



**Diseño y construcción de un sistema ciberfísico como herramienta de terapia en niños
con dislexia**

Ñato Socasi, Darling Patricio

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera Mecatrónica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Tobar Quevedo, Johanna Belén Ph.D.

24 de febrero del 2023

Trabajo Integración Curricular_ÑATO_DARLING

2% Similitudes

< 1% Texto entre comillas
< 1% similitudes entre comillas

< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Trabajo Integración Curricular_ÑATO_DARLING.pdf
 ID del documento: d65f37022c1277118d93a85f628dedf282215ad8
 Tamaño del documento original: 4,88 Mo



Depositante: PEDRO XAMER CHINGA MÁRMOL
 Fecha de depósito: 23/2/2023
 Tipo de carga: interface
 fecha de fin de análisis: 23/2/2023

Número de palabras: 23.699
 Número de caracteres: 149.480






Ubicación de las similitudes en el documento:








Fuentes principales detectadas

| N° | Descripciones | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales |
|----|--|-------------|-------------|---|
| 1 |  repositorio.espe.edu.ec Diseño y construcción de una cabeza animatrónica con pe... http://repositorio.espe.edu.ec/8080/bitstream/21000/25528/4/T-ESPEL-MEC-0221.pdf.txt 1 fuente similar | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (61 palabras) |
| 2 |  eic.cefet-rj.br https://eic.cefet-rj.br/ppcic/wp-content/uploads/2020/11/29-Jomar-Ferreira-Monsoras.pdf | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (42 palabras) |
| 3 |  www.arje.bc.uc.edu.ve http://www.arje.bc.uc.edu.ve/arje22e/art46.pdf | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (40 palabras) |
| 4 |  dSPACE.ups.edu.ec Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana... http://dSPACE.ups.edu.ec/handle/123456789/23041 | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (37 palabras) |
| 5 |  dSPACE.utb.edu.ec Influencia de la dislexia en la lectura comprensiva de los estudi... http://dSPACE.utb.edu.ec/handle/49000/6207 | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (26 palabras) |

Fuentes con similitudes fortuitas

| N° | Descripciones | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales |
|----|---|-------------|-------------|---|
| 1 |  repositorio.espe.edu.ec Diseño y construcción de una cabeza robótica antropomór... http://repositorio.espe.edu.ec/8080/bitstream/21000/21894/5/T-ESPE-043489.pdf.txt | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (25 palabras) |
| 2 |  doi.org Social Robots for Pedagogical Rehabilitation: Trends and Novel Modeling Pr... https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7879-6.ch001 | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (20 palabras) |
| 3 |  doi.org Dislexia: el enemigo silencioso que podemos combatir desde el aula Educ... https://doi.org/10.33539/educacion.2018.v24n1.1318 | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (18 palabras) |
| 4 |  Documento de otro usuario #591928 El documento proviene de otro grupo | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (14 palabras) |
| 5 |  repositorio.espe.edu.ec Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE: R... https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14865 | < 1% | | Palabras idénticas : < 1% (19 palabras) |

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

-  <https://doi.org/10.1504/IJCC.2021.113972>
-  <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104483>
-  <https://www.aldebaran.com/es/nao>
-  <https://doi.org/10.1007/978-3-031-05039>
-  <https://doi.org/10.30827/Digibug.57766>

Firma:



Firmado electrónicamente por:
JOHANNA BELEN TOBAR
QUEVEDO

Ing. Tobar Quevedo, Johanna Belén Ph. D.
 C. C.: 1717171241



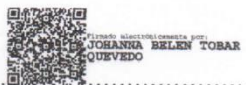
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Diseño y construcción de un sistema ciberfísico como herramienta de terapia en niños con dislexia"** fue realizado por el señor **Ñato Socasi, Darling Patricio**, 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 analizada 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.

Sangolquí, 27 de febrero del 2023



Ing. Tobar Quevedo, Johanna Belén Ph. D.

C. C.: 1717171241



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Ñato Socasi, Darling Patricio**, con cédula de ciudadanía n°1726536004, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **"Diseño y construcción de un sistema ciberfísico como herramienta de terapia en niños con dislexia"** es de mi 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.

Sangolquí, 27 de febrero del 2023

Ñato Socasi Darling Patricio

C.C.: 1726536004



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo, **Ñato Socasi Darling Patricio**, con cédula de ciudadanía n°1726536004, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **"Diseño y construcción de un sistema ciberfísico como herramienta de terapia en niños con dislexia"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 27 de febrero del 2023

Ñato Socasi Darling Patricio

C.C.: 1726536004

Dedicatoria

A mis padres, Patricio y Magdalena, por su amor incondicional y por haberme brindado siempre su apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos, especialmente en este que hoy culmina con éxito. Gracias por haberme inculcado valores como la perseverancia, el esfuerzo y la honestidad. Su ejemplo de lucha y superación ha sido fundamental para alcanzar este objetivo. Este logro es también suyo.

A mis hermanos, Stalin y Anthony, por haberme acompañado en todo momento, en las buenas y en las malas, y por ser mi fuente de inspiración en la vida. Espero seguir contando con su apoyo en el futuro.

A mi novia, Andrea Belen, por su amor, paciencia y comprensión durante todo este proceso. Gracias por haberme apoyado y animado en cada momento, por creer en mí y por haber sido mi compañera en las buenas y en las malas.

Este trabajo está dedicado a ustedes, por haberme brindado todo su apoyo y por ser mi motivación constante. Espero que este logro les haga sentir tan orgullosos como yo me siento de tenerlos en mi vida. Los amo.

Darling Patricio Ñato Socasi

Agradecimiento

A mi padre, Patricio, quien siempre ha sido un ejemplo de trabajador incansable y dedicado a su familia. Gracias por enseñarme a nunca rendirme ante los obstáculos, sus consejos y palabras de aliento siempre han sido fundamentales para mí.

A mi madre, Magdalena, por su amor, cariño y comprensión en todo momento. Gracias por ser mi confidente y mi apoyo emocional, por escucharme y por entenderme en las situaciones más difíciles. Su amor incondicional y su paciencia siempre me han dado la fuerza necesaria para seguir adelante.

