



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

“Guante Electrónico para Traducir de Lenguaje de Señas a Caracteres con Voz Artificial y Conexión Inalámbrica a Dispositivos Móviles para Personas con Discapacidad Auditiva y de Lenguaje en la Universidad Técnica de Ambato.”

Proyecto de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas Embebidos

AUTOR: Diego Alejandro Guzmán Arellano

TUTOR: Ing. Mg. Geovanni Brito M.

Ambato – Ecuador

Enero 2017

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema: “GUANTE ELECTRÓNICO PARA TRADUCIR DE LENGUAJE DE SEÑAS A CARACTERES CON VOZ ARTIFICIAL Y CONEXIÓN INALÁMBRICA A DISPOSITIVOS MÓVILES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA Y DE LENGUAJE EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, del señor DIEGO ALEJANDRO GUZMÁN ARELLANO, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones , de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Enero 2017.

EL TUTOR

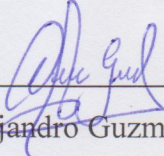


Ing. Mg. Giovanni Danilo Brito Moncayo

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: “GUANTE ELECTRÓNICO PARA TRADUCIR DE LENGUAJE DE SEÑAS A CARACTERES CON VOZ ARTIFICIAL Y CONEXIÓN INALÁMBRICA A DISPOSITIVOS MÓVILES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA Y DE LENGUAJE EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Enero 2017.



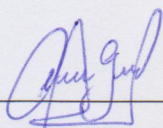
Diego Alejandro Guzmán Arellano
C.C. 0202027108

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato, Enero 2017.



Diego Alejandro Guzmán Arellano

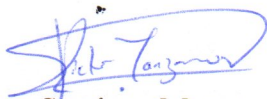
C.C. 0202027108

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

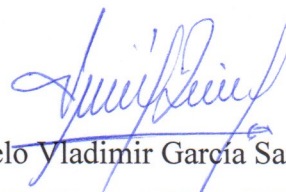
La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Víctor Santiago Manzano Villafuerte e Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez , revisó y aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “GUANTE ELECTRÓNICO PARA TRADUCIR DE LENGUAJE DE SEÑAS A CARACTERES CON VOZ ARTIFICIAL Y CONEXIÓN INALÁMBRICA A DISPOSITIVOS MÓVILES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA Y DE LENGUAJE EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.”, presentado por el señor Diego Alejandro Guzmán Arellano de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Víctor Santiago Manzano Villafuerte
DOCENTE CALIFICADOR



Ing. Marcelo Vladimir García Sánchez
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA:

Primeramente a Dios quien me ha dado fortaleza y sabiduría durante todos estos años de estudio.

A mis padres por ser un pilar fundamental en mi vida y por inculcarme valores de responsabilidad, honestidad y esfuerzo en todas las metas que me he propuesto.

A mi hermana cuyo apoyo incondicional y consejos me han permitido llegar a esta meta.

Diego Alejandro Guzmán Arellano

AGRADECIMIENTO:

A Dios por bendecirme y darme la fortaleza para cumplir esta meta. .

A la Universidad Técnica de Ambato y especialmente a la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones donde recibí formación académica de excelencia.

A mi familia cuyo apoyo incondicional ha representado un pilar fundamental en la culminación de mi carrera.

Al Ingeniero Geovanni Brito quien con su experiencia profesional ha representado un apoyo esencial para culminar el presente proyecto.

Diego Alejandro Guzmán Arellano

INDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	i
AUTORÍA	ii
DERECHOS DE AUTOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPITULO 1.....	1
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 TEMA.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 DELIMITACIÓN DE CONTENIDOS	3
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.5 OBJETIVOS.....	4
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
CAPITULO 2.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	5
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
2.2.1 EL SENTIDO DEL OIDO	8
2.2.2 DISCAPACIDAD AUDITIVA.....	9
2.2.3 CAUSAS Y CLASIFICACIÓN DE LA PÉRDIDA AUDITIVA	9
2.2.4. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA.....	11
2.2.4.1 SISTEMAS ORALES	11

2.2.4.2	SISTEMAS COMPLEMENTARIOS	11
2.2.5	LENGUAJE DE SEÑAS.....	12
2.2.5.1	PARAMETROS FORMACIONALES	12
2.2.6	DACTILOLOGÍA O ALFABTO GESTUAL	13
2.2.7	TECNOLOGIAS ASISTIVAS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA Y DE LENGUAJE.....	16
2.2.8.	PLATAFORMAS ELECTRÓNICAS DE CÓDIGO ABIERTO	16
2.2.9.	ARDUINO.....	17
2.2.10.	RASPBERRY PI.....	21
2.2.11.	BEAGLEBONE BLACK.....	23
2.2.12.	NANODE	23
2.2.13.	HERRAMIENTAS DE SOFTWARE LIBRE	24
2.2.13.1	TIPOS DE LICENCIAS.....	25
2.2.13.2	APP INVENTIR.....	26
2.2.14.	TECNOLOGIAS INALAMBRICAS.....	27
2.2.15.	ESTÁNDAR 802.15: BLUETOOTH.....	27
2.2.16.	REDES WBAN (WIRELESS BODY AREA NETWORK).....	28
2.2.16.1	TECNOLOGIA DE SOPORTE PARA LAS REDES WBAN	28
2.2.16.2	APLICACIONES DE LAS REDES WBAN	29
2.3	PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	30
 CAPITULO 3.....		31
MARCO METODOLÓGICO		31
3.1	MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
3.1.1	INVESTIGACIÓN APLICADA.....	31
3.1.2	INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	31
3.1.3	INVESTIGACIÓN DE CAMPO	31
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.3.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	32
3.4.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	32
3.5.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	32
 CAPITULO 4.....		34
DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....		34

4.1.	CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO DEL SISTEMA	34
4.1.1	USUARIOS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	34
4.1.2	MÉTODO DE TRADUCCIÓN	35
4.1.3	DIMENSIONES DEL GUANTE ELECTRÓNICO.....	36
4.2.	ESTRUCTURA DEL GUANTE ELECTRÓNICO.....	36
4.3	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.....	38
4.3.1	SELECCIÓN DEL MODO DE TRADUCCIÓN	39
4.3.2	ENTRADA DE DATOS	40
4.3.3	ADQUISICIÓN DE SEÑALES.....	41
4.3.4.	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	41
4.3.5.	SALIDA DE INFORMACIÓN.....	41
4.4.	SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	42
4.4.1.	SELECCIÓN DE LA PANTALLA PARA LA INTERFAZ.....	42
4.4.2.	SELECCIÓN DE SENSORES	44
4.4.2.1	JUSTIFICACIÓN DEL SENSOR SELECCIONADO.....	44
4.4.2.2.	SENSOR FLEXIBLE.....	45
4.4.2.3	ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL.....	46
4.4.2.4	DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE LOS SENSORES CON LA TARJETA ELECTRÓNICA	48
4.4.3	SELECCIÓN DEL ACELERÓMETRO.....	48
4.4.3.1	ESPECIFICACIONES DEL SENSOR MA7361.....	49
4.4.4	SELECCIÓN DE LA TARJETA ELECTRÓNICA	51
4.4.4.1	JUSTIFICACIÓN DE LA TARJETA SELECCIONADA	51
4.4.5	SELECCIÓN DEL MÓDULO TEXT TO SPEECH	53
4.4.6	SELECCIÓN DEL MÓDULO BLUETOOTH.....	54
4.5	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	55
4.6	DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	57
4.7	DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	60
4.8	PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN MOVIL.....	61
4.9	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	63
4.10	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	64
4.11	PRESUPUESTO	70
CAPITULO 5		71

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1 CONCLUSIONES.....	68
5.2 RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	70
ANEXOS Y APENDICES	80
ANEXO A: MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.....	81
ANEXO B: PROGRAMACIÓN DE LA TARHETA ELECTRÓNICA.....	90
ANEXO C: DATASHEET DEL SENSOR FLEXIBLE.....	94
ANEXO D: DATASHEET ARDUINO MEGA 2560	96
ANEXO E: DATASHEET EMIC 2	104
ANEXO F: DATASHEET DE MODULO BLUETOOTH HC-05.....	107
ANEXO G: DATASHEET SHIELD TFT LCD 2.8''.....	113
ANEXO H: DATASHEET DEL SENSOR MMA7361	119

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Estructura del oído humano	8
Figura N° 2. Alfabeto Dactilológico Universal	14
Figura N° 3. Entorno de desarrollo integrado Arduino	23
Figura N° 4. Raspberry Pi 3	22
Figura N° 5. Beagleboard Black.....	23
Figura N° 6. Nanode.....	24
Figura N° 7. Entorno de App Inventor	26
Figura N° 8. Aplicaciones de Redes WBAN: Cirugía	30
Figura N° 9: Alfabeto Dactilológico	35
Figura N° 10. Referencia de las dimensiones del guante	36
Figura N° 11. Vista superior del guante electrónico	37
Figura N° 12. Vista inferior del guante electrónico	37
Figura N° 13. Diagrama de bloques del sistema electrónico.....	38
Figura N° 14. Diagrama físico del sistema electrónico.....	39
Figura N° 15. Configuración manual para seleccionar el modo local.....	39
Figura N° 16. Configuración manual para seleccionar el modo bluetooth	40
Figura N° 17. Configuración manual para salir.....	40
Figura N° 18. Pantalla TFT para la selección del modo de traducción.....	42
Figura N° 19. Funcionamiento del sensor flexible.....	45
Figura N° 20. Circuito divisor de tensión.....	46
Figura N° 21. Diagrama de conexiones del sensor flexible	48
Figura N° 22. Distribución de pines del sensor MA7361	50
Figura N° 23. Distribución de pines del módulo EMIC2.....	53
Figura N° 24. Funcionamiento del modo local	55
Figura N° 25. Funcionamiento del modo bluetooth	56
Figura N° 26. Diagrama de flujo del sistema electrónico	57
Figura N° 27. Diagrama de flujo del modo local	58
Figura N° 28. Diagrama de flujo del modo bluetooth.....	59
Figura N° 29. Diagrama de conexiones del sistema electrónico	60
Figura N° 30 Interfaz de la aplicación móvil	61
Figura N° 31. Primer segmento de la programación de bloques.....	61
Figura N° 32. Segundo segmento de la programación de bloques.....	62

Figura N° 33. Tercer segmento de la programación de bloques	62
Figura N° 34. Implementación de guante electrónico	63
Figura N° 35. Precisión del sistema con lo sensores flexibles	64
Figura N° 36. Precisión del sistema con la señal del acelerómetro	65
Figura N° 37. Pruebas del guante electrónico.	66
Figura N° 37. Pruebas del guante electrónico.	66
Figura N° A.1 Dimensiones el guante electrónico	81
Figura N° A.2 Estructura del guante electrónico/sensores flexibles	82
Figura N° A.3 Estructura del guante electrónico/brazalete	82
Figura N° A.4 Speaker del guante electrónico	83
Figura N° A.5 Ranura para la batería de 9v	83
Figura N° A.6 Menú del guante electrónico.....	84
Figura N° A.7 Interfaz del modo local	85
Figura N° A.8 Traducción de una letra	85
Figura N° A.9 Configuración Manual para salir del modo local	86
Figura N° A.10 Pantalla de inicio del modo bluetooth	86
Figura N° A.11. Procedimiento para establecer la comunicación bluetooth.....	87
Figura N° A.12 Procedimiento para establecer la comunicación bluetooth.....	87
Figura N° A.13 Envío de mensajes desde el guante al dispositivo móvil	98
Figura N° A.14. Recepción de mensajes desde el dispositivo móvil al guante.....	98
Figura N° A.15 Configuración Manual para salir del modo bluetooth	89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Posibilidades De Audición Y Lenguaje De Acuerdo Al Grado De Pérdida Auditiva	13
Tabla N° 2. Especificaciones Técnicas de las Tarjetas Arduino	18
Tabla N° 3. Tabla comparativa de las pantallas para la interfaz del sistema	42
Tabla N° 4. Tabla comparativa de los sensores para la etapa de sensado	44
Tabla N° 5. Tabla comparativa de Acelerómetros	49
Tabla N° 6. Función de los pines del sensor MA7361	50
Tabla N° 7. Tabla comparativa de tarjetas electrónicas	51
Tabla N° 8. Asignación de Pines Arduino Mega 2560	52
Tabla N° 9. Tabla comparativa de módulos Text To Sppech.....	53
Tabla N° 10. Función de los pines del módulo EMIC2	54
Tabla N° 11. Comparación de módulos Bluetooth	54
Tabla N° 8. Presupuesto	68

RESUMEN

La tecnología asistiva permite a las personas con cualquier discapacidad involucrarse en actividades cotidianas mediante el uso de sistemas electrónicos. En el caso de personas con discapacidad auditiva la necesidad de comunicarse con otros individuos es esencial en su desenvolvimiento dentro de la sociedad. Por esta razón se ha desarrollado un guante electrónico que permite traducir el lenguaje de señas en caracteres y reproducirlos mediante un módulo de voz artificial y a su vez ofrece la posibilidad de intercambiar mensajes mediante tecnología bluetooth facilitando la comunicación de personas que padecen discapacidad auditiva.

El sistema electrónico desarrollado cuenta con dos modos de traducción; el primero permite al usuario emitir la traducción mediante un sintetizador de voz artificial mientras que el segundo modo permite establecer una conexión bluetooth con un dispositivo móvil y de esta forma la persona discapacitada puede emitir y recibir mensajes que son visualizados en una pantalla ubicada en el guante electrónico.

Como resultado las personas con discapacidad auditiva van a contar con una herramienta portable, ergonómica y eficaz que les permite comunicarse de manera fluida mejorando su desenvolvimiento dentro de la sociedad.

Palabras clave: Discapacidad Auditiva, Guante Electrónico, Lenguaje de Señas, Tecnología Asistiva, Wearable.

ABSTRACT

Assistive technology allows people with any disability engage in everyday activities by using electronic systems. In the case of hearing impaired people need to communicate with others is essential in its performing within society. For this reason the electronic glove developed allows translate sign language in characters that are played by a module of artificial voice, and also offers the possibility of exchanging messages via bluetooth technology that facilitates communication of people that suffer from hearing impairment.

The electronic system developed has two modes of translation, the first one allows the user to emit the translation through a voice synthesizer and an audio output.

The second mode allows to establish a Bluetooth connection to a mobile device and thus the deaf person can send the translation and in turn receive messages that are displayed on a screen located in the electronic glove

As a result people with hearing impairment will have a portable, ergonomic and effective tool that allows them to communicate seamlessly with others to improve their performance within society.

Keywords: Hearing Impaired, Electronic Glove, Sign Language, Assistive Technology, Wearable.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **APK:** “Aplicación Empaquetada de Android”, es un paquete para el sistema operativo Android que contiene un archivo o programa que se puede instalar en un dispositivo.
- **CÓDIGO FUENTE:** Conjunto de instrucciones escritas en un lenguaje de programación específico.
- **COFOSIS:** Discapacidad auditiva por la que el individuo no percibe ningún sonido.
- **DACTILOLOGÍA:** Representación manual de cada una de las letras que componen el alfabeto. A través de ella la persona sorda puede transmitir cualquier palabra que desee comunicar.
- **DECIBEL:** Unidad de medida de la intensidad sonora.
- **ENERGÍA BIOELÉCTRICA:** Energía que experimentan los seres vivos dentro de su organismo.
- **EMULADOR:** Software originalmente pensado para ejecutar programas de diversas índoles, en una plataforma o sistema operativo diferente al programa que se desea abrir o ejecutar.
- **FONEMAS:** Articulación mínima de un sonido vocálico y consonántico.
- **FRECUENCIA:** Cantidad de veces que un proceso periódico se repite por unidad de tiempo.
- **HERCIO:** Unidad física representada con el símbolo Hz que es usada para medir la frecuencia de ondas y vibraciones de tipo electromagnético.
- **HIPOACUSIA:** Incapacidad total o parcial para escuchar sonidos en uno o ambos oído.

- **PIEZOELECTRICO:** Materiales que puede convertir la tensión mecánica en electricidad, y la electricidad en vibraciones mecánicas.
- **PITCH:** Nombre que se le da al control de tiempo o velocidad de un sonido.
- **PROCESSING:** Lenguaje de programación orientado a la creación visual.
- **WIRING:** Entorno de programación de entradas/salidas de código abierto para la creación de prototipos electrónicos.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación se desarrolló con el propósito de elaborar un guante electrónico que permita traducir el lenguaje de señas básicas empleado por personas con discapacidad auditiva y de lenguaje, mejorando su intercomunicación y su inclusión en el ámbito educativo, social y laboral.

El proyecto presenta la siguiente estructura de trabajo:

En el capítulo uno, se describe la problemática actual de las personas con discapacidad auditiva, así como sus limitaciones y dificultad para establecer una comunicación con personas que no manejan el lenguaje de señas.

En el capítulo dos, se presentan los antecedentes investigativos que motivaron el desarrollo del presente proyecto, además se describe los conceptos básicos acerca de la discapacidad auditiva, el lenguaje de señas, la representación del alfabeto mediante el lenguaje dactilológico y finalmente las características de los elementos electrónicos y las herramientas que se requieren para desarrollar el sistema.

En el capítulo tres, se describe la modalidad de investigación adecuada para la elaboración del proyecto y el manejo de la información.

En el capítulo cuatro, se detalla el desarrollo del sistema electrónico, puntualizando el hardware y software necesarios para su implementación.

En el capítulo cinco, una vez cumplidos los objetivos propuestos del proyecto de investigación se redactan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1 TEMA:

GUANTE ELECTRÓNICO PARA TRADUCIR DE LENGUAJE DE SEÑAS A CARACTERES CON VOZ ARTIFICIAL Y CONEXIÓN INALÁMBRICA A DISPOSITIVOS MÓVILES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA Y DE LENGUAJE EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La discapacidad auditiva es un déficit de la percepción de sonidos que puede ser parcial (hipoacusia), total (cofosis), unilateral o bilateral. Las personas que padecen de esta discapacidad, tienen problemas para entablar una comunicación vía oral con otros individuos y por lo tanto se dificulta la forma en que se relacionan con su entorno obstaculizando su inclusión educativa, social y laboral.

Según la Organización Mundial de Salud se estima que 360 millones de personas padecen pérdida de audición discapacitante en todo el mundo, de los cuales, alrededor de 70 millones poseen discapacidad auditiva profunda, lo que significa que su percepción de sonidos es nula y se comunican mediante el lenguaje de señas. [1]

Los problemas de comunicación y las limitaciones para acceder a diversos servicios provocan efectos negativos importantes en la vida cotidiana de éstas personas, como soledad, frustración y aislamiento. En el caso de personas con sordera congénita, el hecho de no haber aprendido el lenguaje de señas a temprana edad puede provocar que se sientan excluidas socialmente.

En Latinoamérica según estimaciones de la OMS se prevé que el número de discapacitados es del 10 y 15 por ciento de la población general. Los estudios realizados evidencian la dificultad que tienen estas personas para ser incluidas en diversos ámbitos como el educativo, económico y social. [2]

En lo que se refiere a educación, los niños y niñas con discapacidad auditiva suelen ser excluidos de los sistemas educativos debido a la falta de docentes que dispongan de conocimientos o herramientas que permitan comunicarse con los infantes. Además hay un déficit en el acceso a escuelas secundarias por lo que los niños y adolescentes con esta discapacidad suelen asistir a instituciones especiales.

En el aspecto laboral, según la Organización Internacional de Trabajo en los países de América Latina y El Caribe, más del 85% de personas con discapacidad que podrían desenvolverse en un trabajo, carecen de empleo debido a la subestimación de su capacidad productiva.

Los servicios de salud de igual forma, son limitados para la población discapacitada de esta región debido a que el seguro médico y social está condicionado por el estado ocupacional, y como la mayoría de personas con discapacidad no tienen acceso a empleos, consecuentemente no disponen de una cobertura de salud adecuada. [2]

En el Ecuador, según datos del CONADIS, existen 50580 personas con discapacidad auditiva y 5562 con discapacidad de lenguaje, que representan el 13% y 1% respectivamente del total de personas con discapacidad del país. [3]

En el ámbito escolar, a los niños con pérdida auditiva no detectada se les acusa de problemas de conducta. Por otra parte en escuelas especiales, la mayoría de docentes poseen dificultades para comunicarse con los estudiantes debido a que no dominan el lenguaje de señas o a su vez no disponen de material didáctico para la enseñanza-aprendizaje de este tipo de idioma. [4]

A pesar de la aplicación del Plan Nacional del Buen Vivir para personas discapacitadas por parte del estado Ecuatoriano, el cual ofrece mayor inclusión para las personas sordas, aún existen muchos casos de maltrato debido a la desinformación de compañeros de trabajo y la falta de consideración de sus necesidades específicas. De igual forma, en diferentes instituciones públicas los funcionarios no están capacitados para relacionarse con una persona sorda o hipoacúsica, provocando malos tratos debido a la falta de sistemas que permitan la intercomunicación entre una persona sin discapacidad y una persona con pérdida de audición.

En la provincia de Tungurahua se estima que existen alrededor de 2000 personas con discapacidad auditiva, las cuales reciben apoyo por parte de la Asociación de Sordos de Tungurahua A.S.T.U. cuyas actividades se desarrollan en “El Peral” de la ciudad de Ambato [5], sin embargo, la falta de personal capacitado en lenguaje de señas y

herramientas didácticas representa una problemática para llevar a cabo una inclusión efectiva de las personas con este tipo de discapacidad.

En la Universidad Técnica de Ambato, de acuerdo a información del Departamento de Bienestar Estudiantil y Asistencia Universitaria (DIBESAU) existen nueve estudiantes con hipoacusia y un estudiante con pérdida de audición profunda. A pesar de que el número de estudiantes con discapacidad auditiva es reducido, el departamento requiere de herramientas que permita la inclusión de nuevos estudiantes y que mejoren su desenvolvimiento dentro de la Universidad, facilitando así su inserción educativa.

1.3 DELIMITACIÓN DE CONTENIDOS

Área Académica	:	Física y Electrónica
Línea de Investigación	:	Sistemas Electrónicos
Sublínea de Investigación	:	Sistemas Embebidos

Espacio: La presente investigación se realizó en las instalaciones del Departamento de Bienestar Estudiantil y Asistencia Universitaria (DIBESAU) de la Universidad Técnica de Ambato ubicada en el sector de Huachi Chico, Avenida Los Chasquis, provincia de Tungurahua.

Tiempo: El proyecto de investigación se desarrolló en el período Abril – Septiembre 2016 cumpliendo con lo dispuesto en el Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la tecnología asistiva constituye un gran aporte para las personas con discapacidad, pues facilita su desenvolvimiento dentro de la sociedad y mejoran su calidad de vida.

Con base al Plan Nacional del Buen Vivir cuyo objetivo número dos plantea: “Auspiciar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial, en la diversidad” [6], se promueven políticas que impulsan el acceso y uso de todas formas de comunicación: auditiva, visual, sensorial, y otras tecnologías que permitan la inclusión de las personas con cualquier discapacidad.

En este contexto el presente proyecto se ha desarrollado con el fin de mejorar la comunicación de las personas con discapacidad auditiva y de lenguaje ofreciendo una herramienta capaz de traducir el lenguaje de señas y así garantizar mayor

independencia estimulando su interés por aprender y superarse lo que se refleja en una mejor calidad de vida.

El prototipo desarrollado permite establecer una comunicación bidireccional, enviando la información a una aplicación para dispositivos móviles en donde se visualiza y se escucha la traducción, de la misma forma, el receptor puede comunicarse con la persona discapacitada a través de mensajes que son enviados mediante una conexión inalámbrica y visualizados en una pantalla ubicada en el guante electrónico.

Por las características del proyecto, se puede mencionar que su realización es factible pues se dispone de bibliografía especializada, recursos necesarios y el conocimiento adecuado para elaborar el prototipo, de igual forma, se cuenta con el apoyo de la institución pues constituye un instrumento de inclusión para los estudiantes con discapacidad auditiva dentro de la Universidad Técnica de Ambato.

Como se puede evidenciar, el proyecto es de gran utilidad debido a que se trata de un sistema eficaz y fiable de asistencia para personas con discapacidad auditiva y de lenguaje, que permite mejorar su comunicación, desenvolvimiento e inclusión en diferentes sectores como el educativo, social y laboral.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Implementar un prototipo de guante electrónico para traducir de lenguaje de señas a caracteres con voz artificial y conexión inalámbrica a dispositivos móviles para personas con discapacidad auditiva y de lenguaje en la Universidad Técnica de Ambato

1.5.2 Objetivos Específicos

- Estudiar el lenguaje de señas y métodos para su traducción analizando la situación de las personas con hipoacusia y discapacidad auditiva total en la Universidad Técnica de Ambato.
- Investigar que sistemas electrónicos existen en el mercado para asistencia de personas con discapacidad auditiva y/o de lenguaje
- Desarrollar el prototipo de guante electrónico para traducir de lenguaje de señas a caracteres con voz artificial y conexión inalámbrica a dispositivos móviles para personas con discapacidad auditiva y de lenguaje en la Universidad Técnica de Ambato

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el desarrollo del proyecto se realizó la respectiva investigación en repositorios nacionales e internacionales y se encontró el trabajo de Caicedo Fernández David Ricardo y Solórzano García Enrique Xavier [7] con el tema “Diseño de un traductor por medio de un guante electrónico sensitivo al movimiento” el cual se enfoca en el desarrollo de un traductor de la señas más importantes empleadas por las personas con discapacidad auditiva mediante el uso de sensores flex, un acelerómetro LIS3L02AS y un sensor de inclinación Z2205 que conjuntamente con un multiplexor CD4067BE de 16 canales y un PIC 16F876A permiten determinar los gestos realizados por el usuario y a través de un transmisor TLP434A y un receptor RLP434 conectado a un computador se establece una conexión inalámbrica para transmitir los datos hacia un software en donde se puede visualizar y escuchar la traducción. La limitación de este proyecto es que requiere de un ordenador para presentar la información mientras que el dispositivo desarrollado cuenta con una pantalla y un speaker incorporados lo cual facilita su uso.

El proyecto elaborado por Pablo Andrés Espinosa Aguilar y Hernán Augusto Pogo León [8] con el tema “Diseño y Construcción de un Guante Prototipo Electrónico Capaz de Traducir el Lenguaje de Señas de una Persona Sordomuda al Lenguaje de Letras” se basa en el desarrollo de un guante capaz de traducir el alfabeto dactilológico en caracteres mediante sensores flexibles, un módulo de comunicación USB y un PIC 18F4550 el cual procesa las señales y las envía a un ordenador para visualizar la traducción mediante un software desarrollado en Matlab. La restricción de este diseño es que requiere de un ordenador para presentar la información lo que hace que el dispositivo no sea portable en comparación al guante electrónico desarrollado en este proyecto.

En el trabajo realizado por Fernando Arturo León Montoya y Xavier David Merino Miño [9] con el tema “Guante con sensores para reproducir el sonido de las letras por medio del lenguaje sordomudo con soporte de tecnología Java” se desarrolla un guante constituido por sensores fotoeléctricos, una pantalla LCD de 20x4 y un microcontrolador PIC 16F877A el cual procesa las señales provenientes de los sensores y mediante el módulo Bluetooth RN41 envía los datos a un dispositivo móvil con sistema operativo Symbian y mediante una aplicación desarrollada en J2ME se puede visualizar y reproducir la traducción así como enviar caracteres los cuales son visualizados en la pantalla LCD del guante. La limitación de este proyecto es que los sensores diseñados no disponen de la precisión necesaria y además la aplicación implementada fue desarrollada para dispositivos con Sistema Operativo Symbian el cual actualmente ya no se encuentra en el mercado.

El trabajo desarrollado por Diego Fernando Duque Arias y Marcos Rodrigo Ibarra Caicedo [10] con el tema “Diseño e Implementación de un guante electrónico que permite transformar el lenguaje de señas en caracteres y reproducción sonora de voz artificial” se enfoca en la elaboración de un guante con sensores flexibles el cual emplea una tarjeta Arduino Mega 2560 para el procesamiento de datos y mediante un módulo sintetizador de voz EMIC 2 y a una pantalla LCD se puede visualizar y reproducir la traducción respectivamente. La limitación de este diseño es que para la visualización de la traducción se emplea una pantalla LCD de 16x2 lo que dificulta la presentación de varios caracteres mientras que el guante electrónico desarrollado dispone de una pantalla TFT de 2.8 pulgadas que permite el desarrollo de interfaces interactivas y permite visualizar mayor número de caracteres.

En el repositorio de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato se encontraron dos proyectos enfocados a personas con discapacidad auditiva y los cuales se describen a continuación:

El primer trabajo elaborado por Amanda Elizabeth Naranjo Villacis [11] con el tema “Aplicación de DSP’s para la Transcripción de Lenguaje de Señas a Texto” se enfoca en el desarrollo de un software en la plataforma LabView basado en el procesamiento digital de imágenes en visión artificial, el cual reconoce el alfabeto dactilológico mediante una cámara de 30 Megapíxeles para luego transformarlo a texto. El software adicionalmente posee una herramienta para entrenar a las personas que desconocen este tipo de lenguaje.

En el trabajo realizado por Jaime Andrés Cárdenas Córdova [12] con el tema “Sistema de codificación de señales de voz a texto usando Matlab para personas con deficiencia auditiva del instituto de educación especial Dr. Camilo Gallegos” se desarrolla una aplicación empleando el software Matlab para convertir las señales de voz adquiridas por un micrófono en texto mediante la Transformada Rápida de Fourier, esta aplicación posee una interfaz educativa que permite la enseñanza y aprendizaje para los estudiantes con discapacidad.

La restricción de ambos proyectos es que requieren de un ordenador para realizar la traducción y principalmente se enfocan en la enseñanza y aprendizaje del lenguaje de señas.

En lo referente a trabajos presentados en repositorios internacionales se encontraron algunos artículos científicos de sistemas de asistencia para personas con discapacidad auditiva los cuales sirvieron de motivación para la elaboración del presente proyecto; en el trabajo de Syed Faiz Ahmed, Syed Muhammad Baber Ali, Sh. Saqib Munawwar Qureshi con el tema “Electronic Speaking Glove for Speechless Patients. A Tongue to a Dumb” [13] se presenta un proyecto que se basa en la elaboración de un guante constituido por sensores flexibles y un microcontrolador AVR ATMEGA 32L que permite detectar 32 configuraciones manuales con las cuales se pueden emitir mensajes pregrabados mediante un circuito amplificador y un speaker. La limitación de este proyecto es que el usuario únicamente puede reproducir frases predefinidas mientras que el presente sistema ofrece la libertad de emitir cualquier mensaje.

Safayet Ahmed; Rafiqul Islam; Md.Saniat Rahman Zishan; Mohammed Rabiul Hasan; Md.Nahian Islam desarrollaron el proyecto “Electronic Speaking System for Speech Impaired People: Speak Up” [14], el cual, describe la implementación de un sistema que detecta los gestos realizados por el usuario mediante un guante conformado por sensores flexibles y a través de una tarjeta Arduino Nano y una memoria SD reproduce mensajes predefinidos visualizándolos además en una LCD. El trabajo igualmente cuenta con la limitación de que los mensajes son pregrabados y se emplea una pantalla LCD para la interfaz del sistema, mientras que el proyecto descrito en este artículo cuenta con una pantalla TFT de 2.8 pulgadas en donde se pueden visualizar mayor número de caracteres en comparación a un Display.

El proyecto elaborado por Hanine El Hayek and Jessica Nacouzi, Abdallah Kassem, Mustapha Hamad and Sami El-Murr, con el tema “Sign to Letter Translator System using a Hand Glove” [15], describe un sistema traductor del lenguaje de señas mediante

un guante electrónico dotado de sensores flexibles que permite determinar las configuraciones manuales del alfabeto dactilológico a través de un microcontrolador que adquiere las señales provenientes de los sensores y presenta la traducción a través de una pantalla LCD, la restricción de este diseño es que no cuenta con una salida de audio y la traducción solo se visualiza en una pantalla ubicada en el guante.

