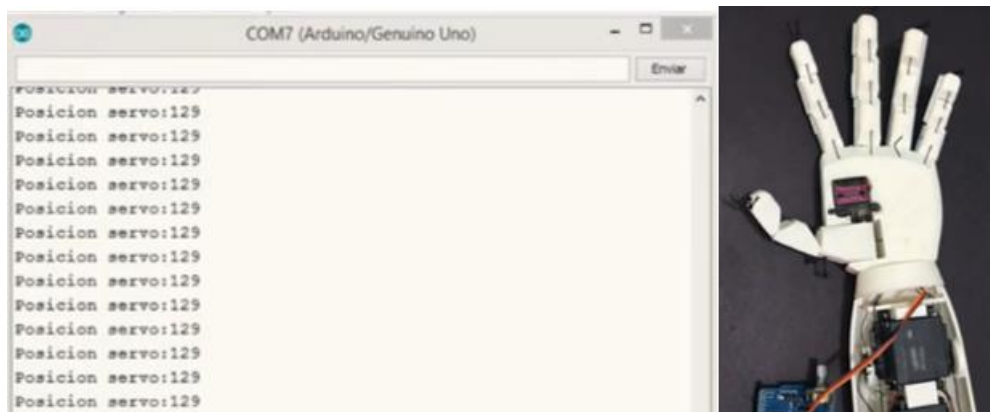
Mediante la calibración de la mano robótica es posible representar las letras y palabras q hacen uso del dedo medio. Y al emplear esta prueba se corrobora que los dedos puedan mover libremente las articulaciones para no forzar el servomotor y prevenir daños en el mismo.



**Figura 3. 18** Pruebas de extensión (medio)  
Fuente: Autor

➤ **Prueba de posicionamiento (pulgar)**

El dedo pulgar de la mano robótica cuenta con los siguientes valores: rango de Flexión: 60 (Ver Figura 3.19) y como rango de Extensión: 129 (Ver Figura 3.20).



**Figura 3. 19** Pruebas de extensión (pulgar)  
Fuente: Autor

Al calibrar el dedo pulgar se logra una correcta traducción de las letras que se representan con el uso de dicho dedo a lenguaje de señas.



**Figura 3. 20** Pruebas de Flexión (pulgar)  
Fuente: Autor

### 3.5.4. Pruebas de abecedario

A continuación, se muestran las pruebas de algunas letras del abecedario formadas a partir de la Shield EKG/EMG y el código respectivo en el software Arduino.

- Letra "A" (Figura 3.21)

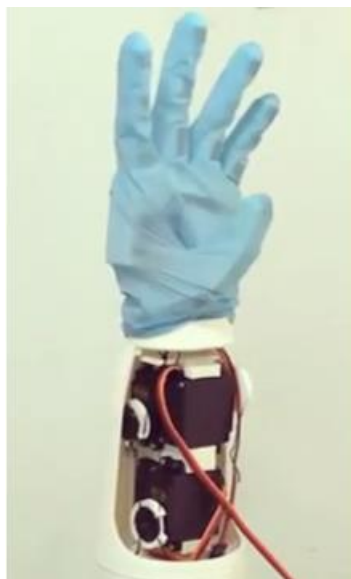


**Figura 3. 21** Calibración abecedario: letra "A"

Fuente: Autor

Luego de calibrar el rango de extensión y flexión de los dedos se procede a la programación para representar las letras del abecedario. Para la representación de la letra se considera la representación local de dicha letra ya que cada país tiene una forma local de representar el lenguaje de señas debido a q no tiene una representación universal.

- Letra "B" (Figura 3.22)



**Figura 3. 22** Calibración abecedario: letra "B"

Fuente: Autor

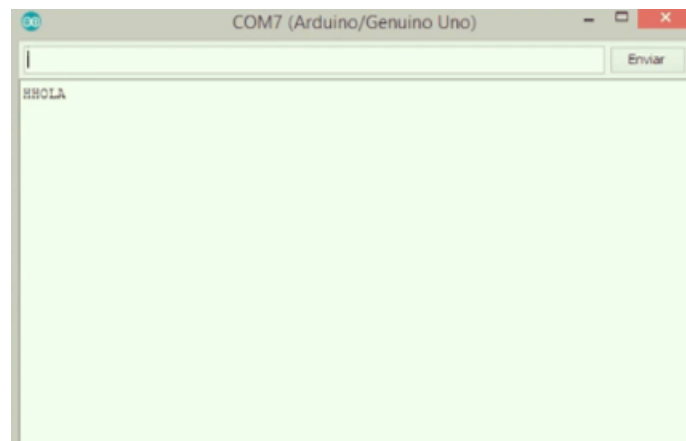
### 3.5.5. Pruebas de formación de palabras

Para la formación de palabras, se procede a escribir la palabra en el monitor serial, se envían el dato y la mano robótica se en carga de realizar la traducción. Tal y como se visualiza a continuación.