A mis amigos de ESPE extensión Latacunga, Andrés, Paúl, Jhon, Pablo, Álvaro, Bryan, Francisco, Edison y todos aquellos que formaron parte de mi etapa en dicha ciudad y llegaron a considerarse mi segunda familia. Gracias por todas las bonitas experiencias, la ayuda y la amistad que me pudieron brindar en algún momento de la carrera.

A mis amigos de ESPE Sangolquí, Jonathan, Steven S., Mishell, Steven Ch., Javier, Diego, Erika y demás personas que de una u otra manera influyeron positivamente en mi experiencia universitaria. Gracias por su ayuda tanto dentro como fuera de las aulas de clases.

Finalmente, a mi tutora de tesis, Ingeniera Johanna Tobar, por su dedicación, paciencia y experiencia. Su guía y apoyo en todo momento han sido fundamentales en el éxito de mi investigación.

Darling Patricio Ñato Socasi

Índice de contenidos

| | |
|--|----|
| Resumen..... | 21 |
| Abstract..... | 22 |
| Capítulo I Introducción..... | 23 |
| Antecedentes | 23 |
| Planteamiento del problema | 27 |
| Justificación e importancia..... | 28 |
| Alcance..... | 29 |
| Objetivos..... | 29 |
| <i>Objetivo general</i> | 29 |
| <i>Objetivos específicos</i> | 29 |
| Hipótesis..... | 29 |
| Variables de la investigación | 30 |
| <i>Variable independiente</i> | 30 |
| <i>Variables dependientes</i> | 30 |
| Conclusión del Capítulo 1 | 30 |
| Capítulo II Fundamentación teórica | 31 |
| Conceptualización..... | 31 |
| <i>La dislexia</i> | 31 |
| Definición. | 31 |
| Síntomas..... | 31 |
| Causas. | 33 |

| | |
|---|-----------|
| Diagnóstico..... | 33 |
| <i>Tecnologías de asistencia.....</i> | <i>34</i> |
| Herramientas tecnológicas para la dislexia..... | 35 |
| <i>Robótica social.....</i> | <i>35</i> |
| Robot Nao..... | 37 |
| Robot PARO..... | 38 |
| Robot Tega..... | 38 |
| Robot Pleo..... | 39 |
| <i>Internet de las cosas (IoT).....</i> | <i>39</i> |
| Internet de las cosas médicas (IoMT)..... | 40 |
| Internet de las cosas en la educación..... | 41 |
| <i>Sistemas Ciberfísicos.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Protocolo de comunicación MQTT.....</i> | <i>42</i> |
| Estado del arte..... | 43 |
| Conclusión del Capítulo 2..... | 50 |
| Capítulo III Diseño y construcción del sistema..... | 51 |
| Diseño mecánico..... | 52 |
| <i>Diseño visual.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Segmentación de partes.....</i> | <i>53</i> |
| Cuerpo..... | 53 |
| Brazos y piernas..... | 54 |
| Cabeza..... | 55 |
| Carcasa de pantalla..... | 55 |

| | |
|---|-----------|
| | 10 |
| Pies, muslos y costados..... | 56 |
| <i>Diseño de soporte y mecanismo.....</i> | <i>57</i> |
| Base/Soporte..... | 58 |
| Mecanismo..... | 58 |
| <i>Selección de materiales.....</i> | <i>60</i> |
| Carcasa..... | 60 |
| Elementos de interacción..... | 61 |
| Elementos móviles..... | 63 |
| <i>Análisis de esfuerzos principales.....</i> | <i>63</i> |
| Base/Soporte..... | 64 |
| Acople del primer grado de libertad..... | 65 |
| Acople del segundo grado de libertad..... | 66 |
| Acople del tercer grado de libertad..... | 67 |
| Diseño electrónico..... | 68 |
| <i>Selección de componentes electrónicos.....</i> | <i>68</i> |
| Pantalla HMI..... | 68 |
| Tarjeta de adquisición de datos..... | 69 |
| Sensor de distancia..... | 70 |
| Sensor para detección de toque..... | 70 |
| Iluminación..... | 71 |
| Servomotores..... | 72 |
| Fuente de alimentación..... | 73 |

| | |
|--|-----|
| Conclusión de la selección de componentes electrónicos. | 75 |
| <i>Programación de microcontroladores</i> | 76 |
| Microcontrolador 1. | 77 |
| Microcontrolador 2. | 80 |
| Microcontrolador 3. | 82 |
| Microcontrolador 4. | 84 |
| <i>Diseño de placa electrónica</i> | 86 |
| Diseño de interfaz humano-máquina (HMI)..... | 90 |
| <i>Pantalla principal e ingreso de datos</i> | 93 |
| <i>Pantalla de menú y configuración</i> | 95 |
| <i>Pantallas interactivas</i> | 96 |
| Nivel “Ubica”..... | 97 |
| Nivel “Encuentra”. | 99 |
| Nivel “Construye”. | 102 |
| Nivel “Elimina”. | 104 |
| Nivel “Empareja”. | 106 |
| Diseño de la comunicación MQTT y monitoreo de datos (IoT)..... | 107 |
| <i>Estructura MQTT</i> | 108 |
| <i>Base de datos</i> | 108 |
| <i>Node-RED</i> | 110 |
| Comunicación MQTT..... | 111 |
| <i>Comunicación Pantalla HMI-Base de datos y Pantalla HMI-Actuadores.</i> | 112 |
| <i>Comunicación Sensores táctiles-Servomotor y Sensor ultrasónico-Luces RGB.</i> | 113 |

| | |
|---|-----|
| | 12 |
| Página web..... | 114 |
| Implementación de los subsistemas..... | 117 |
| <i>Subsistema mecánico</i> | 118 |
| <i>Subsistema electrónico</i> | 120 |
| Conclusión del Capítulo 3..... | 122 |
| Capítulo IV Pruebas y resultados..... | 124 |
| Pruebas de funcionamiento..... | 124 |
| <i>Estudio y recolección de datos</i> | 124 |
| <i>Resultados</i> | 126 |
| <i>Análisis de resultados</i> | 128 |
| Pregunta 1..... | 129 |
| Pregunta 2..... | 130 |
| Pregunta 3..... | 131 |
| Pregunta 4..... | 132 |
| Pregunta 5..... | 133 |
| Pregunta 6..... | 134 |
| Pregunta 7..... | 135 |
| Validación de la hipótesis..... | 136 |
| Conclusiones..... | 136 |
| Recomendaciones..... | 138 |
| Trabajos futuros..... | 139 |
| Bibliografía..... | 141 |

