



Diseño e implementación de un asistente robótico didáctico para la enseñanza del habla-lenguaje a niños y niñas de Segundo Año de Educación Básica de la Escuela

María Guarderas en la Ciudad de Machachi

Almachi Paneluisa, Edgar Francisco y Serna Otalvaro, David Fernando

Departamento de Ciencias de la Energía Y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de: Ingeniero Mecatrónico

Ing. Constante Procel, Patricia Nataly

22 de febrero del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

Reporte de verificación de contenido.

0000_1148

EDGAR FRANCISCO ALMACHI PANELUISA - SU TESIS

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO:

Tesis

NOMBRE DEL ALUMNO:

EDGAR FRANCISCO ALMACHI PANELUISA

NOMBRE DEL ARCHIVO:

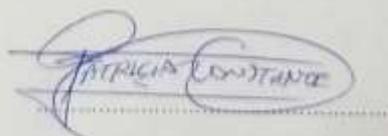
EDGAR FRANCISCO ALMACHI PANELUISA - SU TESIS

SE HA CREADO EL INFORME

22 Feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	6	1%
Fragmentos citados o entrecortados	0	0%
Coincidencias de la Web:		
espe.edu.ec	2	0,8%
nts-solutions.com	1	0,1%
programacionis.blogspot.com	1	0,1%
library.co	1	0,1%
back4app.com	1	0,1%



Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C. C. 0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Diseño e implementación de un asistente robótico didáctico para la enseñanza del habla-lenguaje a niños y niñas de Segundo Año de Educación Básica de la Escuela María Guarderas en la Ciudad de Machachi" fue realizado por los señores **Almachi Paneluisa, Edgar Francisco** y **Serna Otalvaro, David Fernando**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 22 de febrero del 2023

Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

C. C. 0503354029



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Almachi Paneluisa, Edgar Francisco** con cédula de ciudadanía No.172630986-5 y **Serna Otalvaro, David Fernando** con cédula de ciudadanía No.172319430-2, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un asistente robótico didáctico para la enseñanza del habla-lenguaje a niños y niñas de Segundo Año de Educación Básica de la Escuela María Guarderas en la Ciudad de Machachi"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 22 de febrero del 2023

Almachi Paneluisa, Edgar Francisco

C.C.: 172630986-5

Serna Otalvaro, David Fernando

C.C.: 172319430-2



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica
Autorización de Publicación

Nosotros **Almachi Paneluisa, Edgar Francisco** con cédula de ciudadanía No.172630986-5 y **Serna Otalvaro, David Fernando** con cédula de ciudadanía No.172319430-2, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "**Diseño e implementación de un asistente robótico didáctico para la enseñanza del habla-lenguaje a niños y niñas de Segundo Año de Educación Básica de la Escuela María Guarderas en la Ciudad de Machachi**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 22 de febrero del 2023

Almachi Paneluisa, Edgar Francisco

C.C.: 172630986-5

Serna Otalvaro, David Fernando

C.C.: 172319430-2

Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación a mis padres Víctor y Francisca que gracias a sus enseñanzas, principios, valores, palabras de aliento y apoyo incondicional, he podido concluir con esta etapa muy importante en mi vida. A mis hermanos Gloria, Víctor, Héctor, Olga y Lizeth quienes gracias a su cariño y apoyo me han permitido seguir firme para cumplir todas mis metas. A mi novia Daysi quien con sus palabras de aliento y apoyo incondicional me ha impulsado a seguir adelante para alcanzar este logro.

Edgar Almachi

Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación a mis padres Edgar y Sonia, quienes me brindaron todo su apoyo y aliento desde el primer momento para que pudiera estudiar y seguir adelante. Me han mostrado un punto de partida para entender hacia dónde quiero ir y qué es lo que quiero hacer en mi vida. También lo dedico a mi esposa Carolina y a mi hijo Thiago, quienes me han dado motivos para luchar y seguir mejorando cada día.

A mi padre Edgar y mi hijo Thiago, los llevo siempre en mi corazón, y es por enorgullecerlos a ustedes que me he esforzado a pesar de todo. Algún día nos volveremos a ver.

David Serna

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por formarme profesionalmente, inculcando en mí, los conocimientos necesarios para la realización de este proyecto.

Agradezco a la Escuela Fiscal de Niños y Niñas María Guarderas por permitirnos realizar el presente proyecto, de manera especial a la Lic. Amparito Carpio directora de la institución educativa quien colaboró con su conocimiento para el desarrollo de este.

De igual manera agradezco a la Ing. Patricia Constante, tutor académico del proyecto, quien en base a sus observaciones técnicas permitió el correcto desarrollo del proyecto.

Edgar Almachi

Agradecimiento

Agradezco a cada uno de los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, quienes me permitieron aprender muchas cosas útiles para el camino, tanto en lo personal como en lo profesional.

Agradezco a los docentes y encargados de la Escuela María Guarderas por abrirnos las puertas de su institución y brindarnos el soporte para realizar este proyecto de titulación.

Y un agradecimiento especial para la Ing. Patricia Constante por su guía y colaboración para el desarrollo de este trabajo de titulación. Con su experiencia y recomendaciones pudimos afrontar firmemente el proceso de elaboración del proyecto.

David Serna

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de tablas	13
Índice de figuras	15
Resumen	17
Abstract.....	18
Capítulo I: Fundamentación teórica	19
Introducción.....	19
Objetivos	20
<i>Objetivo general</i>	20
<i>Objetivos específicos</i>	20
Hipótesis	21
Variables.....	21
<i>Variable Independiente</i>	21
<i>Variable Dependiente</i>	21
El lenguaje en los niños y niñas del Ecuador	21
Terapias de habla-lenguaje.....	23
Robótica educativa	24
Dispositivos móviles	27

<i>Tablet</i>	28
Microcontroladores	29
<i>Arduino MEGA</i>	29
Servomotor	30
Redes Neuronales Artificiales	31
Tipos de Redes Neuronales Artificiales	33
<i>Redes monocapa</i>	33
<i>Redes multicapa</i>	33
<i>Deep Learning</i>	33
<i>Red recurrente</i>	33
<i>Red convolucional</i>	34
Redes Neuronales para el reconocimiento de voz	34
<i>Speech to Text de Google</i>	34
Firebase	35
<i>Cloud Firestore</i>	35
<i>Realtime Database</i>	36
<i>Firebase Authentication</i>	36
Usabilidad para dispositivos móviles	37
Desarrollo de la función de la calidad QFD	39
Capítulo II: Diseño conceptual y análisis del sistema	41
Justificación e importancia	41
Casa de la calidad	42
<i>Necesidades del usuario</i>	42
<i>Características técnicas</i>	43
<i>Matriz QFD</i>	44
Generación de la arquitectura del sistema	44
Generación y selección de conceptos	45
<i>Sistema de transmisión de movimiento de miembros inferiores</i>	45

<i>Dispositivo móvil</i>	46
<i>Tarjeta de control</i>	47
Diseño mecánico.....	48
<i>Sistema de transmisión de movimiento inferior.</i>	54
<i>Cálculo del torque del motor.</i>	57
Diseño eléctrico y electrónico	65
<i>Suministro energético</i>	65
Sistema de comunicación y control	68
Funcionamiento del sistema.....	69
Capítulo III: Construcción	71
Construcción Mecánica.....	71
<i>Sistema de transmisión de movimiento del asistente robótico.</i>	71
Construcción del sistema eléctrico y electrónico	74
Desarrollo de software	75
Capítulo IV: Pruebas y análisis de resultados	83
Pruebas FAT	83
<i>Pruebas de batería</i>	83
<i>Pruebas de movimiento</i>	84
<i>Pruebas de micrófono</i>	85
Pruebas SAT	86
<i>Selección de usuarios</i>	87
Validación del sistema robótico.....	89
Validación de hipótesis	93
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	98
Conclusiones.....	98
Recomendaciones	99
Bibliografía	100
Anexos	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Especificaciones técnicas de la Tablet Lenovo M8.....</i>	28
Tabla 2	<i>Métricas de usabilidad de una aplicación móvil.....</i>	38
Tabla 3	<i>Necesidades de usuario.....</i>	43
Tabla 4	<i>Características técnicas.....</i>	43
Tabla 5	<i>Sistemas y subsistemas.....</i>	45
Tabla 6	<i>Criterios de selección para movimiento de los miembros inferiores.....</i>	46
Tabla 7	<i>Criterios de selección para el sistema computacional.....</i>	47
Tabla 8	<i>Criterios de selección para la tarjeta de control.....</i>	48
Tabla 9	<i>Criterios de selección para la estructura del asistente robótico.....</i>	49
Tabla 10	<i>Propiedades mecánicas del acero estructural A36.....</i>	49
Tabla 11	<i>Masas que intervienen en el asistente robótico para su análisis.....</i>	50
Tabla 12	<i>Análisis CAE de la caja del torso del asistente robótico.....</i>	53
Tabla 13	<i>Componentes que intervienen en el cálculo del torque del motor.....</i>	55
Tabla 14	<i>Criterios de selección y alternativas para la selección del motor.....</i>	58
Tabla 15	<i>Características técnicas del servomotor MG996R.....</i>	59
Tabla 16	<i>Elementos que intervienen en la selección del motor de los brazos.....</i>	59
Tabla 17	<i>Características técnicas del servomotor MG995.....</i>	62
Tabla 18	<i>Componentes para el análisis CAE del soporte del servomotor MG996R.....</i>	63
Tabla 19	<i>Resultados del análisis CAE.....</i>	64
Tabla 20	<i>Consumo de corriente de los componentes del asistente robótico.....</i>	65
Tabla 21	<i>Conceptos y criterios de selección para el suministro de energía.....</i>	66
Tabla 22	<i>Características técnicas de la batería Lipo.....</i>	67
Tabla 23	<i>Tiempo de carga y descarga de batería de Lipo.....</i>	83
Tabla 24	<i>Tiempo de carga y descarga de batería de la Tablet.....</i>	84
Tabla 25	<i>Ángulos de giro permitidos por cada motor.....</i>	84
Tabla 26	<i>Distancias entre el usuario y el micrófono.....</i>	85
Tabla 27	<i>Resultados de la encuesta de conformidad.....</i>	90

Tabla 28 <i>Resultados de la encuesta de funcionamiento</i>	91
Tabla 29 <i>Datos tomados durante las pruebas</i>	94
Tabla 30 <i>Resultados generales de evaluaciones</i>	94
Tabla 31 <i>Tabla de frecuencias teóricas esperadas</i>	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Software Karel el Robot</i>	25
Figura 2	<i>Lenguaje de programación LOGO</i>	25
Figura 3	<i>Robot Zowi</i>	26
Figura 4	<i>Robot Pepper</i>	27
Figura 5	<i>Arquitectura de aplicaciones móviles</i>	28
Figura 6	<i>Tablet Lenovo M8</i>	29
Figura 7	<i>Tarjeta Arduino Mega</i>	30
Figura 8	<i>Servomotor MG90S</i>	31
Figura 9	<i>Estructura de la neurona</i>	31
Figura 10	<i>Estructura de una red neuronal</i>	32
Figura 11	<i>Arquitectura de transcripción de archivos multimedia con Google Cloud</i>	35
Figura 12	<i>Cloud Firestore</i>	36
Figura 13	<i>Realtime Database</i>	36
Figura 14	<i>Firebase Authentication</i>	37
Figura 15	<i>Framework de usabilidad</i>	38
Figura 16	<i>Desarrollo de la función de la calidad QFD</i>	40
Figura 17	<i>Alternativa de asistente robótico a construir</i>	44
Figura 18	<i>Diagrama de cuerpo libre del asistente robótico</i>	50
Figura 19	<i>Diagrama de fuerzas y momentos</i>	51
Figura 20	<i>Diagrama de Cuerpo Libre de las fuerzas que actúan sobre el robot</i>	54
Figura 21	<i>DCL de fuerzas equivalentes que actúan sobre el robot</i>	56
Figura 22	<i>DCL de las fuerzas que actúan sobre la rueda del robot</i>	57
Figura 23	<i>Servomotor MG996R</i>	59
Figura 24	<i>DCL de las fuerzas que actúan a lo largo del brazo del robot</i>	60
Figura 25	<i>DCL equivalente de las fuerzas que actúan en el brazo</i>	61
Figura 26	<i>Servomotor MG995</i>	62
Figura 27	<i>Batería Lipo 11.1V 4500mAh</i>	66

Figura 28	<i>Diagrama del circuito de control.....</i>	67
Figura 29	<i>Diseño de la PCB del circuito de control.....</i>	68
Figura 30	<i>Sistema de comunicación</i>	69
Figura 31	<i>Sistema de transmisión de movimiento de miembros inferiores.....</i>	72
Figura 32	<i>Sistema de transmisión de movimiento de miembros superiores.....</i>	72
Figura 33	<i>Ensamble de sistemas de transmisión de movimiento.....</i>	73
Figura 34	<i>Ensamble total del asistente robótico</i>	73
Figura 35	<i>Placa PCB del sistema.....</i>	74
Figura 36	<i>Integración de la placa PCB, batería y sistema de carga</i>	74
Figura 37	<i>Ensamble total del asistente robótico</i>	75
Figura 38	<i>Red neuronal LSTM RNN de Google.....</i>	77
Figura 39	<i>Pantallas de introducción de la aplicación principal</i>	78
Figura 40	<i>Actividades a desarrollar por los niños en la Tablet.....</i>	79
Figura 41	<i>Modo de uso 2.....</i>	80
Figura 42	<i>Asistente robótico en funcionamiento.....</i>	81
Figura 43	<i>Revisión de calificaciones con el usuario Admin.....</i>	81
Figura 44	<i>Revisión de calificaciones en Google Firestore.....</i>	82
Figura 45	<i>Presentación del asistente robótico en la Escuela María Guarderas</i>	86
Figura 46	<i>Creación de usuarios.....</i>	87
Figura 47	<i>Introducción al uso del asistente robótico.....</i>	88
Figura 48	<i>Uso del asistente robótico con usuarios</i>	89
Figura 49	<i>Resultados encuesta de conformidad pregunta 1</i>	90
Figura 50	<i>Resultados encuesta de conformidad pregunta 2 y 3</i>	91
Figura 51	<i>Resultados encuesta de funcionamiento pregunta 1 y 2</i>	92
Figura 52	<i>Resultados encuesta de funcionamiento pregunta 3</i>	92
Figura 53	<i>Resultados encuesta de funcionamiento pregunta 4</i>	93

Resumen

En el presente trabajo se implementa un asistente robótico para facilitar el aprendizaje del habla-lenguaje de los niños del segundo año de educación básica de la escuela María Guarderas de la ciudad de Machachi por medio de la interacción robot-niño. Este asistente cuenta con un cuerpo con brazos, cabeza y un tren inferior de desplazamiento para realizar movimientos por medio de motores actuadores, una pantalla TFT para mostrar el rostro del robot y una Tablet touch que permite la interacción directa del usuario con la aplicación móvil. El sistema se divide en 3 modos de operación, los cuales son: pronunciación (fonemas), juegos y reconocimiento (evaluación). En el modo de fonemas, el robot enseña al niño a vocalizar letras, sílabas y palabras, por medio de textos y audios que son presentados en la pantalla de visualización. En el modo juegos, se encuentran dos actividades; la primera para asociar palabras y fonemas con audios, y la segunda para asociar imágenes con palabras (pictogramas) y repetir la oración correspondiente que el asistente debe escuchar y reconocer. En el modo evaluación, se presenta una palabra para que el niño pronuncie, una vez que se presiona el botón para que se active el micrófono, el sistema reconoce la palabra y la compara con ayuda de la red de Speech to Text, que convierte el audio en texto para permitir la comparación, verificar si se pronunció de forma correcta y en caso de serlo, mueve los actuadores para demostrarlo y motivar al niño a seguir aprendiendo. Toda la información se guarda en la base de datos que puede ser revisada por el docente, para obtener las calificaciones de los niños durante su interacción con el sistema robótico. Adicional, se utiliza otra aplicación móvil que permite conectarse al sistema robótico y controlar los actuadores por medio de bluetooth para tener una mejor experiencia con el robot, donde el usuario puede manipular todos los actuadores del asistente a través de botones incorporados en la aplicación.

Palabras clave: Enseñanza del habla, juegos didácticos, fonemas, aplicación móvil, robot.

Abstract

In the present project, a robotic assistant is implemented to facilitate the learning of speech-language of children in the second year of basic education at the María Guarderas school in the city of Machachi through robot-child interaction. This assistant has a body with arms, head, and a lower drive train to move to perform movements by means of actuator motors, a TFT screen to show the robot's face and a Tablet touch that allows direct user interaction with the mobile application. The system is divided into 3 modes of operation, which are: pronunciation (phonemes), games and recognition (evaluation). In phoneme mode, the robot teaches the child to vocalize letters, syllables, and words, through texts and audios that are presented on the display screen. In game mode, there are two activities; the first to associate words and phonemes with audio, and the second to associate images with words (pictograms) and repeat the corresponding sentence that the assistant must hear and recognize. In the evaluation mode, a word is presented for the child to pronounce, once the button is pressed to activate the microphone, the system recognizes the word and compares it with the help of the Speech to Text network, which converts the audio in text to allow comparison, verify if it was pronounced correctly and if so, move the actuators to demonstrate it and motivate the child to continue learning. All the information is saved in the database that can be reviewed by the teacher, to obtain the scores of the children during their interaction with the robotic system. Additionally, another mobile application is used that allows connecting to the robotic system and controlling the actuators by Bluetooth to have a better experience with the robot, where the user can manipulate all the actuators of the assistant through buttons incorporated in the app.

Key words: Speech teaching, didactic games, phonemes, mobile application, robot.

Capítulo I

Fundamentación teórica

Introducción

La Escuela María Guarderas de la ciudad de Machachi se encarga de la formación de niños y niñas desde primer año de educación básica hasta séptimo año, por lo cual es necesario que el docente utilice metodologías apropiadas para que el alumno adquiera el conocimiento necesario para poder continuar con su formación; sin embargo, la parte fundamental de su desarrollo comienza desde el segundo año de educación básica, donde los niños además de mejorar el habla, aprenden a reconocer las vocales, letras, sílabas y palabras, enriqueciendo el vocabulario y practicando la correcta pronunciación de cada una de estas. (Espinoza & Flores, 2019)

Los niños y niñas desarrollan el habla a través de la imitación, pero cuando se presenta algún problema o anomalía, estos no logran desarrollar esta habilidad o la desarrollan de forma parcial. Los niños con problemas en el habla presentan inconvenientes durante el aprendizaje escolar y a la hora de relacionarse interpersonalmente. En el Ecuador, se mantiene una legislación netamente inclusiva, donde todas las instituciones educativas se ven obligadas a aceptar a los niños sin importar la condición que estos presenten, razón por la cual, los niños que padecen problemas del habla o el lenguaje presentan dificultades durante el proceso de aprendizaje. (Espinoza & Flores, 2019)

Según (Gutiérrez, 2014), el lenguaje se basa en la intersección de tres componentes principales: forma (fonología y morfosintaxis), contenido (semántica) y uso (pragmática). El aprendizaje se dificulta cuando existen problemas al momento de comprender uno de los componentes del lenguaje, especialmente, cuando no existe una educación diferenciada, donde se preste una atención prioritaria a los niños que presenten un déficit de aprendizaje del lenguaje. Además, algunos niños pueden presentar problemas como déficit de atención o trastornos del habla o del lenguaje que precise de actividades extracurriculares para su nivelación.

La robótica en la educación es un recurso que permite el aprendizaje y facilita el desarrollo de competencias como la socialización, la creatividad y la iniciativa, lo que permite a los alumnos dar respuesta a los diferentes factores que se presentan dentro de un entorno cambiante en el mundo actual. La presencia de los robots en los salones de clase, no se debe a la formación de los estudiantes en esta disciplina, sino más bien al aprovechamiento de su carácter multidisciplinar para desarrollar ambientes de trabajo y aprendizaje donde cada estudiante pueda percibir problemas reales y formular posibles soluciones, y a su vez estos se sientan motivados por los temas que se van desarrollando. (Aliane, 2007)

Por lo expuesto anteriormente, esta institución educativa se implementará el asistente robótico como herramienta didáctica para la enseñanza del habla y el lenguaje, por medio de la robótica educativa, novedosa y que llamativa para facilitar el proceso de aprendizaje.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar e implementar un asistente robótico didáctico para la enseñanza del habla-lenguaje a niños de segundo año de básica de la escuela María Guarderas en la ciudad de Machachi.

Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica sobre los diferentes tipos de ejercicios utilizados durante el aprendizaje del habla y el lenguaje para el desarrollo de las actividades propuestas en el asistente robótico.
- Diseñar el modelo 3D y seleccionar los materiales a utilizar para la construcción de la estructura y carcasa del asistente robótico, que brinden protección a los componentes internos.
- Implementar un algoritmo de control basado en redes neuronales y bases de datos para el funcionamiento óptimo del sistema, que permita el reconocimiento de la voz.

- Permitir el acceso del instructor al control remoto del sistema y datos estadísticos del robot para la evaluación continua del usuario, por medio de conexión a internet.
- Diseñar una interfaz gráfica amigable con el usuario, a través de una pantalla de visualización, para el fácil y rápido acceso a cada temática del sistema.
- Implementar la electrónica de control al sistema robótico para el funcionamiento de los actuadores y sensores del robot, mediante un microcontrolador.
- Determinar si el asistente robótico contribuye en la enseñanza del habla y el lenguaje a los niños y niñas mediante diferentes pruebas de funcionamiento, con la supervisión de un docente.

Hipótesis

¿La implementación de un asistente robótico didáctico contribuirá en la enseñanza del habla-lenguaje a los niños y niñas del segundo año de educación básica en la escuela María Guarderas de la ciudad de Machachi?

Variables

Variable Independiente

Asistente robótico didáctico

Variable Dependiente

Enseñanza del habla-lenguaje a niños de segundo año de básica de la escuela María Guarderas en la ciudad de Machachi.

El lenguaje en los niños y niñas del Ecuador

El lenguaje es el medio principal por el cual los seres humanos pueden dar a conocer sus ideas, pensamientos, sentimientos y emociones. Sin embargo, desde que el niño nace, desarrolla un medio de comunicación mediante el cual da a conocer sus necesidades, es decir el lenguaje en los niños se va desarrollando de una manera natural y espontánea; pero carece de normas gramaticales y una estructura semántica que permita una adecuada comprensión de lo que el niño quiere comunicar.

El Ministerio de Educación del Ecuador manifiesta, que la enseñanza del lenguaje es la base en el proceso de aprendizaje de niños y niñas. Por tal motivo es muy importante que los niños y niñas desarrollen destrezas de comunicación tales como: escuchar, hablar, leer y escribir. Con la finalidad de compartir sus ideas de manera clara y estructurada, el docente es el encargado de desarrollar estas destrezas por medio de actividades progresivas, sistemáticas y recursivas. Dentro de las actividades más importantes para el aprendizaje del lenguaje se tienen los juegos, debido a que, el juego incentiva a los niños a crear, investigar, explorar y descubrir el entorno que lo rodea. (Ministerio de Educación, 2017)

Factores que intervienen de manera directa en el desarrollo del lenguaje: La herencia, la familia, el ambiente social y la escolarización. Los factores característicos del aprendizaje del lenguaje se van observando a lo largo que el niño va creciendo; cuando es bebé desarrolla la estimulación auditiva que consiste en escuchar un ruido e investigar de donde proviene, a partir de los 12 a 15 meses los balbuceos aumentan y el niño ya es capaz de realizar algunos sonidos siendo los más característicos, mamá, papá. Al cumplir dos años el niño ya posee un vocabulario promedio de 40 palabras. A partir de los 3 a 5 años el niño tiene la capacidad de enlazar tres palabras para comunicar sus ideas. Es muy importante detectar si este proceso no se va desarrollando de manera correcta o si los niños presentan problemas, tales como, dificultad al momento de comunicarse con el resto de los niños de su edad o voz extraña. (Cuicas, 2022)

El lenguaje

El lenguaje es una herramienta fundamental que permite a las personas comunicarse con los demás y consigo mismos mediante signos arbitrarios codificados denominados lengua. Este sistema se implanta a través de la interacción social desde los primeros años de vida del ser humano. El lenguaje se divide en dos tipos que son el lenguaje verbal, compuesto por palabras formadas a partir de fonemas que se manifiestan

de forma oral o escrita y el lenguaje no verbal constituido por imágenes, símbolos y gestos. (Federación de enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010)

El lenguaje verbal se encuentra compuesto y estructurado con las siguientes reglas:

- Fonemas o elementos sonoros: Agrupación de sílabas que forman palabras.
- Componente léxico – morfológico: Combinaciones de palabras que forman oraciones.
- Componente sintáctico: Significado de las palabras y sus variaciones.
- Componente pragmático: Adaptación de la comunicación oral al medio social en el cual se desarrolla.

El habla es una manifestación verbal de la lengua y es el medio por el cual ésta se expresa a través de la coordinación de acciones musculares de los labios, lengua, quijada y boca, para producir sonidos reconocibles que constituyen el lenguaje. Este es mejor conocido como el lenguaje oral y es el más alto grado de la evolución lingüística, alcanzado únicamente por el ser humano. (Federación de enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010)

Terapias de habla-lenguaje

Este tipo de terapia ayuda a los niños a mejorar sus habilidades de comunicación, cabe recalcar que esta terapia no solo ayuda a los niños que tienen problemas de pronunciación sino también ayuda a aquellos que presentan problemas con el lenguaje oral y escrito. Para tratar estos problemas existen especialistas denominados patólogos del habla y lenguaje cuya labor es identificar los problemas que presenta el niño tanto en el habla como en el lenguaje, y las causas que han provocado estos problemas, para posteriormente determinar el tratamiento adecuado. (Belsky, 2022)

Esta terapia se adapta a las necesidades particulares de cada niño y se enfoca en fortalecer ciertas habilidades del niño para el uso del habla y lenguaje siendo las más comunes:

- Conciencia fonológica: El terapeuta identifica el sonido de las palabras, y el uso de rimas para que niño desarrolle la habilidad de la lectura.
- Expresión de ideas más complejas: El terapeuta ayuda a los niños a combinar sus ideas por medio de oraciones haciendo el uso de conectores, “y”, “o”, “porque”, “pero”.
- Desarrollo de vocabulario: El terapeuta ayuda a los niños a recordar palabras utilizando, imágenes, juegos o contando historias en las cuales participe la palabra que el niño tiende a olvidar.
- Habilidades de conversación: El terapeuta a través de la conversación incentiva al niño a reconocer las pautas sociales.

La conciencia fonológica es una habilidad que desarrolla el niño para reconocer y utilizar los sonidos, puesto que el niño debe saber cómo pronunciar, lo que quiere decir que, debe saber cómo decodificar las palabras. (Belsky, 2022)

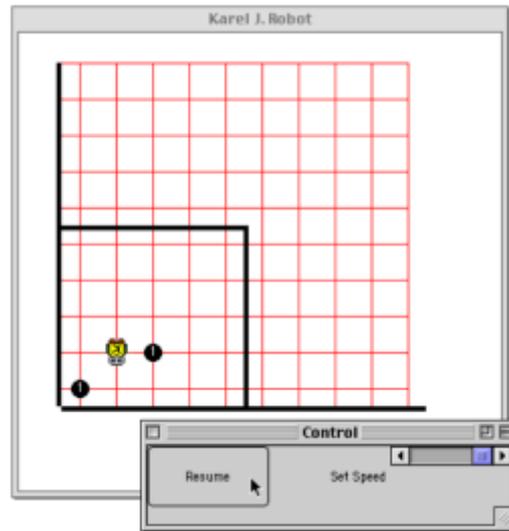
Robótica educativa

La robótica es una disciplina que se ocupa de diseñar, estudiar y fabricar autómatas o robots. Para esto se aplican conocimientos combinaos de mecánica, eléctrica, electrónica, biomédica y computación. Un robot es una máquina programable que se encarga de realizar actividades complejas de forma automática. (Ollete, 2001)

Los robots han ido apareciendo en las aulas de clase de diferentes formas. En primera instancia, se utilizan sistemas de simulación de control de robots como medio de enseñanza, como lo es el software educativo Karel el Robot, que se presenta en la Figura 1, que permite simular el desplazamiento de u robot por medio del lenguaje de programación estructurada básica. (Ministerio de Educación de El Salvador, 2013)

Figura 1

Software Karel el Robot

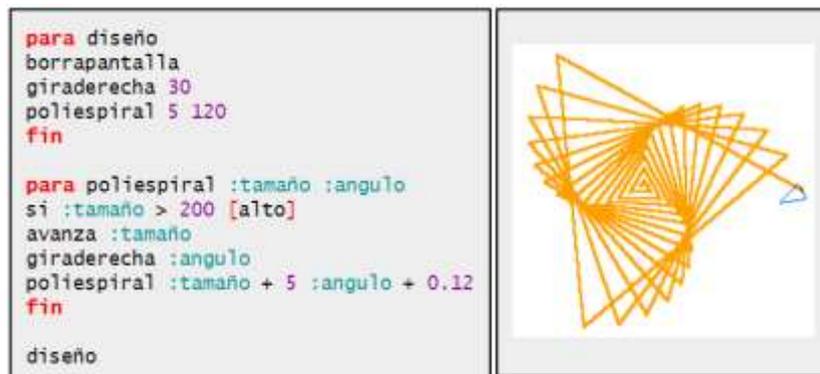


Nota. Tomado de (Bergin, 2005)

Posteriormente, se introdujo el uso de lenguajes con fines didácticos como LOGO para la enseñanza de informática a los estudiantes. LOGO se creó con la finalidad de enseñar matemáticas a los alumnos de forma divertida y natural, tal como se muestra en la Figura 2. (Anónimo, Neoparaiso, 2017)

Figura 2

Lenguaje de programación LOGO



Nota. Tomado de (Anónimo, Neoparaiso, 2017)

Finalmente, se encuentra el uso de robots en los salones de clase. En estos se utilizan manipuladores, robots móviles o sistemas completos de bajo costo, desarrollados para su utilización en laboratorios escolares.

Un ejemplo de robot educativo es Zowi, que permite iniciar a los niños en el mundo de la tecnología y de la programación. Zowi cuenta con una guía rápida que permite realizar diferentes movimientos y por medio de una app para dispositivos móviles Android, se pueden enviar órdenes a este a través de Bluetooth, que se muestra en la Figura 3. (García, 2021)

Figura 3

Robot Zowi

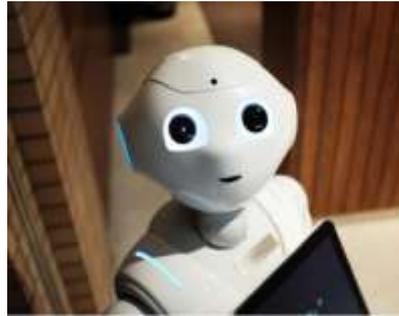


Nota. Tomado de (García, 2021)

Dentro del ámbito de la educación y la salud se cuenta con robots como Pepper, que debido a su tecnología es capaz de reconocer lenguaje verbal y no verbal, a tal punto de reconocer el estado de ánimo de la persona con la cual esta interactuando. Este robot es capaz de desenvolverse en cualquier ambiente y adaptarse al entorno en el cual se encuentra integrado. El robot Pepper se presenta en la Figura 4. (Robots, 2020)

Figura 4

Robot Pepper



Nota. Tomado de (Robots, 2020)

Dispositivos móviles

Los dispositivos móviles son aparatos pequeños con ciertas capacidades de procesamiento, conexión a la red y memoria limitada que son diseñados para realizar una función específica y cumplir con otras más generales. Existe una gran cantidad de dispositivos móviles que se clasifican de acuerdo a su función principal. (Gobierno de Navarra, 2017)

Ejemplos de dispositivos móviles:

- Teléfono celular
- Teléfono inteligente o smartphone
- PC móvil o laptop

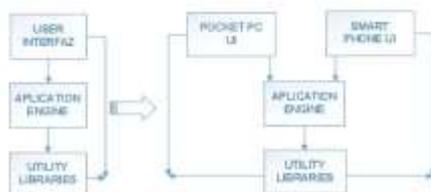
Características:

- Portabilidad: Fácil de transportar debido a su menor tamaño y peso, con mayores prestaciones.
- Flexibles y programables: Cuentan con sistemas operativos en los que se pueden instalar aplicaciones (apps). Pueden contar con aplicaciones profesionales y otras orientadas a las comunicaciones, ocio y consumo.

- Facilidad de manejo: Poseen menos controles, disminuyen los dispositivos auxiliares y en su mayoría utilizan pantallas táctiles. La arquitectura de estas aplicaciones se puede observar en la Figura 5.

Figura 5

Arquitectura de aplicaciones móviles



Nota. Tomado de (Gómez J. M., 2011)

Tablet

Las tablets o tabletas son dispositivos compactos que se encuentran entre los ordenadores móviles y los teléfonos inteligentes. Este tipo de equipos se diferencian de los ordenadores porque no utilizan teclado y ratón, y además, poseen mayores prestaciones, son más pequeñas y fáciles de portar. Estos dispositivos poseen un sistema operativo y aplicaciones auxiliares donde prevalecen aquellas orientadas a las comunicaciones, entretenimiento y ofimática doméstica. La mayor parte de estos dispositivos cuentan con sensores como cámaras, micrófonos, lectores de huellas, GPS, infrarrojo, entre otros, que permiten utilizar un sinnúmero de aplicaciones, como se especifica en la tabla 1.

Tabla 1

Especificaciones técnicas de la Tablet Lenovo M8

Características	Valor
Procesador	MediaTek Helio A22
Memoria RAM	2 GB LPDDR3
Conectividad	LAN inalámbrica IEEE 802.11b Bluetooth 5.0
Puertos USB	1 Micro USB 2.0
Sistema Operat.	Android Pie
Video y sonido	2 puertos micro HDMI
Batería	Li-ion Polymer 5000mAh

Nota. Tomado de (Lenovo Group, 2021)

En la Figura 6, se presenta una Tablet comercial marca Lenovo, que se utiliza como dispositivo principal para la construcción del asistente robótico.

Figura 6

Tablet Lenovo M8



Nota. Tomado de (Lenovo Group, 2021)

Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que se considera una minicomputadora programable, puesto que está constituido de un CPU, memorias en las cuales se puede guardar programas con sus respectivas variables y puede controlar periféricos de entrada/salida. Su función principal es la de automatizar procesos y procesar la información. (E-Marmolejo, 2017)

El microcontrolador puede realizar muchas aplicaciones siendo las más básicas el encender led pequeño, hasta las más complejas como puede ser el realizar el control completo de sistemas robóticos. El microcontrolador sale de fábrica sin ningún programa es decir este no tiene asignada ninguna tarea, para lo cual es necesario crear algoritmos los cuales permitan al microcontrolador ejecutar tareas, estos algoritmos se los realizan utilizando principalmente el lenguaje de programación C++. (Díaz Ronceros, 2020)

Arduino MEGA

Está integrado por un microcontrolador ATmega3128, posee 14 pines de I/O, 6 pines de entradas analógicas, memoria flash de 32 Kb, SRAM de 2Kb, EEPROM de 1Kb, la alimentación es de 7-12 VDC su velocidad es reloj es de 16 MHz. La programación del Arduino Mega se desarrolla desde una computadora y mediante un cable USB se lo carga a

la tarjeta. El Arduino mega es capaz de controlar elementos electrónicos sean estos leds, motores, servomotores, relés, etc. Además de adquirir datos de diferentes tipos de sensores. Este controlador se puede observar en la Figura 7. (Vargas et al., 2015)

Figura 7

Tarjeta Arduino Mega



Nota. Tomado de (ARDUINO.cl, 2022)

Servomotor

Son motores de corriente continua de imanes permanentes comúnmente utilizados en aplicaciones industriales como sistemas de transmisión de movimiento en brazos robóticos, máquinas de control numérico, sistemas de posicionamiento, etc. En este motor se puede controlar tanto la velocidad como la posición del eje mediante señales de control, esta señal es el PWM, en donde el ancho de pulso indica la posición angular a la cual se va a posicionar el eje. El margen de operación de estos motores es de 0° a 180° o 0° a 360° , y se lo puede observar en la Figura 8. (PROMETEC, 2022)

Figura 8

Servomotor MG90S



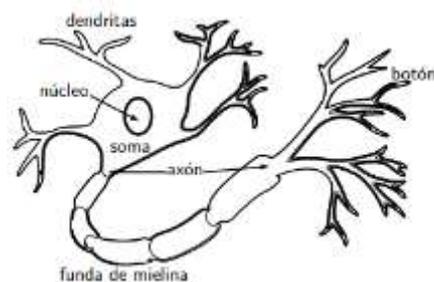
Nota. Tomado de (GeekFactory, 2022)

Redes Neuronales Artificiales

Según (Maestre Betolaza, 2021). “Las Redes Neuronales Artificiales buscan imitar de manera simplificada al comportamiento natural de una neurona biológica, cuyo objetivo principal es la construcción de sistemas capaces de emular la actividad intelectual humana a través del aprendizaje de determinadas tareas”. Las Redes Neuronales Artificiales son aproximaciones computacionales matemáticas que surgieron para interpretar la forma de trabajo y comportamiento de las neuronas del cerebro en el ser humano. Las Redes Neuronales Artificiales están constituidas por la neurona que es la unidad básica de las redes neuronales tanto biológicas como artificiales, estas se organizan por capas y se interconectan entre sí, como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Estructura de la neurona

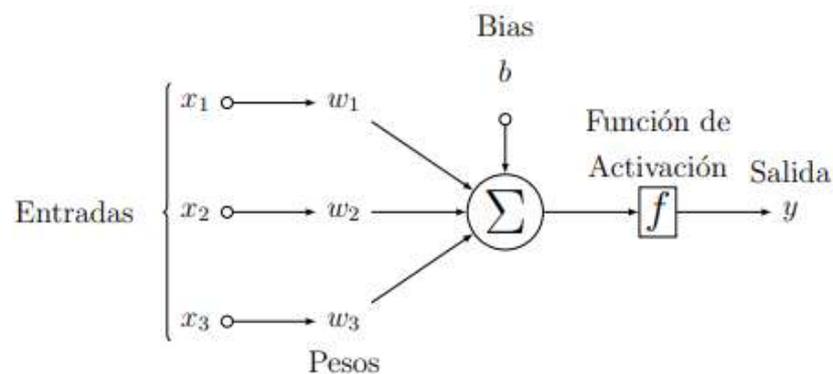


Nota. Tomado de (Flores Labra, 2018)

Las tecnologías para el aprendizaje de las Redes Neuronales Artificiales se han desarrollado a gran escala; debido a que el campo de aplicación de las mismas es sumamente extenso, los más representativos son: procesamiento de datos, robótica, clasificación y reconocimiento de imágenes y sonidos, sistemas de predicción y en la medicina. Para el año 1960 Frank Rosenblat modeló la neurona humana creando un algoritmo llamado perceptrón, el cual está constituido por funciones de entrada y función de activación, entradas, pesos, vías, y salida. La estructura de una red neuronal se puede observar en la figura 10. (Flores Labra, 2018)

Figura 10

Estructura de una red neuronal



Nota. Tomado de (Flores Labra, 2018)

Cuando se elabora una red neuronal, se debe elegir el modelo de neurona a utilizar, el tipo de arquitectura de red, y se parte con valores aleatorios tanto para el bias como para el peso, a partir de ahí, se procede a entrenar la red con el propósito de que las salidas de la red satisfagan a la salida deseada. Existen tres tipos de algoritmos para el entrenamiento de la red neuronal. (Flores Labra, 2018)

- Supervisado. Los conjuntos de datos de entrada van emparejados a los de salida esperada. Se modifican los pesos de acuerdo al error que se da en la salida de la red con la salida deseada.