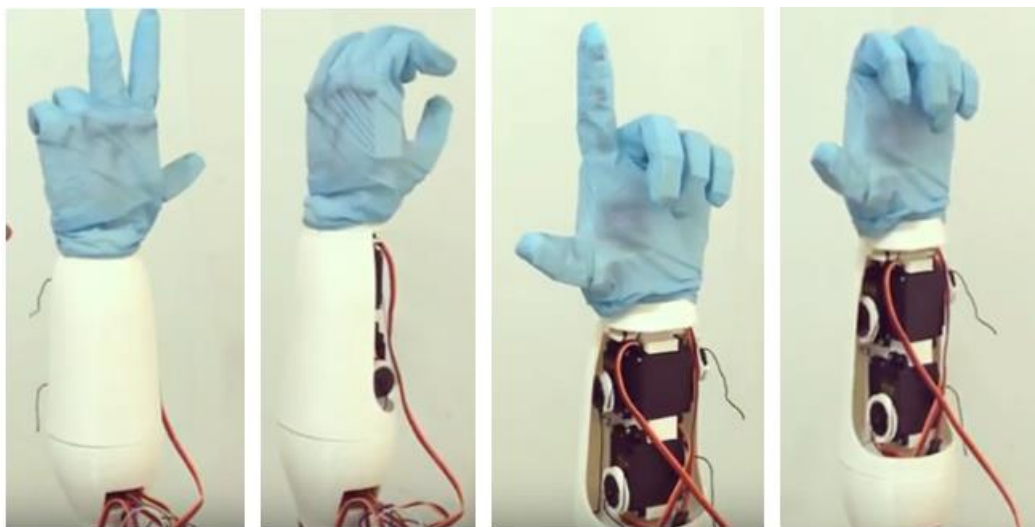
- Palabra “HOLA” (Figura 3.23);

Traducción a lenguaje de señas (Figura 3.24)

El tiempo de respuesta aproximado al formar una palabra es directamente proporcional a la suma de los tiempos individuales de representación de cada letra por separado. Con una correcta calibración el tiempo de representación a lenguaje de señas no supera los 2 segundos por cada letra.



**Figura 3. 23** Ingreso de palabra a monitor serial del Arduino  
Fuente: Autor



**Figura 3. 24** Traducción de la palabra "HOLA"  
Fuente: Autor

## **CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se logró obtener resultados satisfactorios en el desarrollo de traducción de datos a lenguaje de señas con tiempos de respuesta bajos y un alto nivel de comprensión de dicha traducción, por lo que se puede hacer uso del prototipo para lograr la comunicación eficiente con una persona con discapacidad auditiva que tenga conocimiento en lenguaje de señas.

### **4.1 Resultados del Estado del arte**

Según las investigaciones realizadas y los distintos proyectos y documentos de titulación recopilados es posible emplear un brazo robótico para que nos ayude a mejorar la vida del ser humano y se puede emplear como una herramienta que permita la comunicación de una persona que desconoce el lenguaje de señas con otra persona que no logra escuchar. El avance tecnológico de hoy en día incluso permite el uso de manos robóticas para mitigar el índice de accidentes laborales que se pueden suscitar en una empresa con actividades de riesgo.

### **4.2 Resultado del Hardware**

El material más eficiente para emplear en un prototipo de mano robótica es la fibra PLA ya que cuenta con la característica de ser lo suficientemente robusta y ligera como para facilitar el movimiento por medio de los servomotores, además que representa una optimización del recurso económico pues tiene un bajo costo en el mercado. Una placa arduino uno tiene la suficiente capacidad para brindar una comunicación eficiente sin hacer uso de un alto consumo de energía, además que con la ayuda de una shield de arduino se logra reducir aún más el tamaño del circuito para incorporarlo al esqueleto de la mano robótica y que básicamente forme parte de la misma y no se tome como un módulo aparte del mismo.

### **4.3 Resultado del Software y Firmware**

Al utilizar una placa arduino nos vemos limitados a utilizar por defecto el software de programación arduino, pero esto no implica que sea una limitación del todo ya que al ser un software libre existe mucha información útil que sirve para poder tener una

guía. Las librerías que existen en arduino permiten un control eficiente de los servomotores mediante la configuración de los mismos de acuerdo a las necesidades que se nos presentan para representar cada letra del lenguaje de señas.