Arslan Arif, Syed Tahir Hussain Rizvi, Iqra Jawaid, Muhammad Adam Waleed, Muhammad Raheel Shakeel desarrollaron la investigación “Techno-Talk: An American Sign Language (ASL) Translator” [16], la cual se basa en un prototipo para traducir el lenguaje de señas mediante la detección de las configuraciones manuales del alfabeto dactilológico americano a través de sensores flexibles y un acelerómetro ADXL345, este sistema emplea la tarjeta Arduino Mega y el Voice Box Shield que permite reproducir la traducción mediante una salida de audio. La limitación de este prototipo es que no se puede visualizar el mensaje por lo tanto se dificulta su manejo.

El trabajo elaborado por Dhiraj Gupta, Pankhuri Singh, Khushbu Pandey, Jaya Solanki, con el tema “Design And Development Of A Low Cost Electronic Hand Glove For Deaf And Blind” [17], describe el desarrollo de un guante electrónico para personas con discapacidad visual y auditiva que les permite emitir mensajes mediante la detección de las configuraciones manuales correspondientes a las letras del alfabeto dactilológico mediante sensores flexibles y la tarjeta Arduino UNO y conjuntamente con el módulo Text To Speech TTS56 IC y una LCD se reproduce y visualiza la traducción.

El proyecto de Nattapong Tongrod , Shongpun Lokavee , Teerakiat Kerdcharoen con el tema “Gestural system based on multi-functional sensors and ZigBee networks for squad communication”[18], describe el desarrollo de un sistema militar basado en la traducción de los gestos manuales usados frecuentemente en un escuadrón; este sistema emplea sensores flexibles, un acelerómetro ADXL335 y un PIC 18F45J10 que permite adquirir las señales y realizar el procesamiento de datos para transmitirlos mediante módulos red Zig-Bee, además cuenta con un software que permite gestionar una base de datos con los diferentes gestos que se emplean en el ámbito militar.

La investigación desarrollada por Kalpantty S. Abhiskey, Lee Chun Fai Qubeley and Derek Ho titulada “Glove-Based Hand Gesture Recognition Sign Language Translator using Capacitive Touch Sensor” [19] se basa en un sistema de traducción del lenguaje de señas empleando sensores capacitivos ubicados en la parte superior de cada dedo, un módulo PIC-116 para sensores capacitivos y la tarjeta Raspberry Pi con la cual se puede determinar las configuraciones manuales correspondientes a las letras del alfabeto

dactilológico americano. Una de las desventajas de este sistema es que se producen errores en ciertas configuraciones manuales debido a que los sensores capacitivos ofrecen únicamente una respuesta binaria.

En el ámbito comercial se han encontrado algunos sistemas de asistencia para personas con discapacidad auditiva basados en la traducción del lenguaje de señas; la empresa CyberGlove Systems LLC dispone de un catálogo de guantes electrónicos que permiten capturar movimiento mediante 22 mediciones de ángulo de articulación de alta precisión. Utiliza la tecnología resistiva curva de detección patentada para transformar con precisión los movimientos de manos y dedos en datos de ángulo de las articulaciones digitales en tiempo real. Dispone de un software programable por lo que puede emplearse para el desarrollo de aplicaciones de traducción del lenguaje de señas. [20]

El dispositivo Sign Language Ring de traducción está formado por una pulsera y anillos desmontables que detectan los movimientos de la lengua de signos y los traduce como voz y también puede reproducirlos como texto. Para su funcionamiento, solo hay que colocarse los anillos en los dedos, al utilizar el lenguaje de signos, el movimiento es reconocido por el dispositivo y enviado a la pulsera en forma de datos, después de ser interpretados la información se traduce, para reproducirse en forma de voz o de texto. [21]

La Tableta Motion Savy fue desarrollada en la Universidad de Washington, Estados Unidos y únicamente traduce el lenguaje de señas a Inglés. Se trata de una tableta que permite a una persona sorda o con graves problemas de audición comunicarse con otra que sí puede oír pero no conoce el lenguaje de signos sin necesidad de un intérprete. La tableta desarrollada por lleva un dispositivo Leap Motion que reconoce los gestos y los traduce a voz y del mismo modo, la tableta puede escuchar la voz de una persona que habla y traduce la voz al lenguaje de signos. Los ingenieros eligieron el dispositivo Leap Motion, debido a que permite realizar gestos y dar órdenes al ordenador, porque su tamaño y porque su nivel de reconocimiento era superior a otras tecnologías como Kinect o las cámaras Go Pro, al menos a la hora de reconocer gestos con la mano. [22]

Google Gesture es un proyecto desarrollado por estudiantes de la Escuela de Comunicaciones de Berghs, en Suecia conjuntamente con Google. Este dispositivo permite traducir el lenguaje de señas mediante unas muñequeras electrónicas que recogen el movimiento de los músculos del brazo, y leen los impulsos nerviosos, mediante electromiografía. Un software convierte estos movimientos de los músculos

en símbolos del lenguaje de signos, y por tanto en palabras, y las lee de viva voz a través de los altavoces de un smartphone. [23]

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. EL SENTIDO DEL OIDO

La audición significa oír y comprender los sonidos que se generan en el alrededor y resulta indispensable para la comunicación oral. El órgano de la audición es el oído, el cual se encarga de recoger las ondas sonoras y transformarlas en un impulso nervioso. Además, en su interior se encuentra el mecanismo de control del equilibrio. [24]

El oído humano tiene la capacidad de percibir las frecuencias ubicadas entre 20 y 20.000 ciclos por segundo (Hz), sin embargo en la práctica esta capacidad se reduce hasta los 16000 Hz aproximadamente. [25].

El oído se integra por tres partes:

1. **Oído externo:** recoge las ondas sonoras y las conduce al interior. Está constituido por el pabellón auditivo, conducto auditivo y tímpano. [26]
2. **Oído medio:** se denomina también cavidad timpánica. En ella, la vibración del tímpano se transmite a tres pequeños huesos enlazados, el martillo, el yunque y el estribo, los cuales conducen la vibración mecánica desde el tímpano hasta el oído interno. [26]
3. **Oído interno:** En él se encuentra el sistema coclear que transforma las ondas mecánicas en energía bioeléctrica que es conducida por el nervio auditivo hasta el cerebro, donde se reconoce el sonido [27]
- 4.

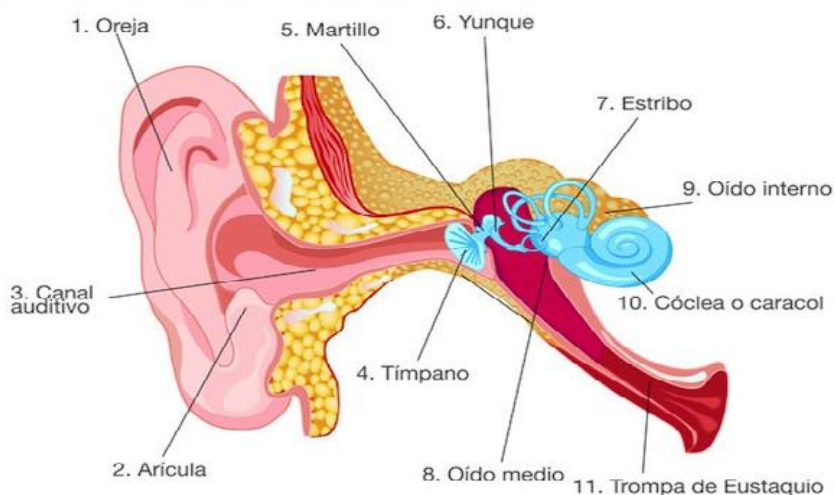


Figura N° 1. Estructura del oído humano [27]

2.2.2. DISCAPACIDAD AUDITIVA

La discapacidad auditiva se refiere a la falta o disminución en la capacidad para oír debido a un problema en algún lugar del aparato auditivo. La pérdida de la audición puede fluctuar desde la más superficial hasta la más profunda, a la cual comúnmente se le llama sordera, cuya severidad, no permite a la persona percibir los sonidos y el lenguaje hablado, incluso usando audífonos. [28]

La pérdida de audición representa dificultad para percibir los sonidos del ambiente, el lenguaje oral y las barreras presentes en el contexto en el que la persona se desenvuelve. Respecto de las barreras, estas son de distinto tipo, entre las más frecuentes se pueden encontrar:

- La cercanía o distancia de las fuentes auditivas: si los sonidos son débiles o distantes, se presenta dificultad para su discriminación.
- La interferencia de sonidos de distinto tipo: cuando los lugares presentan mucho ruido ambiental se tiene dificultad para captar los mensajes. [29]
- Las dificultades asociadas al lenguaje oral o escrito: si una persona posee una pérdida auditiva severa o profunda y sólo se usa el lenguaje oral como forma de comunicación y/o no se la mira al hablar se dificulta la comprensión de lo que ocurre en el contexto. [29]

2.2.3. CAUSAS Y CLASIFICACIÓN DE LA PÉRDIDA AUDITIVA

Las causas que originan la discapacidad auditiva pueden ser:

- **Genéticas:** Se pueden transmitir de padres a hijos. En el caso del área auditiva, este aspecto es el más frecuente y poco previsible. [28]
- **Congénitas:** se refiere a las características o rasgos con los que nace un individuo y que no dependen sólo de factores hereditarios, sino que son adquiridos durante la gestación, por ejemplo, las infecciones virales del embrión, destacando la rubéola materna.. Destacan también la ingesta de medicamentos durante el embarazo y la asfixia al nacer. [28]
- **Adquiridas:** Son las ocasionadas por algún accidente o enfermedad después del nacimiento. Destaca la meningitis meningocócica, la otitis crónica, la hiperbilirrubinemia y las enfermedades de tipo infeccioso. Otra causa adquirida es la que afecta especialmente a los trabajadores expuestos a ruidos de tipo industrial y la pérdida auditiva que se relaciona con el envejecimiento. [28]

Las pérdidas auditivas o hipoacusias se pueden clasificar según el grado en que se ve afectada la recepción de los sonidos y la ubicación de la lesión que la ocasiona. En este sentido, se pueden identificar distintos niveles de pérdida, los que se miden en una unidad llamada decibel:

- Hipoacusia leve (20-40 dB.)
- Hipoacusia moderada (40-70 dB.)
- Hipoacusia severa (70-90 dB.)
- Sordera (+ 90 dB.) [20]

Las hipoacusias se diagnostican de acuerdo a la ubicación de la lesión: De transmisión (oído externo o medio), mixtas (superposición de hipoacusia de transmisión más neurosensorial) y neurosensorial (oído interno: cóclea o vía neural). [28]

Tabla 1. Posibilidades De Audición Y Lenguaje De Acuerdo Al Grado De Pérdida Auditiva

Nivel	Intensidad de la pérdida	Audición	Desarrollo del Lenguaje
0-25 dB	NO SIGNIFICATIVA	Perciben el habla y los sonidos sin grandes dificultades.	El lenguaje oral se desarrolla en forma natural.
25-40 dB	LEVE	La comprensión del lenguaje oral se apoya sustantivamente en la vía visual y en la Lectura Labio Facial (LLF). Identifica y discrimina sonidos a corta distancia y siempre que la contaminación acústica no sea muy alta.	La conversación se emite en forma natural, por lo tanto, con ayuda de audífonos es probable que el lenguaje oral se desarrolle por vía auditiva. Sin embargo es posible que exista dificultad con la discriminación de algunas palabras.
40-60 dB	MODERADA	La comprensión del lenguaje oral se apoya sustantivamente en la vía visual y en la Lectura Labio Facial (LLF). Identifica y discrimina sonidos a corta distancia y siempre que la contaminación acústica no sea muy alta.	La conversación se emite en forma natural, por lo tanto, con ayuda de audífonos es probable que el lenguaje oral se desarrolle por vía auditiva. Sin embargo es posible que exista dificultad con la discriminación de algunas palabras.
60-90 Db	SEVERA	La voz prácticamente no se oye sin embargo, es posible escuchar sonidos de relativa intensidad.	Existe gran dificultad en la producción y comprensión del lenguaje oral, su desarrollo se logra por medio de apoyos específicos (visuales, táctiles y kinésicos) Se emplea el lenguaje de señas.
90 o más dB	PROFUNDA	Escucha sólo sonidos de alta intensidad o volumen. La voz no se oye.	Pueden ser conscientes de altos sonidos y vibraciones, pero no pueden comprender cada palabra amplificadas. La producción de lenguaje oral se logra sólo a través de apoyos específicos. Se emplea el lenguaje de señas.

Fuente: <http://portales.mineduc.cl/usuarios/edu.especial/File/GuiaAuditiva.pdf>

2.2.4. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA

Los sistemas de comunicación empleados por personas con discapacidad auditiva y de lenguaje se clasifican en tres bloques:

1. Sistemas Orales
2. Sistemas complementarios de comunicación oral
3. Lenguaje de señas [30]

2.2.4.1 SISTEMAS ORALES

Estos sistemas son utilizados en personas que pueden discriminar ciertos sonidos; existen dos sistemas principales:

- SISTEMA VERBOTONAL

Consiste en optimizar los restos auditivos que puede percibir la persona mediante un dispositivo denominado Suvag que actúa como seleccionador, amplificador y codificador ayudando a la persona con discapacidad auditiva a entender mejor los sonidos que percibe mediante una especie de vibraciones. [30]

- LECTURA LABIAL

Consiste en reconocer las palabras a través de los órganos articuladores visibles como son los labios, la lengua y los dientes. Este sistema suele ser difícil de comprender ya que algunos fonemas tienen el mismo punto de articulación por lo que se puede generar confusión entre palabras con similar pronunciación. [30]

Este tipo de comunicación requiere de una completa preparación en lo que se refiere a memoria visual y capacidad de atención. Por otro lado produce fatiga en el emisor puesto que debe pronunciar enunciados cortos y sencillos. [30]

2.2.4.2 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS DE COMUNICACIÓN ORAL

Estos sistemas permiten reducir los problemas de comunicación y apoyan el acceso al lenguaje oral. Existen dos tipos de sistemas complementarios que son:

- COMUNICACIÓN BIMODAL

Para expresar un mensaje se emplea el lenguaje de señas y paralelamente se habla, siguiendo la estructura y el orden del lenguaje oral. Es decir, se emplean dos modalidades, una oral-auditiva y otra visual-gestual. Cabe destacar que la lengua oral es la lengua base, ésta marca el orden de la frase y determina la sintaxis de las producciones. [31]

- PALABRA COMPLEMENTARIA

Se trata de un sistema complementario de lectura labial que está basado en la fonética del habla. Es directo, en el sentido de que no hay intermediarios entre el emisor y el receptor. Este sistema favorece tanto la comprensión del lenguaje oral, como el acceso a la lectura. [31]

2.2.5 LENGUAJE DE SEÑAS

El lenguaje de señas es una lengua natural que se basa en expresiones gesto-espaciales, movimientos corporales y de percepción visual mediante la cual las personas con discapacidad auditiva o de lenguaje pueden establecer un canal de comunicación y de esta forma logran relacionarse con su entorno. [32]

Al igual que los demás sistemas de lenguaje, el de señas tiene códigos propios y variaciones dependiendo de los alfabetos o sistemas de escritura de cada país o comunidad.

El lenguaje de señas tiene una estructura propia conformada por seis parámetros como son: configuración, localización, movimiento, orientación, dirección y expresión facial. Mediante estos parámetros una persona se puede comunicar fácilmente, siempre y cuando se empleen correctamente. [33]

2.2.5.1 PARÁMETROS FORMACIONALES DEL LENGUAJE DE SEÑAS

Al igual que en el lenguaje oral en donde existen los fonemas que permiten formar las palabras, en el lenguaje de señas los queremas son las diferentes partes que forman un signo, es decir, los parámetros formacionales. [33]

En la estructura del signo gestual distinguimos seis parámetros articulatorios:

- 1. Forma o configuración de la mano (Queirema):** mano abierta, cerrada, con los dedos replegados o no; índice o pulgar levantados, etc.
- 2. Lugar de articulación (Toponema):** ante el cuerpo o espacio neutro, ante la frente, las cejas, los labios, etc. [33]
- 3. Movimiento de la mano (Kinema):** recto, circular, en arco, quebrado, etc., con sus componentes quinesésicos: movimiento simple o repetido, rotación del puño o del antebrazo, etc.
- 4. Dirección del movimiento de la mano (Kineprosema):** Se aprecian 6 direcciones principales del movimiento: hacia arriba, hacia abajo, hacia la derecha, hacia la izquierda. [33]

- 5. Orientación de la mano (Queirotopema):** Orientación de la palma de la mano. Independientemente de qué configuración adquiera la mano, la palma siempre señalará una dirección u otra.
- 6. Expresión de la cara (Prosoponema):** Son todos los componentes que acompañan al signo y en los que no se utilizan las manos, es decir los movimientos del cuerpo, de la boca, etc. Por ejemplo, la expresión facial nos ayuda a saber si nos quieren hacer una pregunta o es una afirmación. Esta parte es muy importante pues si se cambia el prosoponema de un signo, se puede interpretar otro totalmente diferente.[33]

Mediante la combinación de estos parámetros surgen todos los signos que componen el lenguaje de señas, los cuales permiten a las personas con discapacidad auditiva o de lenguaje establecer un canal de comunicación para el intercambio de información.

2.2.6 DACTILOLOGÍA O ALFABETO GESTUAL

Las personas con discapacidad auditiva y de lenguaje instruidas (que sepan leer y escribir) emplean un grupo de señas para representar las letras del alfabeto con el que se escribe la lengua oral del país. Es esto lo que se denomina alfabeto manual o alfabeto dactilológico, el cual es un sistema que permite simbolizar las letras por medio de 30 configuraciones manuales [34], las cuales se ilustran en la Figura N° 2.

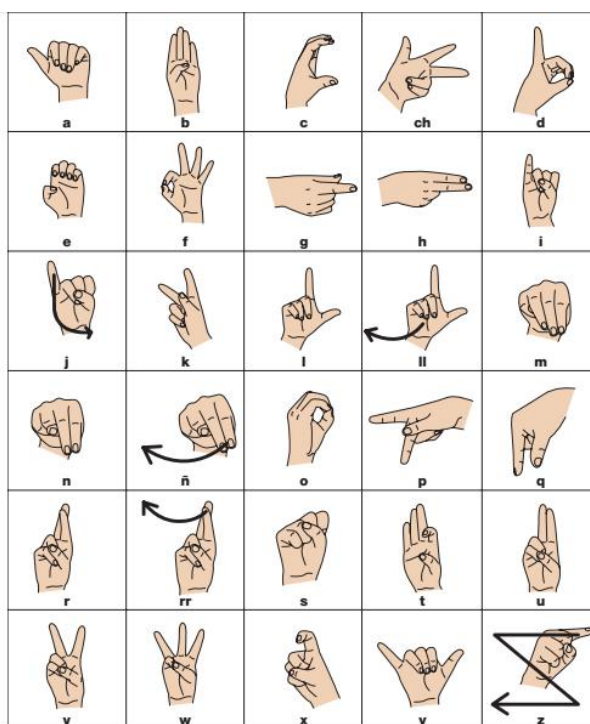


Figura N° 2. *Alfabeto Dactilológico Universal* [34]

La combinación sucesiva de letras permite expresar palabras e ideas que facilitan la comunicación de la persona con discapacidad auditiva.

2.2.7. TECNOLOGÍAS ASISTIVAS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA Y DE LENGUAJE

La tecnología asistiva (TA) es cualquier herramienta electrónica utilizada para permitir a individuos con discapacidades o necesidades especiales verse involucrados en las mismas actividades de sus pares sin discapacidad. [35]

Las personas con discapacidad auditiva con leve a moderada hipoacusia tienen necesidades diferentes de las que son profundamente sordas. Los audífonos amplifican principalmente sonidos que ya puede escuchar la persona con problemas de audición, mientras que los implantes cocleares se aplican a una persona con sordera profunda. [36] Los implantes cocleares son mucho más complejos que los audífonos: un cirujano implanta un dispositivo magnético y la bobina en la cóclea en el oído interno. El implante coclear está diseñado específicamente para personas con pérdida auditiva neurosensorial o sordera nerviosa. [36]

En el caso de personas con sordera profunda, ya sea ésta adquirida o congénita, requieren de herramientas que les permitan comunicarse con su entorno, por lo que se han desarrollado diferentes dispositivos y tecnologías que facilitan su intercomunicación los mismos que se presentan en los antecedentes del proyecto.

2.2.8. PLATAFORMAS ELECTRÓNICAS DE CÓDIGO ABIERTO

Las plataformas electrónicas permiten desarrollar proyectos de ingeniería de diferentes índoles como domótica, automatización, sistemas embebidos, robótica, entre otros. Se basan en el concepto de Hardware Libre (HL) que se define como “aquel hardware cuyo diseño se hace disponible públicamente para que cualquier persona lo pueda estudiar, modificar, distribuir, materializar y vender, tanto el original como otros objetos basados en ese diseño”. [37]

Estas plataformas emplean elementos y materiales disponibles, infraestructura abierta, contenido no restringido y herramientas de diseño libres ofreciendo a los usuarios la posibilidad de desarrollar y compartir proyectos.

El uso de Hardware Libre brinda diferentes ventajas a una sociedad y en particular a los sectores más innovadores. Entre ellas destaca la mejora de la sostenibilidad y soberanía tecnológicas, así como la adopción de las libertades al igual que el software libre. [37]

Además ofrece una oportunidad para contribuir a salvar la brecha tecnológica y educativa entre los países desarrollados y aquellos emergentes. De hecho, pese a ser un fenómeno reciente, existen unos ochenta y cuatro grupos de investigación en esta materia, distribuidos en diecisiete países, que apuntan a los ideales del software libre y aproximadamente setenta y un países lo están comercializando, incluido el Ecuador [38]. A continuación se describen las principales plataformas electrónicas de código abierto que existen en el mercado:

2.2.9 ARDUINO

Es una plataforma de código abierto basada en una placa electrónica que consta principalmente de un microcontrolador y diferentes entradas para adquisición de señales, así como salidas para activar cualquier tipo de actuador.

La programación de la placa se realiza mediante el envío de un conjunto de instrucciones para el microcontrolador, el cual se programa empleando el “Arduino Programming Language” (basado en Wiring) y el “Arduino Development Environment” (basado en Processing). [39]

Arduino simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, ofreciendo algunas ventajas para estudiantes y profesionales como son:

- **Costo:** Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas microcontroladoras.
- **Multiplataforma:** El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.
- **Entorno de programación simple y claro:** El entorno de programación de Arduino es fácil de usar, pero es suficientemente flexible para el desarrollo de proyectos avanzados.
- **Código abierto y software extensible:** El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados y el lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++.
- **Código abierto y hardware extensible:** Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel, por lo que diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo. [40].

En la actualidad Arduino ha renovado su catálogo de tarjetas, las cuales están agrupadas en cuatro bloques:

1. Entry Level (Nivel de entrada)

- Arduino UNO
- Arduino 101
- Arduino PRO
- Arduino PRO Mini
- Arduino Micro

2. Enhanced Features (Características Mejoradas)

- Arduino Mega
- Arduino Zero

3. Internet of Things (Internet de las cosas)



- Arduino MKR1000






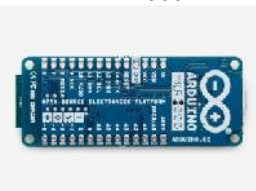

4. Wearable

- Arduino Gemma
- Lilypad Arduino Simple
- Lilypad Arduino Board
- Lilypad Arduino USB
- Lilypad Arduino Simple Snap [40]

A continuación se presenta una tabla con las especificaciones técnicas de las tarjetas electrónicas de cada bloque:

Tabla 2. Especificaciones técnicas de las tarjetas Arduino

Tarjeta Electrónica	Voltaje de operación	Pines Digitales	Entradas Analógicas	Velocidad de reloj	Memoria Flash
Entry Level (Nivel de entrada)					
ARDUINO UNO 	5 [V]	14 [I/O]	6	16 [Mhz]	32 KB
ARDUINO 101 	3.3 [V]	14 [I/O]	6	32 [Mhz]	196 KB

ARDUINO PRO 	3.3 / 5 [V]	14 [I/O]	6	8 / 16 [Mhz]	16 KB
ARDUINO PRO MINI 	3.3 / 5 [V]	14 [I/O]	6	8 / 16 [Mhz]	1 KB
ARDUINO MICRO 	5 [V]	20 [I/O]	12	16 [Mhz]	32 KB
Enhaced Features (Características Mejoradas)					
ARDUINO MEGA 2560 	5 [V]	54 [I/O]	16	16 [Mhz]	256 KB
ARDUINO ZERO 	3.3 [V]	20 [I/O]	6	48 [Mhz]	256 KB
Internet Of Things (Internet de las Cosas)					
ARDUINO MKR1000 	3.3 [V]	8 [I/O]	7	48 [Mhz]	256 KB
Wearable					
ARDUINO GEMMA 	3.3 [V]	3 [I/O]	1	16 [Mhz]	8 KB

<p>LILYPAD ARDUINO SIMPLE</p> 	2.7 / 5.5 [V]	9 [I/O]	4	8 [Mhz]	32 KB
<p>LILYPAD ARDUINO MAIN BOARD</p> 	2.7 / 5.5 [V]	14 [I/O]	6	8 [Mhz]	16 KB
<p>LILYPAD ARDUINO USB</p> 	3.3 [V]	9 [I/O]	4	8 [Mhz]	32 KB
<p>LILYPAD ARDUINO SIMPLE SNAP</p> 	2.7 / 5.5 [V]	9 [I/O]	4	8 [Mhz]	32 KB

Fuente: Investigador basado en [38]

2.2.9.1 Entorno de desarrollo Arduino

La programación para el funcionamiento lógico del sistema se diseñó empleando el entorno de desarrollo integrado Arduino (IDE) que contiene un editor de texto para escribir código , un área de mensajes , una consola de texto , una barra de herramientas con botones para las funciones comunes y una serie de menús . [41]

Arduino está basado en C y soporta todas las funciones del estándar C y algunas de C++. Para programar la placa es necesario descargarse de la página web de Arduino el entorno de desarrollo (IDE). Se dispone de versiones para Windows y para MAC, así como las fuentes para compilarlas en LINUX. [42]

2.2.9.2 Ventajas del IDE Arduino

- Tiene un lenguaje basado en C y C++.
- Permite programar directamente el hardware.
- Al tratarse de un proyecto Open-Source, se puede probar y experimentar sobre la misma tarjeta.
- Tiene una comunidad de desarrollo alrededor del mundo lo que permite un acceso a referencias, ejemplos y proyectos de soporte [42]

En la figura N° 8 se ilustra el entorno de desarrollo de Arduino con sus diferentes partes:

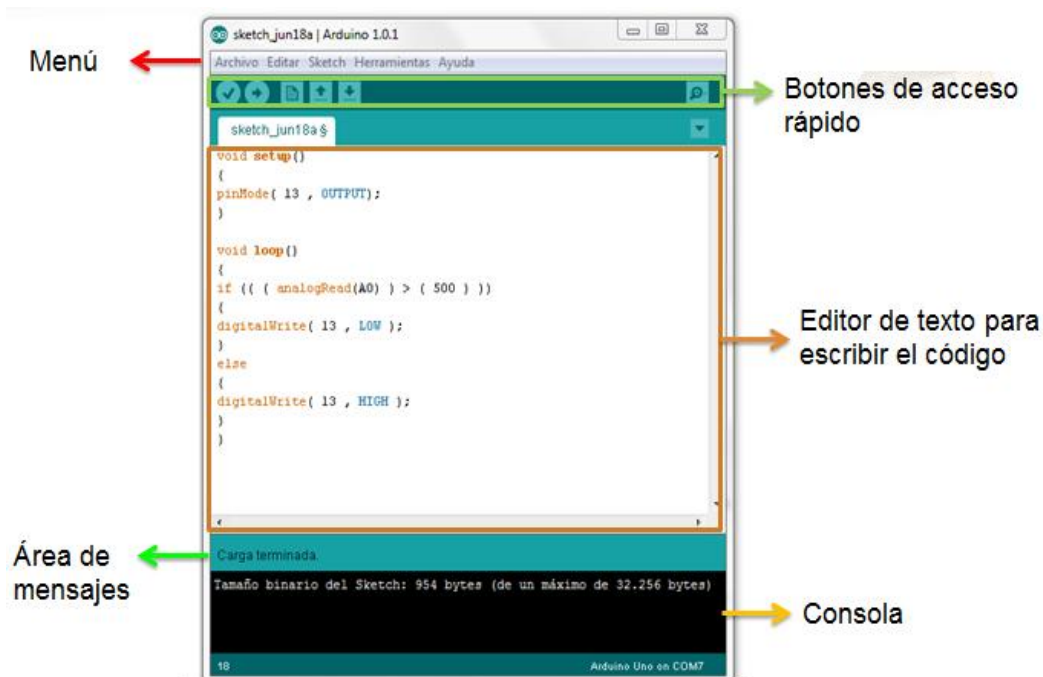


Figura N° 3. Entorno de desarrollo integrado Arduino [40]

2.2.10 RASPBERRY PI

Se trata de un ordenador de placa reducida o de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado por la Fundación Raspberry Pi. Su objetivo es fomentar la enseñanza de la computación y programación en las escuelas y colocarla al alcance de todos. En esencia la Raspberry Pi es una placa de reducido tamaño que dispone de diferentes puertos para el desarrollo de proyectos electrónicos y de programación.

Para trabajar con un Raspberry Pi se requiere almacenamiento que en este caso específico debe ser una tarjeta de memoria SD o microSD. Las placas más actuales cuentan con 4 puertos USB para conectar periféricos como teclado y mouse, un

conector HDMI con capacidad de reproducir vídeo en 1080p y una conexión Ethernet para poder tener internet vía cable.[43]

Entre los sistemas operativos disponibles para Raspberry Pi se encuentran: Raspbian, Arch Linux, RaspBMC, Pidora u OpenELEC e incluso, se dispone de Windows 10 según la página web de Microsoft. [43]



Figura N° 4. Raspberry Pi 3 [44]

La última versión denominada Raspberry Pi 3 presenta las siguientes características:

- Procesador: Broadcom BCM2837 de 1200 MHz ARM quad core Cortex-A53 de cuatro núcleos y con juego de instrucciones ARMv8 .
- GPU: VideoCore IV de doble núcleo a 400 MHz con soporte de Open GL ES 2.0
- RAM: 1GB SDRAM LPDDR2
- Almacenamiento: tarjeta MicroSD para el Sistema Operativo
- HDMI 1.3 y 1.4 tamaño estándar a 1080p con soporte CEC para control desde el mando del televisor
- Audio digital por salida HDMI
- Red: Ethernet RJ45 10/100 BaseT
- Wi-Fi: 802.11n Wireless LAN
- Bluetooth: Bluetooth 4.1 y Bluetooth Low Energy (BLE)
- USB: 4 x USB 2.0
- Conector MPI CSI-2 de 15 vías para cámara de vídeo HD Raspberry Pi
- Conector de interfaz serie de display de 15 vías
- GPIO: 40 x pin conector macho [44]

2.2.11 BEAGLEBONE BLACK

BeagleBone es una tarjeta de desarrollo con un procesador de Texas Instrument con arquitectura ARM Cortex A8. Esta tarjeta presenta prestaciones aún mejores que la Raspberry Pi en aspectos de capacidad de procesamiento, periféricos y GPIOs, sin embargo una de las grandes desventajas es que solo tiene un puerto USB Host, por lo que se requiere emplear un HUB USB activo [45], tiene un procesador ARM A8 cortex a 700 Mhz y una memoria RAM de 256 MB. Mide 9 cms de largo y 5,5 cms de ancho, lee tarjetas microSD, tiene un puerto USB para conectar un periférico o utilizarlo como fuente de energía, un micro USB para conectarlo a otro ordenador, un conector Ethernet y un conector RJ45. [46] En la actualidad existen dos modelos de placa, la BeagleBone Clásica y la BeagleBone Black.

La tarjeta BeagleBone funciona con Linux lo que posibilita programar en diferentes lenguajes como: C, C++, Java, Python, Ruby, PHP, Javascript, Node.js. Además es compatible con otros sistemas operativos como Android, Ubuntu o Debian [44].