| | |
|-----------------|-----|
| Apéndices | 148 |
|-----------------|-----|

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 <i>Robots más relevantes enfocados a la terapia</i> | 37 |
| Tabla 2 <i>Matriz del estado del arte</i> | 44 |
| Tabla 3 <i>Características del Polímero ABS</i> | 61 |
| Tabla 4 <i>Características del material TPU</i> | 62 |
| Tabla 5 <i>Propiedades mecánicas del Polímero ABS</i> | 63 |
| Tabla 6 <i>Tabla de pesos</i> | 64 |
| Tabla 7 <i>Comparativa para selección de pantalla HMI</i> | 68 |
| Tabla 8 <i>Comparativa para selección de tarjeta de adquisición de datos</i> | 69 |
| Tabla 9 <i>Comparativa para selección de sensores de distancia</i> | 70 |
| Tabla 10 <i>Comparativa para la selección de sensores para detección de toque</i> | 71 |
| Tabla 11 <i>Comparativa para la selección de luces</i> | 71 |
| Tabla 12 <i>Comparativa para la selección de servomotores</i> | 72 |
| Tabla 13 <i>Potencia consumida por cada elemento</i> | 73 |
| Tabla 14 <i>Potencia total consumida</i> | 74 |
| Tabla 15 <i>Comparativa para la selección de fuentes de alimentación</i> | 74 |
| Tabla 16 <i>Elementos electrónicos seleccionados</i> | 75 |
| Tabla 17 <i>Parámetros para diseño de HMI</i> | 92 |
| Tabla 18 <i>Características del servidor en la nube</i> | 110 |
| Tabla 19 <i>Listado de nodos empleados y sus funciones</i> | 111 |
| Tabla 20 <i>Elementos que forman parte de la interfaz de la página web</i> | 115 |
| Tabla 21 <i>Integrantes del Grupo 1</i> | 125 |
| Tabla 22 <i>Integrantes del Grupo 2</i> | 125 |
| Tabla 23 <i>Listado de preguntas de la encuesta</i> | 126 |
| Tabla 24 <i>Resultados de la encuesta aplicada</i> | 128 |
| Tabla 25 <i>Resultados de la pregunta 1</i> | 129 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 26 <i>Resultados de la pregunta 2</i> | 130 |
| Tabla 27 <i>Resultados de la pregunta 3</i> | 131 |
| Tabla 28 <i>Resultados de la pregunta 4</i> | 132 |
| Tabla 29 <i>Resultados de la pregunta 5</i> | 133 |
| Tabla 30 <i>Resultados de la pregunta 6</i> | 134 |
| Tabla 31 <i>Resultados de la pregunta 7</i> | 135 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Ejercicio para niños con dislexia en el programa Sicole</i> | 24 |
| Figura 2 <i>Robot asistente para el tratamiento de dislexia en paneles</i> | 25 |
| Figura 3 <i>Robot social NAR dedicado a la enseñanza</i> | 25 |
| Figura 4 <i>Robot Frankie para el tratamiento de niños con TEA</i> | 26 |
| Figura 5 <i>Robot ASIMO</i> | 36 |
| Figura 6 <i>Ecosistema médico basado en IoMT</i> | 40 |
| Figura 7 <i>Tridente educativo</i> | 41 |
| Figura 8 <i>Ejemplo de arquitectura MQTT</i> | 43 |
| Figura 9 <i>Diseño visual del robot</i> | 53 |
| Figura 10 <i>Implementación de pantalla HMI al robot</i> | 53 |
| Figura 11 <i>Cuerpo simulado del robot: a) Parte delantera. b) Parte trasera.</i> | 54 |
| Figura 12 <i>Brazos simulados: a) Brazo derecho. b) Brazo izquierdo</i> | 54 |
| Figura 13 <i>Piernas simuladas: a) Pierna derecha. b) Pierna izquierda.</i> | 55 |
| Figura 14 <i>Cabeza simulada: a) Parte frontal. b) Parte trasera.</i> | 55 |
| Figura 15 <i>Carcasa de pantalla simulada: a) Parte frontal. b) Parte trasera.</i> | 56 |
| Figura 16 <i>Pies simulados: a) Pie derecho. b) Pie izquierdo.</i> | 56 |
| Figura 17 <i>Muslos simulados: a) Muslo derecho. b) Muslo izquierdo</i> | 57 |
| Figura 18 <i>Costados simulados: a) Costado derecho. b) Costado izquierdo</i> | 57 |
| Figura 19 <i>Base/soporte simulado</i> | 58 |
| Figura 20 <i>Acople simulado del primer grado de libertad</i> | 59 |
| Figura 21 <i>Acople simulado del segundo grado de libertad</i> | 59 |
| Figura 22 <i>Acople simulado del tercer grado de libertad</i> | 59 |
| Figura 23 <i>Mecanismo de la cabeza del robot: a) Sin carcasa b) Con carcasa</i> | 60 |
| Figura 24 <i>Simulación de tensiones de Von Mises – Base/Soporte</i> | 65 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 25 | <i>Simulación de tensiones de Von Mises – Acople del primer grado de libertad</i> | 66 |
| Figura 26 | <i>Simulación de tensiones de Von Mises – Acople del segundo grado de libertad</i> | 66 |
| Figura 27 | <i>Simulación de tensiones de Von Mises – Acople del tercer grado de libertad</i> | 67 |
| Figura 28 | <i>Primer módulo</i> | 76 |
| Figura 29 | <i>Segundo módulo</i> | 77 |
| Figura 30 | <i>Estructura y código para inicialización de datos a recibir Nextion-ESP8266</i> | 78 |
| Figura 31 | <i>Estructura y código para inicialización de elementos táctiles</i> | 78 |
| Figura 32 | <i>Código para acceso de elementos táctiles de la HMI en el módulo ESP8266</i> | 79 |
| Figura 33 | <i>Credenciales de conexión a internet</i> | 79 |
| Figura 34 | <i>Establecimiento de conexión con el bróker MQTT</i> | 80 |
| Figura 35 | <i>Estructura y código para publicador MQTT</i> | 80 |
| Figura 36 | <i>Estructura y código para establecimiento de suscriptor MQTT</i> | 81 |
| Figura 37 | <i>Diagrama de flujo de activación de retroalimentaciones visuales</i> | 81 |
| Figura 38 | <i>Sistema de control en lazo abierto para el primer módulo</i> | 82 |
| Figura 39 | <i>Código para publicación de señal de sensores táctiles</i> | 83 |
| Figura 40 | <i>Diagrama de flujo de luces RGB</i> | 83 |
| Figura 41 | <i>Diagrama de flujo de publicación de datos del sensor ultrasónico</i> | 84 |
| Figura 42 | <i>Diagrama de flujo de activación del servomotor para el gesto de duda</i> | 85 |
| Figura 43 | <i>Sistema de control en lazo abierto. Sensores táctiles-Servomotor</i> | 85 |
| Figura 44 | <i>Sistema de control de lazo abierto. Sensor ultrasónico-Luces RGB</i> | 86 |
| Figura 45 | <i>Esquema electrónico de la placa principal</i> | 87 |
| Figura 46 | <i>Esquema electrónico de la placa secundaria</i> | 88 |
| Figura 47 | <i>Diseño PCB para la placa principal</i> | 88 |
| Figura 48 | <i>Diseño PCB para la placa secundaria</i> | 89 |
| Figura 49 | <i>Placa PCB principal</i> | 89 |
| Figura 50 | <i>Placa PCB secundaria</i> | 90 |