#### **4.4 Resultado de las pruebas del prototipo**

El funcionamiento de la mano robótica es altamente eficiente ya que cuenta con tiempos de respuesta reducidos y un nivel de comprensión muy alto es decir que se comprenden todas las traducciones realizadas de los datos ingresados a lenguaje de señas, se alcanzó un nivel de eficiencia de un 99% en comprensión y capacidad de respuesta del sistema.

#### **4.5 Resultado Generales del Sistema**

El prototipo implementado cumple con el objetivo de desarrollar un prototipo de mano robótica controlada a través de un microcontrolador que permita traducir el lenguaje de señas para personas con problemas de audición. Al tener como parte central del funcionamiento el microcontrolador ATmega 328p se logra un bajo consumo energético con un alto nivel de respuesta, además con los materiales y equipos empleados se ha reducido el costo económico que tiene la implementación del sistema, tomando en consideración que la mano robótica tendrá un aproximado de 8 horas laborables se optó por no hacer uso de una batería, más bien se incorporó un adaptador de corriente continua. El sistema cuenta con una interfaz intuitiva para el ingreso de los datos y la programación de la placa arduino se encarga de realizar la comparación de los datos ingresados para representar el lenguaje de señas por medio del movimiento de los servomotores para mover las articulaciones de los dedos y resultando en la formación del lenguaje de señas.

#### **4.6 Discusión de resultados**

En el presente trabajo de titulación se procede a realizar el análisis de los resultados obtenidos, mediante el análisis de las características y funciones del sistema podemos plantear una mejor forma de comprensión del funcionamiento de nuestro sistema, y al tomar en consideración el análisis de los objetivos alcanzados verificaremos la eficacia y eficiencia del prototipo implementado, logrando comprobar

si se obtiene como resultado una solución a la problemática que surge al desarrollar el proyecto.

#### **4.6.1. Análisis de las características y funciones del sistema**

La detección eficiente de las distintas letras del alfabeto para traducir a lenguaje de señas mediante el sistema de control programado en la placa arduino, mismos que verificaron considerando los tiempos de respuesta de los actuadores que permiten el movimiento de las articulaciones de los dedos de la mano robótica.

#### **4.6.2. Cumplimiento de los Objetivos**

Se logró cumplir con el objetivo general, ya que se implementó el prototipo de mano robótica haciendo uso de la placa arduino para traducir datos de texto ingresados por el monitor serie de arduino a lenguaje de señas para lograr la comunicación con personas que presentan problemas de audición.

Mediante el análisis de los objetivos específicos se evidencia que se caracterizó de manera eficiente las variables que intervienen al momento de traducir datos ingresados al computador a lenguaje de señas mediante la investigación de distintos proyectos de titulación se estableció la correcta calibración de los servos para tener un tiempo de respuesta casi inmediato.

Del mismo modo se logró alcanzar un modelo de mano robótica con alta sensibilidad de movimiento en las articulaciones para poder representar de la mejor manera el lenguaje de señas y lograr la comunicación con las personas con problemas auditivos.

Para la implementación del prototipo de mano robótica se empleó el PLA que es un compuesto plástico eficiente que permite tener un correcto funcionamiento ya que ofrece características de robustez y al mismo tiempo es liviano para permitir el movimiento de los servomotores, lo cual se verifico mediante pruebas de representación de datos ingresados para ser traducidos por el sistema arduino.

#### **4.6.3. Análisis de la metodología**

El presente proyecto de titulación logro alcanzar los objetivos fundamentándose en el método investigativo, ya que al contar con varios proyectos relacionados se obtuvo información útil para lograr una correcta calibración y elección de los materiales adecuados para la implementación de la mano robótica, también se empleó el método deductivo para partir de soluciones generales a particulares y adaptarlas a las necesidades que se nos presentan en nuestra sociedad.

#### **4.6.4. Análisis de la solución del problema de investigación**

Al lograr el cumplimiento de los objetivos planteados, se pudo encontrar una solución eficaz y eficiente para poder incluir y brindar un servicio de calidad a las personas con discapacidad auditiva ya que empleando el sistema de mano robótica ya no será necesario que en una institución o departamento particular o del estado se encuentre una persona con conocimientos sobre lenguaje de señas sino que se puede emplear esta herramienta que se desarrolló para este proyecto de titulación, ayudando a ahorrar recursos económicos puesto que no se tendrá que invertir dinero en un trabajador especializado para dicha labor de traducción y también permitirá optimizar el tiempo de atención a las personas con discapacidad auditiva puesto que la traducción de los datos es casi inmediata logrando un tiempo de respuesta inferior a 2 segundos por cada letra ingresada y cuenta también con un nivel de comprensión del 99%.