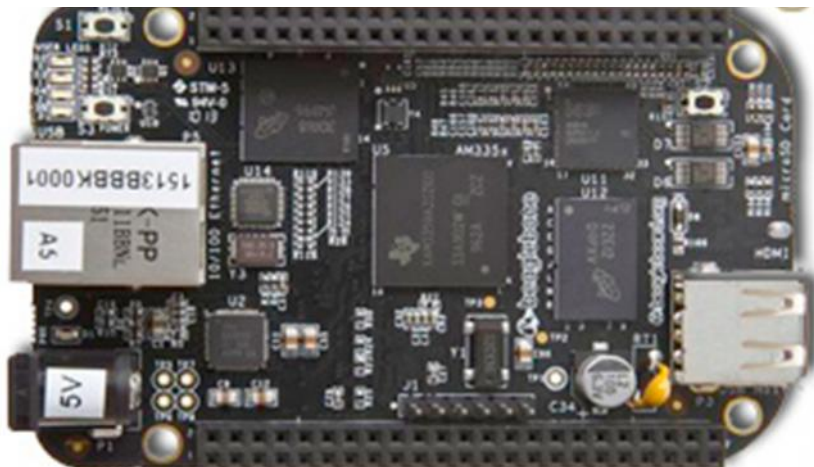


Figura N° 5. Beagleboard Black [44]

2.2.12. NANODE

Nanode es un proyecto de hardware de código abierto que, entre algunas de sus aplicaciones, se encuentran soluciones para el Internet de las Cosas. Nanode es una evolución de Arduino pero es capaz de conectarse a internet a través de un navegador o una API. Además permite utilizarlo como un servidor privado de proyectos web, como conexión con otros dispositivos o como captador de datos ambientales a través de la colocación de sensores [45]. Las principales características de la tarjeta Nanode se describen a continuación:

- Microcontrolador ATmega328P a 16MHz
- Controlador de Ethernet ENC28J60 y conector Ethernet
- Buffers de señal 74HCT125
- Separación de tableros de 0.1 "en todas las señales de E / S
- Interruptor de reinicio y LEDS en el borde de la PCB Las nuevas características incluyen:
- 32K x 8 Sketchloader SRAM
- Mini conector de alimentación USB
- LEDs rojo y verde para un mejor diagnóstico del programa
- Puede aceptar un módulo inalámbrico Hope RF RFM12B - y ser actualizado por el usuario a un Nanode RF
- En la parte inferior de la PCB hay una posición para aceptar un reloj en tiempo real.
- Dimensiones 63mm x 55mm x 15mm [47]

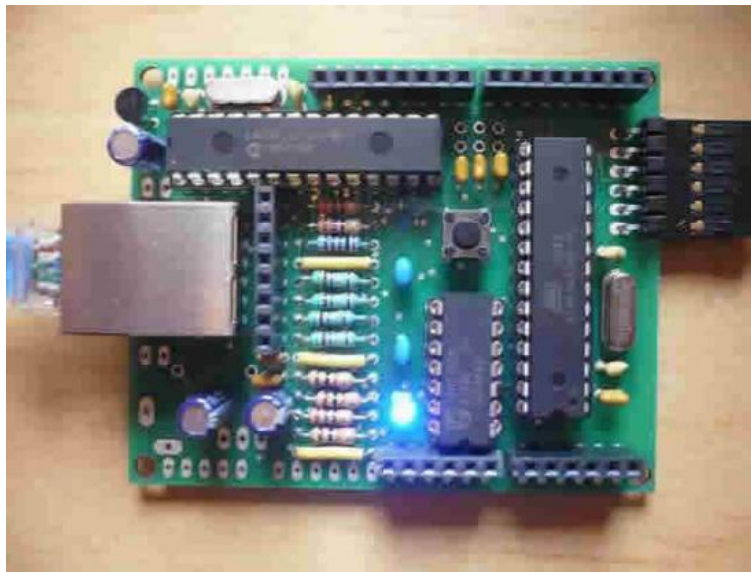


Figura N° 6. Nanode [47]

2.2.13. HERRAMIENTAS DE SOFTWARE LIBRE

Software Libre, se refiere a cuatro libertades de los usuarios:

- La libertad de usar el programa, con cualquier propósito (libertad 0).
- La libertad de estudiar cómo funciona el programa, y adaptarlo a las necesidades (libertad 1).
- La libertad de distribuir copias (libertad 2).

- La libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie. (libertad 3). [48]

El software libre suele estar disponible gratuitamente, o al precio de costo de la distribución a través de otros medios; sin embargo no se debe asociar software libre a "software gratuito", debido a que, conservando su carácter de libre, puede ser distribuido comercialmente ("software comercial"). [48] De igual forma, el "software gratis" o "gratuito" incluye en ocasiones el código fuente; no obstante, este tipo de software no es libre en el mismo sentido que el software libre, a menos que se garanticen los derechos de modificación y redistribución de dichas versiones modificadas del programa. [48]

Por otra parte no se debe confundirse software libre con "software de dominio público". Éste último es aquel software que no requiere de licencia, pues cualquiera puede hacer uso de él, siempre con fines legales y consignando su autoría original. Si un autor condiciona su uso bajo una licencia, por muy débil que sea, ya no es del dominio público. [48]

2.2.13.1 TIPOS DE LICENCIAS

Una licencia es una autorización formal con carácter contractual que un autor de un software da a un interesado para ejercer "actos de explotación legales". [49] Desde el punto de vista del software libre, existen distintas variantes del concepto o grupos de licencias:

- **Licencias GPL:** Una de las más utilizadas es la Licencia Pública General de GNU (GNU GPL). El autor conserva los derechos de autor (copyright), y permite la redistribución y modificación bajo términos diseñados para asegurarse de que todas las versiones modificadas del software permanecen bajo los términos más restrictivos de la propia GNU GPL. [49]
- **Licencias estilo BSD:** Se denominan así debido a que se emplean en gran cantidad de software distribuido junto a los sistemas operativos BSD. El autor, bajo tales licencias, mantiene la protección de copyright únicamente para la renuncia de garantía y para requerir la adecuada atribución de la autoría en trabajos derivados, pero permite la libre redistribución y modificación, incluso si dichos trabajos tienen propietario. [49]
- **Licencias estilo MPL y derivadas:** Esta licencia tiene un gran valor puesto que fue el instrumento que empleó Netscape Communications Corp. para liberar su Netscape Communicator 4.0 y empezar uno de los proyectos más importantes para el mundo del

Software Libre: Mozilla. Se emplean en gran cantidad de productos de software libre de uso cotidiano en todo tipo de sistemas operativos. La MPL es Software Libre y promueve eficazmente la colaboración evitando el efecto "viral" de la GPL. [49]

2.2.13.2 APP INVENTOR

App Inventor se trata de una herramienta web de desarrollo diseñada conjuntamente con el Instituto Tecnológico de Massachusets y un equipo de Google Education, con la cual se pueden desarrollar aplicaciones de todo tipo que se ejecutan en los dispositivos móviles con sistema operativo Android. [50]

En la figura N° 12 se ilustra el entorno de desarrollo de App Inventor:

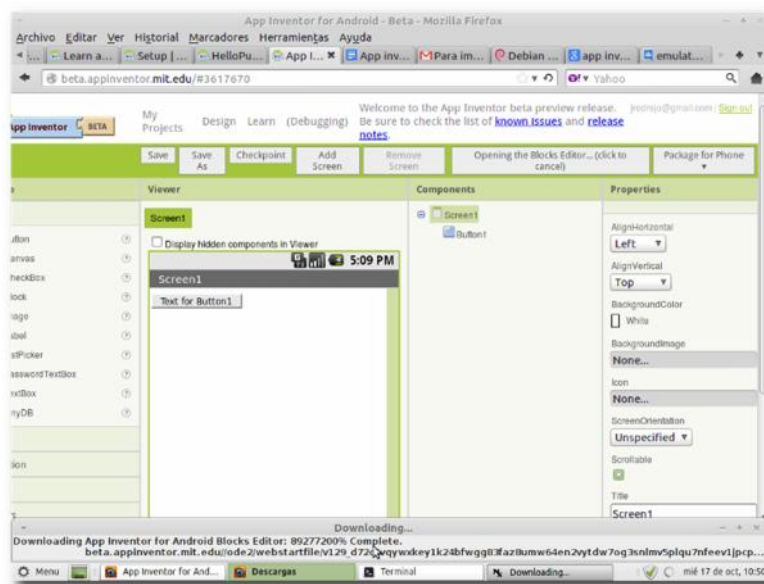


Figura N° 7. Entorno de App Inventor [48]

4.5.2.1. Características de App Inventor

- Es un lenguaje de programación basado en bloques y orientado a eventos.
- Es software libre, por lo que no es necesario la adquisición de licencias
- Es multiplataforma: requiere sólo de un navegador y la máquina virtual de Java instalada.
- Permite crear aplicaciones capaces de interactuar con los diferentes sensores del dispositivo móvil y guardar información en él.
- Dispone de un emulador de Android.
- La conexión con los dispositivos puede realizarse mediante una conexión vía Wi-Fi, con un cable USB o se puede generar una aplicación (APK) que se puede instalar en el dispositivo como cualquier otra aplicación Android. [51]

2.2.14. TECNOLOGÍA INALÁMBRICA

La evolución de las tecnologías de movilidad ofrece la posibilidad de acceder a datos y servicios con independencia de la situación física del usuario. Las comunicaciones inalámbricas permiten la transferencia de información mediante ondas electromagnéticas las cuales se propagan por el aire permitiendo establecer la conexión entre dos o más terminales. [52]

Dentro de las tecnologías inalámbricas destacan tres grupos:

- El primer grupo de tecnologías como el HSDPA y el UMTS ofrece altas capacidades para las comunicaciones móviles debido a su amplia cobertura y alcance.
- El segundo grupo está formado por aquellas de menor alcance destacando el Wi-Fi (Wireless Fidelity) que permite transmitir datos a distancia de hasta 100 metros y la tecnología Wii-Max que permite la transferencia de datos a mayores velocidades y con suficiente cobertura para implementar redes LAN y MAN.
- El tercer grupo posibilitan la transmisión de datos de corto alcance entre equipos móviles y fijos, permitiendo la sincronización de datos entre dispositivos en el ámbito de una red personal. Dentro de este grupo se encuentran tecnologías como Bluetooth o Zigbee. [52]

2.2.15. ESTANDAR 802.15: BLUETOOTH

Bluetooth es una tecnología inalámbrica diseñada para proveer de conectividad entre dispositivos móviles bajo el estándar 802.15.

Opera en un rango de frecuencias abiertas, entre 2,402y 2,480 Ghz, posee un canal de comunicación asimétrico de 721 kb/s en transmisión y 57,6 Kb/s en recepción, en el caso de una comunicación simétrica, la tasa de transferencia alcanza los 432,6 Kb/s para cada canal. [53]

El rango de cobertura de esta tecnología es de 10 metros, sin embargo mediante puntos de acceso se puede ampliar hasta 100 metros. Por otra parte el consumo de energía es relativamente bajo, ya que para transmitir a distancias de 10 metros se requiere de 1 mW, mientras que para llegar a los 100 metros emplea 100mW.

Este estándar permite conectar varios terminales para formar piconets (redes en el que un dispositivo actúa como maestro y los otros como esclavos) y posibilita la conexión a una LAN o WAN mediante un punto de acceso. [53]

Los dispositivos Bluetooth poseen un identificador único y requieren de un mecanismo que consta de dos procesos que son llevados a cabo secuencialmente para identificar a otros terminales, sincronizarse y finalmente completar la conexión.

- Inicialmente se realiza el proceso de pregunta (inquiry), cuya duración es de 5 a 10 segundos, tiempo en el cual el dispositivo que pregunta puede conocer los identificadores y los relojes de todos los dispositivos cercanos.
- A continuación se lleva a cabo el proceso de paging que consiste en establecer la conexión con uno o más dispositivos. Este proceso se lleva a cabo en 2 segundos. En cuanto a seguridad esta tecnología es vulnerable a escuchas, jamming, ataques SNARF, etc. por lo que en sistemas donde se maneje información personal se debe tomar muy en cuenta este aspecto. [53]

2.2.16. REDES WBAN (WIRELESS BODY AREA NETWORK)

Las redes inalámbricas de área corporal se utilizan para la interconexión de dispositivos, sensores y equipos que se llevan sobre el cuerpo o en la ropa u objetos de uso personal. Su rango de alcance es de alrededor de 1 m.

Las redes de área corporal incluyen a todos los dispositivos electrónicos que lleva una persona o se encuentran ubicados en el entorno próximo y están al alcance de la persona. [54]

Las redes WBAN tienen como objetivo optimizar la integración entre dispositivos tales como PDA, equipos de monitorización, relojes, etc., y de la misma forma servir de nexo entre las redes existentes como PAN y LAN. [55]

2.2.16.1 TECNOLOGÍAS DE SOPORTE PARA LAS REDES WBAN

Para el desarrollo del concepto de las redes inalámbricas de área corporal existe el grupo de trabajo 802.15 que cuenta con un estándar operativo, el cual es el IEEE 802.15.1 basado en la tecnología Bluetooth. Además trabajan en otros estándares como el 802.15.2 que permite la coexistencia de tecnologías, el 802.15.3 para USB inalámbrico y el 802.15.4 para tecnología Zigbee. [56]

- La tecnología Bluetooth gracias a su bajo consumo y el alcance de transmisión actualmente se ha convertido en la tecnología más importantes para las redes WBAN, Sin embargo a pesar de estas características su consumo aún no es lo suficientemente bajo como para ser empleado en sensores con tiempo de vida de meses o años, o sensores de bajo mantenimiento. Además Bluetooth tiene otro

inconveniente ya que solo puede mantener una comunicación activa hasta con 7 dispositivos y en forma inactiva con 255 dispositivos. [56]

- Zigbee por otra parte es la solución más fiable frente a estos problemas ya que ofrece un consumo de energía más bajo que bluetooth y la posibilidad de interactuar hasta con 64000 dispositivos, sin embargo la desventaja de esta tecnología es el reducido ancho de banda que se puede manejar.
- La tecnología RFID debido a su alto grado de fiabilidad y su bajo costo de desarrollo, implementación y mantenimiento ofrece algunas aplicaciones en las redes WBAN ya que es sumamente útil para procesos de identificación. [56]
- ECMA 368 - MB OFDM es la evolución en Europa del estándar UWB para OFDM. Opera en la banda de 3.1 GHz a 10.6 GHz. Divide dicha banda en 5 sub-bandas con canalizaciones internas de 3 bandas de 528 MHz para los cuatro primeros grupos y 2 para el quinto. Emplea varios esquemas de modulación que pueden ser QPSK, y DCM y permite alcanzar velocidades de transmisión de hasta 480 Mbps. La potencia de emisión máxima es de -43dBm. [56]

2.2.16.2 APLICACIONES DE LAS REDES WBAN

- APLICACIONES MÉDICAS

Las redes de área corporal tienen un gran potencial en la medicina, por su capacidad de optimizar la manera en que se realizan varios procesos como diagnóstico, monitoreo, cirugías y tratamientos médicos. [56]

En las aplicaciones de diagnóstico, un médico puede tomar la información necesaria para realizar un examen mediante sensores ubicados en el cuerpo del paciente. En este caso, una unidad central procesa toda la información que proviene de una nube de sensores. La transmisión puede ser unidireccional, de los sensores a la estación central o nodo coordinador, y la información capturada es procesada por una aplicación y/o sistema de información que despliega la información en imágenes, señales o estadísticas. [56]

En el ámbito de la cirugía, será posible desarrollar una serie de nano máquinas que se comuniquen y sean coordinadas por medio de una estación de trabajo permitiendo realizar cirugías y tratamientos médicos sin necesidad de operar o hacer cortes sobre el paciente. [56]

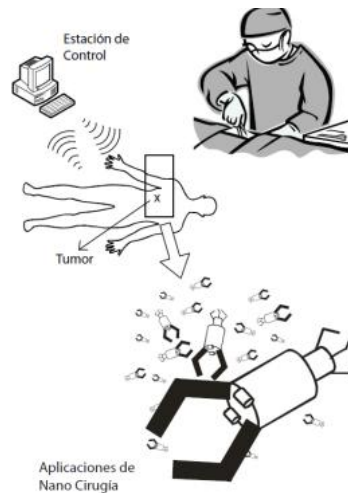


Figura N° 8. *Aplicaciones de Redes WBAN: Cirugía* [54]

- ENTRETENIMIENTO

En aplicaciones de entretenimiento, las transmisiones se hacen sobre y alrededor del cuerpo humano, y el intercambio de información se da entre los dispositivos de comunicación (relojes, celulares, PDAs,). [56]. Dentro de esta categoría se pueden mencionar dos tipos de intercambio de información:

- **Entretenimiento Multimedia:** Corresponde a la transmisión de audio y/o video a través de conexiones inalámbricas, entre la fuente de información y el transductor que entrega la información al órgano del sentido destino (audífonos, micrófonos, displays). La transmisión puede hacerse de manera unidireccional, un canal de retorno sólo es lógico cuando se desea hacer control de flujo o servicios adicionales sobre la transmisión de multimedia. [56]

- **Intercambio y sincronización de información:** El proceso de intercambio corresponde al envío de información de manera bidireccional. Dentro de este tipo de aplicaciones se consideran escenarios en donde se sincronizan archivos de datos, música y video entre dos dispositivos o más, sin emplear un tercer elemento de red. También se considera en ambientes de domótica, ofimática, y para los servicios y aplicativos de las ciudades digitales. [56]

2.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Mediante el sistema basado en un guante electrónico se traduce el lenguaje de señas empleado por personas con discapacidad auditiva mejorando su comunicación con el entorno y facilitando su inclusión social, educativa y laboral.

CAPITULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1 MODALIDAD DE LA INVESTIGACION

Debido a que el presente estudio se enfocó en el desarrollo de un sistema electrónico para asistencia de personas con discapacidad auditiva y de lenguaje, el Proyecto es de Investigación Aplicada y las modalidades empleadas son:

3.1.1 INVESTIGACIÓN APLICADA

La investigación se desarrolló en gran parte mediante pruebas del sistema, obteniendo diferentes datos y parámetros del funcionamiento lo que permitió implementar el guante electrónico para traducir de lenguaje de señas a caracteres con voz artificial y conexión inalámbrica a dispositivos móviles para personas con discapacidad auditiva y de lenguaje en la Universidad Técnica de Ambato.

3.1.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta modalidad fue una herramienta esencial en el proceso de investigación pues permitió conocer, ampliar y profundizar conceptos y criterios de diferentes autores acerca del tema de investigación, por lo cual se consultó información referente al proyecto en repositorios, libros, documentos, paper's y publicaciones nacionales e internacionales con el objetivo de obtener datos técnicos, conceptos, características y tecnologías que permitieron el desarrollo de la investigación.

3.1.3. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Esta modalidad permitió obtener información real acerca de la situación de las personas con discapacidad auditiva en la Universidad Técnica de Ambato, por lo que se recopilaron datos acerca del número de discapacitados, su desenvolvimiento con el

entorno y sus necesidades en el requerimiento de un sistema de traducción de lenguaje de señas.

3.2 POBLACION Y MUESTRA

Por las características de la investigación no se requiere población y muestra, debido a que el proyecto es netamente investigativo.

3.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La recolección de información fue un factor clave en el desarrollo de la investigación debido a que de esto depende la veracidad del proyecto.

La obtención de información requerida para la implementación del sistema se la realizó a través de libros, revistas, paper's, tesis de grado y páginas web, con el objetivo de garantizar la legitimidad de los resultados.

3.4 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

Una vez obtenidos los datos basados en la investigación en libros e internet se procedió al análisis de los mismos, con el fin de obtener una idea más clara del estado en el que se encuentra el tema de investigación.

Para el análisis se puso énfasis en los datos recopilados más importantes los cuales aportaron considerablemente al desarrollo del proyecto, una vez interpretados, se procedió a diseñar el guante electrónico para traducir de lenguaje de señas a caracteres con voz artificial y conexión inalámbrica a dispositivos móviles para personas con discapacidad auditiva y de lenguaje en la Universidad Técnica de Ambato.

3.5 DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolló acorde a las siguientes actividades:

1. Recopilación de información acerca del lenguaje de señas y los métodos para su traducción.
2. Análisis de los sistemas electrónicos para asistencia de personas con discapacidad auditiva
3. Estudio de las alternativas de hardware libre para el desarrollo del guante electrónico.
4. Análisis del funcionamiento de sensores flexibles.
5. Desarrollo del prototipo

6. Interpretación del lenguaje de señas mediante el guante electrónico
7. Adquisición de cada una de las señales provenientes del guante electrónico.
8. Desarrollo de la programación para el procesamiento de las señales y su traducción a caracteres y voz artificial.
9. Desarrollo de la aplicación para dispositivos móviles.
10. Pruebas de funcionamiento y obtención de parámetros del sistema
11. Elaboración del reporte con los datos obtenidos
12. Análisis de resultados y redacción de conclusiones
13. Elaboración del informe final

CAPITULO 4

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen varios sistemas de asistencia para personas con discapacidad auditiva que permiten traducir el lenguaje de señas mediante dispositivos o software propietario, sin embargo, no todos son accesibles económicamente e incluso requieren de ordenadores para su funcionamiento lo que imposibilita su uso habitual.

Con la finalidad de mejorar la intercomunicación de las personas con discapacidad auditiva se plantea el sistema que permite traducir el lenguaje de señas mediante un guante electrónico que cuenta con un sintetizador de voz artificial y a su vez ofrece la posibilidad de mantener una conversación mediante comunicación bluetooth.

Este sistema se plantea de forma que sea útil para jóvenes y adultos con discapacidad auditiva y cuyo diseño sea portable, económico y de fácil manejo.

A continuación se presentan los requisitos previos para el desarrollo del sistema:

4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO DEL SISTEMA

En cuanto a los requerimientos previos al desarrollo del prototipo se tomaron en cuenta los siguientes ítems:

- Usuarios del sistema electrónico
- Método de traducción
- Dimensiones del guante electrónico.

Seguidamente se detallan cada una de éstas consideraciones:

4.1.1. Usuarios del sistema electrónico

El guante electrónico está orientado a estudiantes con discapacidad auditiva y de lenguaje de la Universidad Técnica de Ambato que manejen el lenguaje de señas, específicamente el alfabeto dactilológico. El sistema también puede ser empleado por

personas sin discapacidad para que puedan aprender el lenguaje de señas de una forma más didáctica.

4.1.2. Método de traducción

Para traducir el lenguaje de señas mediante el sistema electrónico, se plantea un guante constituido por sensores que permiten detectar la posición de cada dedo al formar las letras del alfabeto dactilológico.

Este método convierte las configuraciones manuales en caracteres y de esta manera se pueden formar palabras u oraciones facilitando la comunicación de la persona discapacitada.

El alfabeto dactilológico consta de 30 configuraciones manuales como se ilustra en la Figura N° 14.

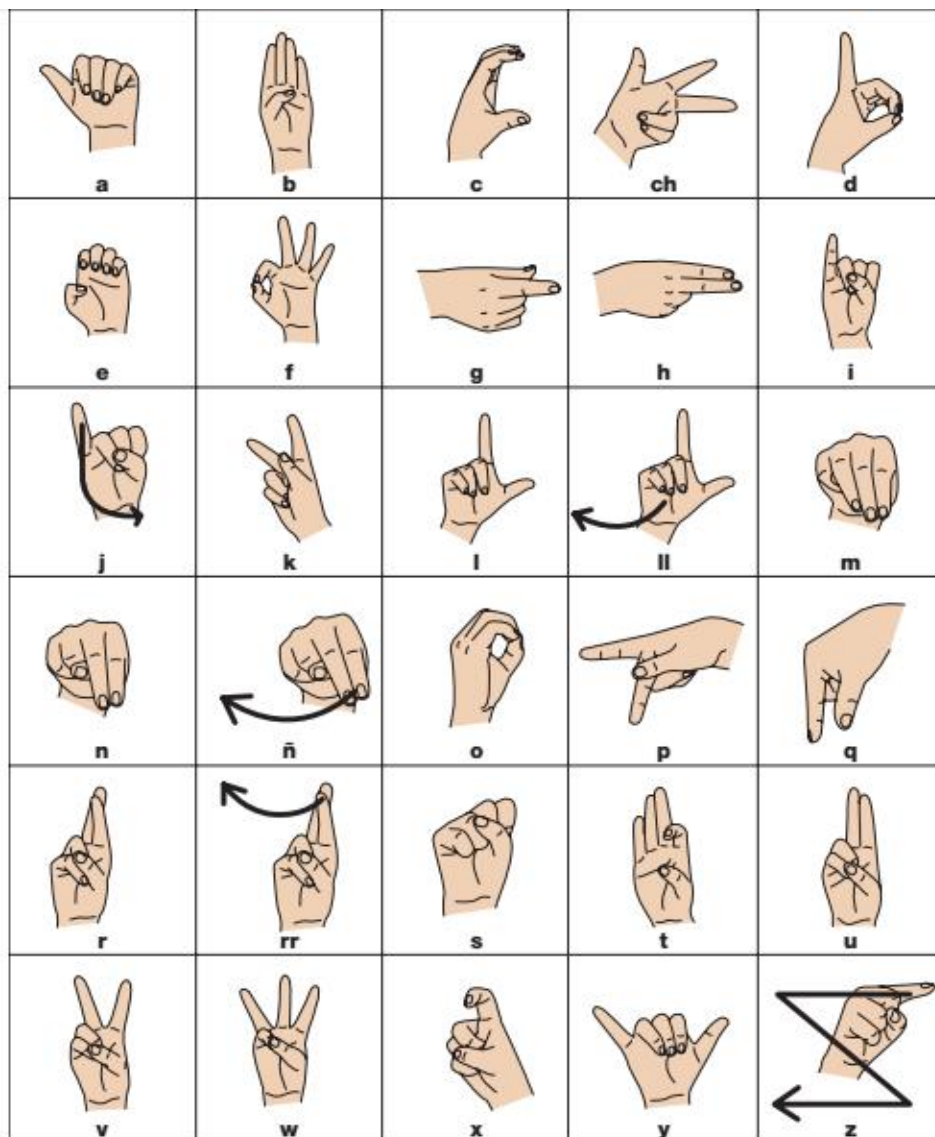


Figura N° 9: Alfabeto Dactilológico [34]

4.1.3. Dimensiones del guante electrónico

Mediante la investigación realizada y considerando las necesidades de las personas con discapacidad auditiva, el sistema se dimensionó de manera que sea ergonómico, portable y de fácil manejo.

Las dimensiones del guante electrónico son de 18cm x 8.5cm correspondiente a la talla S, adicionalmente posee una especie de brazalete situado en la muñeca, el cual tiene una longitud de 11 cm, en donde se encuentra la tarjeta electrónica y la pantalla TFT.

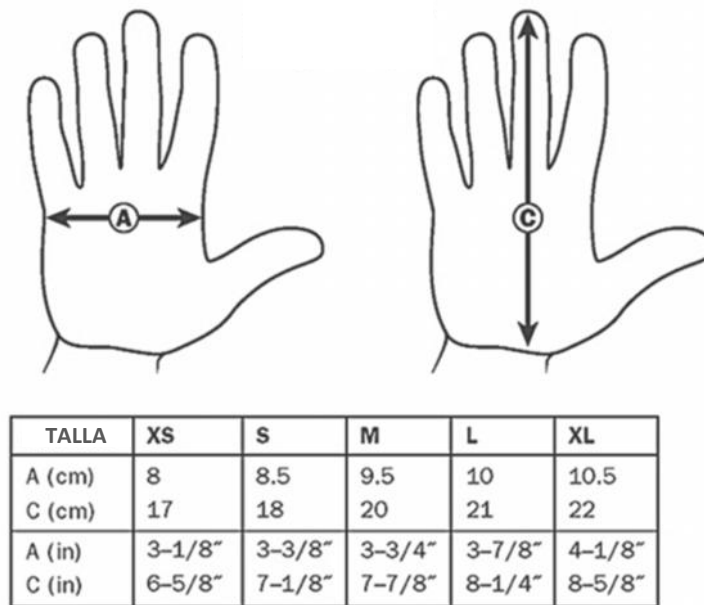


Figura N° 10. Referencia de las dimensiones del guante

Fuente: Investigador

4.2. ESTRUCTURA DEL GUANTE ELECTRÓNICO

El prototipo está dividido en dos partes; la primera es el guante en donde se encuentran los sensores flexibles que permiten detectar la posición de los dedos al formar las letras del alfabeto dactilológico y la segunda un brazalete el cual se coloca alrededor de la muñeca en donde se encuentra la pantalla TFT, un acelerómetro y la tarjeta electrónica con los respectivos módulos que permiten realizar el procesamiento y presentación de los datos.

A continuación en las Figuras N° 11 y 12 se presenta el modelado en 3D del guante electrónico:

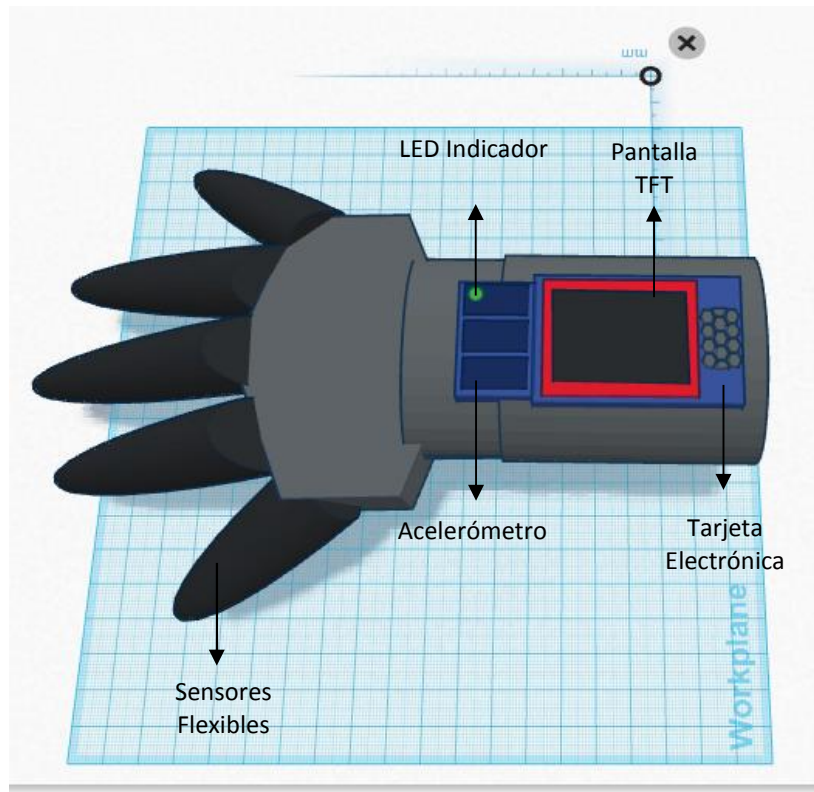


Figura N° 11. *Vista superior del guante electrónico*

Fuente: Investigador

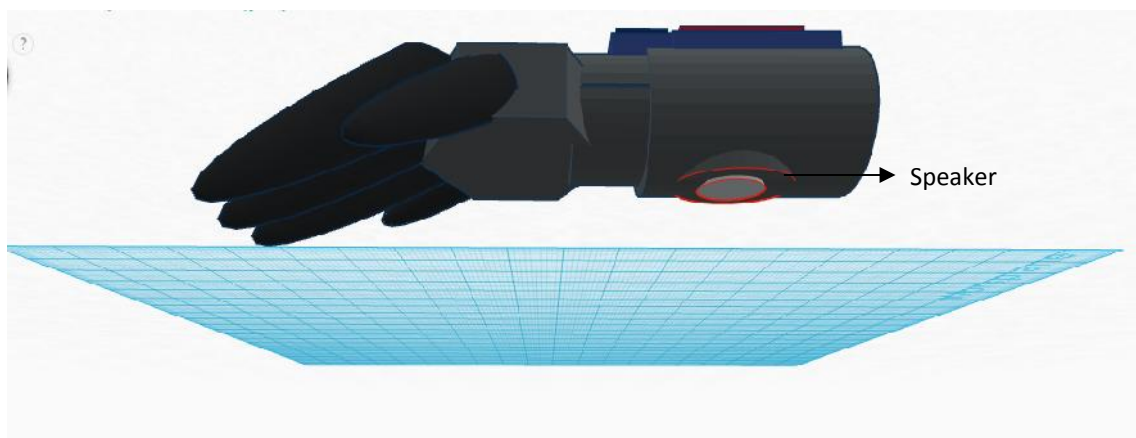


Figura N° 12. *Vista inferior del guante electrónico*

Fuente: Investigador

4.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

Con la finalidad de facilitar la comprensión acerca del funcionamiento y estructura del guante electrónico, se presenta el siguiente diagrama de bloques ilustrado en la Figura N° 13, el cual contiene los diferentes subsistemas que conforman el prototipo.