| | |
|--|-----|
| Figura 51 <i>Interfaz del software Nextion Editor</i> | 91 |
| Figura 52 <i>Diagrama de flujo del funcionamiento de la pantalla HMI</i> | 93 |
| Figura 53 <i>Pantalla principal de la interfaz HMI</i> | 94 |
| Figura 54 <i>Pantalla de código QR para redireccionar a la página web</i> | 94 |
| Figura 55 <i>Página de registro de datos</i> | 95 |
| Figura 56 <i>Página de menú</i> | 95 |
| Figura 57 <i>Página de configuración de sonido</i> | 96 |
| Figura 58 <i>Pantalla de instrucción para cada conjunto de ejercicios</i> | 97 |
| Figura 59 <i>Formato de pantallas de desarrollo de ejercicios</i> | 97 |
| Figura 60 <i>Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel “Ubica”</i> | 98 |
| Figura 61 <i>Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel “Ubica”</i> | 99 |
| Figura 62 <i>Ejercicios del nivel “Ubica”</i> | 99 |
| Figura 63 <i>Pantalla de instrucción para cada letra</i> | 100 |
| Figura 64 <i>Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel “Encuentra”</i> | 100 |
| Figura 65 <i>Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel “Encuentra”</i> | 101 |
| Figura 66 <i>Ejercicios del nivel “Encuentra”</i> | 101 |
| Figura 67 <i>Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel “Construye”</i> | 102 |
| Figura 68 <i>Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel “Construye”</i> | 103 |
| Figura 69 <i>Ejercicios del nivel “Construye”</i> | 104 |
| Figura 70 <i>Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel “Elimina”</i> | 104 |
| Figura 71 <i>Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel “Elimina”</i> | 105 |
| Figura 72 <i>Ejercicios del nivel “Elimina”</i> | 105 |

| | |
|---|-----|
| Figura 73 <i>Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel "Empareja"</i> | 106 |
| Figura 74 <i>Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel "Empareja"</i> | 106 |
| Figura 75 <i>Ejercicios del nivel "Empareja"</i> | 107 |
| Figura 76 <i>Estructura de comunicación MQTT del robot</i> | 108 |
| Figura 77 <i>Credenciales de la base de datos en MySQL</i> | 109 |
| Figura 78 <i>Configuración de los nodos de entrada y salida MQTT</i> | 112 |
| Figura 79 <i>Flujo de comunicación entre pantalla HMI-base de datos y pantalla HMI-actuadores</i> | 112 |
| Figura 80 <i>Configuración del nodo mysql</i> | 113 |
| Figura 81 <i>Flujo para la comunicación Sensores táctiles-Servomotor</i> | 113 |
| Figura 82 <i>Diagrama de flujo de la configuración del nodo "function"</i> | 114 |
| Figura 83 <i>Flujo para la comunicación Sensor ultrasónico-Luces RGB</i> | 114 |
| Figura 84 <i>Página web para monitoreo de datos y resultados</i> | 116 |
| Figura 85 <i>Código para llamado de información de la base de datos</i> | 116 |
| Figura 86 <i>Flujo de creación de la página web y llamado de información de la base de datos</i> | 117 |
| Figura 87 <i>Fabricación de partes en impresoras 3D</i> | 118 |
| Figura 88 <i>Elementos de la carcasa del robot masillados</i> | 118 |
| Figura 89 <i>Elementos de la carcasa del robot pintados</i> | 119 |
| Figura 90 <i>Mecanismo de movimiento de cabeza construido</i> | 119 |
| Figura 91 <i>Acople de elementos en el elemento Base/Soporte: a) Fuente de alimentación. b) Placas PCB</i> | 120 |
| Figura 92 <i>Colocación de luces RGB</i> | 121 |
| Figura 93 <i>Colocación de sensores táctiles</i> | 121 |
| Figura 94 <i>Colocación de pantalla HMI y sensor ultrasónico: a) Vista posterior. b) Vista frontal</i> | 121 |

| | |
|--|-----|
| Figura 95 <i>Robot listo para su funcionamiento: a) Vista frontal. b) Vista lateral.....</i> | 122 |
| Figura 96 <i>Pruebas de funcionamiento para el primer grupo (Universidad de las Fuerzas Armadas).....</i> | 127 |
| Figura 97 <i>Pruebas funcionamiento para el segundo grupo (Ilvem Ecuador).....</i> | 127 |
| Figura 98 <i>Gráfico estadístico de la pregunta 1</i> | 129 |
| Figura 99 <i>Gráfico estadístico de la pregunta 2</i> | 130 |
| Figura 100 <i>Gráfico estadístico de la pregunta 3.....</i> | 131 |
| Figura 101 <i>Gráfico estadístico de la pregunta 4.....</i> | 132 |
| Figura 102 <i>Gráfico estadístico de la pregunta 5.....</i> | 133 |
| Figura 103 <i>Gráfico estadístico de la pregunta 6.....</i> | 134 |
| Figura 104 <i>Gráfico estadístico de la pregunta 7.....</i> | 135 |