#### **4.6.5. Discusión Final**

El proyecto desarrollado en el presente documento de titulación sobresale su bajo costo económico y su alto nivel de eficiencia y velocidad al traducir los datos ingresados a lenguaje de señas, además de tener un bajo consumo energético que sirve para poder mantener el sistema trabajando por más tiempo sin generar un mayor gasto en el consumo eléctrico. Posee una interfaz intuitiva para el ingreso de datos y toda la programación del sistema se puede mantener a la mano en un respaldo generado en una flash memory o una tarjeta SD. En conclusión, en un prototipo altamente eficiente y eficaz que permite la intercomunicación entre una persona con discapacidad auditiva con conocimiento en lenguaje de señas con un trabajador que brinda un producto o servicio que tiene desconocimiento sobre el lenguaje de señas.



## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

- La implementación de una mano robótica que permite traducir palabras en señas, es una solución viable, económica y buena para empezar a tener prácticas de inclusión con personas sordo – mudas en centros regulares de atención al cliente.
- El desarrollo del diseño de la mano robótica es minucioso al momento de calibrar la representación de las distintas letras ya que debe poseer todas las facilidades de movimiento de una mano humana para poder representar el lenguaje de señas de una manera correcta.
- Mediante las pruebas experimentales se pudo demostrar el funcionamiento óptimo de la mano robótica, logrando la traducción con un 99% de precisión, puesto que el promedio de tiempo de respuesta obtenido por cada letra fue de menos de 2 segundos lo que permite concluir que el diseño realizado es óptimo y eficaz.

### **5.2 Recomendaciones**

- Emplear una mano robótica en más ámbitos de la vida cotidiana para permitir la inclusión de personas con distintos tipos de capacidades especiales.
- Es importante ensamblar la mano de una manera tal, que los dedos y articulaciones tengan posibilidad de moverse libremente, y así luego evitarse problemas de movilidad y daño en los servomotores.
- Se deben realizar varias pruebas de comunicación con personas que tengan dificultades auditivas y ver la capacidad de entendimiento que proporciona la mano robótica.
- El proyecto puede ser implementado y manejado mediante una interfaz más dinámica y portátil.

### **5.3 Trabajo Futuro**

En proyectos futuros relacionados a implementación de manos robóticas se propone empezar con el modelamiento del prototipo para prevenir inconvenientes en la selección del material que hace de infraestructura del sistema, además en el mercado de las placas electrónicas arduino no es la única placa que se puede emplear una buena opción de implementación puede ser una placa Raspberry que presenta una gran variedad en cuanto a libertad de programación pudiendo añadir secciones de funcionamiento para la mano robótica y pudiendo lograr tiempos de respuesta aún más eficientes o un ahorro de energía para lograr tener un sistema portátil que no tenga la necesidad de conectarse directamente a la toma de corriente.

## Referencias Bibliográficas

- Akbari, F. (2014, septiembre 6). What AVR microcontroller? -avr-what-avr-microcontroller/
- Ali, R., Bakr, N., Fauzi, N., & Akmeliawati, R. (2019). *SignBot, Sign-Language Performing Robot, Based on Sequential Motion of Servo Motor Arrays* (pp. 239-249). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-78452-6\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78452-6_20)
- Almond, L., & SWNS. (2018, marzo 19). 3-D-printed robotic arm translates words into sign language. *New York Post*. <https://nypost.com/2018/03/19/3d-printed-robotic-arm-translates-words-into-sign-language/>
- Andrade, D., & Zuñiga, D. (2011). *Diseño y construcción de una mano robótica para la enseñanza del alfabeto dactilológico universal para personas sordomudas*.
- Anónimo. (2017, abril). Articulaciones carpo muñeca. *ReHand: Rehabilitación de Mano a través de la Tablet*. <https://rehand.net/carpo-y-muneca-rehabilitacion-conclusiones-marc-garcia-elias/articulaciones-carpo/>
- Azañero, C. (2007). *Antebrazo y Mano*.  
<https://www.slideshare.net/azanero33/antebrazo-y-mano>
- Berke, J. (2019, julio 23). *Nonverbal Users of Sign Language*. Verywell Health.  
<https://www.verywellhealth.com/sign-language-nonverbal-users-1046848>
- Cailliet, R. (2006). *Anatomía funcional, biomecánica*. Marbán.
- Cala Hernández, O., Licourt Otero, D., & Cabrera Rodríguez, N. (2015). Autismo: Un acercamiento hacia el diagnóstico y la genética. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, 19(1), 157-178.
- Centralx. (2011). *Articulación Metacarpofalángica—Atlas de Anatomía del Cuerpo Humano*.