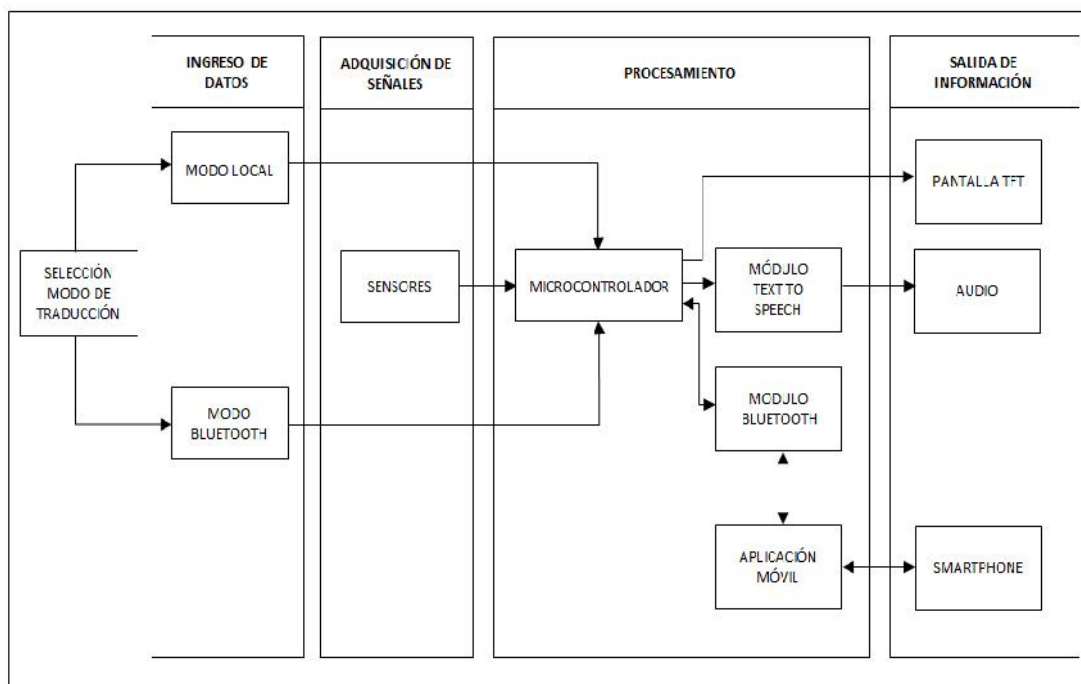


Figura N° 13. Diagrama de bloques del sistema electrónico

Fuente: Investigador

Según la Figura N° 13 el funcionamiento del guante electrónico es el siguiente:

1. El proceso inicia con la selección del modo de traducción que puede ser local o a través de una conexión bluetooth.
2. A continuación, se realiza la adquisición de las señales de los sensores.
3. En la etapa de procesamiento, la tarjeta electrónica recibe los datos de los sensores y ejecuta la programación que traduce las configuraciones manuales en caracteres.
4. En el modo de traducción local, el mensaje se visualiza en la pantalla TFT y a su vez la tarjeta electrónica se comunica con el módulo Text To Speech para reproducir la información mediante una salida de audio.
5. En el modo bluetooth, los caracteres son enviados mediante el modulo bluetooth a un dispositivo móvil y paralelamente desde la aplicación desarrollada se pueden enviar mensajes que son visualizados en la pantalla TFT.

En la Figura N° 14, se presenta el Diagrama Físico del sistema en donde se ilustran los diferentes elementos electrónicos que intervienen en cada etapa del diagrama de bloques así como la interacción del usuario con el guante electrónico.

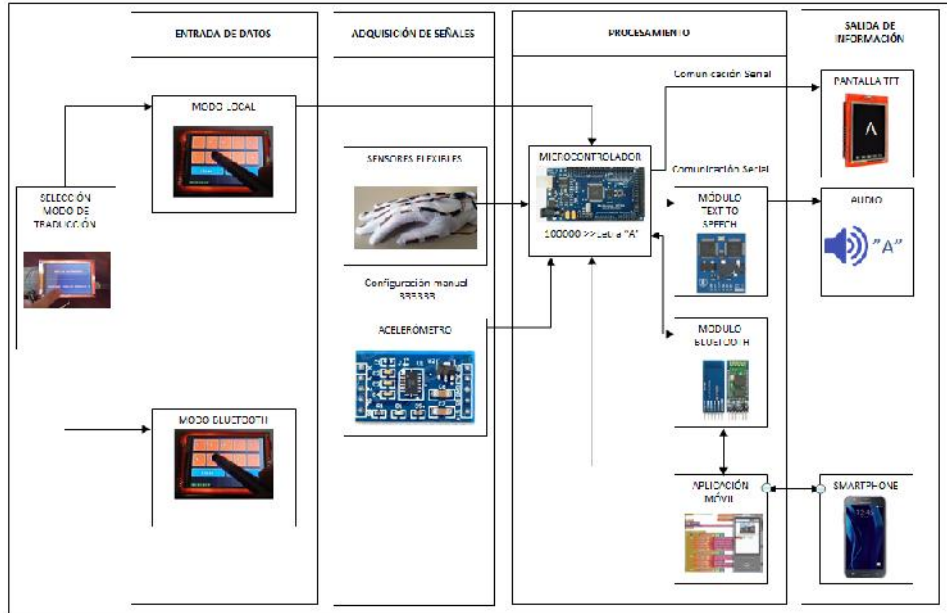


Figura N° 14. Diagrama físico del sistema electrónico

Fuente: Investigador

A continuación se detallan cada una de las etapas que conforman el diagrama de bloques presentado en la Figura N° 14.

4.3.1. Selección del modo de traducción.

El sistema electrónico dispone de dos modos de traducción: local y bluetooth, los cuales se pueden seleccionar mediante las configuraciones manuales ilustradas en las Figuras N° 15, 16, 17.

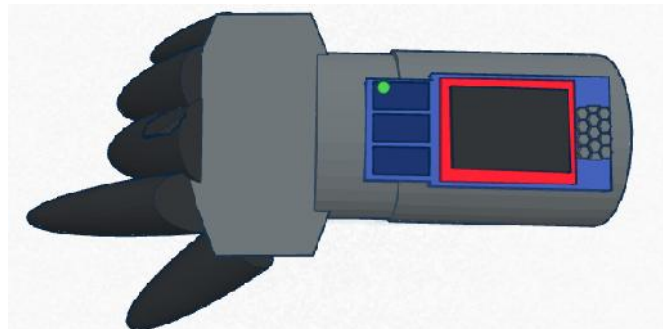


Figura N° 15. Configuración manual para seleccionar el modo local

Fuente: Investigador

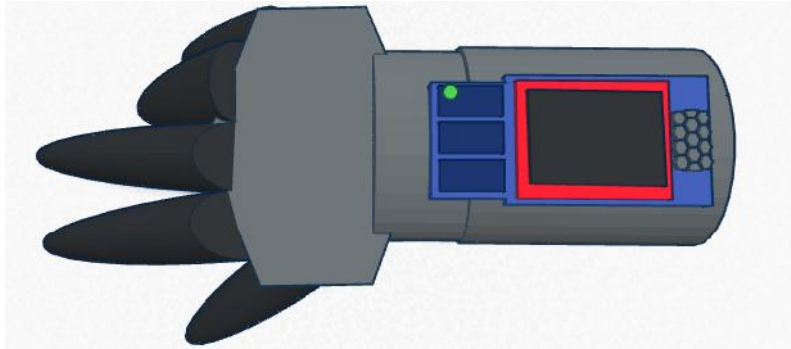


Figura N° 16. *Configuración manual para seleccionar el modo bluetooth*

Fuente: Investigador

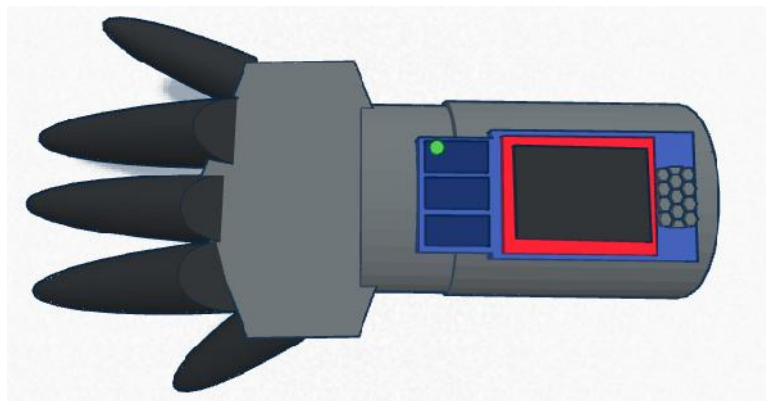


Figura N° 17. *Configuración manual para salir*

Fuente: Investigador

4.3.2. Entrada de datos

De acuerdo a la configuración manual que el usuario realice los modos de traducción se ejecutan de manera excluyente, es decir, cuando se selecciona el modo local, el modo bluetooth se encuentra desactivado y viceversa.

Los modos de traducción disponibles se describen a continuación:

a) Modo Local

Este modo de traducción permite al usuario visualizar la traducción en la pantalla TFT y una vez que el mensaje esté completo mediante un pulsador ubicado en el dedo pulgar del guante electrónico el mensaje se reproduce a través de un módulo Text To Speech el cual cuenta con una salida de audio.

Para salir de este modo el usuario debe realizar la configuración manual indicada en la Figura N° 31 y de esta forma puede seleccionar el otro modo de traducción.

b) Modo Bluetooth

Este modo permite conectarse con un dispositivo móvil y establecer una comunicación bidireccional entre emisor y receptor.

La traducción es enviada mediante el módulo bluetooth a un dispositivo móvil que previamente debe tener instalada la aplicación desarrollada para este fin en donde se visualiza y se reproduce la traducción, a su vez el receptor puede enviar mensajes al usuario y éstos son visualizados en la pantalla TFT.

4.3.3. Adquisición de señales

En el proceso de adquisición de señales intervienen los sensores que permiten determinar la posición de los dedos y un acelerómetro para medir la inclinación del brazo. De esta forma se puede determinar la configuración manual que el usuario realiza.

4.3.4. Procesamiento de datos

En esta etapa la tarjeta electrónica adquiere las señales provenientes de los sensores y del acelerómetro para determinar la configuración manual realizada por el usuario. En el proceso intervienen las 6 señales de los sensores y 2 del acelerómetro correspondientes a los XY. De esta forma se obtiene un código para cada configuración incluido los grados de inclinación del brazo. Adicionalmente se establece la comunicación con los módulos Text to Speech y el módulo Bluetooth para reproducir y enviar los datos respectivamente.

4.3.5. Salida de información

La presentación de los datos del sistema embebido se basa en tres elementos detallados a continuación:

- Pantalla: este dispositivo de salida permite al usuario visualizar el menú del sistema y dependiendo del modo seleccionado se visualiza la traducción y los mensajes recibidos desde el dispositivo móvil.
- Speaker: en el modo de traducción local el mensaje se reproduce mediante un speaker conectado al módulo EMIC2. El dispositivo seleccionado dispone de un circuito de amplificación propio por lo que no fue necesario diseñar un circuito adicional.

- Dispositivo móvil: en el modo de traducción vía bluetooth, el mensaje puede ser enviado a cualquier Smartphone de gama media y/o alta que disponga del Sistema Operativo Android y cuente con la aplicación desarrollada para este fin.

4.4 SELECCIÓN DE EQUIPOS

4.4.1 Selección de la pantalla para la interfaz del sistema

Para la selección de la pantalla se realizó una comparación con las alternativas disponibles tal como se muestra en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. *Tabla comparativa de las pantallas para la interfaz del sistema*

PANTALLAS	SH1106 1.6''	LCD FSTN	Adafruit FeatherWing	TFT Shield 2.8''
Tecnología	OLED	LCD	OLED	LCD
Resolución	128x64 (monocromo)	16x2	128x32	320x240 (262000 colores)
Panel táctil	No	No	No	Si
Comunicación	SPI	I2C	I2C	SPI
Alimentación	3-5 [V]	5 [V]	3-5 [V]	5 [V]
Dimensiones	34,5x35mm	80x35mm	22.9x50.9mm	71x52 mm
Costo	11USD	15,50	18 USD	30 USD

Fuente: Investigador

Una vez analizadas las especificaciones de las alternativas se seleccionó la pantalla TFT Shield 2.8'', la cual se ilustra en la Figura N° 18.



Figura N° 18. *Pantalla TFT con la interfaz del sistema*

Fuente: Investigador

a) Pantalla TFT

La tecnología TFT que significa (Thin Film Transistor) o transistor de película delgada, se trata de una tecnología basada en transistores de efecto de campo donde se coloca un electrodo sobre una placa de cristal y sobre ésta se colocan capas delgadas que se activan por medio del electrodo, formándose así cada píxel. [57]

b) Shield TFT (Thin Film Transistor) LCD Touch 2.8”

La pantalla seleccionada posee un diseño que permite acoplarse con placas Arduino UNO y Arduino Mega. Tiene 3 funciones principales:

- Pantalla LCD para visualización de gráficos o texto
- Panel táctil sobre la pantalla LCD
- Lector de tarjetas MicroSD para datalogging o almacenamiento de imágenes. [58]

Las características del Shield son:

- Pantalla LCD TFT de 2.8”
- Chip controlador LCD ILI9341
- 320×240 pixeles de resolución y 262.000 colores
- Panel táctil resistivo de 4 hilos
- Compatible con tensión de 5V
- Conexión Shield para Arduino UNO y MEGA
- Tamaño: 71 x 52 x 7 mm (L x A x H) [58]

Nota: En el Anexo G constan todas las características y especificaciones técnicas del SHIELD TFT LCD 2.8’.

c) Justificación de la pantalla seleccionada

Las características que se tomaron en cuenta para la selección de ésta pantalla son:

- *Compatibilidad:* la pantalla puede ser acoplada fácilmente sobre la tarjeta electrónica Arduino Mega, lo que facilita el diseño del guante electrónico.
- *Dimensiones:* el tamaño de la pantalla ofrece la posibilidad de visualizar un número considerable de caracteres así como el diseño de menús con interfaces interactivas.
- *Voltaje de operación:* la pantalla se alimenta con una tensión de 5 [V] lo que se ajusta al voltaje que provee la tarjeta electrónica.
- *Costo:* el costo de la pantalla es asequible tomando en cuenta sus especificaciones.

Las características mencionadas motivaron a la elección de esta pantalla puesto que se ajusta a los requerimientos para el diseño del prototipo y a su vez ofrece mayor interacción para el usuario del sistema electrónico.

4.4.2 Selección de los sensores

Debido a que el sistema requiere determinar la posición de los dedos al realizar cada configuración manual se realizó la comparación de los sensores que permiten obtener este tipo de señal y que se ajusten al diseño del sistema.

Tabla N° 4. *Tabla comparativa de los sensores para la etapa de sensado*

TIPOS DE SENSORES	SENSOR FLEXIBLE	SENSOR CAPACITIVO TTP223-B	SENSOR FOTOELÉCTRICO
Voltaje de operación	5-12 [V]	2-5[V]	5 [V]
Tipo de respuesta	Variable en función de la resistencia	Binaria	Variable en función de la intensidad de luz
Temperatura de trabajo	-35° – 80°	-40° - 85°	-35° – 80°
Dimensiones	115 x 6 x 1 mm	24 x 24 x7,2 mm	100 x 10 x 10 mm
Costo	18 USD	9 USD	10 USD

Fuente: Investigador

En base a los requerimientos del prototipo se seleccionó el sensor flexible debido a que su respuesta permite determinar el grado de inclinación de cada dedo en función de la variación en la resistencia del sensor, mientras que el sensor capacitivo únicamente ofrece una respuesta binaria y por otra parte las dimensiones del sensor fotoeléctrico no se ajustan al diseño del guante electrónico.

4.4.2.1. Justificación del sensor seleccionado

Las características que motivaron la elección del sensor son:

- *Dimensiones:* el sensor seleccionado mide 11,57 cm de largo y 0,6 cm de ancho, por lo que se puede acoplar fácilmente al modelo de guante empleado.
- *Flexibilidad:* debido a su estructura permite realizar movimientos de forma natural y regresa a su posición original una vez que es flexionado.

- *Voltaje de operación:* el sensor puede trabajar en un rango de 5 a 12 [V], por lo tanto se ajusta a la alimentación de 5 [V] que provee la tarjeta electrónica.
- *Vida útil:* pueden realizarse hasta un millón de movimientos siempre y cuando se empleen las protecciones necesarias.

Como se puede evidenciar, el sensor seleccionado se ajusta a los parámetros necesarios para el diseño del guante electrónico, siendo un elemento imprescindible en la elaboración del prototipo.

4.4.2.2. Sensor Flexible

El sensor flexible es un elemento piezoeléctrico cuya resistencia varía a medida que el sensor se dobla, es un elemento pasivo por lo que requiere de polarización para convertir una energía en otra. Es importante tener en cuenta que la resistencia cambia solo al flexionar el sensor hacia uno de los lados. Este tipo de sensores es utilizado para guantes y para movimiento de articulaciones en robots. [59] Su funcionamiento se ilustra en la Figura N° 19.

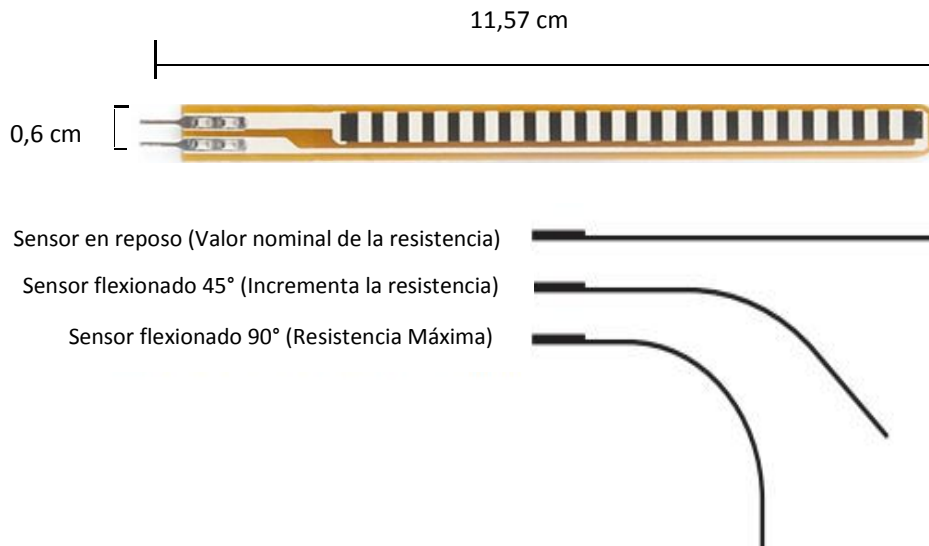


Figura N° 19. *Funcionamiento del sensor flexible*

Fuente: Investigador

Nota: En el Anexo C constan las características y especificaciones técnicas del sensor flexible.

4.4.2.3. Acondicionamiento de la señal del sensor flexible

Para el acondicionamiento de la señal del sensor se seleccionó el divisor de tensión con la finalidad de obtener una variación precisa para cada sensor y tomando en cuenta que los 6 sensores son alimentados por los 5[V] que provee el microcontrolador.

Este circuito es el más empleado para aplicaciones con sensores y micro-controlador. En la Figura N° 20 se ilustra el circuito divisor de tensión.

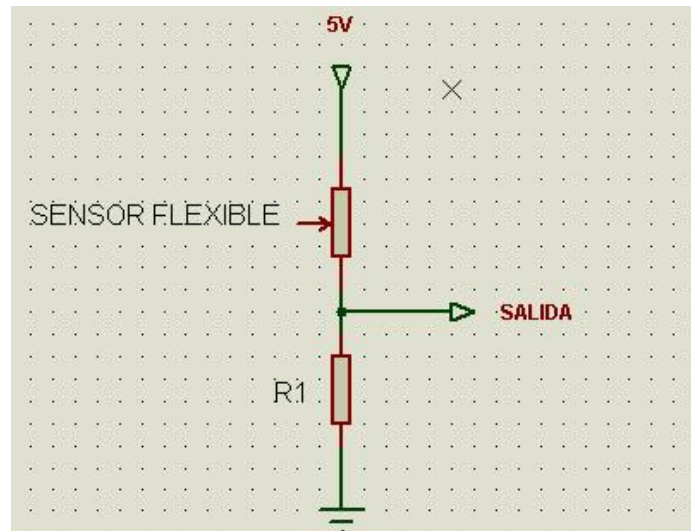


Figura N° 20. Circuito divisor de tensión

Fuente: Investigador

En la Figura N° 20 se presenta el circuito divisor de tensión conformado por el sensor flexible y una resistencia cuyo valor se calculó de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Voltaje de alimentación = 5 [V]
- Resistencia del sensor en posición de reposo = 10 [K Ω]
- Resistencia del sensor curvado 90° = 20 [K Ω]
- Voltaje de salida = 3.3. [V]

El valor del voltaje de salida se seleccionó de acuerdo a las características de los puertos analógicos de la tarjeta electrónica puesto que dicho valor permite que la adquisición de la señal proveniente de los sensores sea más precisa.

Nota.- Los valores de la resistencia son valores reales medidos empleando un óhmetro, puesto que en la hoja de especificaciones se presentan valores distintos.

Divisor de tensión:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

Ec. (1)

Donde:

V_{out}	= Voltaje de salida	[3.3V]
R_1	= Resistencia del sensor	[10K Ω]
V_{in}	= Voltaje de entrada	[V]
R_2	= Resistencia a calcular	[Ω]

Solución:

Despejando R_2 de la Ecuación 1:

$$V_{out}(R_1 + R_2) = (R_2)V_{in}$$

$$V_{out}(R_1) + V_{out}(R_2) = (R_2)V_{in}$$

$$V_{out}(R_1) = (R_2)V_{in} - V_{out}(R_2)$$

$$V_{out}(R_1) = R_2(V_{in} - V_{out})$$

$$R_2 = \frac{V_{out}(R_1)}{V_{in} - V_{out}}$$

$$R_2 = \frac{3.3 [V](10[K\Omega])}{5 [V] - 3.3 [V]}$$

$$R_2 = 19411,76471$$

$$R_2 = 20 [K\Omega]$$

Una vez calculado el valor de la resistencia se procedió a realizar las conexiones de los divisores de tensión para cada sensor.

4.4.2.4 Diagrama de conexión de los sensores con la tarjeta electrónica

Una vez diseñado el circuito de acondicionamiento de la señal, se realiza la conexión de los sensores como se ilustra en la Figura N° 21.

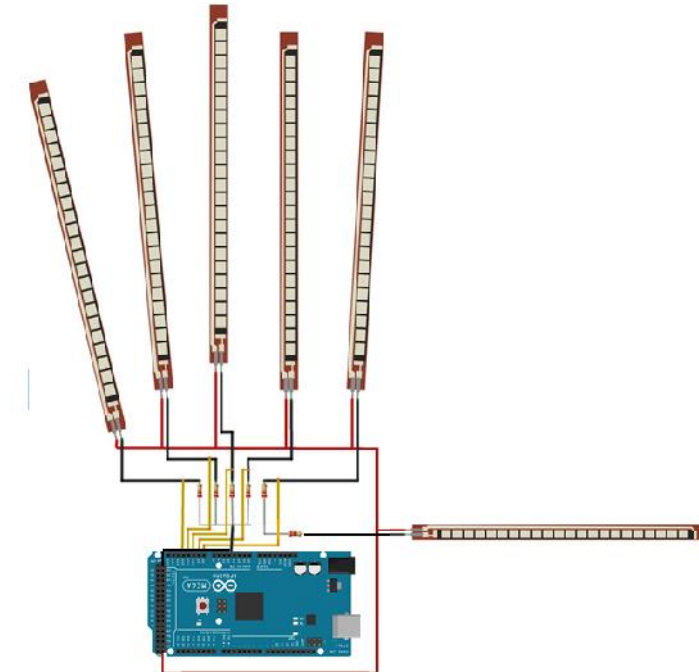


Figura N° 21. *Diagrama de conexiones del sensor flexible*

Fuente: Investigador

Nota.- Para determinar correctamente la posición de la mano se emplearon 6 sensores; cinco se encuentran ubicados en cada dedo y uno está ubicado en la parte media del guante que permite determinar la inclinación.

4.4.3. Selección del Acelerómetro

Un acelerómetro es un dispositivo que permite medir la aceleración que se produce al realizar un movimiento proporcionando una señal eléctrica según la variación física.

Una característica que presenta el acelerómetro es que puede ser utilizado como un sensor de inclinación, para lo cual se usa la aceleración de la gravedad como un vector para determinar la orientación de un objeto en el espacio. [60] .

Para la elaboración del sistema electrónico se requiere de un acelerómetro que permita obtener la inclinación del brazo en los ejes XY por lo que se realizó una tabla comparativa con las diferentes alternativas disponibles tal como se muestra en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5. Tabla comparativa de Acelerómetros

Acelerómetro:	MMA7361	MPU-6050	ADXL345	KXCNL
Voltaje de operación	2,2- 3,6 [V]	2,4 – 3,5[V]	3 – 5 [v]	1,7 – 3.6 [V]
Corriente de trabajo	400 uA	500 uA	145 uA	250 uA
Temperatura de Trabajo	-40° -a 85°	-40° a 85°	-40° a 85°	-40° a 85°
Rango de medición	± 1,5 g - ±6 g	± 2, 4,8,16g	± 2, 4,8,16g	± 2, 4,8,16g
Modo sleep	Si	Si	Si	Si
Comunicación	I2C	I2C	I2C	I2C – SPI
Costo	7	10	8	40

Fuente: Investigador

Una vez analizadas las especificaciones de cada sensor se seleccionó el MMA7361, el cual es un acelerómetro analógico de 3 ejes (x,y,z) el cual soporta una fuerza máxima de hasta 6g. El nivel de las medidas del acelerómetro permite sensor la aceleración o la inclinación de un objeto con respecto al eje terrestre. Dispone de un modo sleep, acondicionamiento de señal, filtro pasa bajas de 1 polo, compensación de temperatura, auto prueba, y detección de 0g para caída libre. Este sensor funciona con alimentaciones entre 2.2 y 3.6VDC (3.3V es el valor óptimo), y su consumo es de 400µA de corriente aproximadamente. [61]

4.4.3.1. Especificaciones del sensor MMA7361:

- Bajo consumo de corriente: 400 µA.
- Modo de espera: 3 µA.
- Bajo Voltaje de la operación: 2,2 V – 3,6 V.
- Alta sensibilidad (800 mV / g - 1.5g).
- Sensibilidad seleccionable (± 1,5 g, ± 6 g).
- Encendido Rápido Tiempo de calentamiento (0.5 ms Tiempo de Respuesta Activa).
- 0g-Detect para la Protección de la caída libre.
- Acondicionamiento de señales con filtro de paso bajo.
- Diseño robusto, alto Shocks supervivencia. [61]

En la Figura N° 22 se presenta la estructura y distribución de pines del módulo MMA7361, mientras que en la Tabla N° 6, se describe la función de cada uno de los pines.

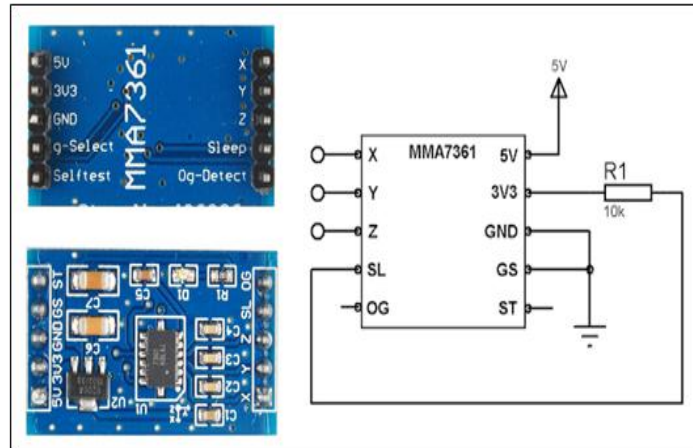


Figura N° 22. Distribución de pines del sensor MMA7361

Fuente: Investigador

Tabla N° 6. Función de los pines del sensor MMA7361

PINES DEL SENSOR MMA7361			
PIN	NOMBRE	TIPO	FUNCIÓN
1	X	Salida	Señal de salida analógica a lo largo del eje X
2	Y	Salida	Señal de salida analógica a lo largo del eje Y
3	Z	Salida	Señal de salida analógica a lo largo del eje Z
4	(SL) Sleep	Entrada	Modo Sleep, el integrado pasa a sleep y no envía nada en sus salidas. Se reanuda la operación cuando se consume más energía.
5	(OG)	Entrada	Este pin es alto cuando se detecta 0g en los 3 ejes. Útil para detectar caída libre
6	5V	Alimentación	Alimentación del sensor (5V)
7	3.3V	Alimentación	Alimentación del sensor (3.3V)
8	(GND)	Tierra	Tierra del circuito.
9	(GS)	Entrada	Pin habilitador de los sensores x, y, z.
10	(ST) Self Test	Entrada	Pin de auto-test que permite verificar que tanto las piezas mecánicas y eléctricas en el interior del chip están funcionando correctamente. Es útil para la calibración.

Fuente: Investigador basado en [64]

Nota: En el Anexo H constan las características y especificaciones técnicas del sensor MMA7361.

4.3.4.1 Selección de la tarjeta electrónica para la etapa de procesamiento de datos

En la tabla N° 7 se presentan las alternativas de Hardware Libre que se consideraron para la selección de la tarjeta electrónica que más se ajuste a los requerimientos del proyecto.

Tabla N° 7. *Tabla comparativa de tarjetas electrónicas para el procesamiento de datos*

Tarjeta electrónica	Arduino Mega 2560	Raspberry Pi 3	Beagleboard Black	Nanode
Microcontrolador	ATMega 2560	Chipset Broadcom BCM2387.	AM355x	ATMega328P
Voltaje de Operación	5 [V]	5[V]	5 [V]	3 [V]
Entradas Digitales/ Analógicas	54/16	40 Pines GPIO	65/7	74
Frecuencia de Operación	16 Mhz	1,2 Ghz	700 Mhz	16 Mhz
Memoria Flash	256 KB	1024 MB	256 MB	32KB
Dimensiones	101.52 mm x 53.3 mm	86mmx57 mm	85mmx53mm	63mmx53 mm
Comunicación	UART SPI I2C	WiFi Bluetooth	SPI I2C	RF

Fuente: Investigador

En base a las especificaciones que presenta la Tabla N° 4, se seleccionó la tarjeta Arduino Mega 2560.

4.3.4.2. Justificación de la tarjeta seleccionada

Las características que motivaron la elección de la tarjeta Arduino Mega 2560 son:

- *Compatibilidad:* la tarjeta Arduino MEGA2560 es compatible con la mayoría de los Shield o tarjetas de aplicación/ampliación disponibles para las tarjetas Arduino UNO original.
- *Alimentación:* puede ser alimentado mediante una conexión USB o con una fuente de alimentación externa
- *Memoria:* la tarjeta electrónica dispone de 256KB de memoria flash para almacenar código. Además tiene 8 KB de memoria SRAM y 4KB de EEPROM.