- No supervisados. La red recibe un conjunto de datos de entrada, esta red no requiere un conjunto de datos de salidas deseadas, los pesos se ajustan para que las salidas sean consistentes, lo cual permite agrupar los patrones de acuerdo a su similitud.
- Entrenamiento Híbrido. Emplea los dos modos de aprendizaje supervisado y no supervisado.

Tipos de Redes Neuronales Artificiales

Redes monocapa.

Su arquitectura de red es simple, esta red posee una capa de neuronas, es adaptativa es decir se puede configurar para una entrada varias salidas, son comúnmente utilizadas para problemas de clasificación. (Flores Labra, 2018)

Redes multicapa.

Este tipo de redes están constituidas por más capas, incluyendo capas intermedias las cuales se denominan ocultas. Este tipo de red es la más utilizada debido a que posee retroalimentación, presenta un bajo coste de recursos computacionales, se entrena en menor tiempo, y sus resultados son precisos. (Flores Labra, 2018)

Deep Learning.

El conjunto de algoritmos que posee esta red permite una abstracción de alto nivel para problemas más complejos. Esta red se ocupa principalmente para los temas de reconocimiento de voz o de imagen, La Deep Learning es usada por las empresas de Google o Apple. (Flores Labra, 2018)

Red recurrente.

Se utiliza esta red para resolver problemas de difícil aprendizaje automático que involucran secuencias de entrada. Sus conexiones están formadas por bucles lo cual provee a la red de retroalimentación y memoria, la memoria permite que la red aprenda a través de

secuencias y no de datos individuales, es comúnmente usada para traducir idiomas con el objetivo de generar los subtítulos en los videos. (Flores Labra, 2018)

Red convolucional.

Esta red es de tipo feed-forward, es una versión mejorada de la red multicapa, simulan el comportamiento de las neuronas que constituyen la corteza visual del cerebro, son utilizadas para problemas de reconocimiento de objetos tales como el reconocimiento de los dígitos escritos a mano. (Flores Labra, 2018)

Redes Neuronales para el reconocimiento de voz.

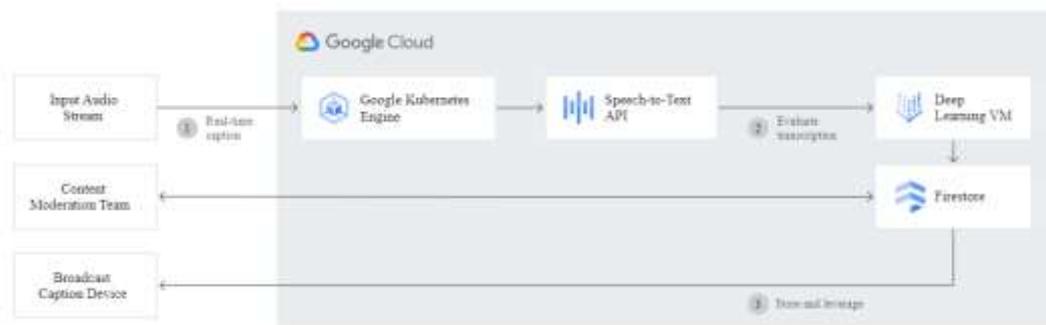
Para desarrollar este tipo de redes neuronales es muy importante contar con entradas de voz las cuales serán extraídas de un audio. Actualmente el problema de reconocimiento de voz ya tiene solución, para el reconocimiento de voz las redes neuronales más utilizadas son las redes convolucionales, recurrentes y las Deep Learning las cuales otorgan salidas con mínimo error a la salida deseada, sin embargo, la desventaja es su entrenamiento. (Flores Labra, 2018)

Speech to Text de Google

Speech to Text convierte la voz en texto de forma precisa con una API basada en la Inteligencia Artificial de Google. Esta API ejecuta algoritmos de reconocimiento de voz de Google Cloud de forma local en cualquier dispositivo, con técnicas de redes neuronales y Deep Learning, sin importar si se encuentra conectado a internet. En la figura 11 se muestra la arquitectura de una aplicación realizada mediante Google Cloud con la API de Speech to Text y la implementación de Deep Learning. (Flores Labra, 2018)

Figura 11

Arquitectura de transcripción de archivos multimedia con Google Cloud



Nota. Tomado de (Google, 2022)

Firestore

Firestore es una plataforma digital de desarrollo de aplicaciones web y móviles que pertenece a Google desde el 2014. Esta aplicación se encuentra alojada en la nube y está disponible para distintos sistemas operativos con el objetivo de mejorar el rendimiento de las aplicaciones a través de diferentes módulos que permiten que las apps sean más seguras y fáciles de utilizar para el usuario final. Una de las mejores características de algunas de las funcionalidades presentadas por esta plataforma es que son gratuitas.

(Google, 2022)

Cloud Firestore

Cloud Firestore es una base de datos NoSQL de Firestore con almacenamiento en la nube que se sincroniza con datos en tiempo real para el desarrollo en servidores, dispositivos móviles y web. Una de las principales funciones de este módulo es que cuenta con una asistencia sin conexión, que permite almacenar en caché los datos de la aplicación, para leer, escribir y consultar información sin tener conexión a internet. La configuración de Cloud Firestore puede ser observada en la Figura 12. (SEIDOR, 2022)

Figura 12*Cloud Firestore*

Nota. Tomado de (SEIDOR, 2022)

Realtime Database

Firestore Realtime Database es otra base de datos NoSQL alojada en la nube que se sincroniza en tiempo real con cada cliente que se conecte y se mantiene disponible mientras la aplicación no se encuentra conectada. Se diferencia de Cloud Firestore por su formato JSON que permite consultas más rápidas y su configuración se puede observar en la Figura 13. (SEIDOR, 2022)

Figura 13*Realtime Database*

Nota. Tomado de (SEIDOR, 2022)

Firestore Authentication

Firestore Authentication proporciona bibliotecas preparadas para autenticar usuarios desde una aplicación utilizando contraseñas, números de teléfono, correos electrónicos u otras cuentas, como se presenta en la Figura 14. (SEIDOR, 2022)

Figura 14

Firestore Authentication



Nota. Tomado de (SEIDOR, 2022)

Usabilidad para dispositivos móviles

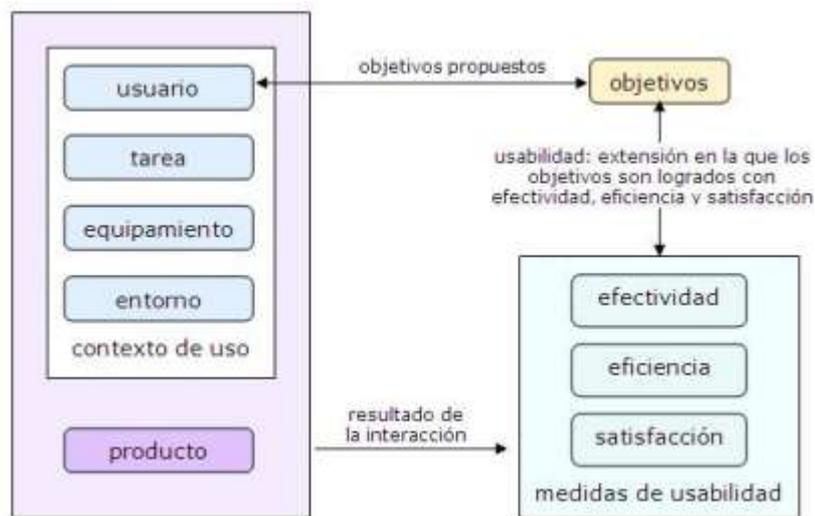
La usabilidad en las aplicaciones se refiere a la facilidad con la que se puede utilizar las herramientas y qué se puede hacer con estas. En otras palabras, la usabilidad define la facilidad con la que el usuario puede utilizar una aplicación para alcanzar los resultados esperados. Este concepto no puede evaluarse o medirse directamente, puesto que depende de muchos factores como el público hacia el cual va orientada la aplicación.

(Gabriel & Sandra, 2013)

La norma ISO 9241-113 se encarga de definir a la usabilidad como el grado con el cual un producto puede ser utilizado por un grupo específico de usuarios para alcanzar los objetivos esperados con efectividad y satisfaciendo a los clientes. En esta norma también se especifica la usabilidad para productos con pantallas de visualización que dependen del fin para el cual se diseña la aplicación. La usabilidad de una aplicación móvil depende de los usuarios hacia los cuales va destinado el producto, las tareas que se deben realizar, los componentes como software y hardware, entre otros, como se muestra en el Framework de usabilidad de la Figura 15. (Gabriel & Sandra, 2013)

Figura 15

Framework de usabilidad



Nota. Tomado de (Gabriel & Sandra, 2013)

Para evaluar la usabilidad de una aplicación se definen atributos a los cuales se les asocian ciertas métricas, tal como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Métricas de usabilidad de una aplicación móvil

Atributo	Métricas
Efectividad	Tareas realizadas en un tiempo definido Tareas completadas Funciones utilizadas
Eficiencia	Tiempo para cumplir una tarea Teclas utilizadas por tarea Tiempo por cada pantalla
Satisfacción	Dificultad Agrada al usuario
Facilidad de aprendizaje	Tiempo utilizado para aprender Tiempo de entrenamiento
Memorabilidad	Intentos para volver a utilizar la aplicación pasado largo tiempo sin abrirla
Errores	Cantidad de errores
Contenido	Cantidad de widgets por página
Seguridad	Control de usuario
Portabilidad	Acople de software con hardware

Nota. Tomado de (Lenovo Group, 2021)

Desarrollo de la función de la calidad QFD

El desarrollo de la función de la calidad es un método en el cual se debe considerar las necesidades y requerimientos de los usuarios para la creación de un producto. En otras palabras, busca traducir los requerimientos del cliente en requerimientos técnicos de ingeniería para cada fase del diseño y fabricación. En esta metodología se considera la planificación de la calidad durante el ciclo de vida. (Riba, 2002)

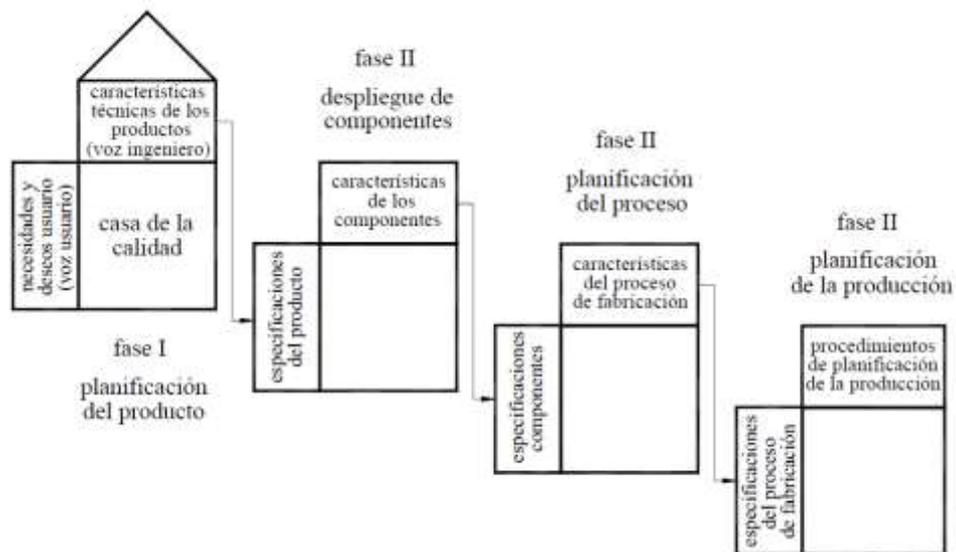
Esta metodología consiste de 4 fases donde se define una serie de matrices para guiar al proceso al desarrollo de la función de calidad. Cada fase se representa con una matriz cuyas características brindan una entrada a la siguiente matriz de forma secuencial en cascada. Las fases son las siguientes:

- Planificación del producto (casa de la calidad): Se traducen las demandas o requerimientos del usuario a características técnicas del producto.
- Despliegue de componentes: Se traducen las especificaciones del producto en características de los componentes.
- Planificación del proceso: Se traduce las características de los componentes en características del proceso de fabricación.
- Planificación de la producción: Se traduce las características del proceso en procedimientos de planificación de la producción. (Riba, 2002)

La arquitectura de la matriz QFD o casa de la calidad se puede observar en la Figura 16, donde se especifica cada una de sus fases y características requeridas para el diseño.

Figura 16

Desarrollo de la función de la calidad QFD



Nota. Tomado de (Riba, 2002)

Capítulo II

Diseño conceptual y análisis del sistema

Este capítulo corresponde al diseño del sistema mecánico y electrónico, basado en la elaboración de la matriz QFD (Quality Function Deployment), mediante la identificación de las necesidades y especificaciones técnicas del usuario hacia el asistente robótico, para realizar una correcta selección y análisis de los componentes que integran los sistemas del asistente robótico.

Justificación e importancia

El presente proyecto tiene como finalidad beneficiar a la escuela María Guarderas de la ciudad de Machachi con una estrategia didáctica para el proceso de enseñanza del habla y del lenguaje en un grupo de atención prioritaria como los son los niños y las niñas, que dentro del plan de inclusión del gobierno ecuatoriano deben ser admitidos en las instituciones sin importar su condición. Mediante la robótica educativa se pretende reforzar el proceso de aprendizaje por medio de un asistente robótico utilizado como herramienta didáctica para la enseñanza del habla y el lenguaje para los niños en su etapa inicial de formación durante el segundo año de educación básica con un rango de edad de 5 a 6 años.

La robótica educativa se ve vinculada a las teorías del constructivismo y la pedagogía activa, donde según Jean Piaget (1976), la teoría constructivista afirma que el aprendizaje no es el resultado de una transferencia de conocimiento (educación convencional) sino que es un proceso activo basado en experiencias para el desarrollo del aprendizaje, donde el estudiante interactúa con su realidad y realiza actividades sobre ella. En el contexto de la teoría constructivista, el uso de las herramientas tecnológicas brinda al estudiante una manera alternativa de aprender y crear experiencias para la construcción de nuevos conocimientos. (Hernández, 2008)

La robótica educativa permite al estudiante ingresar en un ambiente basado en su propia acción, donde cada usuario toma un rol activo y protagónico con su propio proceso

de aprendizaje pues se le permite pensar, imaginar, decidir, planificar, anticipar, investigar, documentar y realimentarse con otros compañeros, durante este proceso, desarrollando diversos conocimientos que le permitirán desenvolverse en el mundo actual. (Acuña, 2012)

Este sistema robótico beneficiará a los niños durante el proceso de aprendizaje del habla-lenguaje ya que permitirá avanzar de acuerdo a las capacidades de cada uno y puede ser utilizado para practicar continuamente durante el tiempo requerido, buscando a la vez el entretenimiento del usuario y aportando una alternativa de enseñanza al docente, tomando como base los conocimientos adquiridos durante la carrera de Mecatrónica, donde se implementarán sistemas mecánicos y electrónicos para brindar un rol activo al usuario mediante la interacción con el asistente robótico y, sistemas de control y programación para las funcionalidades del robot. (Acuña, 2012)

Casa de la calidad

Para realizar el asistente robótico se utiliza la casa de la calidad o matriz QFD que es una herramienta que permite relacionar la necesidad del cliente con las características técnicas del producto, con el objetivo de obtener un producto que cumpla con las exigencias del cliente.

Necesidades del usuario

La institución educativa indica las necesidades que el asistente robótico debe cumplir con satisfacción, por lo cual se realizó una consulta a la directora de la Escuela María Guarderas. En las cuales indico las necesidades y requerimientos del asistente robótico. En la Tabla 3 se detallan las necesidades con valoraciones del 1 al 5, siendo la 1 la menos importante y 5 la más importante.

Tabla 3*Necesidades de usuario*

Núm.	Necesidad	Import.
1	Interacción personalizada del asistente robótico con cada niño/a.	4
2	Capacidad de reconocimiento de la vocal, letra o palabra reconocida por el niño.	5
3	Gestos y movimientos del asistente robótico de acuerdo a las respuestas de los niños.	4
4	Actividades lúdicas interactivas que llamen la atención del niño.	5
5	Tiempo de respuesta del asistente robótico respecto a la pronunciación del niño.	5
6	Aspecto físico innovador para atraer el interés de los niños.	4
7	Presentar un diseño seguro para evitar lesiones en los niños.	5
8	Evaluador puede observar la interacción del niño y robot mediante manera remota	3
9	De fácil transporte	3
10	De fácil mantenimiento	3

Características técnicas

Se procede a interpretar todas las necesidades del cliente de una manera técnica, estas características deben ser necesariamente medibles y cuantificables. En la Tabla 4 se muestran las características técnicas del asistente robótico.

Tabla 4*Características técnicas*

Núm.	Características técnicas	Unidades
1	Consumo energético	Watts
2	Resistencia de los materiales	MPa
3	Dimensión del asistente robótico	mm
4	Precisión de los sensores	%
5	Tiempos de respuesta de los actuadores	ms
6	Velocidad de la conexión a internet.	MBs
7	Eficiencia del reconocimiento de voz	%
8	Tiempo de respuesta de la interfaz	ms
9	Desplazamiento de asistente robótico	mm
10	Tiempo de ensamblaje para mantenimiento	hora

Matriz QFD

En la matriz QFD especifican las necesidades del usuario con las características técnicas que requiere el asistente robótico, con la finalidad que este satisfaga las necesidades de los usuarios. Esta matriz permite observar qué tipo de relación tiene cada una de las características técnicas principales planteadas por los diseñadores con las necesidades entregadas por los clientes y puede ser observada en el Anexo I.

Generación de la arquitectura del sistema

La ejecución del asistente robótico tiene como objetivo enseñar y comparar la vocal, letra o palabra pronunciada por el niño, mediante el uso de un asistente de voz, si esta comparación es correcta el asistente robótico interactúa con el niño mediante el movimiento de actuadores, estos actuadores serán comandados por un dispositivo tecnológico moderno por medio de señales de comunicación inalámbricas.

Por lo tanto, este proyecto está constituido de 3 sistemas los cuales son: sistema de transmisión de movimiento, sistema eléctrico y electrónico e interacción del asistente robótico con el usuario. En la Tabla 5 se indican los sistemas y subsistemas que integran el asistente robótico y en la figura 17 se presenta una alternativa de diseño de robot.

Figura 17

Alternativa de asistente robótico a construir



Nota. Tomado de (Anónimo, Robot Okk K3, 2018)

Tabla 5

Sistemas y subsistemas

Núm.	Sistema	Subsistema	Elementos
1	Asistente robótico	Estructura externa	Dispositivo móvil
			Estructura externa e interna del asistente robótico
			Ruedas
		Sistema de transmisión de movimiento inferior y superior	Brazos
2	Sistema electrónico y de control	Sistema de control	Sensores
			Actuadores
			Tarjeta de control
			Módulos de comunicación inalámbrica
			Fuente de energía eléctrica
3	Sistema de reconocimiento de voz	Reconocimiento de voz	Micrófono

Generación y selección de conceptos

La generación y selección de conceptos se refiere a evaluar los diferentes tipos de soluciones para satisfacer las necesidades planteadas por el usuario. El resultado de esta comparación favorece a una selección apropiada de los componentes a utilizar, para posteriormente proceder a su desarrollo.

Sistema de transmisión de movimiento de miembros inferiores

Este subsistema tiene como tarea principal el desplazamiento del asistente robótico, sean estos desplazamientos lineales o angulares a lo largo de una superficie plana. Como principales alternativas para realizar estos desplazamientos se tiene las opciones: desplazamientos por medio de rieles, ruedas y orugas, que se presentan en la tabla 6. Para

lo cual se procede a realizar la selección de criterios mediante el siguiente código de evaluación.