<http://www.centralx.es/p/imagen/sistema-musculo esqueletico/esqueleto/articulaciones/articulaciones-de-la-mano/articulacion-metacarpofalangica/>

Céspedes Machicao, M. (2017). CARACTERÍSTICAS DE LAS PLACAS ARDUINO. *Universidad Autónoma Juan Misael Saracho*, 2, 6.

Dario, P., Laschi, C., & Roccella, S. (2002). [PDF] *A Human-like Robotic Manipulation System Implementing Human Models of Sensory-Motor Coordination* | *Semantic Scholar*. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Human-like-Robotic-Manipulation-System-Human-of-Dario-Laschi/55968afc946f1c604a5510057943b671442a61dd>

Das, D., Eldridge, A., Lewis, R., Lotha, G., & Tikkanen, A. (2012, Abril 2). *Sign language* | *communications*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/sign-language>

Farnell, J. (2015). *Motor Control Servo Motors*. Farnell an Avnet Company. <https://es.farnell.com/motor-control-servo-motors-technology>

Hernández, D., & Hernández, L. (2011, mayo 15). SEMIOLOGÍA OSTEOARTICULAR: ARTICULACIÓN DE LA MUÑECA. *SEMIOLOGÍA OSTEOARTICULAR*. <http://introduccionalapm.blogspot.com/2011/05/articulacion-de-la-muneca.html>

Hertling, D., & Kessler, R. M. (1996). *Management of common musculoskeletal disorders physical therapy principles and methods* (3rd ed). Philadelphia J.B. Lippincott. <https://trove.nla.gov.au/version/208109390>

- Hurtado, J. (2019). *SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA APLICADO A LA SOLUCION SALINA, PARA REDUCIR LOS EFECTOS DE HIPOTERMIA DURANTE LA ANESTESIA EN CIRUGIA*. 117.
- Kaulitzki, S. (s. f.). *Ilustración Médica Precisa De Los Huesos Metacarpianos Fotos, Retratos, Imágenes Y Fotografía De Archivo Libres De Derecho*. Recuperado 18 de noviembre de 2019, de [https://es.123rf.com/photo\\_42458963\\_ilustraci%C3%B3n-m%C3%A9dica-precisa-de-los-huesos-metacarpianos.html](https://es.123rf.com/photo_42458963_ilustraci%C3%B3n-m%C3%A9dica-precisa-de-los-huesos-metacarpianos.html)
- Kececi, E. F. (2019). Actuators. En E. F. Kececi (Ed.), *Mechatronic Components* (pp. 145-154). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814126-7.00011-6>
- Mae, R., Metz, C., & Taylor, R. (2018, julio 30). *How Robot Hands Are Evolving to Do What Ours Can*. The New York Times. <https://www.nytimes.com/interactive/2018/07/30/technology/robot-hands.html>
- Mecafenix, F. (2017, abril 25). Arduino ¿Que es, ¿cómo funciona? Y sus partes. *Ingeniería Mecafenix*. <https://www.ingmecafenix.com/electronica/arduino/>
- MedSchoolStuff. (s. f.). *Extremidad Superior: Anatomía de la mano*. Scribd. Recuperado 15 de noviembre de 2019, de <https://www.scribd.com/doc/35695943/Extremidad-Superior-Anatomia-de-la-mano>
- Meghdari, A., Alemi, M., Zakipour, M., & Kashanian, A. (2018). Design and Realization of a Sign Language Educational Humanoid Robot. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*,

<https://link.springer.com/epdf/10.1007/s10846-018-0860-2>

<https://doi.org/10.1007/s10846-018-0860-2>

Octopart. (2018). *Olimex SHIELD-EKG-EMG*. Octopart. <https://octopart.com/shield-ekg-emg-olimex-22206163>

Olimex. (2018). *SHIELD-EKG-EMG - Open Source Hardware Board*. Olimex. <https://www.olimex.com/Products/Duino/Shields/SHIELD-EKG-EMG/open-source-hardware>