- *Entradas y Salidas:* dispone de 54 entradas/salidas digitales, 14 de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM. Además posee 16 entradas analógicas y cada una de ellas proporciona una resolución de 10 bits (1024 valores)
- *Capacidad:* debido a sus especificaciones es utilizada para grandes proyectos, entre los más importantes se encuentran los de domótica e impresoras 3D.
- *Comunicación:* dispone de 4 puertos seriales UART y además soporta comunicación I2C (TWI) y SPI.
- *Dimensiones:* el tamaño de la placa es de aproximadamente 101.52 mm x 53.3 mm, lo que permite ser montada fácilmente en el diseño del sistema electrónico.
- *Protección contra sobrecorrientes en USB:* la tarjeta Arduino Mega tiene un multifusible reinicializable que protege la conexión USB del PC de cortocircuitos y sobretensiones

Nota: En el Anexo D constan las características y especificaciones técnicas de la tarjeta electrónica Arduino Mega 2560.

A continuación, en la Tabla N° 8 se presenta la asignación de pines de la tarjeta Arduino Mega 2560 para el diseño del sistema electrónico.

Tabla N° 8. *Asignación de Pines Arduino Mega 2560*

ASIGNACIÓN DE PINES		
ELEMENTO	ARDUINO MEGA 2560	
	TIPO DE PIN	N° DE PIN
Pantalla TFT	Digital	0-13
	Analógico	0-5
Sensores Flexibles	Analógico	8-13
Acelerómetro	Analógico	7,14,15
Pulsador	Digital	48
Led	Digital	49
Modulo Text To Speech EMIC2	Digital	50-51
Modulo Bluetooth	Serial	18-19

Fuente: Investigador

4.4.5. Selección del módulo Text To Speech

Un módulo Text To Speech (Texto a Voz) es un dispositivo electrónico que permite convertir texto en voz artificial para reproducirlo mediante una salida de audio. [62]

Para la selección del módulo Text to Sppech se realizó una comparación con las alternativas disponibles tal como se muestra en la Tabla N° 9.

Tabla N° 9. Tabla comparativa de módulos Text To Sppech

MODULOS TEXT TO SPEECH:	EMIC2 SHIELD	TTS256	VOICEBOX SHIELD
Voltaje de operación	5 [V]	5 [V]	5 [V]
Idiomas	Inglés y Español	Inglés	Inglés
Voces Configurables	Si	No	
Comunicación	Serial	Serial	Serial
Jack de 3.4 mm	Si	No	No
Dimensiones	32 mm x 40mm	10 mm x 35 mm	60 mm x 52 mm

Fuente: Investigador

El módulo seleccionado fue el EMIC2 SHIELD, debido a su compatibilidad con la tarjeta Arduino Mega y por las dimensiones que permiten que el dispositivo sea colocado fácilmente en la estructura del guante electrónico.

Características:

- Sintetizador de alta calidad en Inglés y Español
- 9 voces predefinidas y configurables: hombre, mujer y niño
- Control dinámico permitiendo modificar: pitch, velocidad y énfasis
- Alimentación: 5V (DC)
- Consumo: 30 mA en reposo, 46-220 mA activo
- Comunicación: Asíncrona 9600bps (8N1) [62]

En la Figura N° 23 se presenta la estructura y distribución de pines del módulo EMIC2, mientras que en la Tabla N° 10, se describe la función de cada uno de los pines.

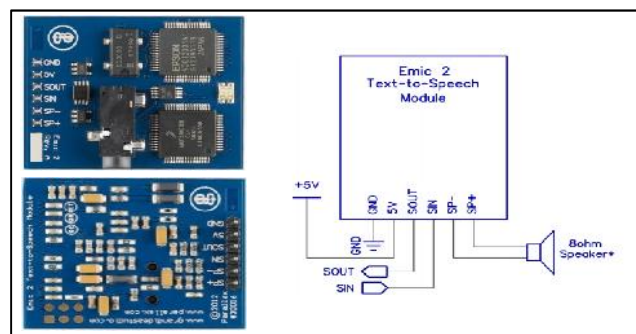


Figura N° 23. Distribución de pines del módulo EMIC2

Fuente: Investigador

Tabla N° 10. *Función de los pines del módulo EMIC2*

PINES DEL SINTETIZADOR EMIC2			
PIN	NOMBRE	TIPO	FUNCIÓN
1	GND	Tierra	Tierra del sistema. Conectar al terminal de tierra de la tarjeta electrónica.
2	5V	Alimentación	Alimentación del sistema. Entrada de 5 [V] DC.
3	SOUT	Salida	Salida Serial, interfaz de nivel TTL 5 [V], 9600 bps, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada.
4	SIN	Entrada	Entrada Serial desde el host, interfaz TTL de 3,3 V a 5 V, 9600 bps, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada.
5	SP-	Salida	Terminal negativo para salida diferencial de amplificador. Conectar directamente a altavoces de 8 Ω .
6	SP+	Salida	Terminal positivo para salida diferencial de amplificador. Conectar directamente a altavoces de 8 Ω .

Fuente: Investigador

Nota: En el Anexo E constan las características y especificaciones técnicas del módulo Text to Speech EMIC2.

4.4.6. Selección del módulo Bluetooth

En la Tabla N° 11 se presentan las alternativas que se consideraron para la selección del módulo Bluetooth que más se ajuste a los requerimientos del proyecto.

Tabla N° 11 *Comparación de módulos Bluetooth*

MÓDULO:	HC-05	HC-06
VOLTAJE DE OPERACIÓN	3.6 - 6 [V]	3.3 – 5 [V]
CONSUMO CORRIENTE	60 mA	40 mA
NIVEL DE SEÑAL	3.3 - 5 [V]	3.3 [V]
MODO DE OPERACIÓN	Maestro/ Esclavo	Esclavo
INTERFACE	Serial TTL	Serial TTL

Fuente: Investigador

De acuerdo a las especificaciones presentadas en la Tabla N° 7 se seleccionó el módulo HC-05 debido a que puede operar como Maestro o Esclavo y a los niveles de señal que admite que son 3.3 y 5 [V] lo que se ajusta al diseño del sistema electrónico.

Nota: En el Anexo F constan las características y especificaciones técnicas del Módulo Bluetooth HC-05.

4.5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

El sistema implementado cuenta con dos modos de traducción, cuyo funcionamiento se detalla a continuación:

- En el modo local, mientras el usuario realiza las configuraciones manuales correspondiente a cada letra del alfabeto dactilológico, la tarjeta Arduino Mega 2560 adquiere las señales de los sensores flexibles e identifica la letra correspondiente a cada configuración, seguidamente envía los caracteres mediante el puerto serial a la pantalla TFT para ser visualizados, una vez que el mensaje este completo, mediante un pulsador ubicado en el dedo pulgar del guante electrónico el usuario envía una señal hacia la tarjeta electrónica y ésta se comunica con el módulo EMIC2 para reproducir la traducción mediante la salida de audio.

Una vez que el mensaje se reproduce, los caracteres en la pantalla TFT se borran automáticamente y de esta forma se puede adquirir una nueva traducción.

Este procedimiento se ilustra en la Figura N° 24.

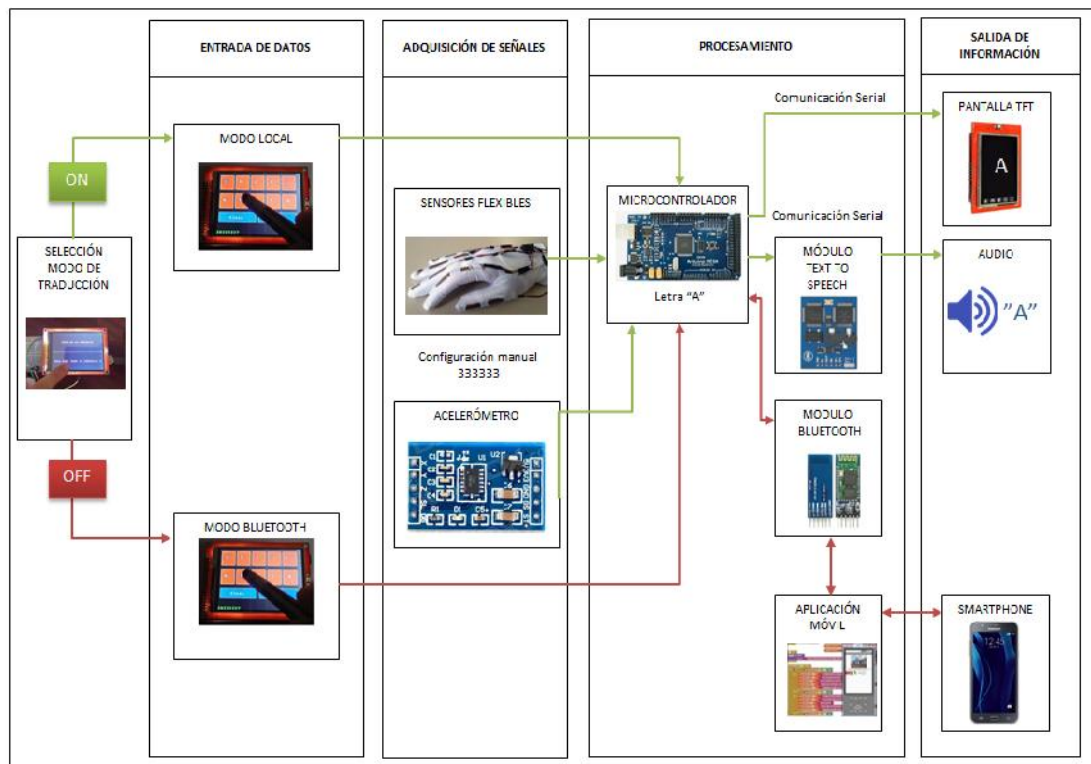


Figura N° 24. Funcionamiento del modo local

Fuente: Investigador

- En el modo Bluetooth la tarjeta Arduino Mega 2560 adquiere las señales de los sensores flexibles para identificar las configuraciones manuales correspondientes a cada letra del alfabeto dactilológico, una vez procesados los datos, mediante el pulsador ubicado en el dedo pulgar del guante la placa se comunica con el módulo bluetooth HC-05 para enviar los caracteres hacia el dispositivo móvil, el cual previamente debe tener instalado la aplicación desarrollada para éste fin. En el dispositivo móvil se visualiza el mensaje y a su vez el usuario dispone de una interfaz en donde puede reproducir la traducción.

Si el receptor requiere responder, la aplicación dispone de una funcionalidad en donde se puede escribir un mensaje y éste es enviado mediante la comunicación bluetooth hacia el módulo HC-05 el cual envía los datos a la tarjeta electrónica y ésta se comunica con la pantalla TFT para visualizar dicho mensaje, de esta forma se puede establecer una comunicación bidireccional entre emisor y receptor. En la Figura N° 25 se ilustra este procedimiento.

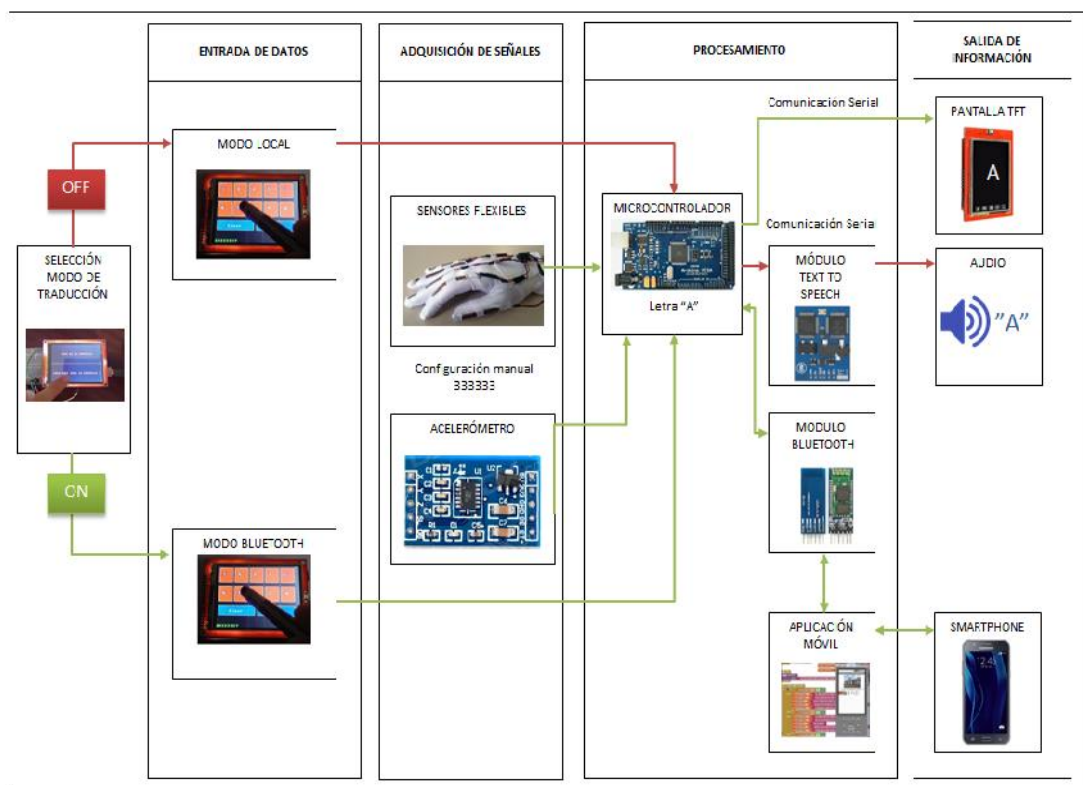


Figura N° 25. *Funcionamiento del modo bluetooth*

Fuente: Investigador

4.6. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

El funcionamiento lógico del sistema electrónico se diseñó de acuerdo al diagrama de flujo ilustrado en las Figuras N° 26 en donde se puede observar el proceso para seleccionar el modo de traducción y de acuerdo a la configuración manual realizada. se ejecuta el proceso de cada modo.

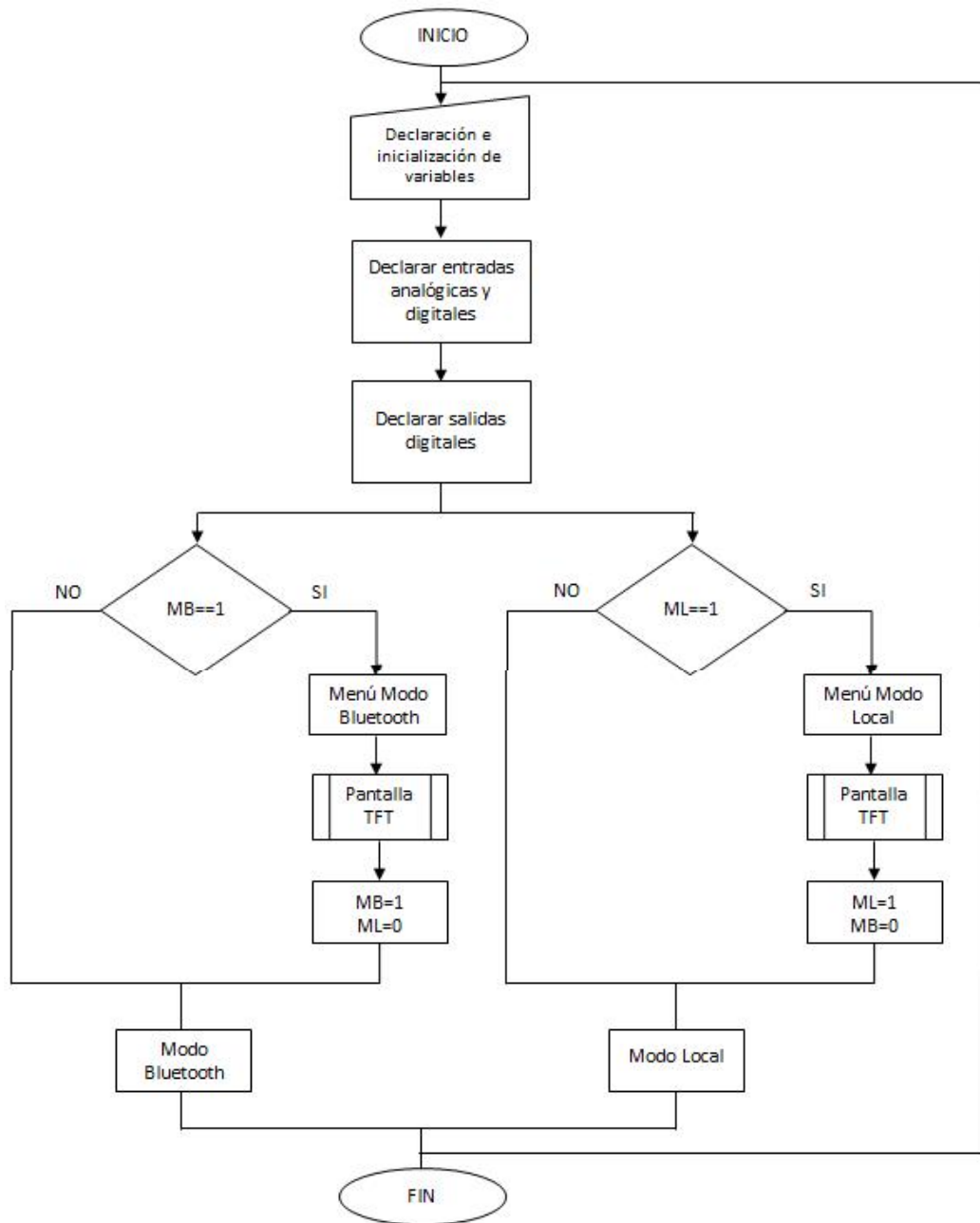


Figura N° 26. Diagrama de flujo del sistema electrónico

Fuente: Investigador

En la Figura N° 27 se puede observar el diagrama de flujo correspondiente al proceso para el modo de traducción local.

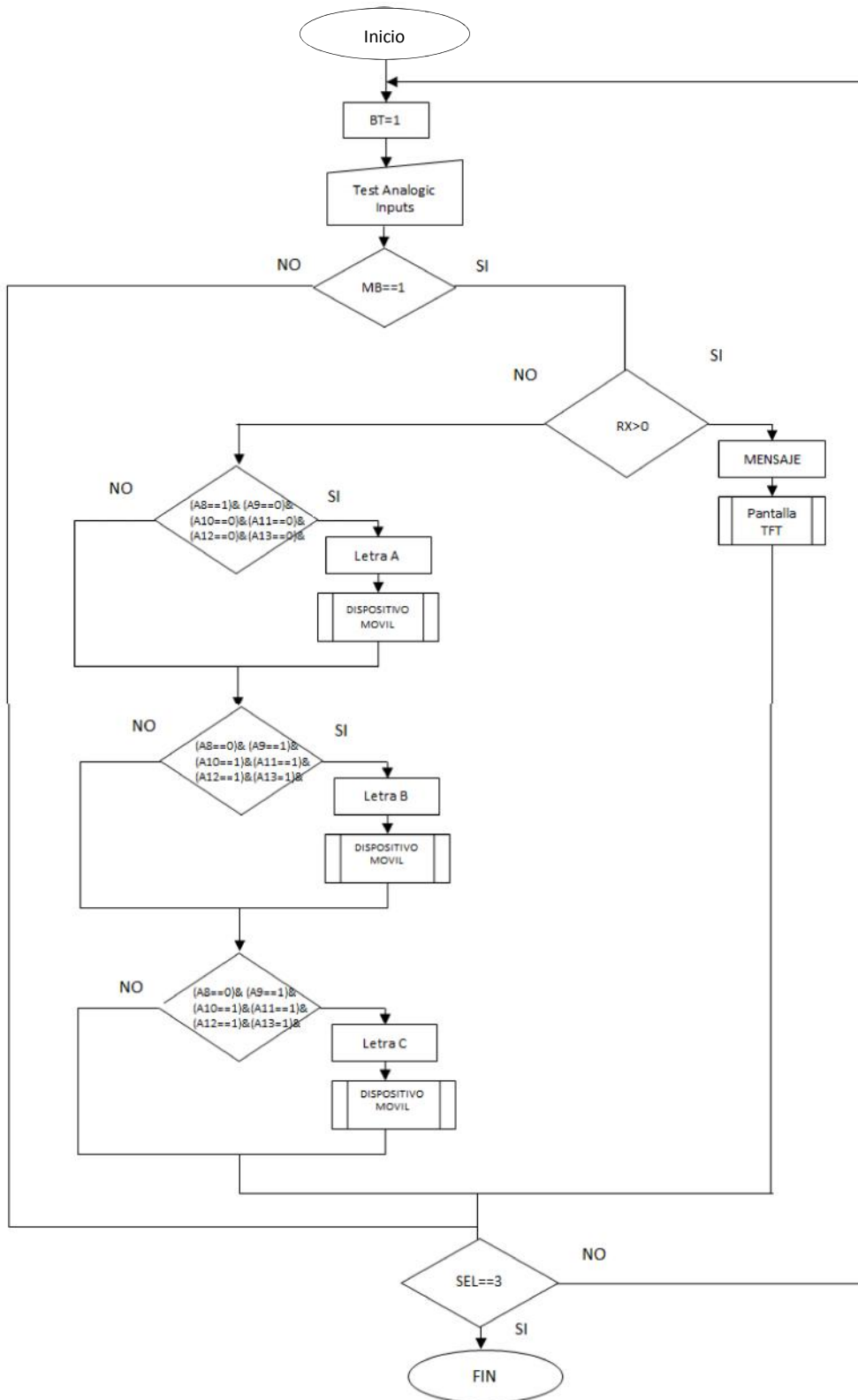


Figura N° 27. Diagrama de Flujo del modo local

Fuente: Investigador

En la Figura N° 28 se ilustra el diagrama de flujo correspondiente al proceso para el modo de traducción local.

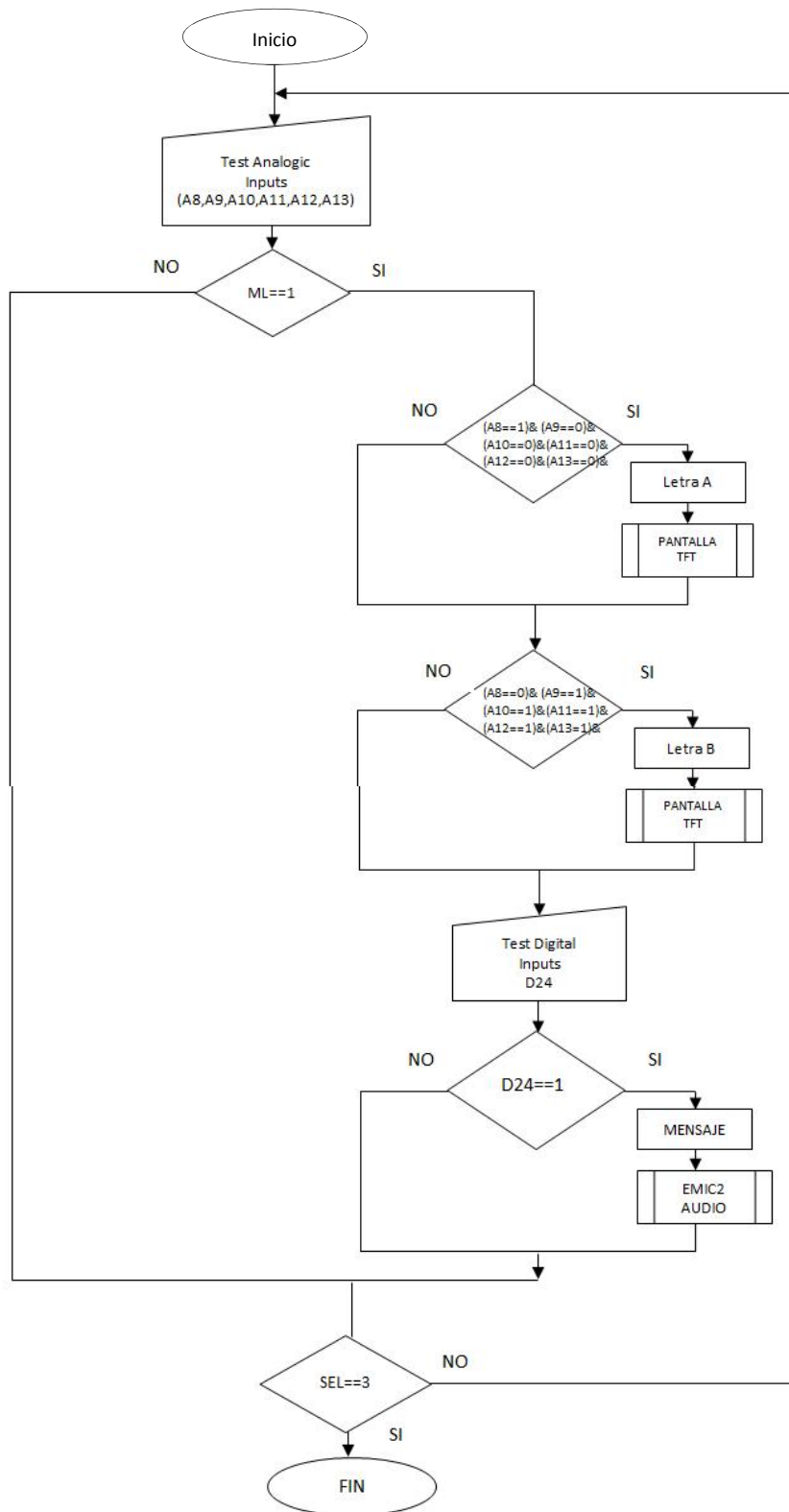


Figura N° 28. Diagrama de flujo del modo bluetooth

Fuente: Investigador

4.7. DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

A continuación, en la Figura N° 29 se presenta el diagrama de conexiones del sistema electrónico en donde constan todos los elementos y dispositivos electrónicos necesarios para la implementación del prototipo.

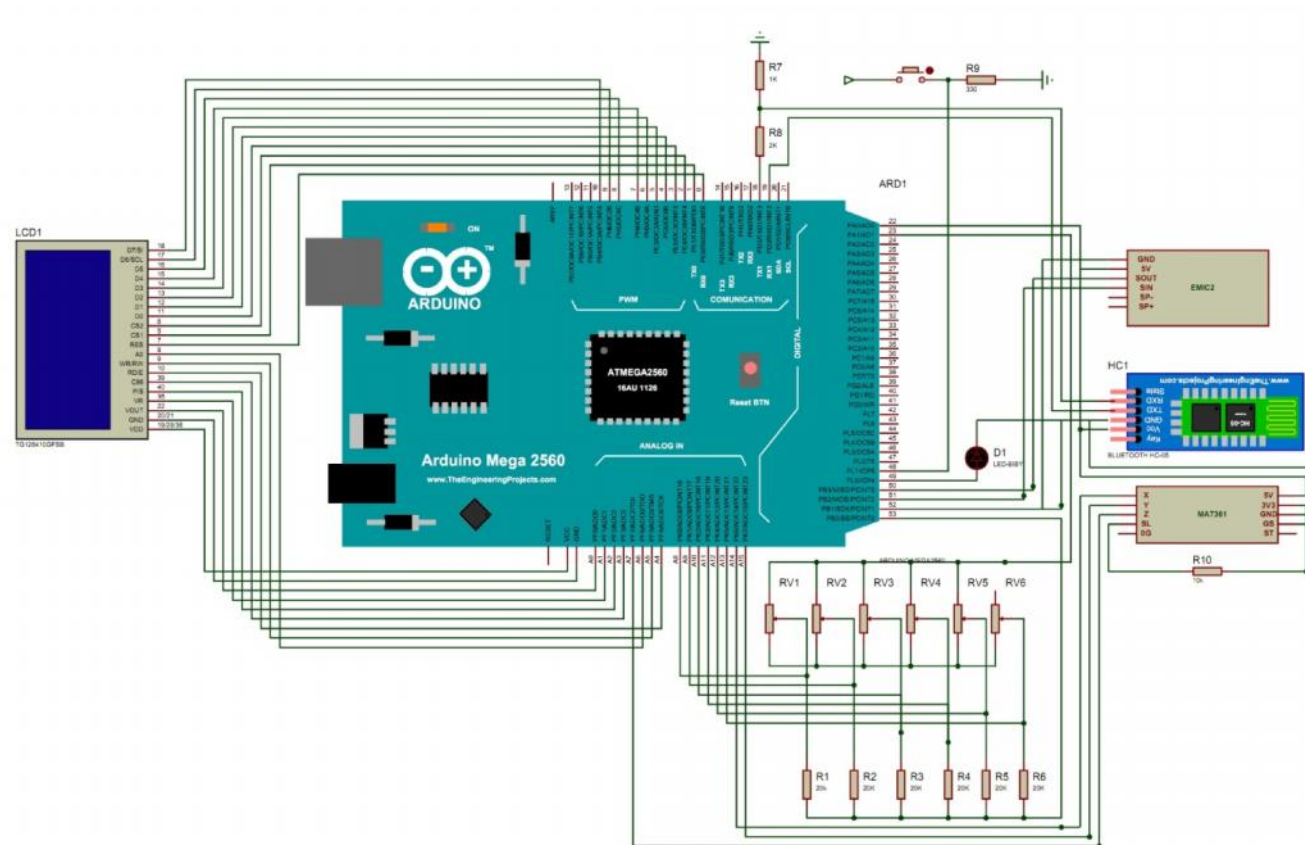


Figura N° 29. Diagrama de conexiones del sistema electrónico

Fuente: Investigador

4.8. PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN MÓVIL

El desarrollo de la aplicación se realizó mediante los dos entornos de programación que dispone AppInventor, los cuales son el de diseño y el de bloques.

En el primer entorno se colocaron todos los botones, labels y demás elementos que conforman la interfaz gráfica de la aplicación tal como se ilustra en la Figura N° 30.

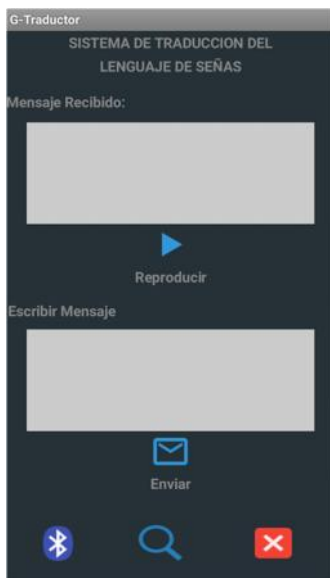


Figura N° 30. Interfaz de la aplicación Móvil

Fuente: Investigador

En el segundo entorno se establecieron los procesos de inicialización y el funcionamiento de cada uno de los elementos de la interfaz así como la configuración de la comunicación bluetooth. La programación está dividida en tres segmentos, los cuales se detallan a continuación:

- En el primer segmento se inicializa la pantalla y se configura la conexión bluetooth del dispositivo móvil tal como se ilustra en la Figura N° 31.

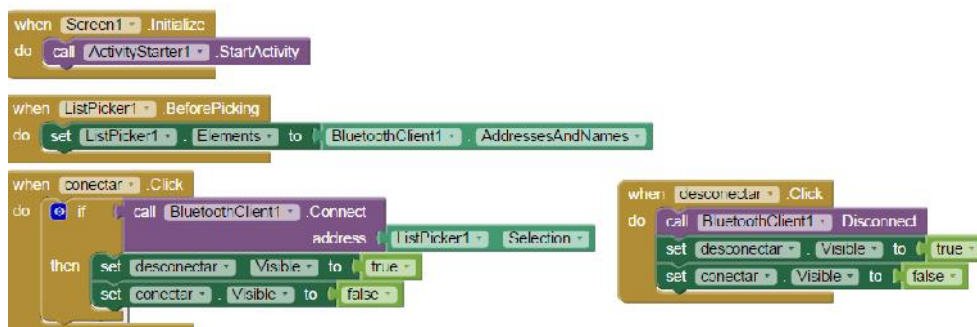


Figura N° 31. Primer segmento de la programación de bloques

Fuente: Investigador

- En el segundo segmento se realiza la programación para recibir los caracteres en el dispositivo móvil y reproducirlos mediante la opción Text to Speech mediante un botón; este proceso se puede observar en la Figura N° 32.