- + “mejor que”
- 0 “igual a”
- - “peor que”

Tabla 6

Criterios de selección para movimiento de los miembros inferiores

Criterios de selección	Conceptos		
	Movimiento por rieles	Movimiento con ruedas	Movimiento de oruga
Control de la trayectoria de desplazamiento	+	0	-
Velocidad	0	+	-
Costo de fabricación	0	+	-
Facilidad de construcción	0	+	-
Apariencia	-	-	+
Facilidad de mantenimiento	0	+	0
Suma +	1	4	1
Suma 0	4	1	1
Suma -	1	1	4
Evaluación neta	0	3	-3
Lugar 1	2	1	3
¿Continuar?	No	Si	No

A partir del filtrado de conceptos de la Tabla 6, la opción más viable es utilizar las ruedas como mecanismo para el desplazamiento de los miembros inferiores del asistente robótico.

Dispositivo móvil

Para el sistema computacional se plantea utilizar una Raspberry PI, una Jetson NANO o una Tablet con sistema operativo Android, tomando en cuenta diferentes aspectos como costos, compatibilidad con otros equipos y/o sistemas y facilidad de uso para el usuario, presentados en la tabla 7.

Tabla 7*Criterios de selección para el sistema computacional*

Criterios de selección	Conceptos		
	Sistema computacional		
	Raspberry PI	Jetson NANO	Tablet LENOVO M8
Disponibilidad	-	0	+
Velocidad de operación	+	+	+
Envío de datos.	+	+	+
Memoria	+	+	+
Costos	0	-	+
Compatibilidad	0	0	+
Entradas/salidas digitales y análogas.	+	+	0
Pantalla incorporada	-	-	+
Suma +	4	4	7
Suma 0	2	2	1
Suma -	2	2	0
Evaluación neta	2	2	7
Lugar 1	2	2	1
¿Continuar?	No	No	Si

Se selecciona la Tablet LENOVO M8 debido a la disponibilidad de mercado, precio, capacidad de procesamiento, pantalla integrada y dispositivos periféricos.

Tarjeta de control

Para controlar el movimiento de los actuadores que constituyen el asistente robótico, se plantea utilizar los siguientes microcontroladores Arduino o una tarjeta ESP32. Lo que se considera para seleccionar este componente es la velocidad de operación, costos, velocidad de procesamiento, cantidad de entradas/salidas y el tamaño óptimo que permita la construcción de un sistema robótico compacto, como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8*Criterios de selección para la tarjeta de control*

Criterios de selección	Conceptos		
	Tarjetas de control		
	ARDUINO MEGA	ARDUINO UNO	ESP32
Disponibilidad	+	+	+
Velocidad de operación	+	0	0
Envío de datos.	+	0	0
Tamaño	+	+	+
Costos	+	+	+
Entradas/salidas digitales y análogas.	+	0	-
Módulos de comunicación inalámbrica integrados	0	0	+
Suma +	3	2	3
Suma 0	1	2	0
Suma -	0	0	1
Evaluación neta	3	2	2
Lugar 1	1	2	2
¿Continuar?	Si	No	No

Se selecciona un Arduino MEGA como controlador debido a que es mucho más completo que el Arduino UNO y la ESP32 porque tiene mayor cantidad de puertos de entradas y salidas para el control. El Arduino cuenta con módulos baratos y fáciles de utilizar que permiten la conexión Bluetooth con otros dispositivos como la Tablet.

Diseño mecánico

En esta sección se abordará el diseño mecánico del asistente robótico, para lo cual se parte de los sistemas y subsistemas que integran el asistente robótico, a través del desarrollo del modelado 3D del asistente robótico, cálculos, simulaciones y apoyado del análisis CAE para obtener un diseño que ofrezca seguridad y confianza.

Como punto de partida se analiza diferentes materiales para la construcción del asistente robótico los cuales son, acero estructural A36, PLA (ácido poli láctico) y aluminio. Definidos los materiales se procede a establecer los siguientes criterios de selección:

Disponibilidad, costo, peso, propiedades mecánicas y facilidad de producción. En la Tabla 9 se observa las alternativas con sus criterios de selección correspondientes.

Tabla 9

Criterios de selección para la estructura del asistente robótico

Criterios de selección	Conceptos						
	Acero estructural A36			PLA		Aluminio	
	Peso	Calif.	Eval. ponderada	Calif.	Eval. ponderada	Calif.	Eval. ponderada
Disponibilidad	20%	4	0,8	5	1	3	0,6
Costo	10%	2	0,2	5	1	3	0,3
Peso	20%	2	0,4	4	0,8	3	0,6
Propiedades mecánicas	20%	4	0,8	4	0,8	4	0,8
Facilidad de producción	30%	2	0,6	3	0,6	2	0,9
	Total		2,8		4,2		3,2
	Lugar		3		1		2
	¿Continuar?		No		Si		No

Una vez filtrados los criterios de selección se escoge el Acero estructural A36 como principal material para la construcción del asistente robótico. En la Tabla 10 se indican las propiedades mecánicas del material.

Tabla 10

Propiedades mecánicas del acero estructural A36

Propiedad	Valor
Módulo de elasticidad	2346.5 MPa
Resistencia a la fluencia	103 MPa

Realizado el asistente robótico se procede a verificar la deflexión máxima que se produce en el asiento de la caja del centro, debido a que en ese lugar concurren todas las

fuerzas producidas por la acción de la gravedad, en la Tabla 11 se consideran todas las masas que intervienen en el desarrollo de los cálculos.

Tabla 11

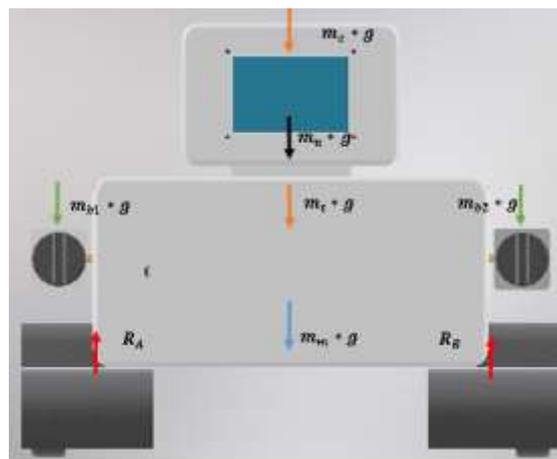
Masas que intervienen en el asistente robótico para su análisis

Ítem	Componente	Representación	Valor
1	Cabeza	m_c	0.307 kg
2	Unión tronco – cabeza	m_u	0.025 kg
3	Tronco	m_m	1.85 kg
4	Tablet	m_t	0.3 kg
5	Brazos	m_b	0.34 kg

Se realiza el DCL del asistente robótico que se muestra en la Figura 18 y se dibuja las fuerzas que actúan sobre la caja del tronco, luego se procede a calcular la fuerza equivalente que se produce por la acción de las masas de modo que:

Figura 18

Diagrama de cuerpo libre del asistente robótico



$$\sum F_y = 0 \quad (1)$$

$$-m_{b1} * g + R_A - (m_c + m_u + m_m + m_t) * g + R_B - m_{b2} * g = 0$$

Las cargas son simétricas por lo tanto se tiene que $R_A = R_B$

$$-0.17 * 9.81 + 2R_A - (0.307 + 0.025 + 1.85 + 0.3 + 0.34) * 9.81 - 0.17 * 9.81 = 0$$

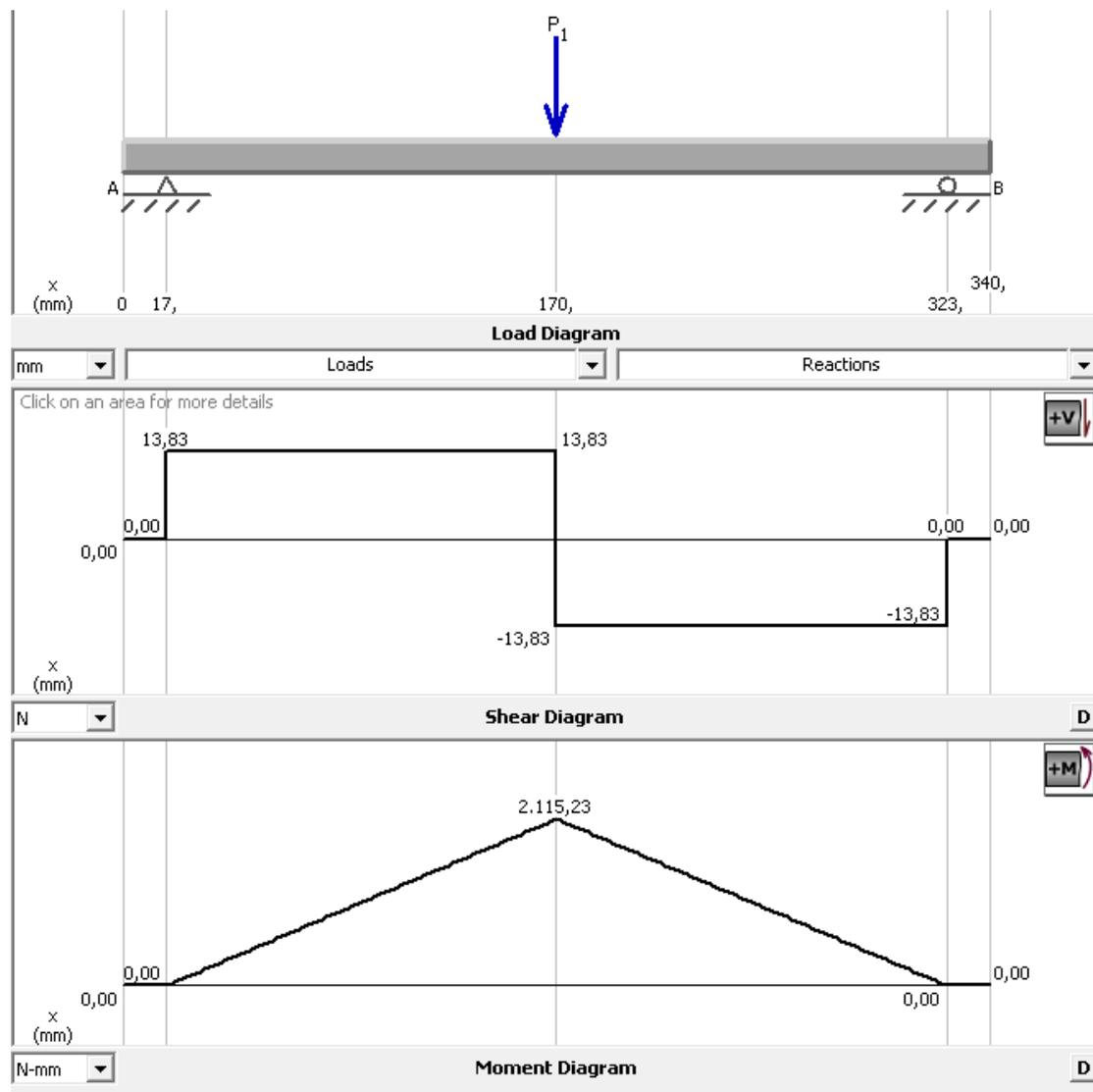
$$R_A = \frac{27.68}{2}$$

$$R_A = R_B = 13.84 \text{ N}$$

Una vez obtenidos los valores de las reacciones se procede a realizar los diagramas de carga y diagramas de esfuerzos. Como se muestra en la Figura 19 el diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores.

Figura 19

Diagrama de fuerzas y momentos



De acuerdo al diagrama de momentos se obtiene que el momento máximo es de:

$$M_{max} = 2.12 \text{ Nm}$$

Una vez determinado el momento máximo se procede a calcular el esfuerzo por flexión mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \frac{Mc}{I} \quad (2)$$

$$\sigma_c = \frac{M \cdot h/2}{\frac{bh^3}{12}}$$

$$\sigma_c = \frac{6M}{bh^2} = \frac{6 \cdot 2.12 \text{ Nm}}{0.14\text{m} \cdot (0.0014\text{m})^2} = 46,36 \text{ MPa}$$

Para considerar un diseño seguro para cargas estáticas Robert Mott en su libro Resistencia de Materiales, expresa que el coeficiente de seguridad debe ser mayor a 2.5.

Por lo tanto, se calcula el esfuerzo de diseño con la Ecuación

$$\sigma_d = \frac{Sy}{N} \quad (3)$$

$$\sigma_d = \frac{250 \text{ MPa}}{2.5} = 100 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d > \sigma_c$$

Una vez obtenido el esfuerzo de diseño σ_d y este al ser mayor que al esfuerzo calculado σ_c , Se puede asegurar un diseño correcto.

A partir de aquí se obtiene la flexión máxima producida en la base de la caja del torso del asistente robótico con la Ecuación.

$$y_{max} = -\frac{PL^3}{48EI} \quad (4)$$

$$y_{max} = -\frac{PL^3}{48E \frac{bh^3}{12}}$$

$$y_{max} = -\frac{PL^3}{4Ebh^3}$$

$$y_{max} = -\frac{27.98(0.3406)^3}{4 * 200GPa * 0.14 * 0.0014^3}$$

$$y_{max} = 0.035 \text{ mm}$$

Se verifica la razón entre la flexión máxima y la longitud de la base de la caja del torso, con la Ecuación.

$$\frac{y_{m\acute{a}x}}{L} = \frac{3.59 \times 10^{-2} \text{ mm}}{340.6 \text{ mm}}$$

$$\frac{y_{m\acute{a}x}}{L} = 1.05 \times 10^{-5}$$

Al ser la razón de 1.05×10^{-5} , menor que el espesor de la pared de la caja es decir 0.0014 se considera que la caja del torso puede utilizarse para la construcción del asistente robótico.

En la Tabla 12 se muestran los principales análisis para determinar la seguridad del diseño.

Tabla 12

Análisis CAE de la caja del torso del asistente robótico

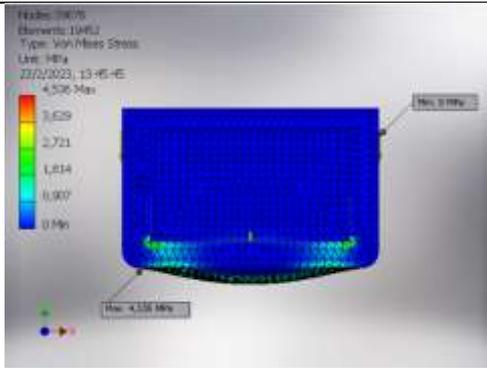
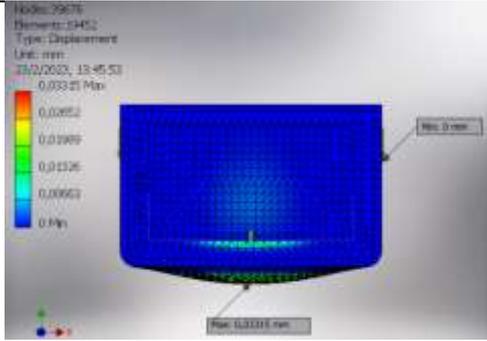
Figura	Análisis	Resultado
	Tensión de Von Mises	σ_{max} $= 0.8451 \text{ MPa}$

Figura	Análisis	Resultado
	Desplazamiento y	y_{max} $= 0.033 \text{ mm}$

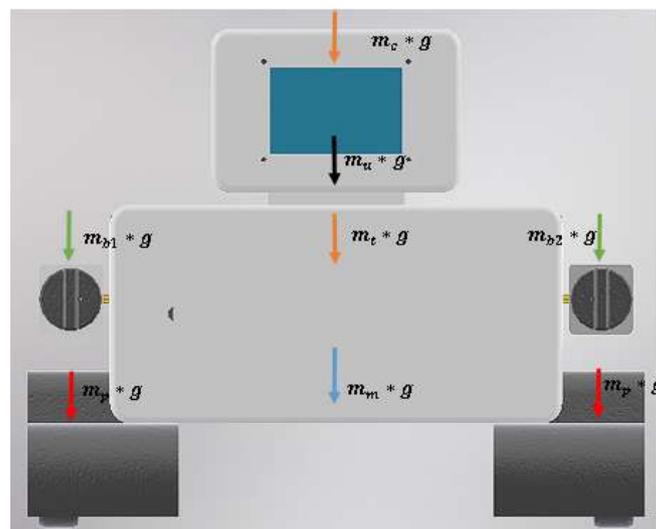
Realizado el análisis CAE de la caja del torso del asistente robótico se obtuvieron los siguientes resultados, la deflexión máxima es de 0.033 mm, de acuerdo el libro de Resistencia de Materiales de Robert Mott el factor de seguridad para cargas estáticas debe ser mayor a 2.5, por lo cual el diseño de la caja del torso es seguro.

Sistema de transmisión de movimiento inferior.

Para el desarrollo de los cálculos se toma en cuenta todos los elementos que constituyen el asistente robótico, a continuación, en la Figura 20 se muestra el DCL de las fuerzas que actúan sobre cada elemento.

Figura 20

Diagrama de Cuerpo Libre de las fuerzas que actúan sobre el robot



Como se puede observar todas estas fuerzas actúan a lo largo del eje Y del asistente robótico, por lo tanto, es factible obtener una fuerza equivalente, en la Tabla 13 se detallan los elementos que intervienen en el desarrollo de los cálculos.

Tabla 13

Componentes que intervienen en el cálculo del torque del motor.

Ítem	Componente	Representación	Valor
1	Cabeza	m_c	0.307 kg
2	Unión tronco – cabeza	m_u	0.025 kg
3	Tronco	m_m	1.85 kg
4	Tablet	m_t	0.3 kg
5	Brazos	m_b	0.34 kg
6	Piernas	m_p	0.41 kg

Se procede a calcular la fuerza equivalente.

$$W = (m_c + m_u + m_m + m_t + m_b + m_p) * g$$

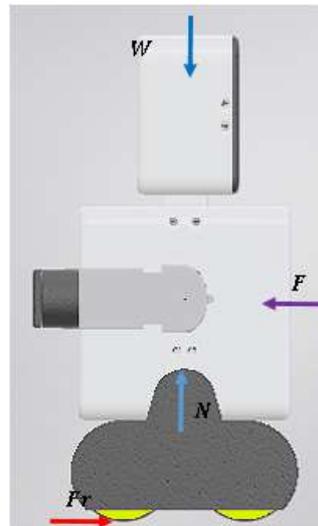
$$W = (0.307 + 0.025 + 1.85 + 0.3 + 0.34 + 0.41)Kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W = 28.52 N$$

Una vez obtenida la fuerza equivalente W , se procede a elaborar el DCL equivalente del asistente robótico, como se muestra en la Figura 21. Donde F es la fuerza necesaria para que el robot salga de su estado de reposo, F_r es la fuerza de rozamiento entre las ruedas de caucho y la superficie de contacto, se considera un coeficiente de rozamiento estático del caucho de 0.7, siendo N la fuerza normal.

Figura 21

DCL de fuerzas equivalentes que actúan sobre el robot



Se determina el valor de la fuerza Normal, aplicando la sumatoria de fuerzas en el eje Y, por lo tanto:

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W = 0 \quad (5)$$

$$N = W = 28.52 \text{ N}$$

Una vez conocida la fuerza Normal se procede a calcular la fuerza necesaria F para que el asistente robótico salga de su estado de reposo. Para ello se aplica la sumatoria de fuerzas en el eje X, por lo tanto.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_r - F = 0 \quad (6)$$

De donde:

$$F_r = \mu N \quad (7)$$

Se sustituye la Ecuación 7 en la Ecuación 6 y se tiene:

$$F = \mu N$$

$$F = 0.7 * 28.52 N$$

$$F = 19.96 N$$

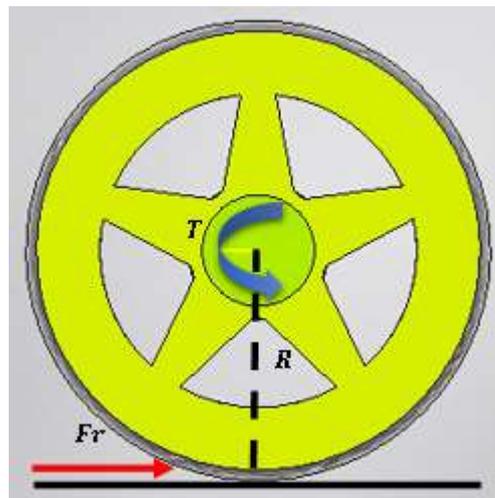
Cálculo del torque del motor.