Resumen

La dislexia es uno de los trastornos de aprendizaje más comunes en los niños de edad escolar en el Ecuador. En la actualidad existen numerosos enfoques para el diagnóstico y tratamiento de esta condición, entre los métodos más óptimos se encuentran las aplicaciones móviles, las cuales son bien aceptadas, pero no siempre cumplen con las expectativas. Investigaciones anteriores han demostrado que el uso de aplicaciones móviles, junto a la robótica social, incrementan el interés en los niños por interactuar con este tipo de sistemas. Por lo tanto, esta tesis presenta un robot social antropomórfico con capacidad de interacción con el usuario, además de una pantalla HMI con una aplicación que muestra ejercicios de terapia para dislexia, y por último, una página web donde se puede monitorear los datos y resultados que llegan desde el robot a través de Wifi, haciendo uso del protocolo de comunicación MQTT. Para lo cual, inicialmente se realiza la investigación del estado del arte y el levantamiento de requerimientos del usuario, que sirven como base para el diseño e implementación del sistema ciberfísico. Con la finalidad de conocer si el prototipo es funcional y de utilidad para la terapia de niños con dislexia, se valida mediante la aplicación de herramientas de recolección de datos a profesionales expertos en educación, terapia y tecnologías de asistencia social. Obteniendo así, resultados satisfactorios, con un 86% de aceptación de que la herramienta pueda ser usada como apoyo en la terapia de niños con dislexia. Finalmente, una vez acogida la retroalimentación de los expertos, se realizan pruebas de funcionamiento en 10 niños diagnosticados con dislexia en edad de 9 a 11 años, obteniendo resultados que evidencian que el sistema es funcional en un 69% y además puede mejorar actividades específicas en una persona con dislexia en un 92%.

Palabras clave: Sistema ciberfísico, robot social, terapia, dislexia, protocolo MQTT

Abstract

Dyslexia is one of the most common learning disorders in school-age children in Ecuador. Currently there are numerous approaches for the diagnosis and treatment of this condition, among the most optimal methods are mobile applications, which are well accepted, but do not always meet expectations. Previous research has shown that the use of mobile applications, together with social robotics, increases children's interest in interacting with these types of systems. Therefore, this thesis presents an anthropomorphic social robot with the ability to interact with the user, as well as an HMI screen with an application that shows therapy exercises for dyslexia, and finally, a web page where data and results can be monitored. that arrives from the robot through Wi-Fi, using the MQTT communication protocol. For which, initially the investigation of the state of the art and the survey of user requirements are carried out, which serve as the basis for the design and implementation of the cyber-physical system. In order to find out if the prototype is functional and useful for the therapy of children with dyslexia, it is validated by applying data collection tools to professionals who are experts in education, therapy and social assistance technologies. Thus, obtaining satisfactory results, with 86% acceptance that the tool can be used as support in the therapy of children with dyslexia. Finally, once the feedback from the experts was received, performance tests were carried out on 10 children diagnosed with dyslexia between the ages of 9 to 11, obtaining results that show that the system is 69% functional and can also improve specific activities in a person with dyslexia in 92%.

Keywords: Cyberphysical system, social robot, therapy, dyslexia, MQTT protocol.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

En los últimos años, la dislexia ha ido tomando relevancia dentro del ámbito educativo, debido a que cada vez son más los niños y niñas que presentan esta dificultad en el aprendizaje de lectoescritura. Se puede decir que este trastorno ha ocasionado que los infantes deban enfrentarse a las exigencias del sistema educativo, como: la falta de formación profesional, la inexperiencia para el diagnóstico oportuno y la incompetencia en el sector educativo; mismas que provocan el fracaso escolar en los estudiantes disléxicos (Camacho-Conde, 2019).

Ante esta situación, se ha visto la manera de aprovechar los avances tecnológicos de la actualidad con la finalidad de disminuir los problemas académicos que provoca la dislexia. Así es el caso de las TICs (Tecnologías de la Información y la Comunicación), que ofrecen un nuevo método de enseñanza multisensorial en el que se estimulan los diferentes canales sensoriales que enriquecen los procesos de aprendizaje, además de integrar distintos sistemas simbólicos que favorecen y estimulan a los alumnos a desarrollar su capacidad cognitiva (Luz, 2018).

Un ejemplo de uso de TICs es el sistema de diagnóstico y tratamiento computarizado de dislexia en español "SICOLE", en el que se utiliza un ITS (sistema tutor inteligente), el mismo que, dependiendo del tipo de dislexia que tenga el alumno, se le presentarán ejercicios que permitan examinar cuál es su grado de afección, como se muestra en la Figura 1. Por ejemplo, si el alumno tiene dislexia superficial, el software pedirá identificar, escribir o clasificar palabras con mayor longitud y dificultad. Los datos que arrojen estos ejercicios se enviarán a una base de datos en MySQL para su evaluación por parte de los psicólogos o pedagogos a cargo, quienes determinarán el grado de satisfacción y cumplimiento de los ejercicios propuestos para llegar a un diagnóstico (González, 2019).

Figura 1

Ejercicio para niños con dislexia en el programa Sicole

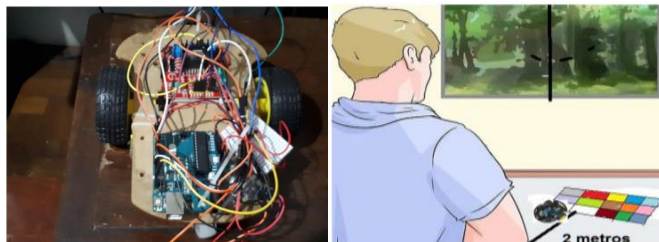


Nota. Tomado de *Sistema tutorial inteligente para la enseñanza en niños con dificultades intelectuales y cognitivas*, por González, 2019.