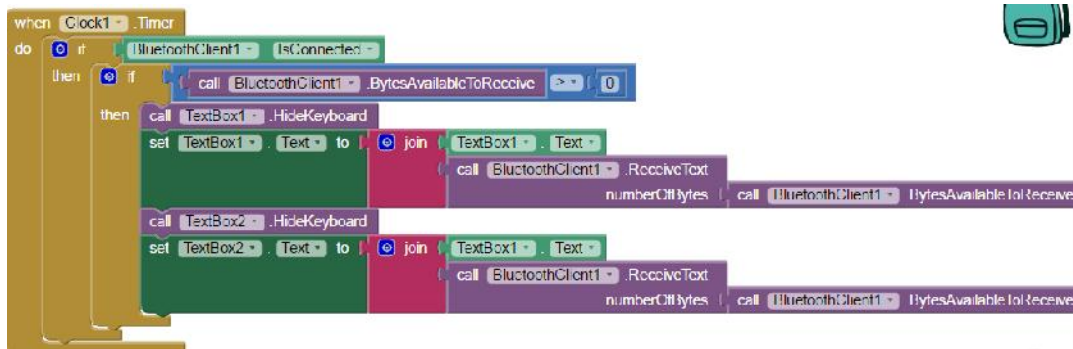


Figura N° 32. Segundo segmento de la programación de bloques

Fuente: Investigador

- En el tercer segmento se realiza la programación para enviar los datos hacia el guante electrónico y finalmente la opción de cerrar la aplicación

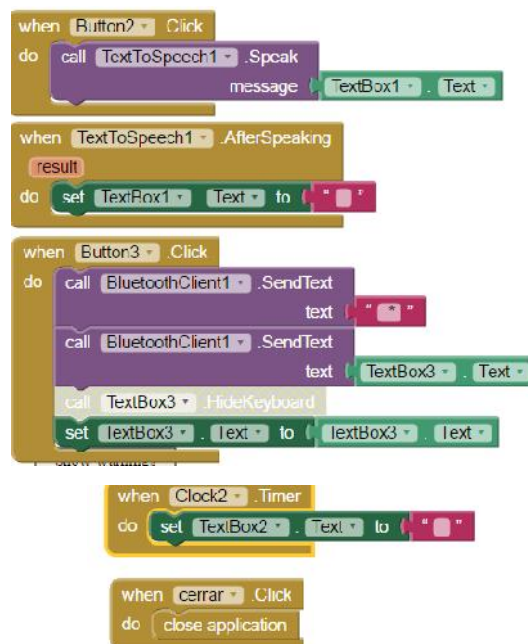


Figura N° 33. Tercer segmento de la programación de bloques

Fuente: Investigador

4.9. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EMBEBIDO

Una vez seleccionados los dispositivos electrónicos, diseñado el modelado en 3D y desarrollada la programación, se procedió a la implementación del sistema embebido tal como se ilustra en las Figura N° 34.



Figura N° 34. *Implementación del guante electrónico*

Fuente: Investigador

De la Figura N° 34 se detalla lo siguiente:

- El material del guante empleado permite realizar las configuraciones manuales de manera natural.
- Existen 5 sensores ubicados en cada dedo del guante y un sensor extra en la parte media que permite determinar la inclinación de la mano y así aumentar la precisión del sistema.
- Se colocó un botón en el dedo pulgar del guante que permite enviar la señal para reproducir la traducción en el modo local y enviar el mensaje en el modo bluetooth.
- La interfaz es claramente legible para el usuario y presenta los dos modos de traducción los cuales se pueden seleccionar realizando la configuración manual correspondiente a los números 1 y 2 respectivamente.
- El guante dispone de un LED indicador que se enciende cada vez que se realiza la traducción de un carácter y en el modo bluetooth se enciende de forma intermitente cada vez que el dispositivo recibe un mensaje

4.10. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para este proceso inicialmente se obtuvieron las señales provenientes de los sensores flexibles y mediante el ADC de la tarjeta electrónica se convirtieron en dígitos de 0 a 1023. Estos valores fueron mapeados a un sistema cuaternario para identificar las posiciones de los dedos en cada configuración manual; cerrado = 0, semi-cerrado = 1, semi-abierto = 2 y abierto = 3. Una vez obtenidos los valores mapeados de cada configuración manual se procedió a realizar la primera prueba de funcionamiento empleando únicamente las señales de los sensores flexibles, la prueba se realizó formando diferentes palabras y oraciones para registrar el número de veces en que la traducción de cada letra se realiza correctamente y el número de veces en que se producen errores y así evaluar la precisión del sistema. En base a los resultados obtenidos se diseñó el gráfico de barras ilustrado en la Figura N° 35, el cual muestra la precisión del sistema en la traducción de cada caracter.

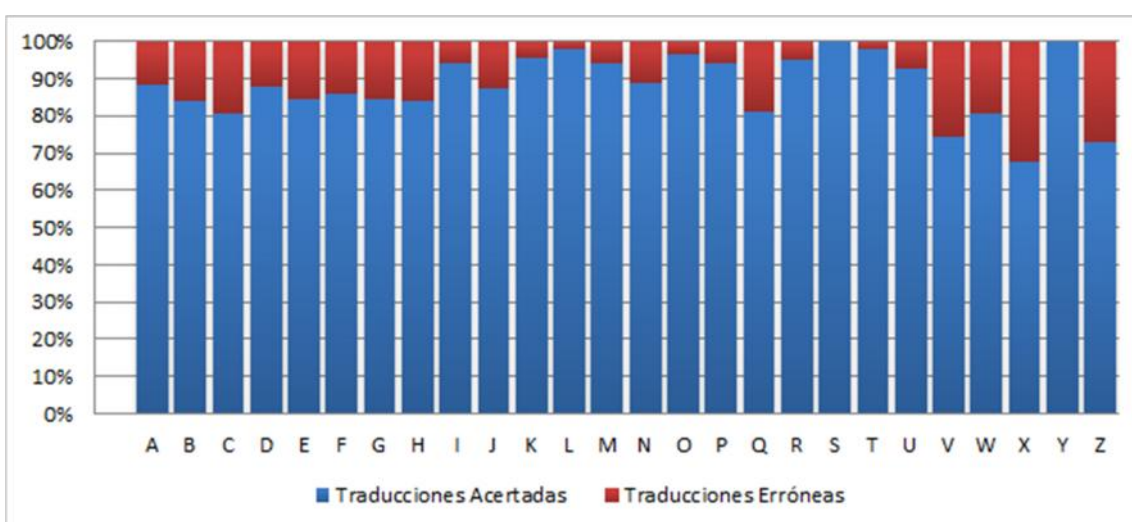


Figura N° 35. *Precisión del sistema con lo sensores flexibles*

Fuente: Investigador

En la Figura N° 35 se puede observar que la precisión del sistema es relativamente alta en la mayoría de caracteres, sin embargo existen ciertas letras que presentan altos porcentajes de traducciones erróneas.

En la segunda prueba se empleó la señal del acelerómetro para posteriormente mapearla en grados de inclinación del brazo tomando como referencia los ejes X y Y. Una vez implementada la señal del acelerómetro se registró el código de cada letra incluyendo

los grados al realizar la configuración manual, posteriormente se realizaron las pruebas de funcionamiento para determinar nuevamente la precisión del sistema. Para esto, se realizó la traducción de las mismas frases y oraciones que se ejecutaron anteriormente registrando el número de veces que el sistema realizaba correctamente la traducción de cada carácter y el número de veces en que se producían errores. Con base a esta información se diseñó el grafico de barras ilustrado en la Figura N° 36 que presenta la mejora en la precisión del sistema. Como se puede evidenciar en la Figura N° 36 la precisión del sistema mejoró considerablemente con la señal del acelerómetro disminuyendo el rango de error y permitiendo que la traducción de cada caracter se realice de forma fluida

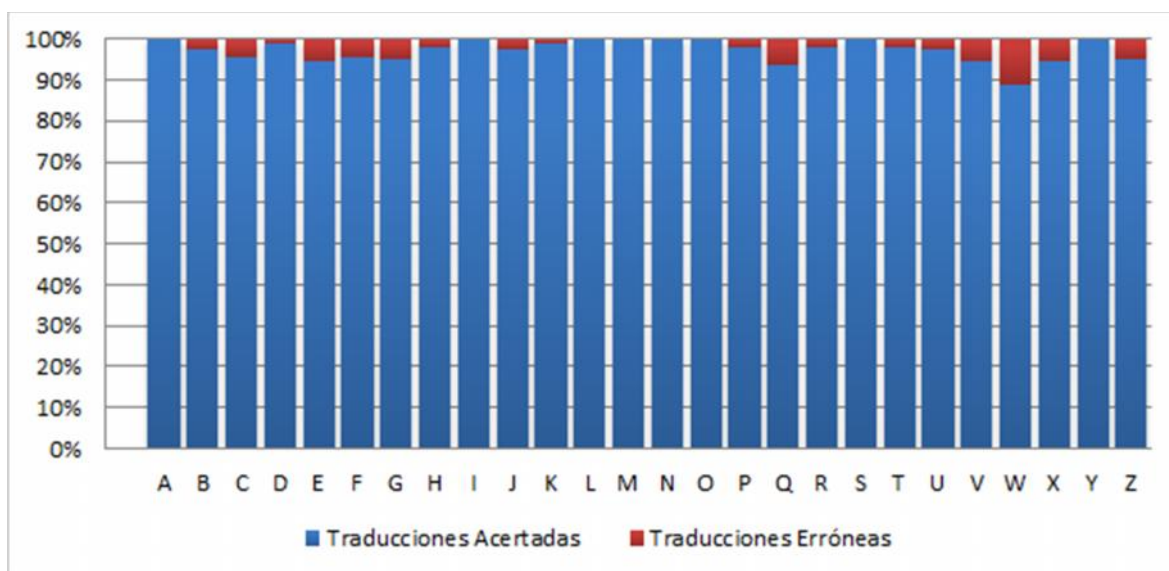


Figura N° 36. *Precisión del sistema con la señal del acelerómetro*

Fuente: Investigador

Una vez culminado el proyecto se realizaron las pruebas del dispositivo con la ayuda del estudiante de la Facultad de Contabilidad y Auditoría quien posee discapacidad auditiva y maneja el lenguaje de señas. El sistema electrónico fue diseñado en base a las entrevistas y aportes del estudiante conjuntamente con su intérprete para que el funcionamiento se ajuste a las personas que padecen discapacidad auditiva.

Las pruebas finales se realizaron el día 16 de Diciembre en la Facultad de Contabilidad y Auditoría en donde se presentó el diseño del guante electrónico y se explicó su funcionamiento y las diferentes partes que conforman el sistema.

A continuación se presentan fotografías del estudiante con discapacidad auditiva de la Universidad Técnica de Ambato realizando las pruebas con el guante electrónico.



Figura N° 37. *Pruebas del guante electrónico*

Fuente: Investigador



Figura N° 38. *Pruebas del guante electrónico.*

Fuente: Investigador

Como resultado de las pruebas efectuadas se obtuvo una respuesta positiva por parte del estudiante quien con la ayuda del intérprete manifestó que el sistema se ajusta a los requerimientos como son tamaño, diseño, precisión, peso y facilidad de uso, recalcando que es un dispositivo innovador y un logro para la comunidad con discapacidad auditiva.

4.11. PRESUPUESTO

En la Tabla N° 12 se presenta el presupuesto para la elaboración del sistema electrónico, detallando todos los elementos que se emplearon para el desarrollo del proyecto.

Tabla N° 12. Presupuesto

PRESUPUESTO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO			
ELEMENTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
Sensores flexibles	6	17,86	107,14
Arduino Mega 2560	1	29,46	29,46
Acelerómetro MMA7361	1	12,00	12,00
LED	1	0,10	0,10
Pulsador	1	0,10	0,1
Módulo EMIC2	1	94,60	94,60
Modulo Bluetooth HC-05	1	13,39	13,39
Batería 9v	1	3,00	3,00
LCD TFT 2.8"	1	31,25	31,25
Cable Un Pin (Macho-Hembra 20cm)	10	0,13	1,3
Cable Un Pin (Macho-Hembra 10cm)	10	0,09	0,90
Cable Un Pin (Hembra-Hembra)	40	0,1	4,00
Guante Talla S	1	17,00	17,00
Speaker	1	7,00	7,00
Baquelita	1	5,00	5,00
Resistencia 330Ω	2	0,06	0,12
Resistencia 1KΩ	2	0,06	0,12
Resistencia 2Kω	1	0,06	0,06
Resistencia (20K)	6	0,06	0,36
		Subtotal	326,90
		IVA 12%	39,23
		TOTAL	366,13

Fuente: Investigador

De la Tabla N° 12 se pudo establecer que el costo para el sistema electrónico implementado es de 366 dólares con 13 centavos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El guante electrónico permite traducir el alfabeto dactilológico con una precisión del 90% en cada carácter lo que significa que la persona con discapacidad auditiva puede emitir cualquier mensaje con un alto grado de efectividad.

- Debido a la capacidad de la tarjeta electrónica empleada, cuya frecuencia de operación es de 16 Mhz, la detección de las señales y el procesamiento de los datos se ejecuta de tal manera que la traducción se realiza de forma fluida y sin presencia de retardos.

- El sistema embebido emplea tres protocolos de comunicación; la pantalla TFT se comunica con la tarjeta Arduino Mega mediante el protocolo SPI, el acelerómetro se comunica a través del protocolo I2C y finalmente los módulos Bluetooth y EMIC2 transmiten los datos mediante el protocolo UART R2 232 a una velocidad de 9600 bps.

- Considerando que el sistema se basa en la detección de la configuración manual para realizar la traducción, se optó por controlar el sistema de la misma manera, es decir, mediante gestos específicos el usuario puede seleccionar el modo de traducción o salir de la interfaz lo cual representa mayor facilidad en el manejo y acoplamiento a su uso.

- La aplicación desarrollada conjuntamente con el guante electrónico contó con una interfaz de fácil manejo facilitando la comunicación bidireccional entre emisor y receptor.

5.2. RECOMENDACIONES

- Los usuarios del sistema electrónico deberán comprender previamente el alfabeto dactilológico y a su vez requerirán de una asesoría previa en el manejo del guante debido a que existen dos configuraciones manuales de las letras “X” y “Z” en las cuales varia la inclinación del gesto, cabe recalcar que este cambio se realizó con la finalidad de evitar confusiones y mejorar la precisión del sistema.
- Los usuarios deben evitar realizar movimientos bruscos puesto que pueden producirse daños en las conexiones de los sensores o en los elementos electrónicos del sistema.
- Emplear únicamente la fuente de alimentación acoplada al sistema, pues el uso de otros tipos de alimentación puede producir daños en la tarjeta electrónica y en los módulos empleados.
- Para que la traducción sea fluida el usuario del sistema debe orientarse en la pantalla TFT y cambiar de configuración manual una vez que el caracter aparezca en la pantalla debido a que la velocidad del procesamiento puede generar caracteres repetidos si el usuario mantiene la misma configuración manual por un tiempo prolongado.
- Al utilizar el modo de traducción local, evitar colocar el guante sobre una superficie plana porque se obstruye la salida de audio situada en la parte inferior del guante y no se podrá escuchar claramente la traducción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Organización Mundial de la Salud, “Sordera y pérdida de la audición,” Nota descriptiva N° 300, 2015. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/es/> [Accessed: 31-Enero-2016].
- [2]. RIADIS, “La situación de las personas con discapacidad en América Latina y El Caribe,” 2012. [Online]. Available: <http://www.riadis.org/recursos/declaracoes-riadis/la-situacion-de-las-personas-con-discapacidad-en-america-latina-y-el-caribe/> [Accessed: 31-Enero-2016].
- [3]. Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, “Estadística personas con discapacidad,” Ecuador, 2015. [Online]. Available: http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/09/estadistica_conadis.pdf [Accessed: 31-Enero-2016].
- [4]. Cazar F. Ramiro, “Breve Análisis De La Situación De Las Discapacidades En El Ecuador,” Quito, Ecuador, 2001. [Online]. Available: http://icevi.org/latin_america/publications/quito_conference/analisis_de_la_situacion_de_las_.htm [Accessed: 17-Marzo-2016].
- [5]. El Heraldo, “Aplican la seguridad, sin palabras,” Ambato, Ecuador, 2015 [Online]. Available: <http://www.elheraldo.com.ec/index.php?fecha=2014-03-07&seccion=Titulares¬icia=37718> [Accessed: 31-Enero- 2015].
- [6]. Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, “Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017,” Ecuador, 2016. [Online]. Available: <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivos-nacionales-para-el-buen-vivir> [Accessed: 31-Enero-2016]

- [7]. Caicedo Fernández David Ricardo, Solórzano García Enrique Xavier, “Diseño de un traductor por medio de un guante electrónico sensitivo al movimiento,” Guayaquil, Ecuador, 2006. [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3301/1/5820.pdf> [Accessed: 25-Enero-2016].
- [8]. Espinosa Aguilar Pablo Andrés, Pogo León Hernán Augusto, “Diseño y Construcción de un Guante Prototipo Electrónico Capaz de Traducir el Lenguaje de Señas de una Persona Sordomuda al Lenguaje de Letras,” Cuenca, Ecuador 2013. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4211/1/UPS-CT002598.pdf> [Accessed: 25-Enero-2016].
- [9]. León Montoya Fernando Arturo, Merino Miño Xavier David, “Guante con sensores para reproducir el sonido de las letras por medio del lenguaje sordomudo con soporte de tecnología Java,” Guayaquil, Ecuador, 2011. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1726/13/UPS-GT000222.pdf> [Accessed: 25-Enero-2016].
- [10]. Duque Arias Diego Fernando, Ibarra Caicedo Marcos Rodrigo, “Diseño e Implementación de un guante electrónico que permite transformar el lenguaje de señas en caracteres y reproducción sonora de voz artificial,” Quito, Ecuador, 2014. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6329/1/UPS-ST001078.pdf> [Accessed: 25-Enero-2016].
- [11]. Naranjo Villacis Amanda Elizabeth, “Aplicación de DSP’s para la Transcripción de Lenguaje de Señas a Texto,” Ambato, Ecuador, 2014. [Online]. Available: http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7793/1/Tesis_t902ec.pdf [Accessed: 25-Enero-2016]
- [12]. Cárdenas Córdova Jaime Andrés, “Sistema de codificación de señales de voz a texto usando Matlab para personas con deficiencia auditiva del instituto de

educación especial Dr. Camilo Gallegos, Ambato, Ecuador, 2012. [Online]. Available:
http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2907/1/Tesis_t771ec.pdf
[Accessed: 25-Enero-2016].

- [13]. S. F. Ahmed, S. M. B. Ali, and S. S. M. Qureshi, “Electronic Speaking Glove for speechless patients, a tongue to a dumb,” in 2010 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology, 2010, pp. 56–60.
- [14]. S. Ahmed, R. Islam, M. S. R. Zishan, M. R. Hasan, and M. N. Islam, “Electronic speaking system for speech impaired people: Speak up,” in 2015 International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), 2015, pp. 1–4.
- [15]. H. El Hayek, J. Nacouzi, A. Kassem, M. Hamad, and S. El-Murr, “Sign to letter translator system using a hand glove,” in The Third International Conference on e-Technologies and Networks for Development (ICeND2014), 2014, pp. 146–150.
- [16]. A. Arif, S. T. H. Rizvi, I. Jawaid, M. A. Waleed, and M. R. Shakeel, “Techno-talk: An American Sign Language (ASL) Translator,” in 2016 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 2016, pp. 665–670.
- [17]. D. Gupta, P. Singh, K. Pandey, and J. Solanki, “Design And Development Of A Low Cost Electronic Hand Glove For Deaf And Blind Email Id :”
- [18]. N. Tongrod, S. Lokavee, T. Kerdcharoen, N. Watthanawisuth, and A. Tuantranont, “Gestural system based on multi-functional sensors and ZigBee networks for squad communication,” in 2011 Defense Science Research Conference and Expo (DSR), 2011, pp. 1–4.
- [19]. K. S. Abhishek, L. C. F. Qubeley, and D. Ho, “Glove-based hand gesture recognition sign language translator using capacitive touch sensor,” in 2016 IEEE

International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC), 2016, pp. 334–337.

- [20]. CyberGloveSystems, “CyberGlove II, Overview,” [Online]. Available: <http://www.cyberglovesystems.com/cyberglove-ii/> [Accessed: 08-Septiembre-2016]
- [21]. TECNONEO, “Anillos traductores del lenguaje de señas,” 2013. [Online]. Available: <http://www.tecnoneo.com/2013/11/anillos-traductores-del-lenguaje-de.html> [Accessed: 08-Septiembre-2016]
- [22]. N/N, “MotionSavvy, la tableta que traduce el lenguaje de signos,” 2014. [Online]. Available: <http://www.tecnopasion.com/motionsavvy-tableta-que-traduce-lenguaje-signos-7274/> [Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [23]. N/N, “Google Gesture, la voz de las personas sordas,” 2015. [Online]. Available: <http://aprendelenguadesignos.com/google-gesture-la-voz-de-las-personas-sordas/> [Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [24]. Torres Bodet Jaime, “Discapacidad auditiva. Guía didáctica para la inclusión en educación inicial y básica,” México, 2010. [Online]. Available: <http://www.discapacidadonline.com/discapacidad-intelectual-guia-didactica-educacion-inicial-basica.html> [Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [25]. UNED, “La señal de audio,” España, 2010. [Online]. Available: http://ocw.innova.uned.es/mmm3/audio_digital/contenidos/pdf/La_senal_de_audio.pdf [Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [26]. Martinez Fraga Jorge, “Anatomía y Fisiología. El Aparato Sensorial,” 2012. [Online]. Available: http://www.elmodernoprometeo.es/Sitio_web/Anatomia_files/sentidos.pdf [Accessed: 08-Septiembre-2016].

- [27]. Que es hipoacusia, “Discapacidad Auditiva,” [Online]. Available:
<http://www.queeshipoacusia.com/discapacidad-auditiva/>
[Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [28]. INP, “Discapacidad Auditiva,” [Online]. Available:
http://www.s fsm.es/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=78&Itemid=96 [Accessed: 08-Septiembre- 2016].
- [29]. Gobierno de Chile. Ministerio de Educación, “Necesidades educativas especiales asociadas a discapacidad auditiva,” [Online]. Available:
<http://portales.mineduc.cl/usuarios/edu.especial/File/GuiaAuditiva.pdf>
[Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [30]. Las Tics Para NEE, “Discapacidad Auditiva,” [Online]. Available:
<https://lasticsparanee.wikispaces.com/Discapacidad+Auditiva>
[Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [31]. Matheus Rizo Katherine Katyuska, “Estudio Del Lenguaje De Señas Como Alternativa Comunicacional Para El Comunicador Social De La Universidad De Guayaquil,” Guayaquil, Ecuador. [Online]. Available:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8682/1/Tesis%20KKMR%20ACTUAL.pdf> [Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [32]. Velasco Carmela, Pérez Isabel, “Sistemas y recursos de apoyo a la comunicación y al lenguaje de los alumnos sordos,” in *Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva*. [Online]. Available: <http://www.rinace.net/rlei/numeros/vol3-num1/art6.pdf> [Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [33]. Jimenez Orieta, “Lenguaje de señas,” [Online]. Available:
<http://www.discapacidadonline.com/wp-content/uploads/2013/04/La-lengua-de-senas.pdf> [Accessed: 08-Septiembre-2016].

- [34]. Rodríguez González María Ángeles, “Lenguaje de signos,” [Online]. Available: http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/lenguaje-de-signos--0/html/ffbeaf86-82b1-11df-acc7-002185ce6064_9.html
[Accessed: 08-Septiembre-2016].
- [35]. Borja Cynthia, “¿Qué es la tecnología asistiva?,”. Diciembre 2012. [Online]. Available: https://www.usfq.edu.ec/publicaciones/para_el_aula/Documents/para_el_aula_04.pdf [Accessed: 08- Septiembre-2016].
- [36]. PRETEXSA, “Usos de la Tecnología Asistiva,” Octubre, 2013. [Online]. Available: <http://www.pretextsa.com/RXvO8vpV.html>
[Accessed: 08-Septiembre-2016]
- [37]. Lazalde Alan, Torres Jenny, Vila-Viñas David. “Ecosistemas de innovación y producción basados en hardware libre,” Ecuador, 2015. [Online]. Available: <http://book.floksociety.org/ec/4/4-1-hardware-ecosistemas-de-innovacion-y-produccion-basados-en-hardware-libre/>
[Accessed: 25-Enero-2016].
- [38]. Lazalde Alan, Torres Jenny, Vila-Viñas David, “Recomendaciones para el fomento de la innovación ciudadana,”» Ecuador, 2015. [Online]. Available: <http://floksociety.org/docs/Espanol/4/4.1.pdf> [Accessed: 25-Enero-2016]
- [39]. Arduino Foundation, “What is Arduino?,” USA. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>
[Accessed: 25-Enero-2016]
- [40]. Arduinodhtics, “Arduino: Tecnología para todos,” [Online]. Available: <http://arduinodhtics.weebly.com/proyectos-con-arduino.html>
[Accessed: 25-Enero-2016].
- [41]. Pablo E. Garcia, Manuel Hidalgo, Jorge L. Loza, Jorge Muñoz . «Prácticas con Arduino, EDUBÁSICA» Albacete. Junio, 2013. [En línea]. Disponible en:

https://books.google.com.ec/books?id=OVffZiA9xjgC&printsec=frontcover&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

[Último Acceso: 25 Enero 2015]

- [42]. Interorganic. « Seminario. Programación de microcontroladores con Arduino» [En línea]. Disponible en:

<http://www.interorganic.com.ar/josx/objetos3d.pdf>

[Último Acceso: 25 Enero 2015]

- [43]. Culturacion, “Raspberry Pi: Definición y características,” 2015. [Online]

Available: <http://culturacion.com/raspberry-pi-que-es-caracteristicas-y-precios/> [Accessed: 27-Enero-2017]

- [44]. Foundation Raspberry Pi, “RASPBerry PI 3 MODEL B” [Online] Available:

<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

[Accessed: 27-Enero-2017]

- [45]. BBVAOpen4U, “Mejores alternativas a Arduino: del Do it Yourself al Internet de las Cosas,” 2015. [Online] Available:

<https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/mejores-alternativas-arduino-del-do-it-yourself-al-internet-de-las-cosas> [Accessed: 27-Enero-2017].

- [46]. HETPRO, “Beaglebone Black Introducción,” 2015. [Online] Available:

<http://hetpro-store.com/TUTORIALES/beaglebone-black-introduccion/>

[Accessed: 27-Enero-2017].

- [47]. Nanode Open Source, “Nanode: Common Specifications,” 2017. [Online]

Available: <http://www.nanode.eu/products/> [Accessed: 27-Enero-2017].

- [48]. Quiñonez Angulo Francisco Xavier, “Aplicación Del Software Libre En El Ecuador,” Ecuador, 2013. [Online]. Available:

<http://www.pucese.edu.ec/websistemas/index.php/investigacion-formativa/category/27->

ESTADISTICA?download=140:aplicacin%20del%20software%20libre%20en%20el%20ecuador%20-%20francisco%20xavier%20quionez%20angulo

[Accessed: 25-Enero-2016]

[49]. Universidad de Castilla-La Mancha, “Licencias para software libre,” España, 2015. [Online]. Available:

biblioteca.uclm.es/Archivos/Investigacion/Software_libre.pdf

[Accessed: 25-Enero-2016].

[50]. CANALTIC, “Aplicaciones Educativas de Google,” [Online]. Available:

<http://canaltic.com/blog/?p=2273> [Accessed: 25-Enero-2016].

[51]. Rederjo José Luis, “Uso de App Inventor en la asignatura de Tecnologías de la Información y la Comunicación,” España, 2013 [Online]. Available:

<http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/en/software/programacion/1090-uso-de-appinventor-en-la-asignatura-de-tecnologias-de-la-comunicacion-y-la-informacion>.

[Accessed: 25-Enero-2016]

[52]. Fundación Telefónica, “Las TIC en justicia del futuro,” España. 2009. Editorial Ariel. [Online]. Available:

<https://books.google.com.ec/books?id=AL3tCgAAQBAJ&pg=PA191&dq=tecnologias+inalambricas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiNjLKBnMjKAhUKSyYKHUG8CCAQ6AEIJzAD#v=onepage&q=tecnologias%20inalambricas&f=false>

[Accessed: 25-Enero-2016]

[53]. Casar Corredera José R., “Tecnologías y Servicios para TSSI la Sociedad de la Información,” Madrid, España, 2005. [Online]. Available:

www.upm.es/sfs/Rectorado/Organos%20de%20Gobierno/Consejo%20Social/Actividades/tecnologias_servicios_para_sociedad_informacion.pdf

[Accessed: 25-Enero-2016].

- [54]. Monteagudo Peña José Luís, Moreno Gil Oscar, García Pérez Jorge, Reig Redondo Juan, “Redes inalámbricas para los nuevos servicios personales de e-salud basados en tecnologías de inteligencia ambiental,” España 2004. [Online]. Available: http://82.98.165.8/seis/is/is44/IS44_31.pdf [Accessed: 25-Enero-2016].
- [55]. Brunetti F., Moreno J., Ceres R., Calderón L., L. Pons J., “Redes Inalámbricas de área personal al servicio de los discapacitados y de las personas mayores,”. Madrid, 2004. . [Online]. Available <http://www.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXV/documentos/102-erttisionja.pdf> [Accessed: 25-Enero-2016].
- [56]. Betancur Leonardo, “Redes de área corporal. Una perspectiva al futuro desde la investigación,” in *Revista Sistemas y Telemática*. Vol.9. No.16, 11-30. Colombia., 2011. [Online]. Available https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_telematica/article/viewFile/1027/1052 [Accessed: 25-Enero-2016].
- [57]. Informática Moderna, “Pantalla TFT,” [Online]. Available http://www.informaticamoderna.com/Pantalla_TFT.htm [Accessed: 25-Enero-2016].
- [58]. ElectrónicaVM, “TFT LCD Touch 2.4” Shield para Arduino UNO,” 2015. [Online]. Available: <https://electronicavm.net/2015/03/05/tft-lcd-touch-2-4-shield-para-arduino-uno/> [Accessed: 25-Enero-2016].
- [59]. Maginvet, “Interacción y Sensores,” [Online]. Available: http://www.maginvent.org/articles/pidht/pidtoot/Interaccion_y_Sensores.html [Accessed: 25-Enero-2016].
- [60]. Pozo Espín David Fernando, “Diseño y Construcción de una Plataforma Didáctica para medir ángulos de Inclinación Usando Sensores Inerciales como Acelerómetro y Giroscopio,” Quito, Ecuador, 2010 [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1794/1/CD-2772.pdf>

[Accessed: 08-Diciembre-2016].

[61]. Haro Jonathan “MMA7361 Sensor Acelerómetro,” 2015. [Online]. Available:
<http://hetpro-store.com/TUTORIALES/mma7361-sensor-acelerometro/>

[Accessed: 08-Diciembre-2016].

[62]. Bricogeek, “Sintetizador de Voz EMIC 2 (TTS),” [Online]. Available:
[http://tienda.bricogeek.com/sensores-sonido/482-sintetizador-de-voz-emic-2-](http://tienda.bricogeek.com/sensores-sonido/482-sintetizador-de-voz-emic-2-tts.html)

[tts.html](http://tienda.bricogeek.com/sensores-sonido/482-sintetizador-de-voz-emic-2-tts.html) [Accessed: 25-Enero-2016].

ANEXOS Y APÉNDICES

ANEXO A

MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

▪ INTRODUCCIÓN

El presente sistema tiene como objetivo mejorar la intercomunicación de las personas con discapacidad auditiva a través de un guante electrónico que permite traducir el alfabeto dactilológico en caracteres y voz artificial y además ofrece la posibilidad de una comunicación bidireccional mediante el uso de la tecnología bluetooth y una aplicación para dispositivos móviles con lo cual el usuario del sistema puede enviar y recibir mensajes.