Conocida la fuerza necesaria para romper el estado de reposo del asistente robótico se procede a calcular el torque necesario que debe proveer el motor al asistente robótico.

En la Figura 22 se muestra el DCL de las fuerzas que actúan sobre la rueda.

Figura 22

DCL de las fuerzas que actúan sobre la rueda del robot



El torque requerido del motor se calcula mediante la Ecuación 8.

$$T = F_r R \quad (8)$$

$$T = 19.96 N * 0.33m$$

$$T = 6.58 Nm$$

Una vez obtenido el torque total del sistema, se procede a calcular el torque equivalente para cada rueda es decir dividir el torque total para el número de motores que integran al asistente robótico como se indica en la Ecuación 9.

$$T_{rueda} = \frac{T}{2} \quad (9)$$

$$T_{rueda} = \frac{6.58}{2}$$

$$T_{rueda} = 3.29 \text{ Nm}$$

Una vez encontrado el torque necesario para mover al asistente robótico se procede a seleccionar el motor, para lo cual se tomó en consideración los siguientes criterios de selección: Torque, dimensiones, consumo energético, velocidad, costo y peso. Los motores que se consideraron son los siguientes. Motor Nema 17, Motor reductor y Servomotor MG996R.

Tabla 14

Criterios de selección y alternativas para la selección del motor

Criterios de selección	Conceptos						
	Motor a paso Nema 17			Motor reductor		Servomotor MG996R	
	Peso	Calif.	Eval. Ponderada	Calif.	Eval. Ponderada	Calif.	Eval. Ponderada
Torque	25%	4	1,00	2	0,50	5	1,25
Dimensiones	20%	4	0,8	3	0,60	5	1,00
Consumo energético	15%	3	0,45	4	0,60	3	0,45
Velocidad	10%	3	0,30	4	0,40	4	0,40
Costo	10%	4	0,40	5	0,50	4	0,40
Peso	20%	4	0,80	5	1,00	5	1,00
	Total		3,75		3,60		4,5
	Lugar		2		3		1
	¿Continuar?		No		No		Si

De acuerdo con la Tabla 14 la alternativa más idónea para transmitir el movimiento en el asistente robótico es el servomotor MG996R, por sus características de torque, dimensiones y peso, las cuales son las ideales para llevar a cabo la construcción.

En la Figura 23 se muestra el servomotor y en la Tabla 15 se indican sus características técnicas.

Figura 23*Servomotor MG996R*

Nota. Tomado de (DatasheetPdf, 2015)

Tabla 15*Características técnicas del servomotor MG996R*

Característica	Valor
Peso	55 g
Velocidad	0.17s/60°
Corriente por bobinado	2.5 A
Tensión de alimentación	5V
Torque	9.4 Kg/cm

Nota. Tomado de (Hardware Libre, 2020)

Transmisión de movimiento de los elementos superiores

Para el desarrollo de la selección del motor de los brazos del asistente robótico se considera la masa de cada uno de los elementos, a continuación, en la Tabla 16 se detallan los elementos y su respectiva masa.

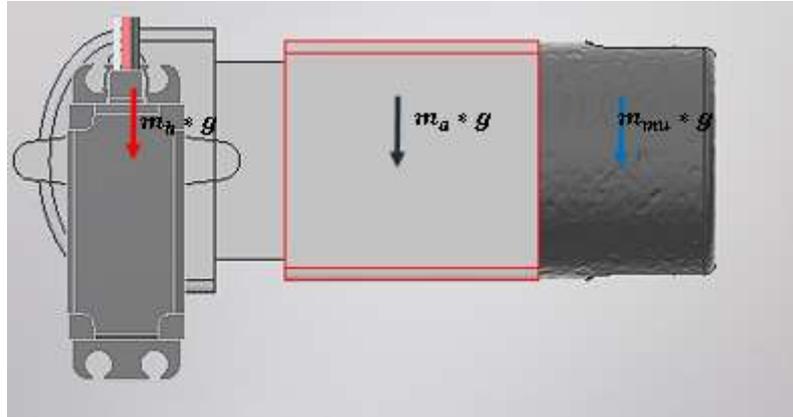
Tabla 16*Elementos que intervienen en la selección del motor de los brazos*

Ítem	Componente	Representación	Valor
1	Hombro	m_h	0.097 kg
2	Articulación	m_a	0.031 kg
3	Muñeca	m_{mu}	0.042 kg

Una vez identificados los elementos se procede a realizar el DCL, para elaborar su respectivo análisis. Como se observa en la Figura 24.

Figura 24

DCL de las fuerzas que actúan a lo largo del brazo del robot



A continuación, se procede a calcular la fuerza equivalente a partir de los pesos de cada elemento que constituye el brazo del asistente robótico, como se indica en la Ecuación 10.

$$W = m_h * g + m_a * g + m_{mu} * g \quad (10)$$

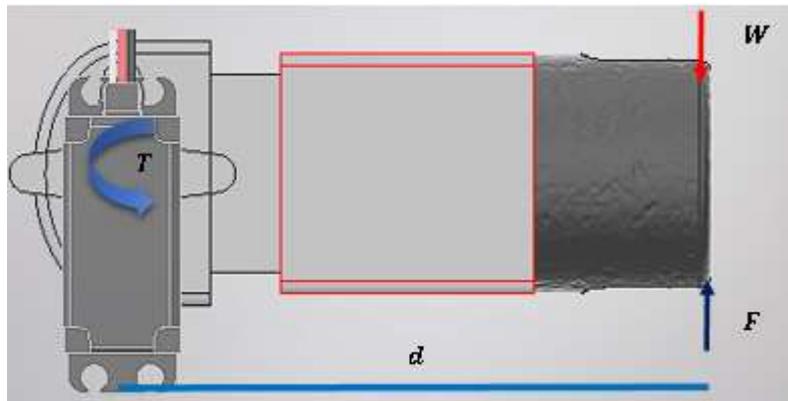
$$W = (0.097 + 0.031 + 0.042) * 9.81$$

$$W = 1.67 \text{ N}$$

Determinada la fuerza equivalente se procede a elaborar el DCL equivalente y se determina la fuerza necesaria para que el brazo del asistente robótico empiece a moverse. En la Figura 25 se puede observar el DCL equivalente.

Figura 25

DCL equivalente de las fuerzas que actúan en el brazo



A partir del DCL, se calcula la fuerza necesaria para que el brazo del asistente robótico rompa el equilibrio, por medio de la Ecuación 1.

$$\sum F_y = 0$$

$$F - W = 0$$

$$F = W$$

$$F = 1.67 \text{ N}$$

Una vez obtenida la fuerza se procede a calcular el torque necesario para determinar el motor que trasmite el movimiento hacia el brazo del asistente robótico. El torque se calcula a partir de la Ecuación.

$$T = F * d \tag{11}$$

$$T = 1.67 \text{ N} * 0.09879 \text{ m}$$

$$T = 0.16 \text{ Nm}$$

Conocido el torque es necesario convertir las unidades de N*m a Kgf*cm debido a que el torque de los motores se expresa en estas unidades.

$$T = 0.16 \text{ Nm} * \frac{1 \text{ Kgf}}{9.81 \text{ N}} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$T = 1.63 \text{ Kg}f * \text{cm}$$

Determinado el torque en las unidades correspondientes, se selecciona un motor con una capacidad de torque superior a $1.63 \text{ Kg}f * \text{cm}$, considerando que el brazo realiza movimientos angulares se selecciona el servomotor MG995. A continuación, En la Figura 26 se muestra el servomotor MG995.

Figura 26

Servomotor MG995



Nota. Tomado de (Eneka, 2023)

En la Tabla 17 se indican las características técnicas del servomotor MG995 seleccionado para los hombros del asistente robótico

Tabla 17

Características técnicas del servomotor MG995

Característica	Valor
Torque	8.5 Kg/cm (4.8V)
Voltaje de operación	4.8V-7.2V
Velocidad de operación	0.2 seg/60 grados
Rango de temperatura	-30 a 60 °C

Nota. Tomado de (Eneka, 2023)

Una vez seleccionados los componentes sean estos: el material de la estructura, motores para la transmisión de movimiento del asistente robótico, mediante un análisis CAE se verifica si el diseño del soporte principal de este es confiable. En la Tabla 18 se muestran los elementos y las masas que intervienen en el análisis.

Tabla 18

Componentes para el análisis CAE del soporte del servomotor MG996R

Ítem	Componente	Representación	Valor
1	Cabeza	m_c	0.307 kg
2	Unión tronco cabeza	m_u	0.025 kg
3	Tronco	m_m	1.85 kg
4	Tablet	m_t	0.3 kg
5	Brazos	m_b	0.34 kg
6	Servomotor MG996R	m_N	0.055 kg

Para el desarrollo de la simulación se considera el valor de la reacción:

$$R_A = R_B = 13.84 \text{ N}$$

Además, se conoce la masa del servomotor MG996R por lo tanto se procede a calcular la fuerza ejercida por la masa del motor.

$$W_N = m_N * g$$

$$W_N = 0.055 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_N = 0.54 \text{ N}$$

El motor al estar sujeto por 4 pernos esta fuerza se divide para 4, obteniendo una fuerza resultante de:

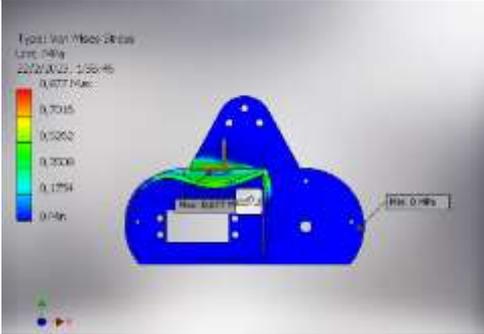
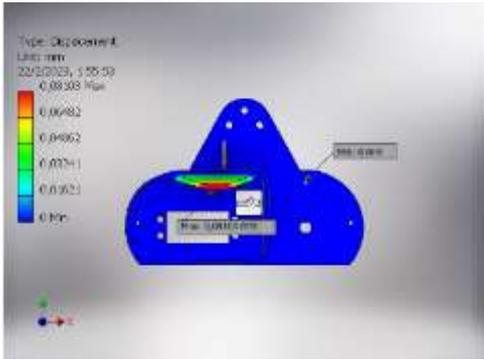
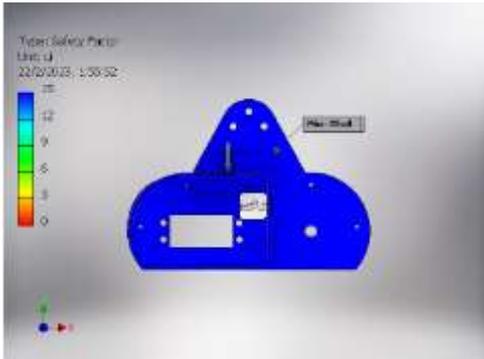
$$W_{eq} = \frac{0.54 \text{ N}}{4}$$

$$W_{eq} = 0.135 \text{ N}$$

En la Tabla 19 se muestran los parámetros más importantes para considerar que el diseño del soporte del asistente robótico es seguro.

Tabla 19

Resultados del análisis CAE

Figura	Análisis	Resultado
	Tensión de Von Mises	σ_{max} $= 0.5699 \text{ MPa}$
	Desplazamiento	$y_{max} = 0.081 \text{ mm}$
	Coefficiente de seguridad	$N = 15$

Realizado el análisis CAE de los soportes del asistente robótico se obtuvieron los siguientes resultados, la deflexión máxima es de 0.0001756 mm con un factor de seguridad de $N=15$, de acuerdo el libro de Resistencia de Materiales de Robert Mott el factor de seguridad para cargas estáticas debe ser mayor a 2, por lo cual el diseño de la caja del torso es seguro.

Los planos correspondientes al asistente robótico y el despiece se muestran en el Anexo II.

Diseño eléctrico y electrónico

Suministro energético

Dentro de la sección de diseño mecánico se determinó los actuadores necesarios para el correcto funcionamiento del asistente robótico para lo cual es muy necesario considerar el consumo energético de cada uno de los actuadores, elementos electrónicos, en la Tabla 20 se muestra cada elemento con su consumo energético.

Tabla 20

Consumo de corriente de los componentes del asistente robótico

Cantidad	Componente	Consumo
2	Motor MG996R	2.5 A
2	Servomotor MG995	1.5 A
1	Arduino MEGA	0.05 ^a
1	Pantalla TFT LCD 3,5"	0.08 A
1	Modulo Bluetooth	0.05 A

Determinado el consumo de corriente se procede a calcular la potencia total del sistema mediante la Ecuación (12).

$$P = V * I \quad (12)$$

$$P = 5V[2 * 2.5 + 2 * 1.5 + 0.05 + 0.08 + 0.05]$$

$$P = 40.9 W$$

Una vez conocida la potencia total que consumen los elementos del asistente robótico, se procede a determinar el suministro de energía para el asistente robótico. Para lo cual se selecciona dos alternativas las cuales son: Fuente de poder fija y baterías. Se establecen los siguientes criterios de selección: Tamaño, peso, autonomía y capacidad.

Tabla 21

Conceptos y criterios de selección para el suministro de energía

Criterios de selección	Conceptos	
	Fuente de poder fija	Baterías
Tamaño	-	+
Peso	0	+
Autonomía	0	+
Costo	+	-
Durabilidad	+	0
Suma +	2	3
Suma 0	2	0
Suma -	1	1
Evaluación neta	1	2
Lugar 1	2	1
¿Continuar?	No	Si

De acuerdo al filtrado de conceptos que se indican en la Tabla 21, se elige como mejor alternativa el uso de una batería, ya que presenta las características de tamaño, peso y autonomía que son muy necesarias para que el asistente robótico presente un funcionamiento óptimo.

En función de la potencia total obtenida del sistema, se procede a seleccionar una batería que satisfaga con el consumo energético de cada componente, así como sus respectivos voltajes de operación. A continuación, en la Figura 27 se muestra la batería Lipo y en la Tabla 22 se indica sus características técnicas.

Figura 27

Batería Lipo 11.1V 4500mAh



Nota. Tomado de (Amov LAB, 2022)

Tabla 22*Características técnicas de la batería Lipo*

Característica	Valor
Capacidad	4500mAH
Tasa de descarga continua	60 C
Voltaje por paquete	11.1 V DC
Tamaño	136mm*44mm*28mm
Potencia nominal	45 W
Peso	361 g

Nota. Tomado de (Amov LAB, 2022)

Una vez seleccionados el dispositivo móvil, tarjeta de control y motores que integran al asistente robótico, se procede a elaborar el circuito de control del asistente robótico en el software Proteus. En la Figura 28 se puede observar un esquema electrónico de actuadores del sistema y en la Figura 29 el diagrama de la placa PCB del circuito. El diseño electrónico del sistema se puede observar en los planos presentados del anexo III.

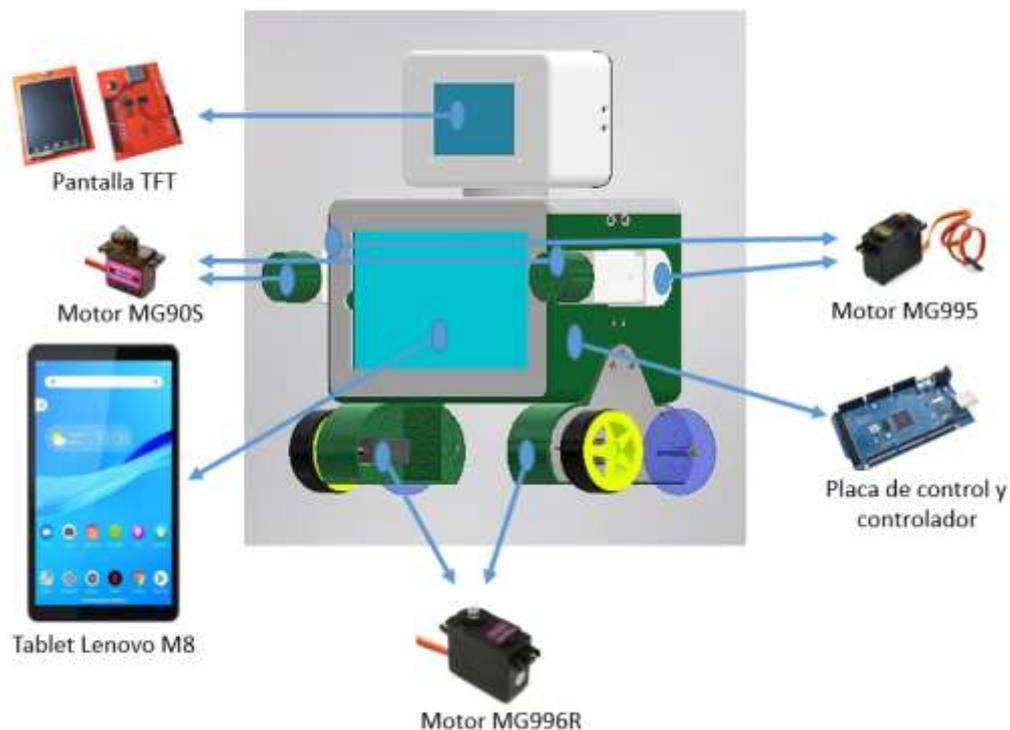
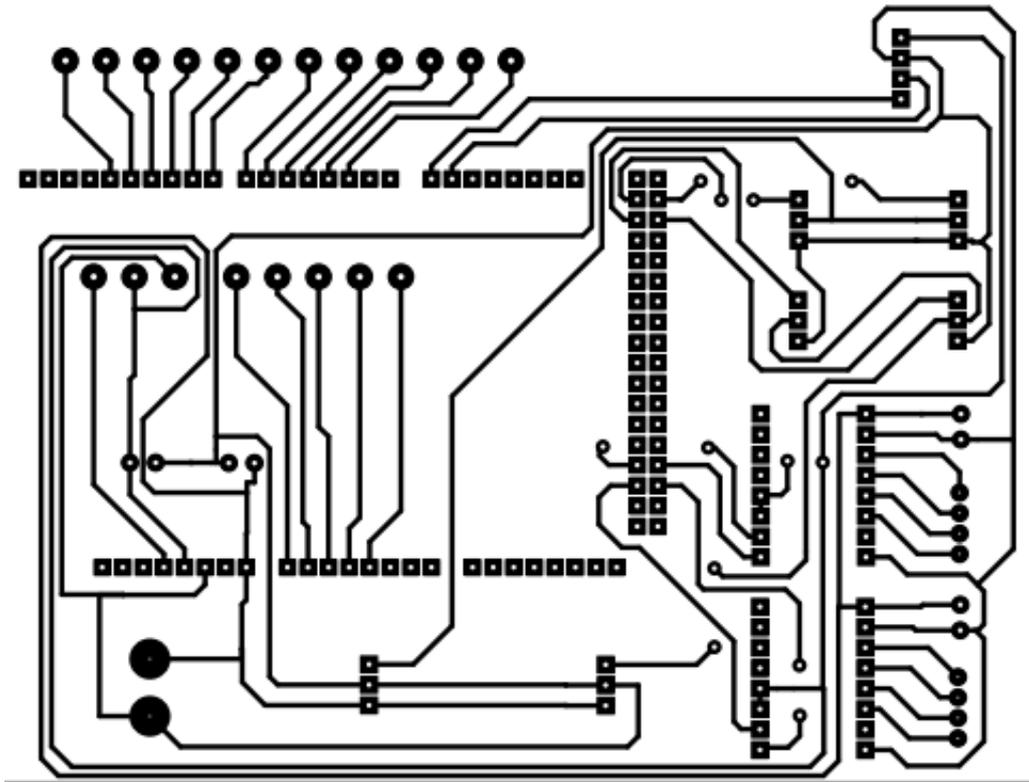
Figura 28*Diagrama del circuito de control*

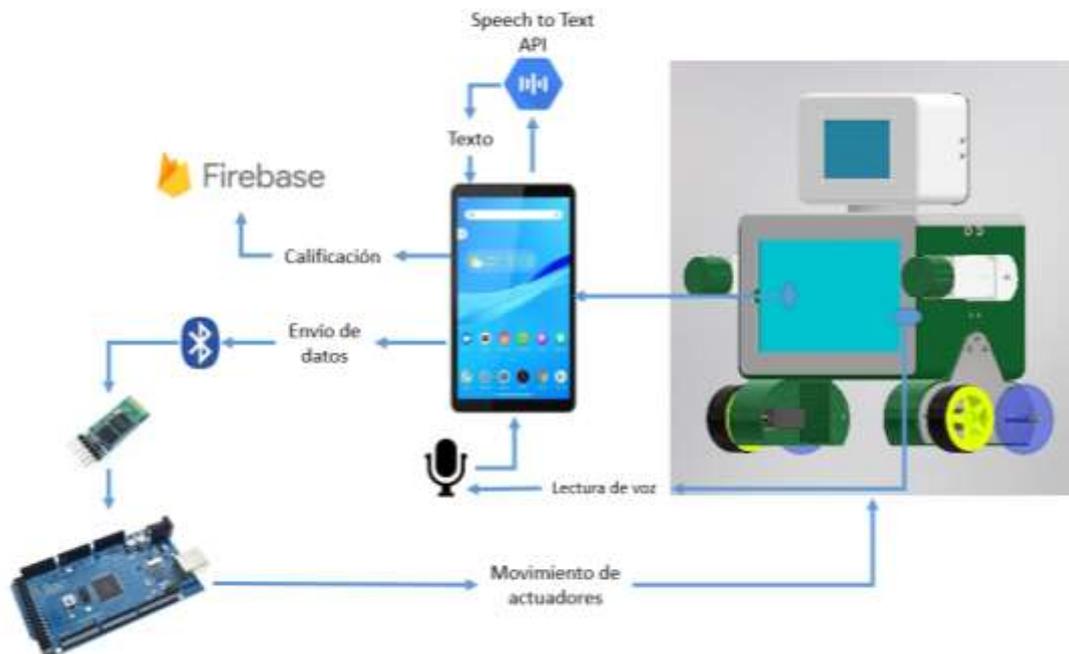
Figura 29

Diseño de la PCB del circuito de control



Sistema de comunicación y control

La comunicación entre el Arduino y el dispositivo móvil se genera mediante Bluetooth con la ayuda de un módulo HC-05 conectado al controlador, con una conexión unidireccional, donde el Arduino recibe los comandos de control del dispositivo móvil para mover a los actuadores, como se muestra en la figura 30.