Pettit, H. (2018, marzo 19). *ASLAN robot arm translates words into sign language for deaf people*. Daily Mail Online. <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-5517971/ASLAN-robot-arm-translates-words-sign-language-deaf-people.html>

Redacción BBC. (2014, agosto 8). *Las 5 cosas menos conocidas sobre la sordera*. BBC News Mundo. [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140808\\_salud\\_cinco\\_cosas\\_que\\_no\\_sabe\\_sordera\\_lv](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140808_salud_cinco_cosas_que_no_sabe_sordera_lv)

Sanchez, M. (2018, septiembre 29). *Comunidad sorda en Ecuador: Un mundo de señas, silencio y lucha*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/09/29/nota/6977300/ecuador-comunidad-sorda-mundo-senas-silencio-lucha>

Schmidt, M. (2015). *Arduino: A quick-start guide* (Second edition). The Pragmatic Bookshelf.

Tamara. (2010). *Alfabeto dactilológico imágenes: El pequeño gran rincón de maestros de AL. Alfabeto dactilológico imágenes*. <http://elpequenogranrincon.blogspot.com/2010/03/alfabeto-dactilologico-imagenes.html>

Thompson, D. (2011, enero 27). *BIOMECHANICS OF THE HAND*.

<https://ouhsc.edu/bserdac/dthompo/web/namics/hand.htm>

Torres, B. (2005). *Anatomía Humana*.

[http://www.publicacions.ub.edu/liberweb/sistemaLocomotor\\_vol1\\_esp/html/articmano001.htm](http://www.publicacions.ub.edu/liberweb/sistemaLocomotor_vol1_esp/html/articmano001.htm)

Trome. (2017, agosto 22). *¿Sabes cuántos huesos tiene la mano?*

<https://trome.pe/familia/escuela/huesos-mano-explicamos-detalle-59851>

Tushar. (2013, julio 25). *Controlling servo motor with AVR*. Embedds.

<https://embedds.com/controlling-servo-motor-with-avr/>

Velázquez, A., Merchan, E., Hernandez, L., & Urriolagoitia, G. (2007). *Rango de movilidad y función descriptiva del dedo índice*. 11, 177-188.

Williams, E. (2017, marzo 2). *Signbot-hand-mirroring-demo-pckfq2rfdxamkv-*

*shot0005\_featured\_bright*. *Hackaday*. [https://hackaday.com/signbot-hand-mirroring-demo-pckfq2rfdxamkv-shot0005\\_featured\\_bright/](https://hackaday.com/signbot-hand-mirroring-demo-pckfq2rfdxamkv-shot0005_featured_bright/)

## ANEXOS

A continuación, se muestran las pruebas de algunas letras del abecedario formadas a partir de la Shield EKG/EMG y el código respectivo en el software Arduino.

- Letra "A" (Figura anexo1)

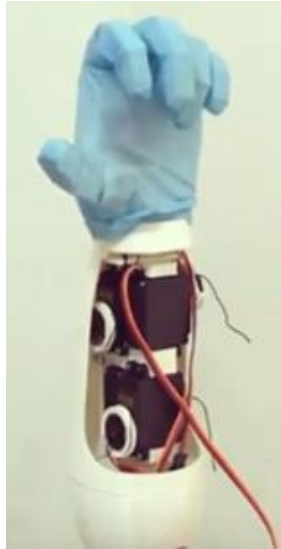


Figura anexo1 Calibración abecedario: letra "A"  
Fuente: Autor

- Letra "B" (Figura anexo2)

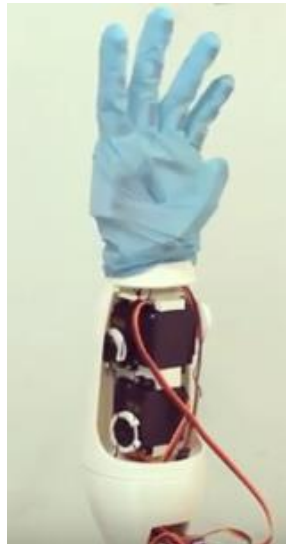


Figura anexo2 Calibración abecedario: letra "B"  
Fuente: Autor



- Letra “C” (Figura anexo3)



Figura anexo3 Calibración abecedario: letra "C"  
Fuente: Autor

- Letra “D” (Figura anexo4)