Al iniciar el manejo del guante electrónico, el usuario requiere una breve introducción y asesoría acerca del funcionamiento del sistema y de los diferentes elementos que lo componen, como son: la pantalla TFT, el speaker y el sistema de alimentación.

▪ DIMENSIONES DEL GUANTE ELECTRÓNICO

En la Figura N° A.1 se presentan las dimensiones del guante electrónico:

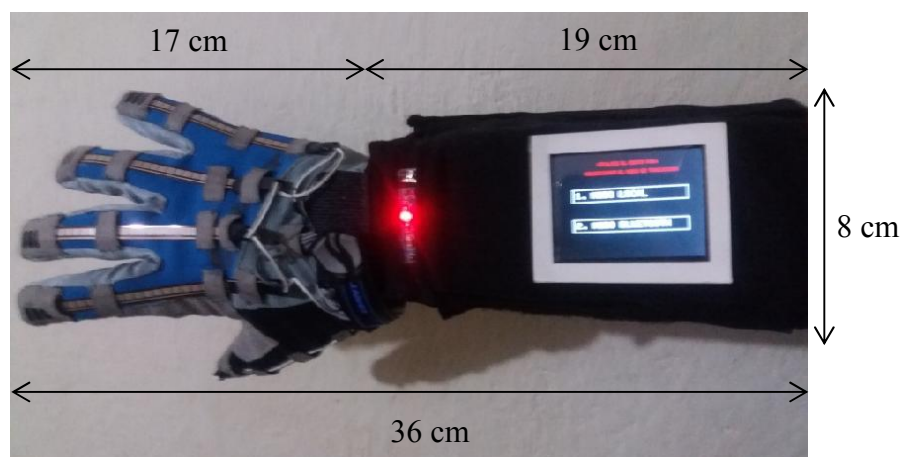


Figura N° A.1 Dimensiones el guante electrónico

Fuente: Investigador

▪ ESTRUCTURA DEL GUANTE ELECTRÓNICO

El sistema está conformado por dos partes: la primera es el guante en donde se sitúan los sensores flexibles y la segunda un brazalete en donde se encuentra la tarjeta electrónica, la pantalla TFT y los diferentes dispositivos que conforman el sistema electrónico.

A continuación, se presenta la estructura del sistema:

En la Figura N° A.2 se puede observar el guante con los sensores flexibles ubicados en cada dedo.

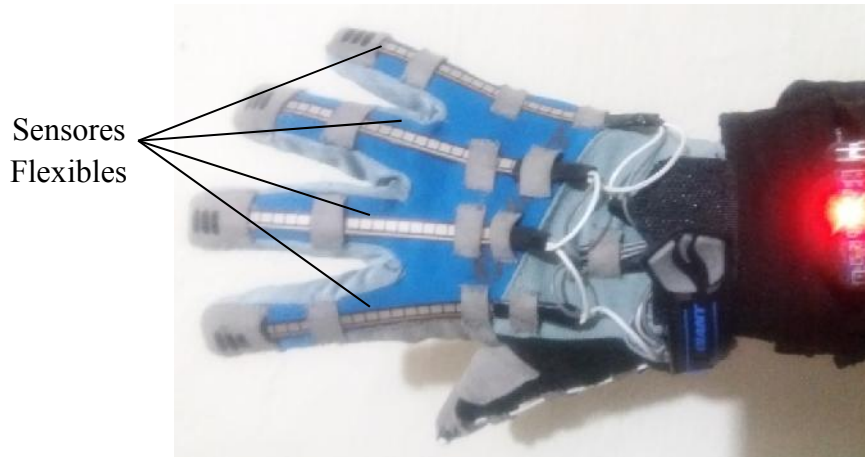


Figura N° A.2 Estructura del guante electrónico/sensores flexibles

Fuente: Investigador

En la Figura N° A.3. se presenta el brazalete con los diferentes elementos del sistema

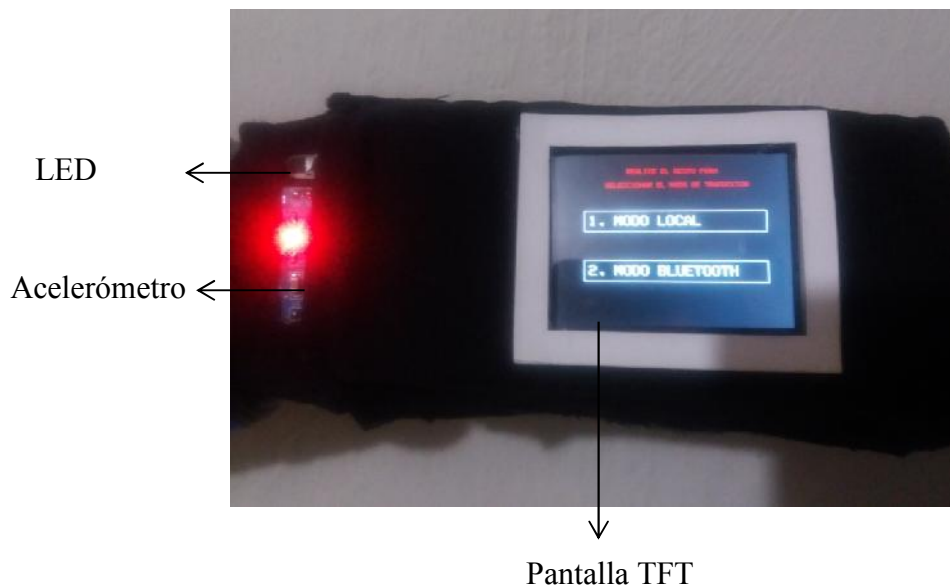


Figura N° A.3 Estructura del guante electrónico/brazalete

Fuente: Investigador

El speaker ubicado en la parte inferior del guante se ilustra en la figura A.4.

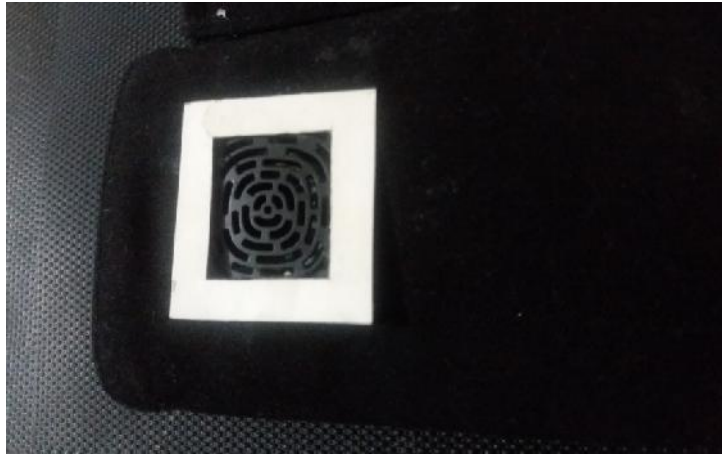


Figura N° A.4 *Speaker del guante electrónico*

Fuente: Investigador

▪ **INDICACIONES GENERALES**

1. El sistema se alimenta con una batería de 9V colocada en la ranura de la parte lateral del brazalete



Figura N° A.5 *Ranura para la batería de 9v*

Fuente: Investigador

2. Se dispone de un conector USB tipo B situado detrás de la ranura de la batería el cual permite alimentar el dispositivo desde un cargador portátil o un ordenador y a su vez se emplea para fines de soporte técnico

3. El dispositivo se enciende desde el interruptor ubicado en la parte lateral del brazalete junto a la batería

▪ **MANEJO DEL GUANTE ELECTRÓNICO**

Para el manejo del sistema se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Colocarse el guante electrónico en la mano derecha y posteriormente ajustar el brazalete de forma que la pantalla quede en la parte superior.
2. Encender el dispositivo con el switch ubicado en la parte lateral del brazalete
3. Esperar que aparezca la interfaz de introducción del sistema
4. Dependiendo del modo de traducción que se requiera, realizar la configuración manual específica.
5. Para salir de los modo de traducción, realizar la configuración manual específica para dicha tarea.
6. Para apagar el sistema emplear el switch ubicado en la parte derecha del brazalete.
7. Para quitarse el dispositivo primero se debe abrir el brazalete y a continuación retirar el guante electrónico.

▪ **FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO**

A continuación se detalla el funcionamiento del guante electrónico con los respectivos modos de traducción.

PANTALLA DE INICIO

Al encender el sistema se visualiza la pantalla de inicio y a continuación el menú de los modos de traducción.



Figura N° A.6 Menú del guante electrónico

Fuente: Investigador

MODO LOCAL

1. Si el usuario emplea el modo de traducción local, aparece la interfaz respectiva en donde se visualizan los caracteres.



Figura N° A.7 *Interfaz del modo local*

Fuente: Investigador

2. Cada vez que se realiza la traducción de una letra se enciende un led ubicado en la parte izquierda del brazalete. Una vez que el mensaje está completo, se presiona el pulsador ubicado en el dedo pulgar para reproducir el mensaje.



Figura N° A.8 *Traducción de una letra*

Fuente: Investigador

3. Para salir del modo de traducción local, realizar la configuración manual tal como se indica a continuación:



Figura N° A.9 Configuración Manual para salir del modo local

Fuente: Investigador

MODO BLUETOOTH

1. Si el usuario emplea el modo de traducción bluetooth, en la pantalla aparecerá el mensaje que indica que se inicie la aplicación en el dispositivo móvil.



Figura N° A.10 Pantalla de inicio del modo bluetooth

Fuente: Investigador

2. Para establecer la comunicación, abrir la aplicación y seleccionar el icono de búsqueda, una vez que aparecen los dispositivos bluetooth, seleccionar el dispositivo HC-05.

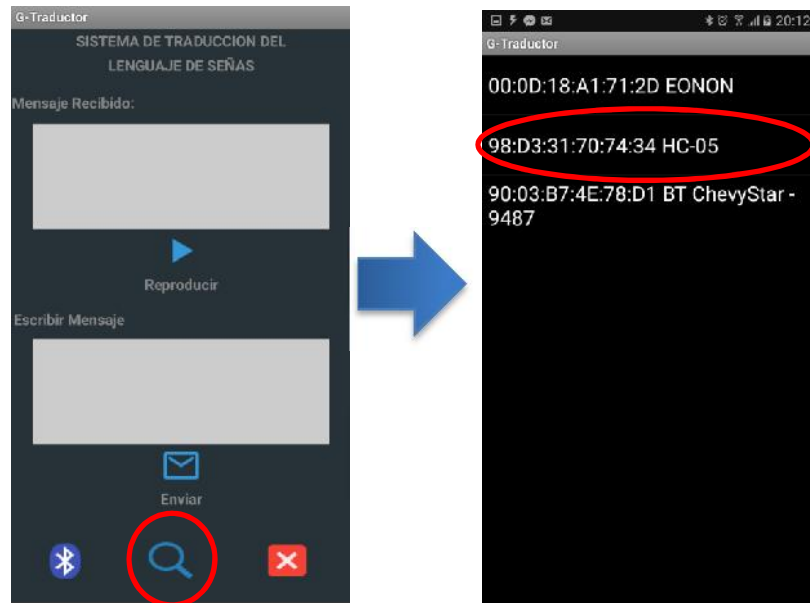


Figura N° A.11 Procedimiento para establecer la comunicación bluetooth

Fuente: Investigador

3. Seleccionar el icono de bluetooth para iniciar la comunicación. Si el icono de bluetooth aumenta su tamaño significa que la comunicación bluetooth se ha establecido correctamente.

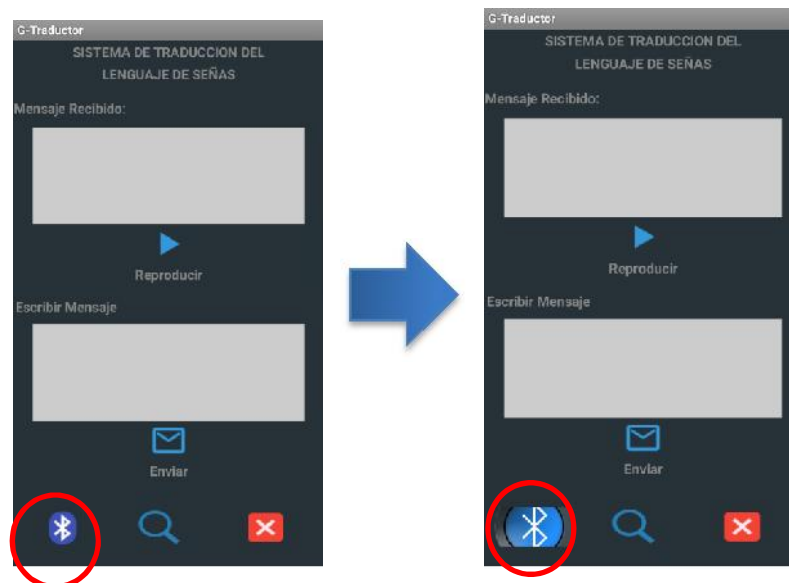


Figura N° A.12 Procedimiento para establecer la comunicación bluetooth

Fuente: Investigador

4. Una vez establecida la comunicación, el usuario podrá enviar la traducción hacia el dispositivo móvil pulsando el botón ubicado en el dedo pulgar

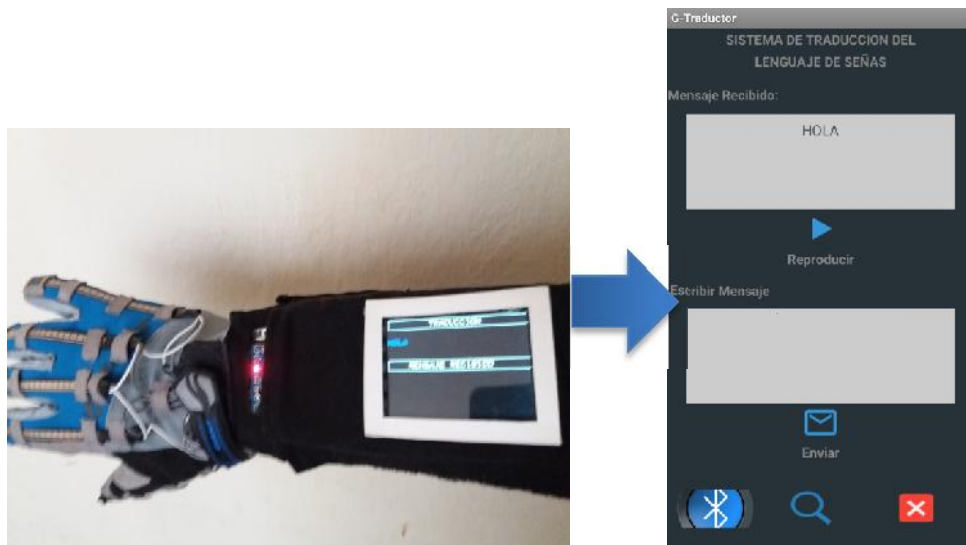


Figura N° A.13 *Envío de mensajes desde el guante al dispositivo móvil*

Fuente: Investigador

5. Cuando el usuario recibe un mensaje desde el dispositivo móvil el led ubicado en la parte izquierda del brazalete parpadea y posteriormente se visualiza el mensaje



Figura N° A.14 *Recepción de mensajes desde el dispositivo móvil al guante*

Fuente: Investigador

6. Para salir del modo de traducción local, realizar la configuración manual tal como se indica a continuación:



Figura N° A.15 *Configuración Manual para salir del modo bluetooth*

Fuente: Investigador

ANEXO B

PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA ELECTRÓNICA

El código de programación de la tarjeta electrónica se divide en tres bloques que se detallan a continuación:

1. En el primer bloque se incluyen las librerías de la pantalla TFT, del sintetizador EMIC2 y de los puertos seriales. A continuación se definen los parámetros de la pantalla como puertos, sensibilidad y colores. Adicionalmente se definen todas las variables que se emplean en el programa.
2. En el segundo bloque se configuran los puertos de entrada y salida, se inicializa la comunicación serial y se establece la pantalla de inicio del sistema electrónico. Además se configuran los parámetros del sintetizador EMIC2 como son volumen, lenguaje, velocidad y tipo de voz.
3. Finalmente en el tercer bloque se ejecuta la programación que permite detectar la configuración manual del usuario para seleccionar el modo de traducción.
De acuerdo al modo seleccionado se ejecutan los métodos que contienen el código para realizar la traducción.

```
// PRIMER BLOQUE
#include <SPFD5408_Adafruit_GFX.h> // Librerías de Pantalla TFT
#include <SPFD5408_Adafruit_TFTLCD.h> // Librerías de Pantalla TFT
#include <SPFD5408_TouchScreen.h>
#include "EMIC2.h" // Librerías de EMIC2
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SD.h>
#define RX_PIN 50 #define TX_PIN 51
EMIC2 emic;
#define SENSIBILITY 300
#define MINPRESSURE 10
#define MAXPRESSURE 1000
#if defined(__SAM3X8E__)
    #undef __FlashStringHelper::F(string_literal)
    #define F(string_literal) string_literal
#endif
#define YP A1
#define XM A2
#define YM 7
#define XP 6
// Valores de calibración de la pantalla
#define TS_MINX 125
#define TS_MINY 85
#define TS_MAXX 965
#define TS_MAXY 905
TouchScreen ts = TouchScreen(XP, YP, XM, YM, 300);
#define LCD_CS A3
#define LCD_CD A2
#define LCD_WR A1
#define LCD_RD A0
#define LCD_RESET A4
```

```

// Asignacion de COLORES
#define BLACK    0x0000
#define BLUE    0x001F
#define RED     0xF800
#define GREEN   0x07E0
#define CYAN    0x07FF
#define MAGENTA 0xF81F
#define YELLOW  0xFFE0
#define WHITE   0xFFFF
Adafruit_TFTLCD tft(LCD_CS, LCD_CD, LCD_WR, LCD_RD, LCD_RESET);
#define BOXSIZE 40
#define PENRADIUS 3
int oldcolor, currentcolor;
int flexPin1=8;
int flexPin2=9;
int flexPin3=10;
int flexPin4=11;
int flexPin5=12;
int flexPin6=13;
int val1 = 0;
int val2 = 0;
int val3 = 0;
int val4 = 0;
int val5 = 0;
int val6 = 0;
//Variables EMIC
char letra ;
String palabra ;
String palabra2 ;
int reproductor = 22;
int botonst = 0;
int s1 ;
int s2 ;
int s3 ;
int s4 ;
int s5 ;
int s6 ;
int m1 = 1;
int m2 =1 ;
int sel=6 ;
int menup =1 ;
int reset =0;
int reset2 =0;
int reset3 =0;

// SEGUNDO BLOQUE
void setup(void) {
tft.reset();
Serial.begin(9600) ;
tft.begin(0x9328);
tft.setRotation(1);
tft.fillScreen(BLACK);
tft.drawRect(10, 10, 300,220 , BLUE); // Dibujamos un cuadrado
//Pantalla de Inicio
tft.setCursor(60, 40); // Situa el cursor
tft.setTextSize(2); // Define tamaño del texto.
tft.setTextColor(WHITE); // Define el color del texto
tft.println("UNIVERSIDAD TECNICA"); // Escribe el texto en el LCD
tft.setCursor(110, 60);
tft.setTextSize(2);
tft.setTextColor(WHITE);

```

```

tft.println("DE AMBATO");
tft.setCursor(110, 100);
tft.setTextSize(2);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.println("F.I.S.E.I");
tft.setCursor(40, 140);
tft.setTextSize(2);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.println("SISTEMA DE TRADUCCION");
tft.setCursor(60, 160);
tft.setTextSize(2);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.println("DEL LENGUAJE SENAS");
delay(2000);
//Menu principal
tft.fillRect(BLACK);
tft.drawRect(40, 80, 250,30 , WHITE);
tft.setCursor(47, 87);
tft.setTextSize(2);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.println("1. MODO LOCAL");
tft.drawRect(40, 150, 250,30 , WHITE);
tft.setCursor(47, 157);
tft.setTextSize(2);
tft.setTextColor(WHITE);
tft.println("2. MODO CONVERSACION");
tft.setCursor(100, 20);
tft.setTextSize(1);
tft.setTextColor(RED);
tft.println("REALICE EL GESTO PARA ");
tft.setCursor(70, 40);
tft.setTextSize(1);
tft.setTextColor(RED);
tft.println("SELECCIONAR EL MODO DE TRADUCCION");
//Configuracion EMIC2
emic.begin(RX_PIN, TX_PIN);
emic.setVoice(4);
emic.setRate(100);
emic.setVolume(12);
emic.setLanguage(2);
Serial.begin(9600);
Serial1.begin(9600);
pinMode(reproductor, INPUT);
Serial.println("Realice el gesto");
}
// TERCER BLOQUE
void loop() {
  botonst = digitalRead(reproductor);
  val1 =analogRead(flexPin1);
  val2 =analogRead(flexPin2);
  val3 =analogRead(flexPin3);
  val4 =analogRead(flexPin4);
  val5 =analogRead(flexPin5);
  val6 =analogRead(flexPin6);
//Mapeo de los sensores
int s1 = map(val1,507,677, 0,2) ;
int s2 = map(val2,437,692, 0,2) ;
int s3 = map(val3,411,680, 0,2) ;
int s4 = map(val4,372,661, 0,2) ;
int s5 = map(val5,350,677, 0,2) ;
int s6 = map(val6,490,620, 0,2) ;

```

```

//Testeo de la configuración manual para elegir el modo
if ( s1 == 1 && s2 == 1 && s3 == 0 && s4 == 0 && s5 == 0 && s6==0 &&
m1==1)
{
sel=1 ;
reset = 0;
Serial.flush () ;
palabra = "" ;
}
if ( s1 == 0 && s2 == 1 && s3 == 1 && s4 == 0 && s5 == 0 && s6==2 &&
m2==1)
{
sel=2 ;
reset2 =0;
palabra2 = "" ;
}
if ( s1 == 1 && s2 == 1 && s3 == 1 && s4 == 1 && s5 == 1 && s6==2)
{
m1=1 ;
m2=1;
sel=3 ;
reset3=0;
palabra2 = "" ;
}
//Comparacion
if (sel)
{
switch (sel) {
case 1 :
m1=0;
reset ++ ;
if (reset==1)
{
tft.fillScreen(BLACK);
delay (500) ;
}
delay (300) ;
mlocal () ; //se ejecuta el método del modo local
break ;
case 2 :
m2= 0;
reset2 ++ ;
if (reset2==1)
{
tft.fillScreen(BLACK);
mensajebluetooth () ; //se ejecuta el método del modo bluetooth
tft.fillScreen(BLACK);
delay (500) ;}
mbluetooth () ;
break ;
case 3 :
reset3 ++ ;
if (reset3==1)
{
tft.fillScreen(BLACK);
delay (500) ;
}
Seleccion () ; //regresa al menu principal
break;
}}
}
}
}

```

ANEXO C

DATASHEET DEL SENSOR FLEXIBLE



FLEX SENSOR FS

Special Edition Length

Features

- Angle Displacement Measurement
- Bends and Flexes physically with motion device
- Possible Uses
 - Robotics
 - Gaming (Virtual Motion)
 - Medical Devices
 - Computer Peripherals
 - Musical Instruments
 - Physical Therapy
- Simple Construction
- Low Profile

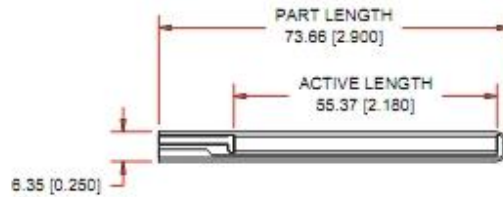
Mechanical Specifications

- Life Cycle: >1 million
- Height: $\leq 0.43\text{mm}$ (0.017")
- Temperature Range: -35°C to $+80^{\circ}\text{C}$

Electrical Specifications

- Flat Resistance: 25K Ohms
- Resistance Tolerance: $\pm 30\%$
- Bend Resistance Range: 45K to 125K Ohms (depending on bend radius)
- Power Rating : 0.50 Watts continuous, 1 Watt Peak

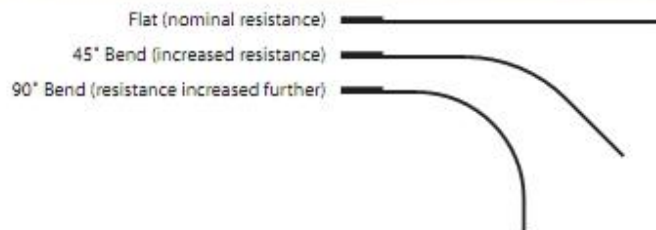
Dimensional Diagram - Stock Flex Sensor



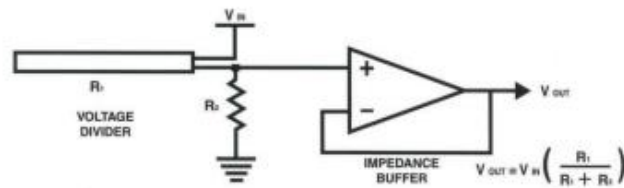
How to Order - Stock Flex Sensor



How It Works



BASIC FLEX SENSOR CIRCUIT:

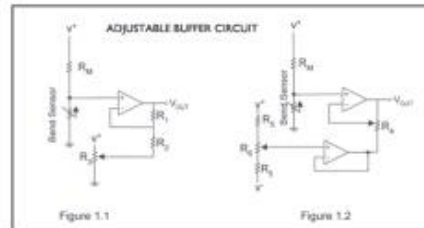


Following are notes from the ITP Flex Sensor Workshop

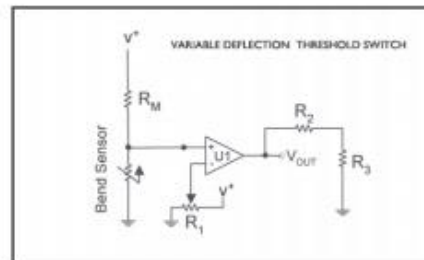
"The impedance buffer in the [Basic Flex Sensor Circuit] (above) is a single sided operational amplifier, used with these sensors because the low bias current of the op amp reduces error due to source impedance of the flex sensor as voltage divider. Suggested op amps are the LM358 or LM324."

"You can also test your flex sensor using the simplest circuit, and skip the op amp."

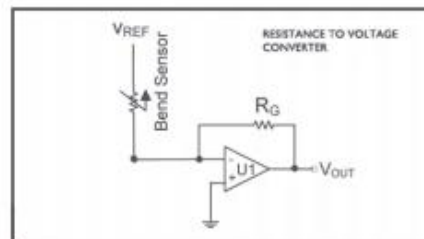
"Adjustable Buffer - a potentiometer can be added to the circuit to adjust the sensitivity range."



"Variable Deflection Threshold Switch - an op amp is used and outputs either high or low depending on the voltage of the inverting input. In this way you can use the flex sensor as a switch without going through a microcontroller."



"Resistance to Voltage Converter - use the sensor as the input of a resistance to voltage converter using a dual sided supply op-amp. A negative reference voltage will give a positive output. Should be used in situations when you want output at a low degree of bending."



ANEXO D

DATASHEET ARDUINO MEGA 2560

Arduino MEGA 2560



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Environmental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



radiospares

RADIONICS



Technical Specification

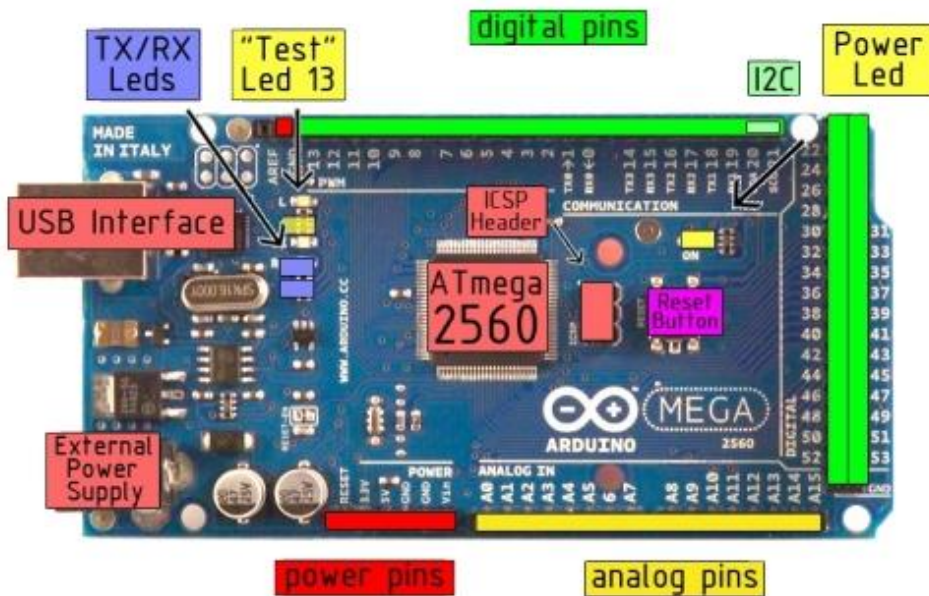


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

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

the board



radiospares

RADIONICS



Power

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

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

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

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

Memory

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

Input and Output

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

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 (Interrupt 0), 3 (Interrupt 1), 18 (Interrupt 5), 19 (Interrupt 4), 20 (Interrupt 3), and 21 (Interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **PC: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove.