Figura 30*Sistema de comunicación***Funcionamiento del sistema**

Se determina la manera en la cuál va a operar el sistema, de acuerdo a un ingreso mediante correo electrónico que debe ser validado por la base de datos de Google Firestore. Una vez que se ingresa al sistema, se puede acceder a uno de los 3 modos de operación, donde en cada uno se puede realizar diferentes actividades. En el modo fonemas se pueden escuchar diferentes expresiones para su estudio; en el modo juegos se presentan 2 juegos, uno de asociación de audios con palabras escritas y otro de completar oraciones, en los cuales se pueden practicar los fonemas aprendidos y expresiones aprendidas; mientras que, en el modo evaluación, se debe repetir y pronunciar de forma adecuada los fonemas presentados por el sistema robótico para que este pueda calificarlos con su módulo de reconocimiento de voz y entregue una calificación que puede ser observada posteriormente por el tutor de acuerdo a un cuadro, que le permitirá a este ver los avances.

Una vez que se quiera dejar de utilizar el robot, simplemente se cierra sesión y todos los avances quedarán almacenados en la base de datos para poder ser revisados por el tutor. Si se desea continuar con las actividades, el robot seguirá presentando tareas aleatorias. En el anexo IV se presenta el diagrama de flujo de funcionamiento completo de la aplicación de la Tablet; mientras que en el anexo V se presenta la programación de Arduino y Flutter.

Capítulo III

Construcción

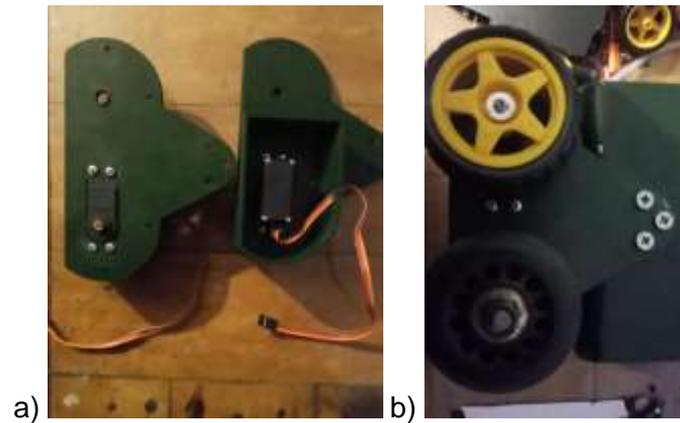
En el presente capítulo se muestra el proceso secuencial del ensamble del asistente robótico, A través una serie de pruebas se verifica la funcionalidad del sistema robótico, para validar el correcto funcionamiento del sistema.

Construcción Mecánica

Sistema de transmisión de movimiento del asistente robótico.

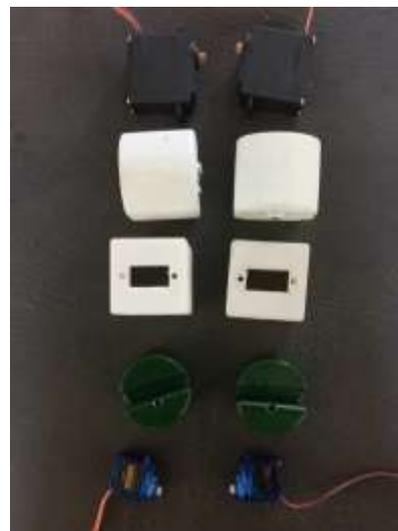
Este sistema está integrado por las siguientes piezas las cuales son, soporte del servomotor 996R, tapa del soporte de este servomotor y chumacera de acople de la rueda falsa, todas estas piezas fueron desarrolladas a partir de impresión 3D debido a la complejidad de la fabricación, adicional a esto se elaboró un alma en acero ASTM A36, el proceso de elaboración de esta alma se llevó a cabo en corte láser para garantizar una mayor precisión. Las ruedas se elaboraron mediante el torneado de grilón, en la Figura 31a se indican las piezas que conforman este sistema. Al ser estas piezas diseñadas en el software Inventor y elaboradas en máquinas CNC, que garantizan el correcto centrado de las piezas que conforman el sistema.

En la Figura 31b se muestra el ensamble del sistema de transmisión de movimiento, donde se arman las ruedas con el soporte y los servomotores de cada lado atornillados a la caja.

Figura 31*Sistema de transmisión de movimiento de miembros inferiores*

Nota. En el literal a) de la figura se muestra las piezas del sistema de transmisión de movimiento, en el literal b) de la figura se indica en ensamble del sistema de transmisión de movimiento.

Para el desarrollo del sistema de transmisión de movimiento de los miembros superiores del asistente robótico se elaboraron las siguientes piezas, hombros, brazos y muñecas. En la Figura 32 se muestran las piezas elaboradas a partir de impresión 3D en PLA.

Figura 32*Sistema de transmisión de movimiento de miembros superiores*

En la Figura 33 se muestra el ensamble de la integración de los sistemas de transmisión de movimiento superior e inferior al robot.

Figura 33

Ensamble de sistemas de transmisión de movimiento



Una vez ensamblados los sistemas de transmisión de movimiento al cuerpo, se procede a colocar la cabeza del asistente robótico, estas piezas se desarrollaron en impresión 3D y el material utilizado fue el PLA. En la Figura 34 se muestra el ensamble completo del asistente robótico.

Figura 34

Ensamble total del asistente robótico

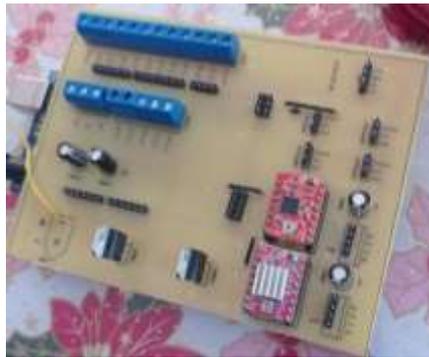


Construcción del sistema eléctrico y electrónico

En la Figura 35 se muestra el circuito de control y los componentes integrados del mismo que permiten un correcto funcionamiento del asistente robótico, esta placa de control posee las conexiones a todos los motores, pantalla TFT, módulo Bluetooth y a la alimentación por lo que cuenta con reguladores de voltaje y pines de entrada.

Figura 35

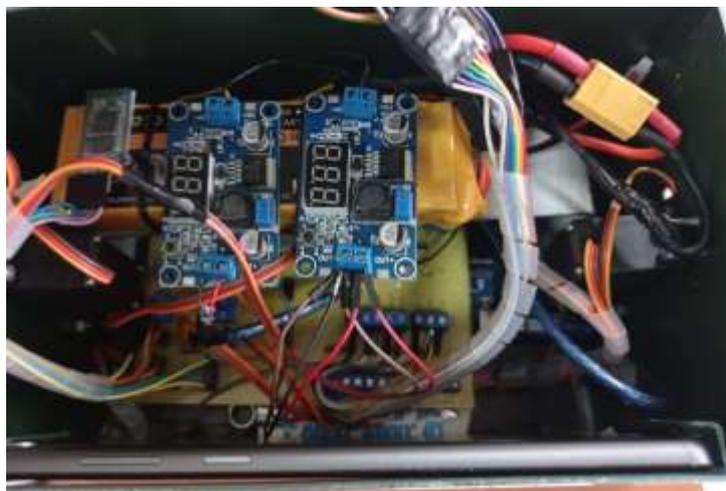
Placa PCB del sistema



Posteriormente se procede a colocar la placa PCB, la batería lipo, y el sistema de carga dentro del asistente robótico, en la Figura 36 se muestra todos los componentes eléctricos y electrónicos dentro del asistente.

Figura 36

Integración de la placa PCB, batería y sistema de carga



Una vez ensamblados los sistemas de transmisión de movimiento al cuerpo, la placa electrónica y batería, se procede a colocar la cabeza del asistente robótico, estas piezas se desarrollaron en impresión 3D y el material utilizado fue el PLA. En la Figura 37 se muestra el ensamble completo del asistente robótico.

Figura 37

Asistente robótico armado y funcional



Desarrollo de software

Para el funcionamiento del sistema se utiliza la API Speech to Text de Google, que ayuda a convertir los audios en texto para compararlos con las palabras y fonemas requeridas por el evaluador para su calificación. Esta API permite reconocer una gran cantidad de palabras en diferentes idiomas y con distintos acentos, debido a su alto y complejo grado de entrenamiento, que facilita el reconocimiento de la voz de los niños, en una etapa donde la pronunciación dificulta la conversión la red neuronal poco entrenada. Este tipo de API permite el uso de una mayor cantidad de palabras y fonemas en un menor tiempo y con una mayor precisión.

Según cifras presentadas por (Google, 2016), para el año 2009 los conversores de voz a texto tenían un margen de error de aproximadamente un 27%, disminuyendo para el

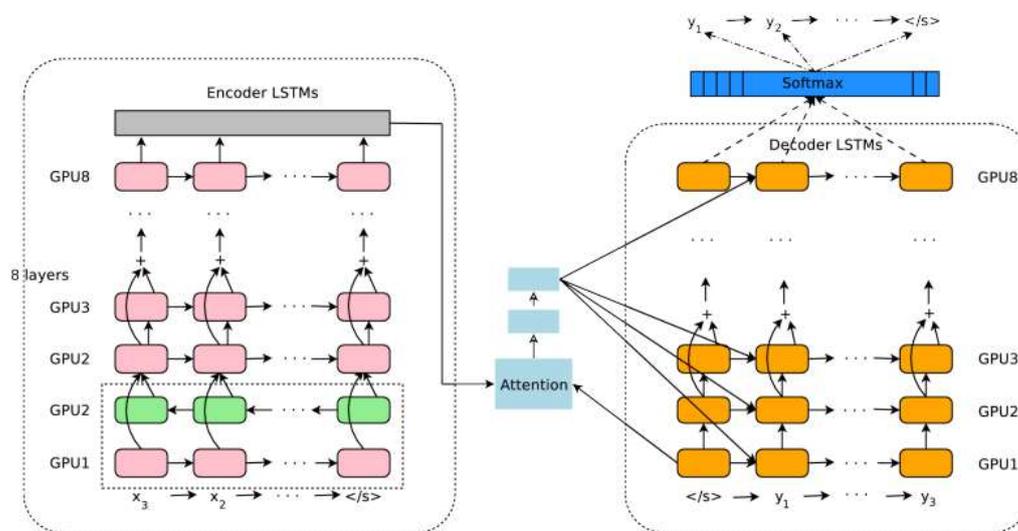
año 2012 a un 8%, hasta llegar a la una cifra por debajo del 2%; lo que demuestra la alta eficacia de este tipo de red.

Google en un principio utilizaba el Modelo Mixto Gaussiano (GMM) en su red neuronal de reconocimiento de voz, para luego apostar por modelos de Deep Learning que permitieron distinguir de mejor forma las palabras, pero que diferenciaban cada fonema de forma independiente. Por estos motivos, decidieron utilizar una red neuronal recurrente del tipo corto a largo plazo o Long Short-term Memory Recurrent Neural Network (LSTM RNN) que brinda características similares al Deep Learning, con celdas de memoria que le permiten recordar los datos vistos hasta el momento e interpreta palabras en función de las palabras anteriores descritas en cada oración; es decir, un comportamiento muy similar al humano.

La arquitectura de esta red está basada en un marco de aprendizaje secuencia a secuencia que cuenta con tres componentes: red decodificadora, red codificadora y red de atención. La red codificadora transforma una oración fuente en un vector; mientras que, el decodificador produce símbolos, hasta encontrar el símbolo de fin de oración. Ambos se encuentran conectados por un módulo de atención que permite al decodificador centrarse en varias regiones de la oración fuente. El modelo se encuentra separado en varios GPU's para aumentar la velocidad de respuesta de la red. (Google, 2016)

Figura 38

Red neuronal LSTM RNN de Google



Nota. Tomado de (Google, 2016)

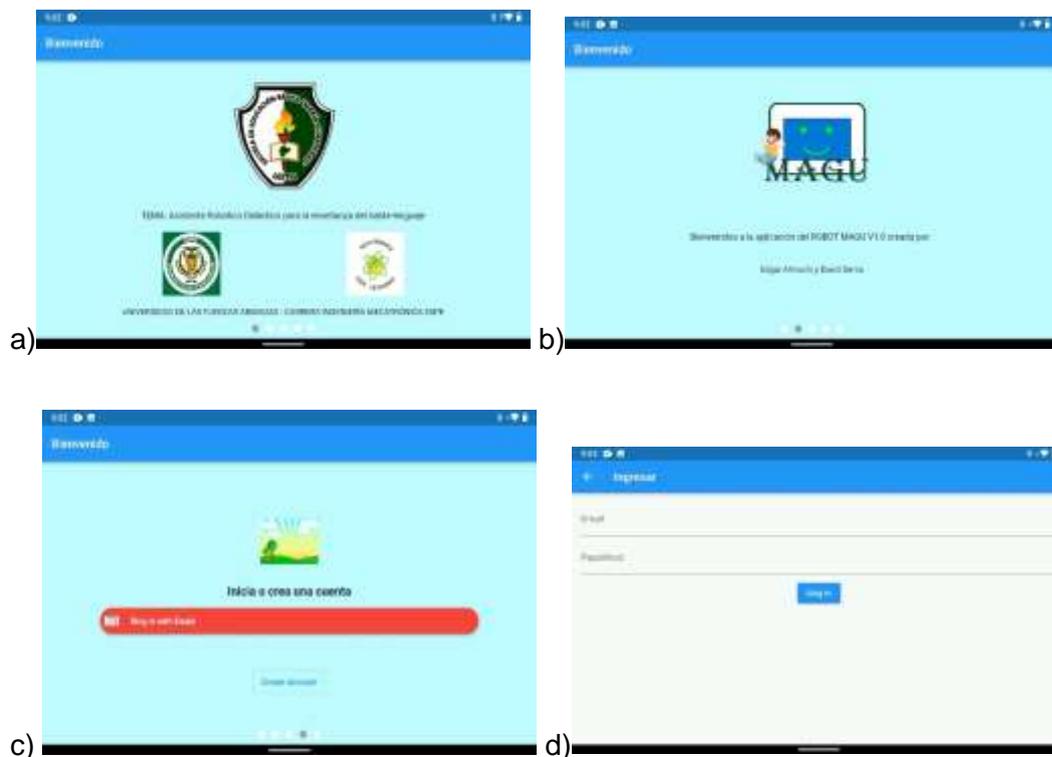
Para el entrenamiento de esta red neuronal, Google insertó una gran cantidad de audios donados por la comunidad para temas de investigación, que fueron utilizados para mejorar los modelos de lenguaje a través de las redes neuronales LSTM RNN. Una vez que se entrenó a la red neuronal, se observó que existían errores en signos de puntuación que siguieron siendo modificados mediante audios de entrenamiento de la red. Para evaluar el reconocimiento de las oraciones se utiliza el puntaje GLEU, basado en la métrica BLEU (Puntaje de la evaluación bilingüe), pero que funciona para oraciones individuales o variadas; a diferencia de la segunda que es solo para varias oraciones. Este puntaje brinda una puntuación de 0 a 1 dependiendo de la coincidencia entre una oración generada y una de referencia, relacionando la cantidad de n-gramas de coincidencia con la cantidad de n-gramas totales. (Google, 2016)

Desarrollado el ensamble del asistente robótico y seleccionada la red de reconocimiento de voz, se procede a realizar la aplicación móvil en la Tablet Lenovo M8, a continuación, se muestra en la Figura 39 las pantallas creadas para la introducción del asistente robótico, donde en la primera página se encuentran los logos de la Escuela María Guarderas, el tema del proyecto de titulación y los logos de la universidad (Figura 39a); en

la segunda página se encuentra la introducción de la aplicación, juntos con sus creadores (Figura 39b) y en la tercera página se encuentra un video de explicación de cómo utilizar esta app. En la cuarta página se encuentra un Login para el ingreso de cada usuario, donde en la parte inferior se ubica un botón para crear usuarios (Figura 39c).

Figura 39

Pantallas de introducción de la aplicación principal



Nota. En el literal a) se muestra la pantalla de inicio de la aplicación, en el literal b) se muestra la pantalla del nombre de la aplicación, en el literal c) se muestra el ingreso del usuario, y el literal d) indica los campos de Email y contraseña para acceder a las aplicaciones.