Con base al estado del arte, se ha podido evidenciar que existe una cantidad limitada de trabajos referentes al tratamiento de la dislexia con uso de robots. Un ejemplo de estos corresponde al trabajo de titulación “Ambiente basado em ferramenta robótica para auxílio educacional de alunos com dislexia”, por parte de Ferreira (2020), en el cual se hace uso de un robot que es controlado mediante una aplicación móvil que se mueve sobre un tablero con letras, símbolos y palabras, como se observa en la Figura 2, para que el usuario pueda estimular sus sentidos auditivos, táctiles y visuales. Esto ayuda a construir un enfoque tridimensional y de virtualización lo que permite usar este método como ayuda lectoescritora de niños con dislexia o incluso a niños que no padezcan este trastorno, pero tienen problemas con la lectoescritura.

Figura 2

Robot asistente para el tratamiento de dislexia en paneles.



Nota. Tomado de *Ambiente basado en herramienta robótica para auxilio educacional de alumnos con dislexia*, por Ferreira, 2020.

En el Ecuador se han realizado algunos trabajos relacionados a la roboterapia y el *edutenimiento*, el cual es un término que se deriva de las palabras educación y entretenimiento, que busca una doble intención de enseñar y divertir al mismo tiempo (Lume, 2019). Así es el caso del trabajo de titulación realizado por Espinoza & Almeida (2018), en donde se explica que en el país existe una escasa implementación de herramientas tecnológicas para el tema de enseñanza pedagógica. Esta investigación se centra en la enseñanza con temáticas de números y colores para niños/as de 2 a 5 años, a través de la interacción con el robot social NAR (Figura 3), mismo que expresa emociones, sonidos y movimientos, dependiendo de la ejecución del ejercicio que realice el niño o niña.

Figura 3

Robot social NAR dedicado a la enseñanza

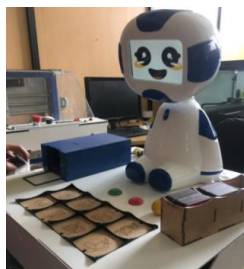


Nota. Tomado de *Rediseño y construcción de un robot social para interacción hombre máquina orientado a la educación de niños/as de 2 - 5 años*, por Espinoza y Almeida, 2018.

De la misma manera, en el proyecto titulación de Caicedo & Maldonado (2019) denominado “Diseño y construcción de un robot que clasifique tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) a través de visión artificial”, se hace referencia a la importancia de la robótica terapéutica para desarrollar de manera didáctica habilidades cognitivas en personas con trastornos que dificultan el aprendizaje, como es el trastorno del espectro autista. Este trabajo se enfoca en el tratamiento de niños con TEA, para lo cual, los autores hacen uso de un robot humanoide, como se ve en la Figura 4, que integra un sistema de visión artificial que permite identificar pictogramas, en los cuales se colocan imágenes respecto a las rutinas que requieren de mayor atención pedagógica para los niños con TEA, como es el caso de la rutina de cepillado de dientes, orinar o cortarse el cabello. Según la rutina seleccionada se mostrarán las tarjetas al robot y este determinará si es el orden en el que se presentan es el correcto. De esta manera, el usuario estimula el sector visual del cerebro para solucionar todo tipo de tareas, además de que interactúa con el robot a manera de juego, lo que hace que el ejercicio no sea aburrido, o estresante. Finalmente, el robot da una retroalimentación con gestos o expresiones faciales al cumplir o no con éxito la actividad.

Figura 4

Robot Frankie para el tratamiento de niños con TEA.



Nota. Tomado de Diseño y construcción de un robot que clasifique tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) a través de visión artificial, por Caicedo y Maldonado, 2019.

Planteamiento del problema

De manera etimológica la palabra “dislexia” tiene dos morfemas, “dys” y “lexia” que tienen fácil interpretación; “dys”, que proviene del griego y hace referencia a la “dificultad”, y “lexia”, de origen latino, que corresponde al concepto “leer”, esto se traduce en la dificultad para leer. En la actualidad, no existe un concepto único de la dislexia, pero la mayoría de los estudios la caracterizan como un trastorno neuro genético que da a lugar un bajo rendimiento para leer con precisión y fluidez (Remírez de Ganuza, 2021).

Las personas diagnosticadas con dislexia tienen la dificultad de convertir mentalmente el lenguaje oral al lenguaje escrito y aunque tienen la capacidad intelectual intacta les es difícil continuar con su preparación académica. Se estima que aproximadamente de un 5% a un 17% de niños padecen dislexia, lo cual viene a ser un porcentaje grande de la población que no se toma en cuenta dentro del sistema educativo. En Ecuador, la prevalencia en dificultades de aprendizaje en los niños de edad escolar oscila entre el 5 al 10%, por lo tanto, al menos uno o tres niños por aula presentan dificultades de aprendizaje en la lectura y en la comprensión, al igual que en el análisis y la resolución de actividades académicas (Santacruz, 2018).

Dentro del territorio nacional es evidente la falta de capacitación de profesionales docentes para diagnosticar a niños con dislexia, ya que, a lo largo de los años, estos infantes han ido regularmente a su establecimiento educativo sin recibir un correcto tratamiento de sus necesidades. Esto ha causado que sean catalogados como torpes, descuidados, malcriados o poco inteligentes, lo cual desemboca en el fracaso escolar de los estudiantes. Las familias de estos niños también sienten la frustración de que sus hijos tarden hasta tres veces más en comprender un tema de la clase o en hacer sus tareas, lo cual repercute en su autoestima, además de problemas médicos como estrés, dolores de cabeza, insomnio, entre otros (Camacho-Conde, 2019).

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se establece la necesidad de generar una herramienta para el proceso de enseñanza como método de ayuda para los niños con dislexia,

con el fin de motivar a un mejor desempeño académico y como consecuencia, contribuir a la mejora de la autoestima del infante para evitar así el fracaso escolar o deserción del alumno.

Justificación e importancia

El correcto y oportuno tratamiento del trastorno de lectoescritura o dislexia ayudaría a un mejor desempeño académico de los/as niños/as que empiezan en sus primeros años de vida académica, reduciendo la posibilidad de que acarreen estos problemas a su vida adulta. Mediante el desarrollo de un sistema ciberfísico basado en un robot social terapeuta, se busca contribuir a la minimización de los padecimientos de los infantes que tienen dislexia. Entre las características de este sistema ciberfísico están:

Componente físico

- Robot con capacidad de interactuar con el usuario.
- Red de sensores y actuadores.