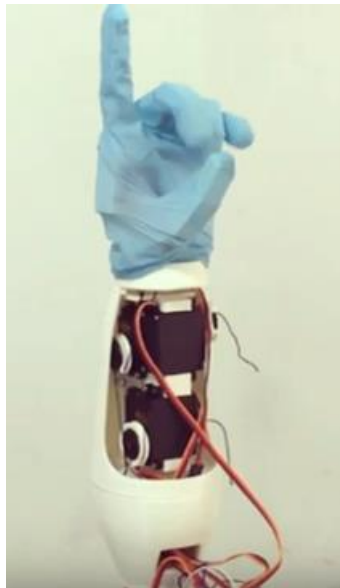


Figura anexo4 Calibración abecedario: letra "D"  
Fuente: Autor

- Letra “E” (Figura anexo5)

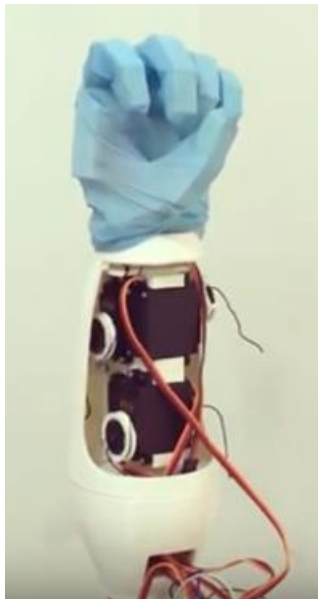


Figura anexo5 Calibración abecedario: letra "E"  
Fuente: Autor

- Letra “F” (Figura anexo6)



Figura anexo6 Calibración abecedario: letra "F"  
Fuente: Autor

- Letra “G” (Figura anexo7)

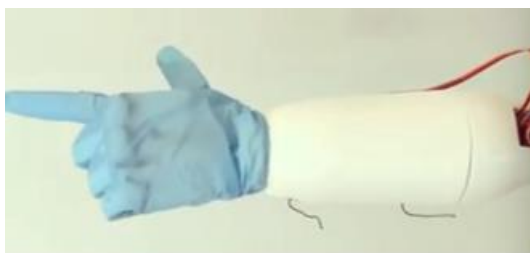


Figura anexo7 Calibración abecedario: letra "G"  
Fuente: Autor

- Letra “H” (Figura anexo8)

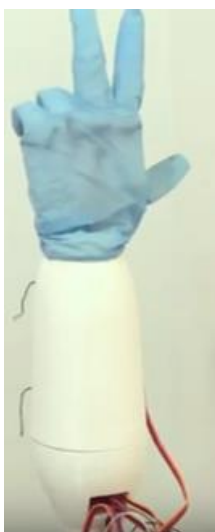


Figura anexo8 Calibración abecedario: letra "H"  
Fuente: Autor

- Letra “I” (Figura anexo9)

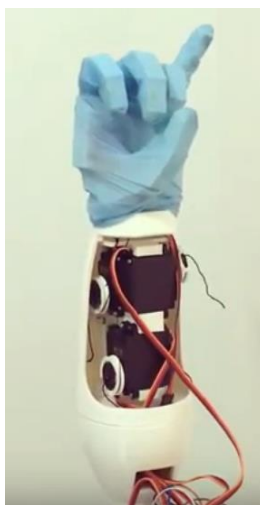


Figura anexo9 Calibración abecedario: letra "I"  
Fuente: Autor

- Letra "J" (Figura anexo10)

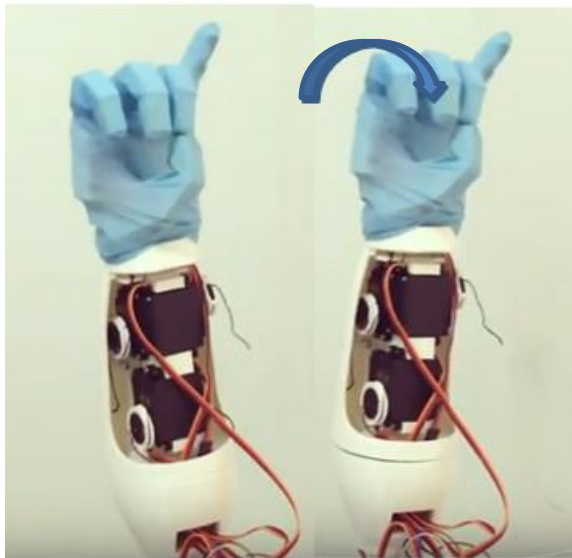


Figura anexo10 Calibración abecedario: letra "J"  
Fuente: Autor

- Letra "K" (Figura anexo11)