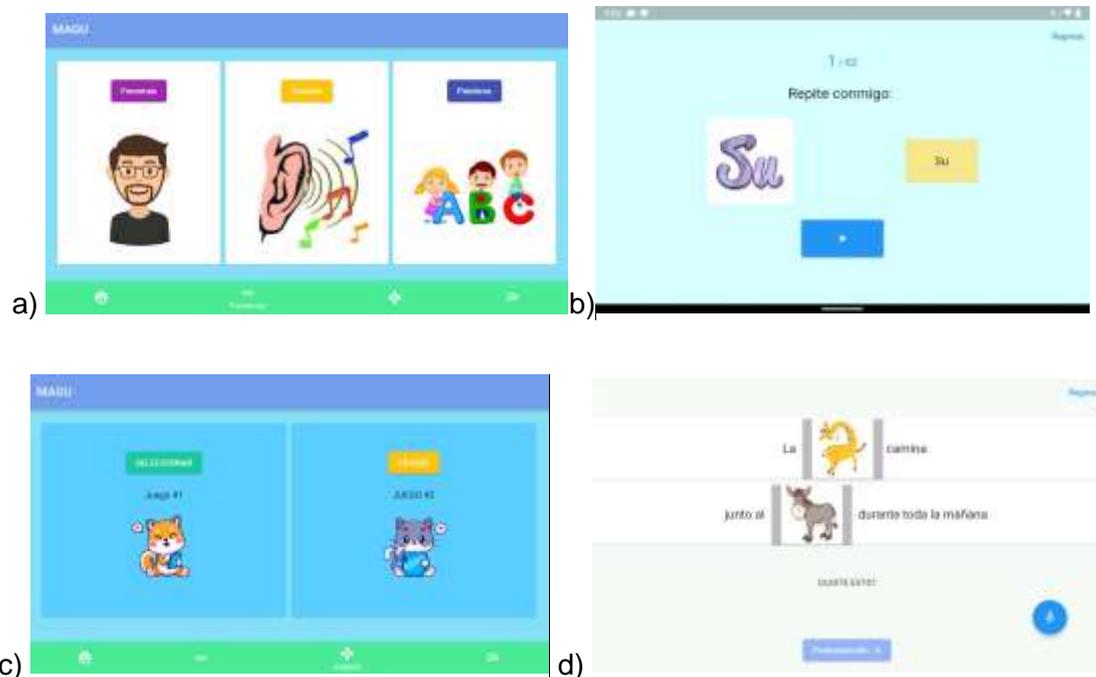
En la Figura 40 se muestran las pantallas que contienen las actividades desarrolladas para que los niños reconozcan las vocales, letras y palabras por medio de imágenes y sonidos. En la parte inferior de la pantalla se encuentra el menú de selección con cuatro opciones; la primera permite cerrar la sesión; la segunda ingresa al módulo de fonemas, donde se permiten escuchar los audios precargados para estudiar la

pronunciación; la tercera opción da ingreso a los juegos, en donde se cuenta con dos opciones, una para unir los audios con las palabras y otra para escuchar audios a través de imágenes relacionadas y repetir toda la oración planteada; y una cuarta opción para desarrollar las evaluaciones, donde cada usuario debe repetir la palabra presentada y la aplicación se encarga de escuchar y calificar.

Las pantallas de visualización de la aplicación fueron creadas de acuerdo a la norma de usabilidad en aplicaciones móviles ISO 9241-113, donde se especifica que cada aplicación depende del público hacia el cual va orientada, por lo que, al necesitar una aplicación destinada a los niños, se utilizaron colores llamativos, donde los principales son el azul cielo y el verde limón. Además, se utilizaron imágenes libres de colores que permiten capturar la atención de los infantes. Otro de los requisitos establecidos en la norma es que la aplicación debe ser fácil de utilizar y amigable con el usuario, por lo que en el inicio se implementó un video de ayuda para que esta pueda ser utilizada aún cuando el usuario no la haya abierto durante mucho tiempo.

Figura 40

Actividades a desarrollar por los niños en la Tablet



Nota. En el literal a) se muestra la pantalla que contiene las actividades a desarrollar por los niños, en el literal b) se indica la silaba y el sonido, en el literal c) se visualiza la sección de juegos, y el literal d) indica la actividad de lectura de oraciones por medio de imágenes.

Adicional, para una mejor experiencia de los usuarios en su interacción con el asistente robótico, se implementa otra aplicación que puede ser instalada en cualquier otro dispositivo móvil para controlar al robot y moverlo libremente, donde se permite al usuario activar los actuadores mediante botones incorporados en la pantalla de visualización de la aplicación. Esta aplicación o modo de uso 2 del asistente robótico se puede observar en la figura 41, donde al lado izquierdo se encuentran los botones de desplazamiento del asistente robótico a través de sus ruedas y a la derecha se encuentran los botones para mover las extremidades superiores. De igual manera, se encuentran botones en forma de caras que permiten cambiar la acción de la pantalla TFT del rostro del robot.

Figura 41

Modo de uso 2



Una vez desarrolladas las aplicaciones y ensamble del asistente robótico se procede a integrar estos sistemas con el objetivo de verificar la funcionalidad completa del asistente robótico, como se presenta en la figura 42.

Figura 42*Asistente robótico en funcionamiento*

El evaluador puede revisar el historial de calificaciones en la Tablet ingresando con el usuario admin@admin.com, donde se debe colocar el correo del usuario del cual se desea obtener la información y se despliega una tabla con todos estos datos, como se muestra en la figura 43.

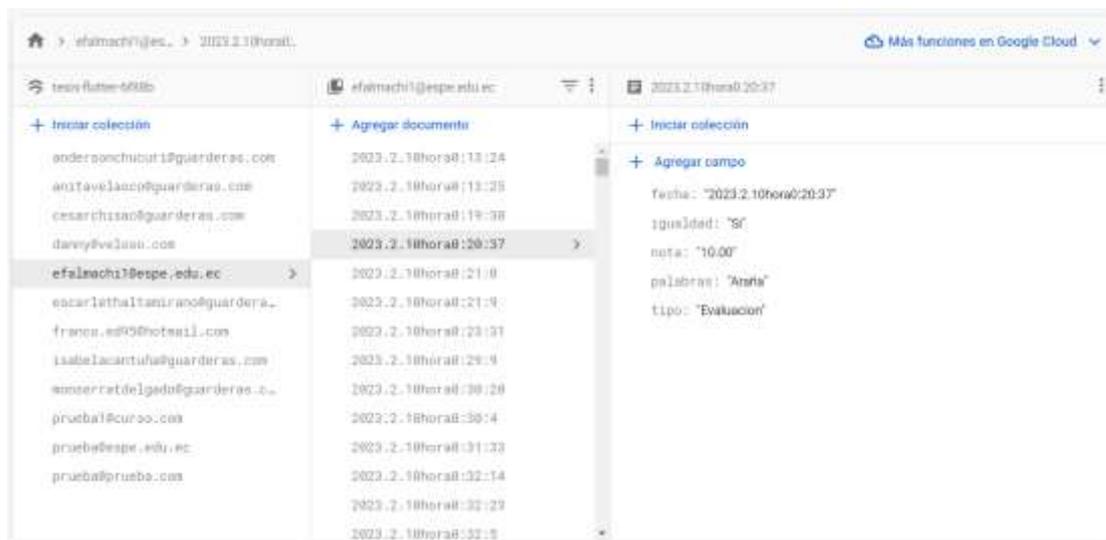
Figura 43*Revisión de calificaciones con el usuario Admin*

←	Fecha/Hora	Palabra	Coincidencia	Pronunciación %	Tipo
	2023.2.19hora21:48:40	imán	Si	8.32	Evaluacion
	2023.2.19hora21:48:56	nido	Si	7.26	Evaluacion
	2023.2.19hora21:49:15	Rosa	Si	9.73	Evaluacion
	2023.2.19hora21:49:34	enano	Si	9.73	Evaluacion
	2023.2.19hora21:49:58	Araña	Si	9.05	Evaluacion
	2023.2.19hora21:52:11	Araña	Si	8.58	Evaluacion
	2023.2.19hora21:52:38	enano	Si	8.85	Evaluacion
	2023.2.19hora21:53:30	Rosa	Si	8.64	Evaluacion
	2023.2.19hora21:53:4	mano	Si	9.05	Evaluacion
	2023.2.19hora21:53:55	sapo	Si	8.18	Evaluacion
	2023.2.19hora21:54:25	El enano se subió a su burro	Si	9.07	Frase
	2023.2.19hora21:54:54	Cindy ayuda a la araña que se encuentra en el charco con su mano	Si	8.93	Frase

Otra manera de revisar las calificaciones y progresos de los estudiantes sin utilizar directamente a la Tablet del robot es por medio de una computadora o teléfono móvil, ingresando a la página de Google Firestore con el usuario de la Escuela, donde se almacena la información de los avances de los estudiantes y de los usuarios registrados para autenticación. La base de datos almacenada en esta página se puede observar en la fotografía 44.

Figura 44

Revisión de calificaciones en Google Firestore



Para el control correcto del sistema, ambas aplicaciones cuentan con videos introductorios de ayuda en sus pantallas de inicio y se entrega un manual de usuario que puede ser observado en el Anexo X.

Capítulo IV

Pruebas y análisis de resultados

En este capítulo se muestran los datos obtenidos mediante pruebas de funcionamiento, desarrolladas con el objetivo de evaluar el comportamiento del sistema conjunto.

Como punto de partida, se utilizarán las pruebas FAT (“Factory Acceptance Test”) y SAT (“Site Acceptance Test”) para validar el correcto comportamiento del sistema. (Quality by Design, 2018)

Pruebas FAT

En primer lugar, con las pruebas FAT, se examinará completamente al asistente robótico para verificar que cumpla con las condiciones técnicas requeridas para un correcto funcionamiento.

Pruebas de batería

Durante estas pruebas, se determinó el tiempo de carga y descarga de la batería de la placa de control y de la Tablet mientras se utiliza el sistema robótico, tomando en cuenta que, para mejorar el rendimiento de la batería de la placa se aumentó un relé a la entrada de esta para que desactive la alimentación mientras los motores no estén quietos y no se presente un consumo innecesario de energía. En la Tabla 23 se muestra los tiempos de carga y descarga de la batería Lipo y en la Tabla 24 los tiempos de la Tablet.

Tabla 23

Tiempo de carga y descarga de batería de Lipo

Dato	Tiempo de carga (HH:MM)	Tiempo de descarga (HH:MM)
Prueba 1 – Modo 1	01:38	03:40
Prueba 2 – Modo 1	01:45	03:52
Prueba 3 – Modo 1	01:20	03:37
Prueba 4 – Modo 2	01:32	01:48
Prueba 5 – Modo 2	01:41	01:55
Prueba 6 – Modo 2	01:43	01:51

De la tabla 23 se puede concluir que el promedio de carga de la batería Lipo utilizada para la placa de control es de 1 hora 37 minutos y el tiempo promedio de descarga es de 3 hora 43 minutos para el modo de uso 1, donde el robot se mueve de acuerdo a la respuestas almacenadas en la Tablet y 1 hora y 51 minutos para el modo 2 donde el robot se mueve mediante la aplicación móvil.

Tabla 24

Tiempo de carga y descarga de batería de la Tablet

Dato	Tiempo de carga (HH:MM)	Tiempo de descarga (HH:MM)
Prueba 1	02:00	03:40
Prueba 2	02:15	02:58
Prueba 3	02:08	03:14

De la 24 anterior se concluye que el tiempo promedio de carga para la batería de la Tablet es de 2 horas 7 minutos y el tiempo de descarga es de 3 horas 4 minutos.

Pruebas de movimiento

Como parte del funcionamiento del sistema, en la Tabla 25 se establecen ángulos de giro permitidos por cada motor, de acuerdo con el tipo de servomotor utilizado para cada extremidad, donde los servomotores de hombros y muñecas permiten giros de hasta 180° y las ruedas de 360°.

Tabla 25

Ángulos de giro permitidos por cada motor

Parte	Ángulo permitido
Hombros	Derecho 0°-90° Izquierdo 90°-180°
Muñecas	Ambas 0°-180°
Ruedas	Ambas 360°

Los movimientos de los hombros y muñecas dependen en gran parte de la capacidad de los servomotores que son para 180°: mientras que los hombros específicamente también dependen del tamaño del tren inferior que permite su movimiento solo hasta los ángulos presentados en la tabla 25.

Pruebas de micrófono

Para detectar las palabras pronunciadas por el usuario es importante que este se acerque lo suficiente al micrófono para evitar distorsiones por ruidos externos. En la Tabla 26 se detallan las distancias a las que funciona correctamente el sistema, para un rango de ruido externo inferior a 50dB(A).

Tabla 26

Distancias entre el usuario y el micrófono

Parte	Distancia (cm)	Reconoce
Prueba 1	5	SI
Prueba 2	5	SI
Prueba 3	5	SI
Prueba 4	7	SI
Prueba 5	7	SI
Prueba 6	7	SI
Prueba 7	9	NO
Prueba 8	9	SI
Prueba 9	9	SI
Prueba 10	11	SI
Prueba 11	11	SI
Prueba 12	11	SI
Prueba 13	13	SI
Prueba 14	13	SI
Prueba 15	13	SI
Prueba 16	15	SI
Prueba 17	15	NO
Prueba 18	15	SI
Prueba 19	17	NO
Prueba 20	17	SI
Prueba 21	17	NO

A partir de la tabla 26, se define que el rango adecuado para el reconocimiento de la voz es de 5-15 cm, siempre y cuando el ruido ambiental se mantenga por debajo de los 50db (A), caso contrario, el valor máximo de distancia debe ser disminuido. En esta tabla se

presentan algunos no reconocimientos que en las pruebas fueron causados por fallos en la pronunciación o por distorsiones de las ondas de sonido, que debieron cruzarse con ruido ambiental. A partir de los 15cm se vuelve más complejo el reconocimiento de las palabras por la sensibilidad del sensor y su facilidad de capturar más ruido al no tener un enfoque directo del sonido de la voz hacia este.

Pruebas SAT

Las pruebas SAT son “Pruebas de aceptación de sitio”, que definen si el dispositivo ha sido diseñado a conformidad para el usuario al que está destinado. Para realizar estas pruebas se tomaron datos en la Escuela María Guarderas con los niños de segundo año de educación básica, quienes fueron sometidos a una prueba un día antes de utilizar el sistema robótico y al día siguiente a este, luego de una jornada completa con el asistente.

Las primeras pruebas fueron realizadas y facilitadas por parte del personal docente de la Escuela María Guarderas, con el objetivo de realizar una comparativa con los resultados de las evaluaciones luego de utilizar un día completo el asistente robótico.

La jornada de pruebas con el asistente robótico se presenta en la figura 45 y en el anexo VI se presentan las fotografías de evidencia de las pruebas SAT en la Escuela María Guarderas.

Figura 45

Presentación del asistente robótico en la Escuela María Guarderas





Selección de usuarios

Para el inicio de las actividades con el asistente robótico, la profesora creó los usuarios de los niños en la interfaz del sistema. Con esto, cada niño tendría un usuario para que se le calificquen sus actividades. La creación de los usuarios por la profesora se muestra en la figura 46.

Figura 46

Creación de usuarios



Una vez que se crearon los usuarios, se llamó a cada niño para darles una introducción al funcionamiento del sistema robótico, junto con el apoyo de los docentes encargados, por lo que se considera como muestra a la población total del segundo grado

de educación básica de la escuela María Guarderas. Como primer paso, se presentó al asistente robótico a los niños que iban a trabajar como usuarios del sistema, como se puede observar en la figura 47.

Figura 47

Introducción al uso del asistente robótico



En primer lugar, se ingresaba al usuario de cada niño para que se almacene la información de sus progresos en la base de datos. A continuación, se orientó a cada uno de ellos para que pueda utilizar todos los módulos de la aplicación, iniciando desde el módulo de fonemas, para culminar con el de evaluación y almacenar su progreso en la base de datos.

Cada uno de los niños utilizó cada uno de los módulos del asistente robótico, como se muestra en la figura 48.

Figura 48

Uso del asistente robótico con usuarios



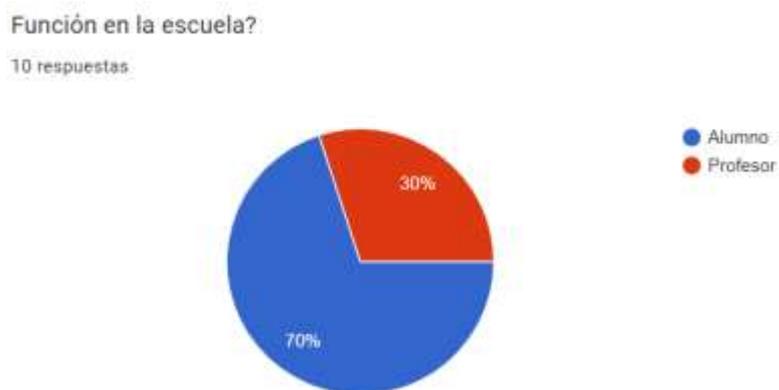
Validación del sistema robótico

Para la validación del asistente robótico y de la aplicación, se tomaron encuestas para determinar la conformidad de los clientes con el sistema (Anexo VII). Los resultados de esta encuesta se detallan en la Tabla 27.

Tabla 27*Resultados de la encuesta de conformidad*

Nombre	Cargo	Le gusta el robot	Le gusta la aplicación
Anderson C.	Alumno	SI	SI
Isabela C.	Alumno	SI	SI
César C.	Alumno	SI	SI
Escarleth A.	Alumno	SI	SI
Montserrat D.	Alumno	SI	SI
Anita V.	Alumno	SI	SI
Damián V.	Alumno	SI	SI
Inés Carpio	Directora	SI	SI
William Imbaquinga	Docente	SI	SI
Jennifer Gutiérrez	Docente	SI	SI

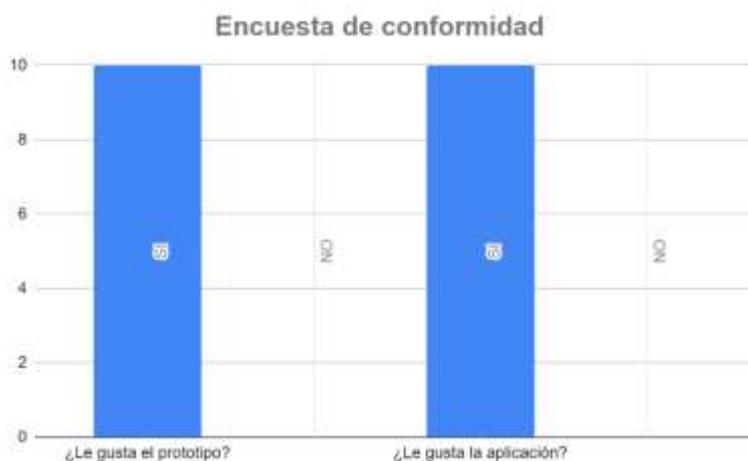
En la figura 50 se muestran los resultados de la pregunta 1 de la encuesta aplicada para la validación del asistente robótico, donde se puede observar que tanto alumnos como docentes respondieron a esta encuesta.

Figura 49*Resultados encuesta de conformidad pregunta 1*

En la Figura 50 se muestran los resultados de la preguntas 2 y 3 de la encuesta aplicada para la validación del asistente robótico que pregunta acerca de si al usuario le agrada la apariencia del robot, con una conformidad del 100%.

Figura 50

Resultados encuesta de conformidad pregunta 2 y 3



Para la validar el funcionamiento del sistema robótico durante las pruebas en la escuela, se utilizó una encuesta de funcionamiento que fue aplicada al personal docente (Anexo VIII). Los resultados de esta encuesta se detallan en la Tabla 28.

Tabla 28

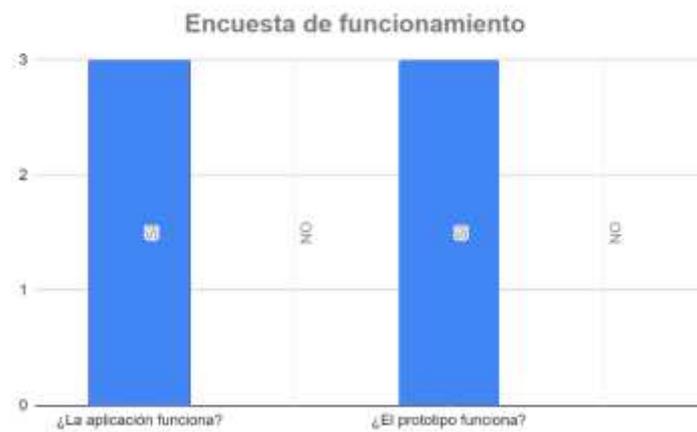
Resultados de la encuesta de funcionamiento

Nombre	Cargo	La aplicación funciona	El robot funciona	Fácil de utilizar (sobre 5)	Cumple con su función de enseñanza (sobre 5)
Inés Carpio	Directora	SI	SI	5	5
William Imbaquinga	Docente	SI	SI	5	5
Jennifer Gutiérrez	Docente	SI	SI	5	5

En la Figura 51 se muestran los resultados de la pregunta 1 y 2 de la encuesta aplicada para la validación del funcionamiento de la aplicación a durante las pruebas, con una conformidad del 100% en ambas.