Componente ciber

- Interfaz HMI intuitiva y amigable con el usuario.
- Almacenamiento de datos en la nube.
- Protocolo de comunicación MQTT.

Al unir estas características, se pretende obtener una interacción humano-robot (HRI), además del envío de datos a la nube mediante un canal de conexión inalámbrico (Wifi), con el fin de generar una herramienta que ayude al tratamiento de la dislexia. Se pretende que el sistema ciberfísico pueda integrar varios ejercicios y juegos que apoyen a la terapia para la dislexia, y cuando estos sean realizados correctamente, el robot tenga una retroalimentación positiva hacia el usuario. Una vez que se hayan completado los ejercicios necesarios, todos los datos que se obtuvieron en el proceso podrán encontrarse en la base de datos que se encuentra en la nube para realizar una evaluación y revisar el progreso del alumno.

Alcance

Se plantea el diseño y construcción de un sistema ciberfísico basado en un robot social terapeuta con capacidad de comunicación entre una red de sensores y actuadores por medio del protocolo MQTT. El robot tendrá una pantalla en donde se podrá escoger los ejercicios terapéuticos, además de una red de sensores que permitirán la interacción entre el usuario y el robot, también tendrá una base de datos en la nube que permita la revisión de los resultados de los ejercicios realizados desde cualquier lugar con acceso a internet.

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar prototipos de sistemas ciberfísicos que aporten a mejorar la calidad de vida de personas en situación de vulnerabilidad.

Objetivos específicos

- Diseñar un sistema ciberfísico como herramienta de apoyo a la terapia educativa para niños con dislexia, mediante el uso de una red de actuadores y sensores controlados y monitoreados por IoT.
- Desarrollar una interfaz para el monitoreo de del sistema ciberfísico, mediante el protocolo MQTT.
- Diseñar la etapa de control de sistemas integrados.
- Implementar un sistema ciberfísico basado en un robot social que ayude a la terapia educativa para niños con dislexia.
- Validar los resultados.

Hipótesis

El diseño y construcción de un sistema ciberfísico basado en un robot social terapeuta, con capacidad de comunicación entre una red de sensores y actuadores por medio del

protocolo MQTT, puede ser considerado como una herramienta de terapia para niños con dislexia y una herramienta de evaluación de resultados para los docentes.

Variables de la investigación

Variable independiente

- Sistema ciberfísico basado en un robot social terapeuta enfocado a la dislexia, con capacidad de comunicación entre una red de sensores y actuadores por medio del protocolo MQTT.

Variables dependientes

- Almacenamiento y presentación de datos en una página web.
- Evaluación de resultados de alumnos con dislexia.

Conclusión del Capítulo 1

Esta investigación está planteada con base a la constante innovación de la robótica social y el auge que actualmente han alcanzado las tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) junto a los sistemas ciberfísicos. De la misma manera, las exigencias actuales en el ámbito educativo y terapéutico enfocado a problemas de aprendizaje, han demostrado la necesidad de nuevas metodologías para solucionar estos problemas. Es por esto que el proyecto se enfoca en un sistema ciberfísico capaz de ser usado como una herramienta de terapia para niños con dislexia, mediante el uso de nueva tecnología de robótica social que permita renovar la educación y terapia a tal punto que esto genere un interés intenso en los niños.

Las características más importantes del sistema se basan en un software presentado en una HMI que permita realizar ejercicios a manera de juegos, con el fin de estimular y mejorar el proceso de terapia en los niños con dislexia; y una página web con una interfaz capaz de mostrar la información de los ejercicios realizados por los niños. De esta manera, el proyecto no solo se enfoca en los niños, sino también en los docentes y terapeutas logrando así una mayor eficiencia en el tratamiento.

Capítulo II

Fundamentación teórica

Conceptualización

La dislexia

Definición. A lo largo de los años, no se ha podido crear un consenso sobre la definición de la dislexia, por ello, en las últimas décadas han surgido varias definiciones sobre esta. Una de las más conocidas, según Camacho-Conde (2019), es la que dio la Federación Mundial de Neurología (WFN) en el año 1968, en la que señala a la dislexia como un problema que se caracteriza por un déficit en el aprendizaje de la lectura, a pesar de que los niños reciban una educación correcta, posean una inteligencia normal y pertenezcan a un estatus sociocultural adecuado.

Por otro lado, según la Asociación Americana de Psiquiatría (2018), en la Guía de consulta de los criterios diagnósticos del Manual Diagnóstico y Estadístico de Trastornos Mentales (DSM5), se establece que la dislexia corresponde a un patrón de dificultades del aprendizaje que se caracterizan por problemas con el reconocimiento de palabras en forma precisa o fluida, error al deletrear y poca capacidad ortográfica. Además, expresa que la dislexia se manifiesta con distorsiones, sustituciones u omisiones en la lectura, lo que influye en la lentitud y errores en la comprensión.

Finalmente, una de las definiciones más importantes, pertenece a la Sociedad Internacional de la Dislexia que en resumen establece a la dislexia cómo un problema específico de lenguaje que se caracteriza por presentar dificultades en la decodificación de palabras simples (Camacho-Conde, 2019).

Síntomas. De manera general, el síntoma más evidente de la dislexia es la dificultad para entender correctamente el lenguaje escrito, pero gracias a varias investigaciones se ha

podido determinar problemas más puntuales que permiten que dichos síntomas sean más fáciles de identificar. Entre los más importantes están:

- Mala laterización: La lateralización refiere a un predominio funcional en uno de los lados del cuerpo con respecto al otro, es decir, lo que normalmente define a las personas como diestras o zurdas. Cuando esto no se desarrolla correctamente, la persona tendrá dificultad para organizar su visión espacial, además de problemas con el lenguaje y la psicomotricidad.
- Alteraciones en la psicomotricidad: Esta condición se puede manifestar en niños con dislexia, de manera independiente a tener o no una mala lateralización. Comúnmente estas alteraciones se presentan combinadas y pueden ser: falta de ritmo móvil o lingüístico, falta de equilibrio, entre otras.
- Trastornos perceptivos: Se manifiesta con la incapacidad de percepción del propio cuerpo en el espacio en el que se encuentra, así como la posición de objetos con respecto a sí mismo. Por ejemplo, confusión de las nociones espaciales arriba/abajo, delante/detrás, izquierda/derecha. Esto influye en la lectura y escritura debido a que este trastorno también se haría presente en el orden de letras y palabras (Araguillín, 2022).