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

There are a couple of other pins on the board:

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



radiospares

RADIONICS



Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.



radiospares **RADIONICS**



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. **Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).**



radiospares **RADIONICS**



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select MEGA

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```
Sketch | Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
Blink
int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13

// The setup() method runs once, when the sketch starts
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

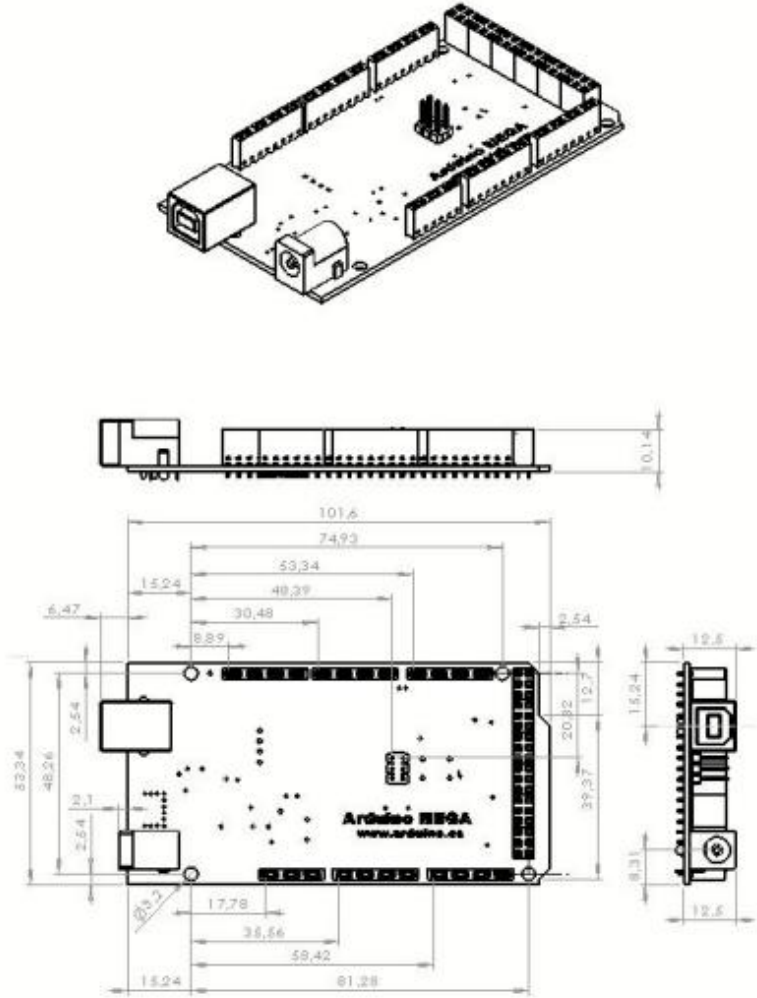
// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power
void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(1000); // wait for a second
}
```



radiospares

RADIONICS





radiospares **RADIONICS**



Terms & Conditions



1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



Environmental Policies



The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.



radiospares

RADIONICS



ANEXO E

DATASHEET EMIC 2



Web Site: www.parallax.com
Forums: forums.parallax.com
Sales: sales@parallax.com
Technical: support@parallax.com

Office: (916) 824-8333
Fax: (916) 824-8003
Sales: (888) 512-1024
Tech Support: (888) 997-8267

Emic 2 Text-to-Speech Module (#30016)

Designed in conjunction with Grand Idea Studio (www.grandideastudio.com), the Emic 2 Text-to-Speech Module is an unconstrained, multi-language voice synthesizer that converts a stream of digital text into natural sounding speech output. Using the universally recognized DECTalk text-to-speech synthesizer engine, Emic 2 provides full speech synthesis capabilities for any embedded system via a simple command-based interface.

Features

- High-quality speech synthesis for English and Spanish languages
- Nine pre-defined voice styles comprising male, female, and child
- Dynamic control of speech and voice characteristics, including pitch, speaking rate, and word emphasis
- Industry-standard DECTalk text-to-speech synthesizer engine (5.0.E1)
- On-board audio power amplifier and 1/8" (3.5 mm) audio jack
- Single row, 6-pin, 0.1" header for easy connection to a host system

Key Specifications

- Power requirements: +5 VDC, 30 mA idle, 46-220 mA active (depending on speech parameters and output load)
- Communication: asynchronous 9600 bps serial
- Operating temperature: -20 to +70 °C (-4 to +158 °F)
- Dimensions: 1.25" W x 1.5" L x 0.37" H (3.17 W x 3.81 L x 0.94 H cm)

Application Ideas

- Reading Internet-based data streams (such as e-mails or Twitter feeds)
- Conveying status or sensor results from robots, scientific equipment, or industrial machinery
- Language learning or speech aids for educational environments



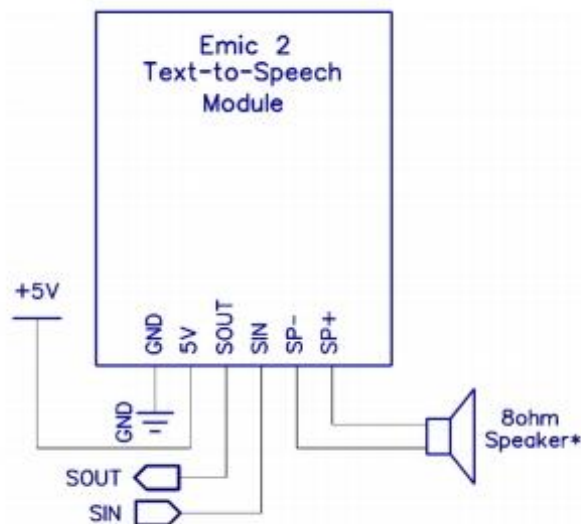
Connections

Emic 2 interfaces to a host microcontroller or computer system using only four connections (GND, 5V, SOUT, SIN). Additional connections (SP+, SP-) are available for direct interfacing to an 8Ω speaker. A 1/8" (3.5mm) audio jack provides a single-ended, monaural output for easy connection to headphones, amplified speakers, or other audio equipment.

Pin	Pin Name	Type	Function
1	GND	G	System ground. Connect to power supply's ground (GND) terminal.
2	5V	P	System power, 5 VDC input.
3	SOUT	O	Serial output to host. 5 V TTL-level interface, 9600 bps, 8 data bits, no parity, 1 stop bit, non-inverted.
4	SIN	I	Serial input from host. 3.3 V to 5 V TTL-level interface, 9600 bps, 8 data bits, no parity, 1 stop bit, non-inverted.
5	SP-	O	Differential audio amplifier output, bridge-tied load configuration, negative side. Connect directly to 8 Ω speaker.
6	SP+	O	Differential audio amplifier output, bridge-tied load configuration, positive side. Connect directly to 8 Ω speaker.

Type: I = Input, O = Output, P = Power, G = Ground

Use the following example circuit for connecting the Emic 2 Text-to-Speech Module:



*Note: For audio output, a connection needs to be made to either SP+/SP- or the 1/8" audio jack. Audio quality may be affected if both outputs are used at the same time.

Usage

Emic 2 is controlled by the host via a serial communications interface. To use, simply send the desired command to Emic 2 and listen for audio output from the SP+/SP- speaker connection or 1/8" audio jack.

The serial interface is configured for 9600 bps, 8 data bits, no parity, 1 stop bit (8N1). When Emic 2 is ready to receive commands, it will send a ":" to the host. It will then wait in an idle state until it receives a valid command, at which time it performs the command and returns any command-specific response. Emic 2 will return a "?" upon receiving an invalid command.

On power-up, Emic 2 loads its default text-to-speech settings consisting of voice type, audio volume, speaking rate, language, and parser. These settings can be configured by the user to vary the audio output. See the Command Set section below for more details.

Status Indicator

A visual indication of Emic 2's operating state is given with the on-board light-emitting diode (LED):

1. **Green:** Idle state. Waiting for a valid command to be sent by the host.
2. **Red:** Active state. For example, during a text-to-speech conversion.
3. **Orange (Solid):** Initialization state. Occurs on power-up only. Emic 2 takes approximately three seconds to properly initialize on power-up before it is ready to receive commands.
4. **Orange (Blinking):** Error state. Emic 2 has malfunctioned due to an on-board communication error. If a power cycle of Emic 2 does not remedy the situation, please contact Parallax technical support for further assistance.

If the LED is OFF, Emic 2 may not be receiving power.

Command Set

All commands are ASCII-based printable characters and are not case-sensitive (upper case and lower case will both work). Each command must be terminated with a CR or LF.

Sx	Convert text-to-speech: x = message (1023 characters maximum)
Dx	Play demonstration message: x = 0 (Speaking), 1 (Singing), 2 (Spanish)
X	Stop playback (while message is playing)
Z	Pause/un-pause playback (while message is playing)
Nx	Select voice: x = 0 to 8
Vx	Set audio volume (dB): x = -48 to 18
Wx	Set speaking rate (words/minute): x = 75 to 600
Lx	Select language: x = 0 (US English), 1 (Castilian Spanish), 2 (Latin Spanish)
Px	Select parser: x = 0 (DECTalk), 1 (Epson)
R	Revert to default text-to-speech settings
C	Print current text-to-speech settings
I	Print version information
H	Print list of available commands

ANEXO F

DATASHEET DE MODULO BLUETOOTH HC-05

DATASHEET BLUETOOTH TO SERIAL PORT MODULE HC05



Overview

HC-05 module is an easy to use Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) module, designed for transparent wireless serial connection setup.

Serial port Bluetooth module is fully qualified Bluetooth V2.0+EDR (Enhanced Data Rate) 3Mbps Modulation with complete 2.4GHz radio transceiver and baseband. It uses CSR Bluecore 04-External single chip Bluetooth system with CMOS technology and with AFH (Adaptive Frequency Hopping Feature). It has the

footprint as small as 12.7mmx27mm. Hope it will simplify your overall design/development cycle.

www.electronica60norte.com
electronica60norte@hotmail.com

without this message by purchasing novaPDF (<http://www.novapdf.com/>)

Specifications

Hardware features

- Typical -80dBm sensitivity.
- Up to +4dBm RF transmit power.
- Low Power 1.8V Operation, 3.3 to 5 V I/O.
- PIO control.
- UART interface with programmable baud rate.
- With integrated antenna.
- With edge connector.

Software features

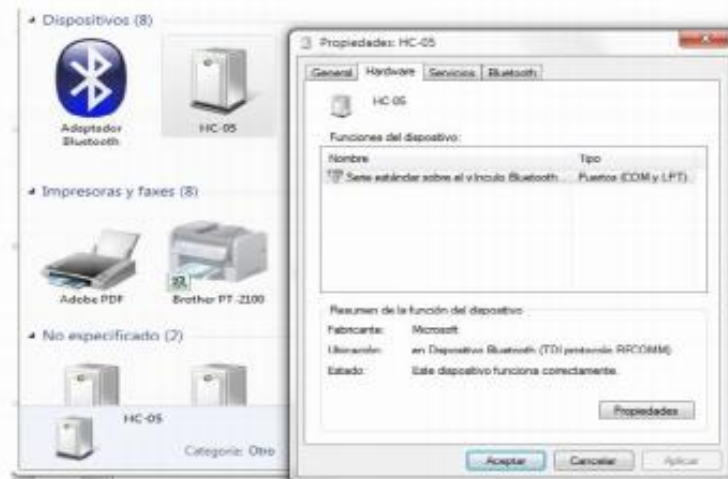
- Slave default Baud rate: 9600, Data bits:8, Stop bit:1,Parity:No parity.
- PIO9 and PIO8 can be connected to red and blue led separately. When master and slave are paired, red and blue led blinks 1time/2s in interval, while disconnected only blue led blinks 2times/s.
- Auto-connect to the last device on power as default.
- Permit pairing device to connect as default.
- Auto-pairing **PINCODE:"1234"** as default.
- Auto-reconnect in 30 min when disconnected as a result of beyond the range of connection.

www.electronica60norte.com
electronica60norte@hotmail.com

without this message by purchasing novaPDF (<http://www.novapdf.com/>)

After connect the Bluetooth module, scan for new devices from the PC and you will find the module with the device name "HC-05", after that, click to connect, if some message appears asking about "Pairing code" just put "1234" as default code.

BLUE LED = ACTIVE (Blinking 500ms period inactive connection, change 1seg with active connection)



Open a serial terminal and select the serial COM x port number that assigned Windows to Bluetooth Module.

Configure the serial terminal with these parameters:

- Baud rate: 9600.
- Data bits:8.
- Stop bit:1.
- Parity: No parity.

www.electronica60norte.com
electronica60norte@hotmail.com

without this message by purchasing novaPDF (<http://www.novapdf.com/>)

Open connection and you will be ready to send and receive data from module Bluetooth like Serial Port COM



AT COMMANDS

How to get to AT COMMAND mode

- 1: Connect KEY pin to VCC.
- 2: Supply power to module. Then the module will enter into AT MODE. In this mode you have to use baud rate at 38400. In this way, user should change the baud rate for SLAVE AND MASTER mode.

How to set this module as "Master - Host" role

- 1: Input high level to KEY.
- 2: Supply power to the module. And the module will enter to AT COMMAND.
- 3: Set the parameters of the hyper terminal or the other serial tools (baud rate: 38400, data bit:8, stop bit:1, no parity bit, no Flow Control).
- 4: Sent the characters "AT+ROLE=1\r\n" through serial, then receive the characters "OK\r\n". Here, "\r\n" is the CRLF.
- 5: Sent the characters "AT+CMODE=1\r\n" through serial, then receive the characters "OK\r\n". Here, "\r\n" is the CRLF.
- 6: Default factory password passkey is: 1243, this must be the same in the Bluetooth slave module if you want to pair it.
To read passkey use this command: "AT+PSWD?".
To Reset the password command sent the characters "AT+PSWD=XXXX".
The password must be 4-bits.

without this message by purchasing novaPDF (<http://www.novapdf.com/>)

7: Leave free KEY, and supply power to the module again. Then this module will become master role and search the other module (slave role) automatically to build the connection (baud rate:9600, data bit:8, stop bit:1, no parity bit, no Flow Control).

How to set this module be the “Slave - Device” role

1: Input high level to KEY.

2: Supply power to the module. And the module will enter to AT COMMAND.

3: Set the parameters of the super terminal or the other serial tools (baud rate:

38400, data bit:8, stop bit:1, no parity bit, no Flow Control).

4: Sent the characters “AT+ROLE=0\r\n” through serial, then receive the characters “OK\r\n”. Here, “\r\n” is the CRLF.

5: Sent the characters “AT+CMODE=0\r\n” through serial, then receive the characters “OK\r\n”. Here, “\r\n” is the CRLF.

6: Default factory password passkey is: 1243, this must be the same in the Bluetooth master module if you want to pair it.

To read passkey sent the characters “AT+PSWD?”.

To Reset the password command sent the characters “AT+PSWD=XXXX”.

The password must be 4-bits.

7: Leave free KEY, and supply power to the module again. Then this module will become slave role and wait to be discover it by the other module (master role) automatically to build the connection (baud rate:38400, data bit:8, stop bit:1, no parity bit, no Flow Control).

How to get to the standard communication mode

1: Leave free KEY, don't connect it to VDD neither GND.

2: Supply power to the module. Then the module will enter to communication mode. It can be used for pairing.

Notes

(1) HC-05's command should end up with “\r\n”. It means when you finish programming, you should add terminator (“ENTER” or “0x0d 0x0a”) to the program.

(2) The most common commands for HC-05 are: AT+ROLE (set master–slave), AT+CMODE(set address pairing) , AT+PSWD (set password).

If you want the master module has the function of remembering slave module,the most simply way is: First, set AT+CMODE=1. Make the master module pair with the slave module. Second, set AT+CMODE=0. Then the master module just can make pair with that specified slave module.

www.electronica60norte.com

electronica60norte@hotmail.com

ANEXO G

DATASHEET DE LA PANTALLA TFT LCD



ILI9341

a-Si TFT LCD Single Chip Driver 240RGBx320 Resolution and 262K color

Specification

Version: V1.11
Document No.: ILI9341_DS_V1.11.pdf

ILI TECHNOLOGY CORP.

8F, No. 38, Taiyuan St., Jhubei City,
Hsinchu Country 302 Taiwan R.O.C.
Tel.886-3-5600099; Fax.886-3-5670585
<http://www.ilitek.com>

1. Introduction

ILI9341 is a 262,144-color single-chip SOC driver for a-TFT liquid crystal display with resolution of 240RGBx320 dots, comprising a 720-channel source driver, a 320-channel gate driver, 172,800 bytes GRAM for graphic display data of 240RGBx320 dots, and power supply circuit.

ILI9341 supports parallel 8-/9-/16-/18-bit data bus MCU interface, 6-/16-/18-bit data bus RGB interface and 3-/4-line serial peripheral interface (SPI). The moving picture area can be specified in internal GRAM by window address function. The specified window area can be updated selectively, so that moving picture can be displayed simultaneously independent of still picture area.

ILI9341 can operate with 1.65V ~ 3.3V I/O interface voltage and an incorporated voltage follower circuit to generate voltage levels for driving an LCD. ILI9341 supports full color, 8-color display mode and sleep mode for precise power control by software and these features make the ILI9341 an ideal LCD driver for medium or small size portable products such as digital cellular phones, smart phone, MP3 and PMP where long battery life is a major concern.

2. Features

- ◆ Display resolution: [240xRGB](H) x 320(V)
- ◆ Output:
 - 720 source outputs
 - 320 gate outputs
 - Common electrode output (VCOM)
- ◆ a-TFT LCD driver with on-chip full display RAM: 172,800 bytes
- ◆ System Interface
 - 8-bits, 9-bits, 16-bits, 18-bits interface with 8080- I /8080- II series MCU
 - 6-bits, 16-bits, 18-bits RGB interface with graphic controller
 - 3-line / 4-line serial interface
- ◆ Display mode:
 - Full color mode (Idle mode OFF): 262K-color (selectable color depth mode by software)
 - Reduce color mode (Idle mode ON): 8-color
- ◆ Power saving mode:
 - Sleep mode
- ◆ On chip functions:
 - VCOM generator and adjustment
 - Timing generator
 - Oscillator
 - DC/DC converter
 - Line/frame inversion
 - 1 preset Gamma curve with separate RGB Gamma correction
- ◆ Content Adaptive Brightness Control
- ◆ MTP (3 times):
 - 8-bits for ID1, ID2, ID3
 - 7-bits for VCOM adjustment

The information contained herein is the exclusive property of ILI Technology Corp. and shall not be distributed, reproduced, or disclosed in whole or in part without prior written permission of ILI Technology Corp.

Page 7 of 245

- ◆ Low -power consumption architecture
 - Low operating power supplies:
 - VDDI = 1.65V ~ 3.3V (logic)
 - VCI = 2.5V ~ 3.3V (analog)
- ◆ LCD Voltage drive:
 - Source/VCOM power supply voltage
 - DDVDH - GND = 4.5V ~ 5.8V
 - VCL - GND = -1.5V ~ -2.5V
 - Gate driver output voltage
 - VGH - GND = 10.0V ~ 18.0V
 - VGL - GND = -5.0V ~ -10.0V
 - VGH - VGL \leq 28V
 - VCOM driver output voltage
 - VCOMH = 3.0V ~ (DDVDH - 0.2)V
 - VCOML = (VCL+0.2)V ~ 0V
 - VCOMH - VCOML \leq 6.0V
- ◆ Operate temperature range: -40°C to 85°C
- ◆ a-Si TFT LCD storage capacitor : Cst on Common structure only

4. Pin Descriptions

Power Supply Pins			
Pin Name	I/O	Type	Descriptions
VDDI	I	P	Low voltage power supply for interface logic circuits (1.65 ~ 3.3 V)
VDDI_LED	I		Power supply for LED driver interface. (1.65 ~ 3.3 V) If LED driver is not used, fix this pin at VDDI.
VCI	I	Analog Power	High voltage power supply for analog circuit blocks (2.5 ~ 3.3 V)
Vcore	O	Digital Power	Regulated Low voltage level for interface circuits Connect a capacitor for stabilization. Don't apply any external power to this pad
VSS3	I	I/O Ground	System ground level for I/O circuits.
VSS	I	Digital Ground	System ground level for logic blocks
VSSA	I	Analog Ground	System ground level for analog circuit blocks Connect to VSS on the FPC to prevent noise.
VSSC	I	Analog Ground	System ground level for analog circuit blocks Connect to VSS on the FPC to prevent noise

Interface Logic Signals									
Pin Name	I/O	Type	Descriptions						
IM[3:0]	I	(VDDI/VSS)	- Select the MCU interface mode						
							DB Pin in use		
			IM3	IM2	IM1	IM0	MCU-Interface Mode	Register/Content	GRAM
			0	0	0	0	80 MCU 8-bit bus interface I	D[7:0]	D[7:0]
			0	0	0	1	80 MCU 16-bit bus interface I	D[7:0]	D[15:0]
			0	0	1	0	80 MCU 9-bit bus interface I	D[7:0]	D[8:0]
			0	0	1	1	80 MCU 18-bit bus interface I	D[7:0]	D[17:0]
			0	1	0	1	3-wire 9-bit data serial interface I	SDA: In/OUT	
			0	1	1	0	4-wire 8-bit data serial interface I	SDA: In/OUT	
			1	0	0	0	80 MCU 16-bit bus interface II	D[8:1]	D[17:10], D[8:1]
			1	0	0	1	80 MCU 8-bit bus interface II	D[17:10]	D[17:10]
			1	0	1	0	80 MCU 18-bit bus interface II	D[8:1]	D[17:0]
			1	0	1	1	80 MCU 9-bit bus interface II	D[17:10]	D[17:9]
			1	1	0	1	3-wire 9-bit data serial interface II	SDI: In SDO: Out	
			1	1	1	0	4-wire 8-bit data serial interface II	SDI: In SDO: Out	
MPU Parallel interface bus and serial interface select									
If use RGB Interface must select serial interface.									
* : Fix this pin at VDDI or VSS.									

The information contained herein is the exclusive property of ILI Technology Corp. and shall not be distributed, reproduced, or disclosed in whole or in part without prior written permission of ILI Technology Corp.

RESX	I	MCU (VDDI/VSS)	This signal will reset the device and must be applied to properly initialize the chip. Signal is active low.
EXTC	I	MCU (VDDI/VSS)	Extended command set enable. Low: extended command set is discarded. High: extended command set is accepted. Please connect EXTC to VDDI to read/write extended registers (R80h~RCFh, RE0h~RFFh)
CSX	I	MCU (VDDI/VSS)	Chip select input pin ("Low" enable). This pin can be permanently fixed "Low" in MPU interface mode only. * note1,2
D/CX (SCL)	I	MCU (VDDI/VSS)	This pin is used to select "Data or Command" in the parallel interface or 4-wire 8-bit serial data interface. When DCX = '1', data is selected. When DCX = '0', command is selected. This pin is used serial interface clock in 3-wire 9-bit / 4-wire 8-bit serial data interface. <i>If not used, this pin should be connected to VDDI or VSS.</i>
RDX	I	MCU (VDDI/VSS)	8080- I /8080- II system (RDX): Serves as a read signal and MCU read data at the rising edge. <i>Fix to VDDI level when not in use.</i>
WRX (D/CX)	I	MCU (VDDI/VSS)	- 8080- I /8080- II system (WRX): Serves as a write signal and writes data at the rising edge. - 4-line system (D/CX): Serves as command or parameter select. <i>Fix to VDDI level when not in use.</i>
D[17:0]	I/O	MCU (VDDI/VSS)	18-bit parallel bi-directional data bus for MCU system and RGB interface mode <i>Fix to VSS level when not in use</i>
SDI/SDA	I/O	MCU (VDDI/VSS)	When IM[3] : Low, Serial in/out signal. When IM[3] : High, Serial input signal. The data is applied on the rising edge of the SCL signal. <i>If not used, fix this pin at VDDI or VSS.</i>
SDO	O	MCU (VDDI/VSS)	Serial output signal. The data is outputted on the falling edge of the SCL signal. <i>If not used, open this pin</i>
TE	O	MCU (VDDI/VSS)	Tearing effect output pin to synchronize MPU to frame writing, activated by S/W command. When this pin is not activated, this pin is low. <i>If not used, open this pin.</i>
DOTCLK	I	MCU (VDDI/VSS)	Dot clock signal for RGB interface operation. <i>Fix to VDDI or VSS level when not in use.</i>
VSYNC	I	MCU (VDDI/VSS)	Frame synchronizing signal for RGB interface operation. <i>Fix to VDDI or VSS level when not in use.</i>
HSYNC	I	MCU (VDDI/VSS)	Line synchronizing signal for RGB interface operation. <i>Fix to VDDI or VSS level when not in use.</i>
DE	I	MCU (VDDI/VSS)	Data enable signal for RGB interface operation. <i>Fix to VDDI or VSS level when not in use.</i>

The information contained herein is the exclusive property of ILI Technology Corp. and shall not be distributed, reproduced, or disclosed in whole or in part without prior written permission of ILI Technology Corp.

Page 11 of 245

ANEXO H

DATASHEET DEL SENSOR MMA7361

Revised April 9, 2013

MMA7361 3-Axis Accelerometer Module

<http://www.apexelectrix.com>

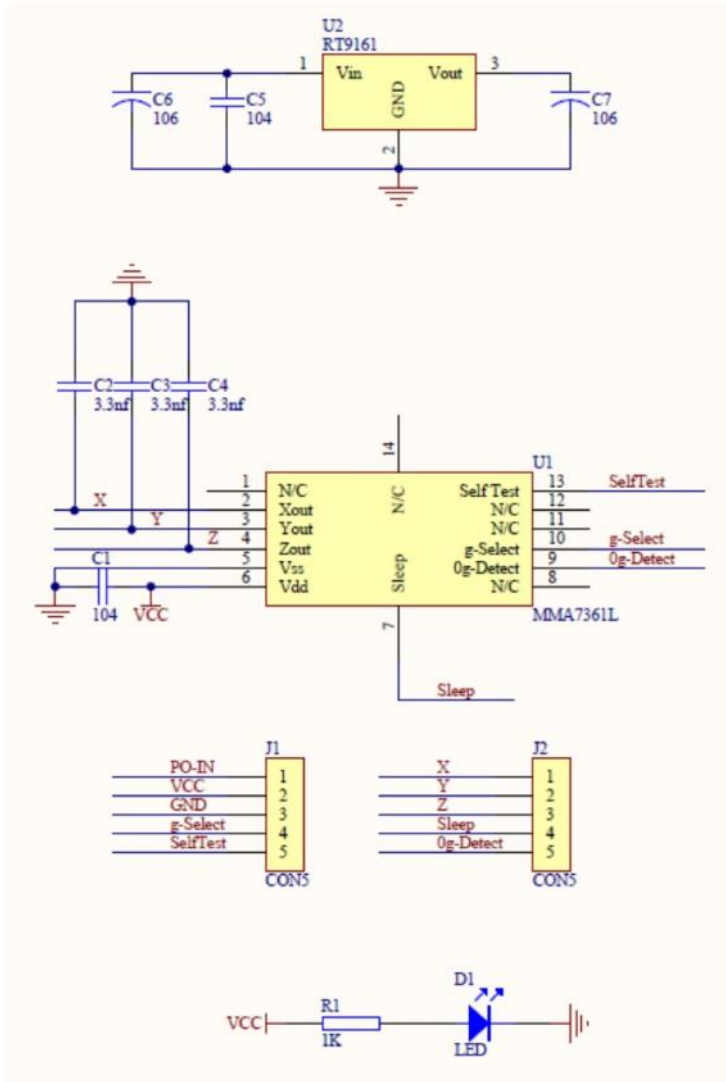


Table of Contents:

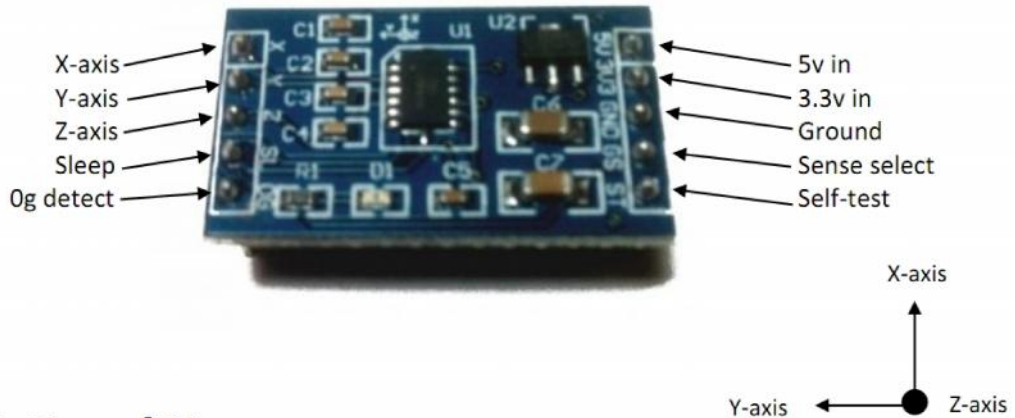
- I. Circuit Diagram
- II. Pin Configuration
- III. Description of Pins
- IV. Electrical Ratings

Copyright of Apex Electrix, LLC
<http://www.apexelectrix.com>

Circuit Diagram:



Pin Configuration:



Description of Pins:

X-axis	This is the analog signal out along the X-axis
Y-axis	This is the analog signal out along the Y-axis
X-axis	This is the analog signal out along the Z-axis
Sleep	This pin will put the chip to sleep when pulled low to consume less power and will resume operation when pulled high.
0g detect	This pin will go high when 0g is detected on all 3 axis. Useful to detect free fall
5v in	This pin is attached to a built in regulator that will bring the 5v down to the 3.3v that the chip is required to run on.
3.3v in	This pin bypasses the regulator for 5v in for those who have a pre-regulated 3.3v bus.
Ground	This pin must be connected to the ground of the circuit.
Sense select	This pin is used to select between the two sensitivities. If this pin is low it is in 1.5g mode. When high, it switches to 6g mode.
Self-test	This chip has a built in self-test to verify that both the mechanical and electrical bits inside the chip are functioning properly. To use the self-test feature, hold the module upside down to put a force of -1g on the Z-axis. The self-test then applies an electrostatic force which deflects the Z-axis which would then read +1g. Useful also for calibration.

Electrical Characteristics: (Taken from datasheet for MMA7361)

Table 2. Operating Characteristics

 Unless otherwise noted: $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 85^{\circ}\text{C}$, $2.2\text{ V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{ V}$, Acceleration = 0g, Loaded output⁽¹⁾

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Operating Range ⁽²⁾					
Supply Voltage ⁽³⁾	V_{DD}	2.2	3.3	3.6	V
Supply Current ⁽⁴⁾	I_{DD}	—	400	600	μA
Supply Current at Sleep Mode ⁽⁴⁾	I_{DD}	—	3	10	μA
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+85	$^{\circ}\text{C}$
Acceleration Range, X-Axis, Y-Axis, Z-Axis					
g-Select: 0	g_{FO}	—	± 1.5	—	g
g-Select: 1	g_{FO}	—	± 8.0	—	g
Output Signal					
Zero-g ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.3\text{ V}$) ^{(5), (6)}	V_{OFF}	1.485	1.65	1.815	V
Zero-g ⁽⁴⁾	V_{OFF, T_A}	-2.0	± 0.5	+2.0	$\text{mg}/^{\circ}\text{C}$
Sensitivity ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{DD} = 3.3\text{ V}$)					
1.5g	$S_{1.5g}$	740	800	860	mV/g
8g	S_{8g}	190.6	206	221.5	mV/g
Sensitivity ⁽⁴⁾	S, T_A	-0.0075	± 0.002	+0.0075	$\%/^{\circ}\text{C}$
Bandwidth Response					
XY	f_{-3dBXY}	—	400	—	Hz
Z	f_{-3dBZ}	—	300	—	Hz
Output Impedance	Z_O	—	32	—	$\text{k}\Omega$
0g-Detect	$0g_{detect}$	-0.4	0	+0.4	g
Self Test					
Output Response					
X_{OUT}, Y_{OUT}	Δg_{STXY}	+0.05	-0.1	—	g
Z_{OUT}	Δg_{STZ}	+0.8	+1.0	+1.2	g
Input Low	V_{IL}	V_{DD}	—	$0.3 V_{DD}$	V
Input High	V_{IH}	$0.7 V_{DD}$	—	V_{DD}	V
Noise					
Power Spectral Density RMS (0.1 Hz – 1 kHz) ⁽⁴⁾	n_{PDD}	—	350	—	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
Control Timing					
Power-Up Response Time ⁽⁷⁾	$t_{RESPONSE}$	—	1.0	2.0	ms
Enable Response Time ⁽⁸⁾	t_{ENABLE}	—	0.5	2.0	ms
Self Test Response Time ⁽⁹⁾	t_{ST}	—	2.0	5.0	ms
Sensing Element Resonant Frequency					
XY	$f_{GCELLXY}$	—	6.0	—	kHz
Z	f_{GCELLZ}	—	3.4	—	kHz
Internal Sampling Frequency	f_{CLK}	—	11	—	kHz
Output Stage Performance					
Full-Scale Output Range ($I_{OUT} = 3\ \mu\text{A}$)	V_{FSO}	$V_{DD}+0.1$	—	$V_{DD}-0.1$	V
Nonlinearity, $X_{OUT}, Y_{OUT}, Z_{OUT}$	NL_{OUT}	-1.0	—	+1.0	%FSO
Cross-Axis Sensitivity ⁽¹⁰⁾	$V_{XY, XZ, YZ}$	-5.0	—	+5.0	%

1. For a loaded output, the measurements are observed after an RC filter consisting of an internal 32k Ω resistor and an external 3.3nF capacitor (recommended as a minimum to filter clock noise) on the analog output for each axis and a 0.1 μF capacitor on V_{DD} - GND. The output sensor bandwidth is determined by the Capacitor added on the output. $f = 1/2\pi * (32 \times 10^3) * C$. $C = 3.3\text{ nF}$ corresponds to $\text{BW} = 1507\text{Hz}$, which is the minimum to filter out internal clock noise.

2. These limits define the range of operation for which the part will meet specification.

3. Within the supply range of 2.2 and 3.6 V, the device operates as a fully calibrated linear accelerometer. Beyond these supply limits the device may operate as a linear device but is not guaranteed to be in calibration.

4. This value is measured with g-Select in 1.5g mode.

5. The device can measure both + and - acceleration. With no input acceleration the output is at midsupply. For positive acceleration the output will increase above $V_{DD}/2$. For negative acceleration, the output will decrease below $V_{DD}/2$.

6. For optimal 0g offset performance, adhere to AN3484 and AN3447

7. The response time between 10% of full scale V_{DD} input voltage and 90% of the final operating output voltage.

8. The response time between 10% of full scale Sleep Mode input voltage and 90% of the final operating output voltage.

9. The response time between 10% of the full scale self test input voltage and 90% of the self test output voltage.

10. A measure of the device's ability to reject an acceleration applied 90° from the true axis of sensitivity.