Figura 51

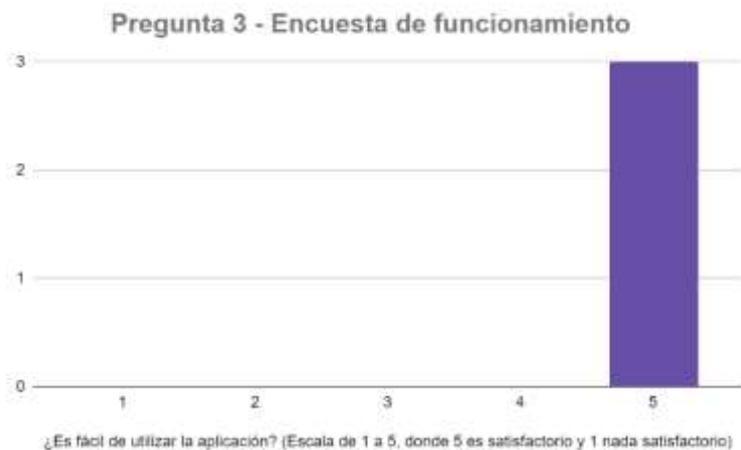
Resultados encuesta de funcionamiento pregunta 1 y 2



En la Figura 52 se muestran los resultados de la pregunta 3 de la encuesta aplicada para calificar si la aplicación es fácil de utilizar con un rango de 0 a 5, donde 0 es nada satisfactorio y 5 es satisfactorio.

Figura 52

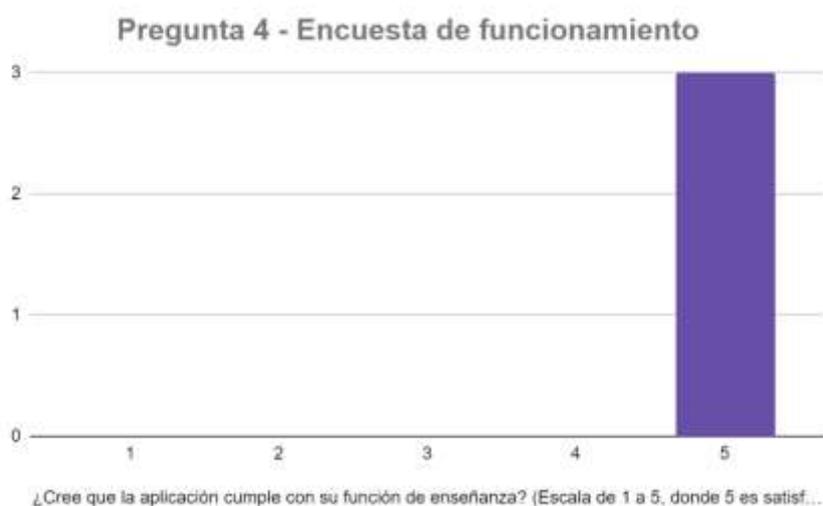
Resultados encuesta de funcionamiento pregunta 3



En la Figura 53 se muestran los resultados de la pregunta 4 de la encuesta aplicada para calificar si el sistema robótico cumple con su función de enseñanza con un rango de 0 a 5, donde 0 es nada satisfactorio y 5 es satisfactorio.

Figura 53

Resultados encuesta de funcionamiento pregunta 4



Validación de hipótesis

La hipótesis planteada para este proyecto es:

¿La implementación de un asistente robótico didáctico contribuirá en la enseñanza del habla-lenguaje a los niños y niñas del segundo año de educación básica en la escuela María Guarderas de la ciudad de Machachi?

A partir de la hipótesis se define la variable independiente como el asistente robótico didáctico y la variable dependiente como la enseñanza del habla-lenguaje a niños de segundo año de básica de la escuela María Guarderas en la ciudad de Machachi.

Para la validación de la hipótesis se realizaron pruebas de funcionamiento del asistente robótico con niños y niñas de la escuela María Guarderas para analizar el comportamiento de este sistema. El método para analizar este proceso es la herramienta Chi-Cuadrado que permite determinar si existe una relación entre dos variables cualitativas. Para esto, se define la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alternativa (H1).

H0: El asistente robótico didáctico no contribuirá en la enseñanza del habla-lenguaje a los niños y niñas del segundo año de educación básica en la escuela María Guarderas de la ciudad de Machachi,

H1: El asistente robótico didáctico contribuirá en la enseñanza del habla-lenguaje a los niños y niñas del segundo año de educación básica en la escuela María Guarderas de la ciudad de Machachi

Con los datos recolectados durante las pruebas de funcionamiento, se crea la Tabla 29 para el cálculo de frecuencias mediante el uso del módulo de evaluación y una prueba escrita antes de utilizar el asistente robótico a cada uno de los niños tomados como parte de la población. Para cada uno de los escenarios se evaluaron 5 palabras para determinar cómo era el aprendizaje de los niños con y sin el asistente robótico.

Tabla 29

Datos tomados durante las pruebas

Usuario	Sin asistente robótico		Con asistente robótico	
	Aciertos	Fallos	Aciertos	Fallos
Estudiante 1	3	2	4	1
Estudiante 2	2	3	3	2
Estudiante 3	2	3	5	0
Estudiante 4	1	4	2	3
Estudiante 5	3	2	4	1
Estudiante 6	2	3	5	0
Estudiante 7	3	2	5	0
Estudiante 8	2	3	3	2
Total	18	22	31	9

A partir de la tabla 29, se detalla de forma general la cantidad de aciertos y fallos de los niños durante las pruebas de reconocimiento y pronunciación de palabras antes y después del uso del asistente robótico en la tabla 30.

Tabla 30

Resultados generales de evaluaciones

Dato	Aciertos	Fallos	Total
Con asistente robótico	31	9	40
Sin asistente robótico	18	22	40
Total	49	31	80

Partiendo de la Tabla 30, se calculan las frecuencias mediante la siguiente ecuación:

$$F_{ij} = \frac{O_i x O_j}{O} \quad (13)$$

Donde:

- F_{ij} = Frecuencia esperada para la fila i de la columna j
- O_i = Valor total de la fila
- O_j = Valor total de la columna
- O = Total de muestras

Con el reemplazo de los valores de la ecuación (13), se obtienen los valores que se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

Tabla de frecuencias teóricas esperadas

Dato	Aciertos	Fallos
Con asistente robótico	24.5	15.5
Sin asistente robótico	24.5	15.5

Luego se calcula el valor de Chi-Cuadrado a partir de la ecuación siguiente:

$$x^2 = \sum_{i=1}^f \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - F_{ij})^2}{F_{ij}} \quad (14)$$

Donde:

- x^2 = Valor de Chi-Cuadrado calculado
- f = Número de filas
- k = Número de columnas
- O_{ij} = Frecuencia observada en la fila i de la columna j

$$x^2 = \frac{(31 - 24.5)^2}{24.5} + \frac{(9 - 15.5)^2}{15.5} + \frac{(18 - 24.5)^2}{24.5} + \frac{(22 - 15.5)^2}{15.5} \quad (15)$$

$$x^2 = 1.72 + 2.72 + 1.72 + 2.72$$

$$x^2 = 8.88$$

Ahora se debe calcular el número de grados de libertad con la ecuación siguiente.

$$v = (f - 1)x(k - 1) \quad (16)$$

$$v = (f - 1)x(k - 1)$$

$$v = (2 - 1)x(2 - 1)$$

$$v = 1$$

Una vez que se tienen los grados de libertad, se utiliza la tabla de distribución de Chi-Cuadrado (Anexo IX), donde se ubica la fila con el grado de libertad y se trabaja con un nivel de confianza de 0.05 para encontrar la columna y ubicar el valor de Chi-Cuadrado en la tabla. Para este caso específico el valor Chi-Cuadrado de tabla sería 3.8415.

Ahora que se cuenta con ambos valores de Chi-Cuadrado se debe compararlos para determinar si se aprueba o rechaza la hipótesis nula. Por lo que, de acuerdo a la teoría se tiene lo siguiente:

- Si $x^2 > x^2_{tabla} \rightarrow H_0$ se rechaza
- Si $x^2 < x^2_{tabla} \rightarrow H_0$ se acepta

Por lo que, a través de los cálculos se deduce lo siguiente:

- $x^2 = 8.88$
- $x^2_{tabla} = 3.8415$

$$x^2 > x^2_{tabla}$$

$$8.88 > 3.8415$$

De modo que, la hipótesis nula se rechaza y la alternativa se acepta, por lo que el asistente robótico didáctico si contribuye en la enseñanza del habla-lenguaje a los niños y

niñas del segundo año de educación básica en la escuela María Guarderas de la ciudad de Machachi.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se construyó un asistente robótico educativo con una interfaz móvil para dispositivos Android que utiliza los módulos de Speech To Text para reconocer las palabras vocalizadas por los usuarios y compararlas mediante un algoritmo para calificar la pronunciación de estas. Este asistente presenta una apariencia llamativa para los niños y niñas, con un parecido a los robots clásicos con movimiento de extremidades inferiores y desplazamiento por sistema de tracción.
- Se diseñaron las partes del sistema robótico mediante CAD y se manufacturaron en su mayoría en impresión 3D con filamento PLA no tóxico, teniendo en cuenta que el equipo estaba destinado para niños y niñas. Este sistema posee una aplicación móvil con juegos llamativos para que los niños aprendan con mayor facilidad.
- Este sistema fue desarrollado tomando en cuenta las recomendaciones de la Lic. Inés Carpio con respecto al aprendizaje del habla y del lenguaje de los niños de segundo grado, utilizando los principales fonemas y palabras adecuadas para el rango de edad seleccionado.
- Se desarrollaron pruebas con los niños de segundo año de educación básica de la Escuela María Guarderas, donde cada uno de los usuarios tuvo contacto directo con el sistema robótico con la supervisión de los profesores y creadores de este proyecto. Se pudo observar un gran interés de los niños en utilizar este sistema y mucha emoción de aprender de una manera diferente a la educación habitual.
- La interacción de los niños con la aplicación ha permitido entender que ellos se pueden beneficiar de esta sin tener la necesidad de utilizar el sistema robótico para reforzar los conocimientos desde su hogar con un dispositivo móvil Android adicional. Por esta razón, se crearon instaladores de la aplicación para que se utilice sin la necesidad de conectarse al sistema principal.

Recomendaciones

- Se recomienda revisar el manual de usuario del asistente robótico antes de utilizarlo para conocer cada una de sus características y facilitar la interacción con este.
- Es recomendable no utilizar el robot mientras se encuentra en conectado al módulo de carga para prolongar la vida de la batería.
- Se recomienda utilizar este tipo de dispositivos porque facilita la enseñanza a niños de educación básica, aumentando su interés en este tipo de materias.
- Se debe utilizar el sistema robótico con la supervisión de un adulto, puesto que los niños son curiosos y tienden a manipular de forma descontrolada piezas que pueden dañarse fácilmente.
- Utilizar la aplicación móvil desarrollada puede ayudar a reforzar los conocimientos de los niños mientras no utilizan el asistente robótico o no tienen acceso a él, como por ejemplo durante el periodo de vacaciones.
- Difundir la aplicación a través de los instaladores a otras escuelas para que pueda ser utilizada como material de soporte.
- Es importante se siga actualizando al asistente robótico de forma constante con audios y actividades para aumentar la cantidad las tareas que pueden realizar los niños.
- Es fundamental que las actividades que se implementen al asistente robótico sean realizadas o supervisadas por una persona capacitada en pedagogía infantil.

Bibliografía

- Ministerio de Educación. (2017). El desarrollo del Lenguaje mediante el juego entre niñas y niños de 3 a 5 años. *Pasa la voz*, 8.
- Acuña, A. (2012). *Robótica y aprendizaje*.
- Aliane, N. (2007). *Una experiencia práctica de aprendizaje basado en proyecto en una asignatura robótica*.
- Amov LAB. (2022). *Amov LAB*. <https://amovrobotlab.com/products/tcbworth-3s-11-1v-4000mah-25c-35c-60c-lipo-battery-batteries?variant=44546151743734>
- Anónimo. (Marzo de 2017). *National Institute on Deafness and Other Communication Disorders*. NIH: <https://www.nidcd.nih.gov/es/espanol/etapas-del-desarrollo-del-habla-y-el-lenguaje#:~:text=A%20medida%20que%20crecen%2C%20los,lenguaje%20de%20la%20misma%20manera>.
- Anónimo. (2017). *Neoparaiso*. <https://neoparaiso.com/logo/que-es-logo.html>
- Anónimo. (2018). *Robot Okk K3*. Amazon: <https://www.amazon.com/-/es/inteligente-control-juguete-programable-art%C3%ADculos/dp/B07YPPYPNG>
- ARDUINO.cl. (15 de Agosto de 2022). <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Bergin, J. (2005). *Introducing Objects with Karel J. Robot*. <https://csis.pace.edu/~bergin/karel/ecoop2000JBKarel.html>
- Caballero, J., Morales, M., Silva, E., & Caballero, D. (Junio de 2020). Raspberry Pi, conectividad y programación mediante puertos GPIO. *Revista de Ingeniería Innovativa*, 2. <https://doi.org/10.35429/JOIE.2020.14.4.1.13>

- Camargo, C., Cortés, J., & Jimenéz, A. (2012). *Implementación de sistemas digitales complejos utilizando sistemas embebidos*. Universidad de San Buenaventura Sede Bogotá.
- Cárdenas, N. (2019). *La Robótica estimula la creatividad y habilidad psicomotriz de los niños*. UTPL.
- Cuicas, Z. A. (02 de Marzo de 2022). *Eres mamá*. eresmama.com:
<https://eresmama.com/influye-en-el-desarrollo-del-lenguaje/>
- DatasheetPdf*. (2015). <https://datasheetpdf.com/pdf/942981/ETC/MG996R/1>
- Díaz Ronceros, E. (2020). *Relevancia de la ejecución experimental de proyectos con microcontroladores en el aprendizaje de la ingeniería electrónica*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Lima: Educación vol.29 no.56 Lima.
<http://dx.doi.org/10.18800/educacion.202001.003>
- E-Marmolejo, R. (15 de Diciembre de 2017). *hetpro-store.com*. HETPRO: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- Eneka. (29 de Enero de 2023). *Motor servo alta velocidad metálico MG995*.
<https://www.eneka.com.uy/robotica/motores/servomotores/motor-servo-alta-velocidad-met%C3%A1lico-mg995-detail.html>
- Espinoza, F., & Flores, C. (2019). *Aplicación de tecnologías de la información en el desarrollo del lenguaje de niños con dificultades de comunicación*.
- Federación de enseñanza de CC.OO. de Analucía. (2010). *La comunicación y el lenguaje. Temas para la Educación*.
- Flores Labra, S. (2018). *API de Reconocimiento de Voz para Lenguaje*. UNIVERSIDAD DE TALCA, ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACION.
- Gabriel, E. J., & Sandra, C. (2013). *USABILIDAD EN APLICACIONES MOVILES*.

García, F. (2021). *Mecatronica3D*. <https://www.scribd.com/document/495326522/04-ZOWI>

GeekFactory. (16 de Agosto de 2022). <https://www.geekfactory.mx/>.

<https://www.geekfactory.mx/tienda/robotica/motores-actuadores-servos-y-accesorios/sg90-micro-servo-motor/>

Gobierno de Navarra. (2017). *Uso de dispositivos móviles*.

Gómez, J. (2019). *Desarrollo de un prototipo basado en sistemas embebidos para obtener el modelo matemático de la superficie cóncava de los lentes oftalmológicos*.

Gómez, J. M. (2011). *Espol weblog*. <http://blog.espol.edu.ec/jmazza/2011/02/>

Google. (2016). *Google's Neural Machine Translation System*.

Google. (2022). *Firebase*. [firebase.google.com: https://firebase.google.com/?hl=es](https://firebase.google.com/?hl=es)

Google. (2022). *Google Cloud*. [cloud.google.com: https://cloud.google.com/speech-to-text?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=latam-LATAM-all-es-dr-BKWS-all-all-trial-e-dr-1605194-LUAC0014885&utm_content=text-ad-none-any-DEV_c-CRE_548115676277-ADGP_Hybrid%20%7C%20BKWS%20-%20EXA%20%7C%20Tt%20~%20](https://cloud.google.com/speech-to-text?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=latam-LATAM-all-es-dr-BKWS-all-all-trial-e-dr-1605194-LUAC0014885&utm_content=text-ad-none-any-DEV_c-CRE_548115676277-ADGP_Hybrid%20%7C%20BKWS%20-%20EXA%20%7C%20Tt%20~%20)

Gutiérrez, R. (2014). *Interacción de los componentes del lenguaje oral en el proceso de aprendizaje de la lengua escrita*. Alicante, España.

Hardware Libre. (5 de Mayo de 2020). *Nema 17: todo sobre el motor paso a paso compatible con Arduino*. <https://www.hwlibre.com/nema-17/?fbclid=IwAR2YTLgOpIA1eXEcQY0sZQ-gVYCN2CCcpTVZzwbXy3vM5V6KGm4XXGf4dc0>

Hernández, R. (2008). *El modelo constructivista con las nuevas tecnologías: aplicado en el proceso de aprendizaje*.

Johnston, J. (2010). *Factores que afectan el desarrollo del lenguaje*. Canadá: University of British Columbia.

Juárez Alvarez, U. (2018). *RECONOCIMIENTO DE OBJETOS Y ROSTROS CON TÉCNICAS DE VISIÓN POR COMPUTADORA E INTELIGENCIA ARTIFICIAL*. CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL, Querétaro .

LEGO. (2021). *Mindstorms*. <https://www.lego.com/es-ar/themes/mindstorms/buildarobot>

Lenovo Group. (2021). *lenovo.com*. lenovo.com:

<https://www.lenovo.com/ec/es/tablets/android-tablets/lenovo-tab-series/Lenovo-TB-8505/p/ZZITZTATB58?orgRef=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F>

Maestre Betolaza, X. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES EN PLATAFORMAS*. ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO.

Martínez, R., & Vásquez, G. (2022). *Diseño y construcción de un juguete educativo tecnológico con visión artificial para enseñanza de hábitos saludables y alimentación sana en niños y niñas de 3 a 5 años*. Repositorio Espe.

MINEDUC, D. d. (2016). *Lenguaje y aprendizaje*. <https://especial.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/31/2016/08/GuiaLenguajeAprendizaje.pdf>

Ministerio de Educación de El Salvador. (2013). *Manual de Robótica Educativa en el Aula*. San Salvador.

Ollete, A. (2001). *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. Sevilla: Marcombo.

Oracle. (2015). *Base de Datos definida*. <https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/>

Piedrahíta, A. (Septiembre de 2019). *El Telégrafo*.

<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/aprendizaje-planteles-ecuador>

PROMETEC. (16 de Agosto de 2022). *PROMETEC.NET*. <https://www.prometec.net/servo-s4a/>

Quality by Design. (2018). *Pruebas FAT y SAT*.

Riba, C. (2002). *Diseño Concurrente*.

Robots, R. d. (2020). *Historia del Robot Pepper*. revistaderobots.com:

<https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robot-pepper-que-es-historia-y-precio-de-pepper/>

SEIDOR. (2022). *nts-Seidor*. [nts-solutions: https://www.nts-solutions.com/blog/firebase-que-es.html](https://www.nts-solutions.com/blog/firebase-que-es.html)

SOLECTRO. (16 de Agosto de 2022). <https://solectroshop.com/>.

<https://solectroshop.com/es/pantallas-raspberry-pi/1667-pantalla-lcd-tft-7-pulgadas-1024x600-para-raspberry-pi-kit-controlador.html>

Tannock, R. (2003). *Attention deficit hyperactivity disorder: Advances in cognitive, neurobiological and genetic research*. *J Child Psychol Psychiatry*.

Vargas, M., Castillo, G., & Sandoval, J. B. (2015). Arduino una Herramienta Accesible para el Aprendizaje de Programación. *Revista de Tecnología e Innovación*, 2.

Vélez, L. (2021). Gestión de Bases de Datos. 1-10.

Anexos