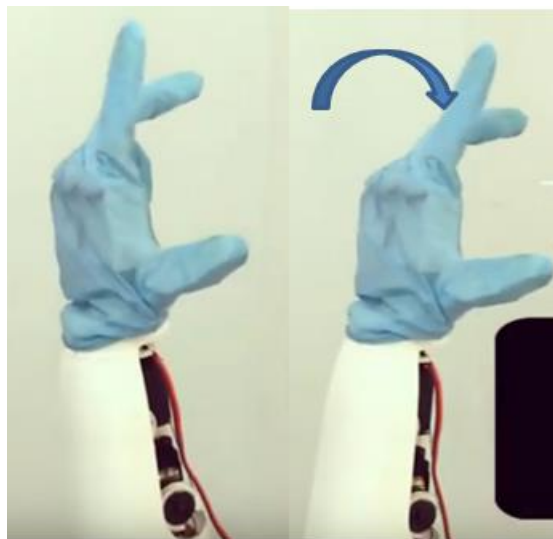


Figura anexo11 Calibración abecedario: letra "K"  
Fuente: Autor

- Letra “L” (Figura anexo12)

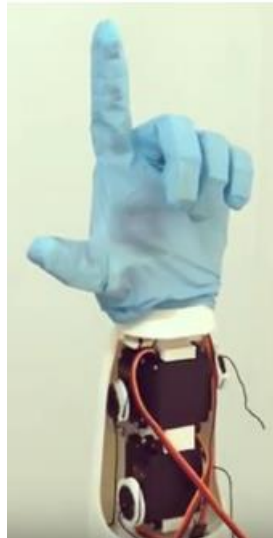


Figura anexo12 Calibración abecedario: letra "L"  
Fuente: Autor

- Letra “M” (Figura anexo13)|



Figura anexo13 Calibración abecedario: letra "M"  
Fuente: Autor

- Letra “N” (Figura anexo14)



Figura anexo14 Calibración abecedario: letra "N"  
Fuente: Autor

- Letra “O” (Figura anexo15)

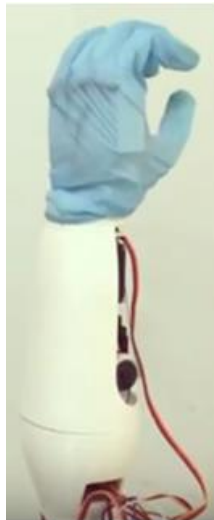


Figura anexo15 Calibración abecedario: letra "O"  
Fuente: Autor

- Letra "P" (Figura anexo16)



Figura anexo16 Calibración abecedario: letra "P"  
Fuente: Autor



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **España Cajiao, Marlon Patricio**, con C.C: 0802969915 autor/a del trabajo de titulación "**Diseño y construcción de un traductor de lenguaje de señas, para facilitar la comunicación entre personas mediante una computadora y una mano robótica** " previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 27 de febrero de 2020

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **España Cajiao, Marlon Patricio**

C.C: **0802969915**



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Diseño y construcción de un traductor de lenguaje de señas, para facilitar la comunicación entre personas mediante una computadora y una mano robótica		
<b>AUTOR(ES)</b>	España Cajiao, Marlon Patricio		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Daniel Bayardo, Bohórquez Heras		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	27 de Febrero del 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	87
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Robótica Lenguaje de Señas		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Microcontrolador, Traductor, Mano, Robótica, Lenguaje de Señas, Comunicación con Sordo Mudos.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>La inclusión de personas sordas mudas es una necesidad que se encuentra presente en las distintas instituciones públicas y privadas del Ecuador, por tal motivo este proyecto de titulación presenta una alternativa para solucionar esta problemática de manera eficiente y eficaz. La solución presentada es un equipo es un equipo portátil que permitiría la traducción de texto a lenguaje de señas por medio de un brazo robótico que permitirá la interacción del personal de atención al cliente con personas sordas mudas, alcanzando un nivel de comprensión del 99% entre el emisor y el receptor. El equipo funciona por medio de una mano robótica que es la que se encarga de transmitir el mensaje previamente escrito en la computadora, por medio de señas en tiempo real. El desarrollo de este trabajo se realiza con el interés de brindar inclusión en centros o instituciones de atención al cliente a personas con problemas de audición, no han sido documentados sistemas similares dentro del país y esta es una opción muy viable para dar solución a esta problemática.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593 978706857	E-mail: <a href="mailto:marlonpato2009@gmail.com">marlonpato2009@gmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Mendoza Merchán Eduardo Vicente		
	<b>Teléfono:</b> +593 9-9-85086815		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec">eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			