Según Araguillín, todos estos síntomas son considerados como un punto de inicio al diagnóstico de la dislexia. A continuación, se describen los problemas de aprendizaje que se presentan comúnmente en la dislexia:

- Disgrafía: Dificultad con el trazo de las letras y números.
- Disografía: Dificultad para el uso de reglas de ortografía.
- Dislalias: Omisión de fonemas.
- Confusión/inversión de letras que se diferencian en su trazado.

Estos planteamientos son plenamente aceptados por la Asociación Británica de la Dislexia, por lo que pueden ser considerados como herramientas suficientes para la detección de una posible dislexia (Araguillin, 2022).

Causas. Hasta la actualidad, el origen de este trastorno sigue siendo un tema de debate, puesto que no se conoce a ciencia cierta cuáles son los genes que predisponen a padecer la dislexia.

En la investigación de (Cerezo, 2019) se presenta el análisis del llamado gen *dcd2*, el cual tiene actividad en los centros cerebrales implicados en la lectura. Se ha detectado que este gen trabaja con menor intensidad en los pacientes disléxicos.

Cabe acotar que el cerebro funciona como dos sistemas principales que están encargados de la percepción visual. En primer lugar, está el sistema parvocelular que se encarga de la percepción de formas y colores, y por otra parte, está el sistema magnocelular que es el responsable de la percepción de movimiento. Cuando en el sistema magnocelular tiene células más pequeñas de lo normal, este no puede percibir los rápidos cambios de imagen que se dan normalmente en la lectura común, lo cual genera dificultades y desemboca en la dislexia (Iza, 2022).

A pesar de que los niños nacen con dislexia, los síntomas de esta empiezan a aparecer cuando los niños ya entran a su vida académica, concretamente cuando se supone que han adquirido por completo la habilidad lectora. Según los especialistas, esto ocurre después de los siete u ocho años (Euribe Salgado, 2018).

Diagnóstico. Cuando se comienzan a presentar los primeros problemas de aprendizaje por parte del niño, es donde toma lugar el diagnóstico o exploración. (Gantier, 2022) explica que previo a esto se debe realizar una valoración referente a la historia médica, de desarrollo, de comportamiento y familiar del niño. De la misma manera, se deben descartar aspectos que pueden ser confundidos con la dislexia, como son: defectos en la visión o audición, problemas

emocionales primarios, problemas de salud que dificulten el aprendizaje, lesiones cerebrales, retraso grave de desarrollo.

Para tener una visión más clara de la situación del niño, Gantier señala que se debe realizar una exploración objetiva, la cual debe incluir tres ámbitos:

- **Aptitudinal:** Comprende aspectos como la inteligencia general y aptitudes específicas, tales como capacidad de orientación en el espacio, nivel de psicomotricidad, memoria visual y auditiva, etc.
- **Pedagógico:** Básicamente refiere a las dificultades escolares como la lectura, escritura, entre otras.
- **Psicológico:** Este punto es de gran importancia debido a que el factor emocional puede afectar seriamente al rendimiento escolar. Las principales características de un niño disléxico que tiene problemas con el aprendizaje son:
 - Sentimientos de inferioridad, fracaso o inseguridad ante sus compañeros.
 - Dificultad para relacionarse.
 - Desobediencia.
 - Hipersensibilidad
 - Ansiedad o angustia.

Una vez analizados y explorados estos puntos, se puede determinar si se tiene un niño con trastorno de lectoescritura (dislexia), retraso de madurez lectoescritora, retraso intelectual o algún tipo de bloqueo emocional (Gantier, 2022).

Tecnologías de asistencia

Las tecnologías de asistencia o apoyo refieren a los productos o sistemas que pueden ser usados como herramientas para hacer posible que personas con discapacidad participen en actividades cotidianas de la vida, el hogar, la educación y el trabajo. Su principal

característica es el fortalecimiento de habilidades de desarrollo, funcionales y de aprendizaje. (Hess & Gutierrez, 2018)

Según Castro et al. (2018) las tecnologías de asistencia tienen el potencial de reforzar los sistemas educativos mediante la creación de entornos basados en las TICs. Estos recursos permiten solventar las nuevas demandas educativas, además que motiva y empodera a los estudiantes con herramientas que se adaptan a sus necesidades personales. Finalmente, las TICs como tecnología de asistencia permite la estimulación de mecanismos de aprendizaje, haciendo así que los docentes adopten estas herramientas tecnológicas en las materias que imparten y además renueven su metodología de enseñanza.

Herramientas tecnológicas para la dislexia. La importancia de las TICs ha ido tomando fuerza a lo largo de los años, lo que ha permitido que se integre a la educación, permitiendo así un mejor desarrollo académico de los niños. Estas herramientas también se enfocan en niños con ciertas dificultades de aprendizaje como es la dislexia, y los ayudan facilitando el acceso a la información, la comunicación, la estimulación del interés y principalmente, la interacción con dichas herramientas (Saavedra & Maldonado, 2022).

Un claro ejemplo de estas herramientas se presenta en la investigación realizada por Macas & Guevara (2020), en donde se integra una herramienta digital de educación con el objetivo de innovar el proceso de educación y mejorar el rendimiento académico de estudiantes con dislexia. Este estudio confirmó que el uso de herramientas tecnológicas aumenta el desempeño académico y disminuyen las dificultades de los estudiantes con dislexia.

Robótica social

En la actualidad, la robótica ha ido tomando importancia en la sociedad humana, de tal manera que ha permitido que el contacto e interacción con un robot ya no sea una escena de ciencia ficción, sino más bien, un reflejo de que esta tecnología ha llegado a la sociedad para

ser parte de la misma, y a su vez para contribuir con ella. Es por esto que el término “robótica social” se ha ido adoptando cada vez más en el día a día de la humanidad.

Según Ochoa & Trávez (2018), se puede definir a un robot social como “aquel robot que interactúa y se comunica con las personas de manera sencilla y agradable, mediante comportamientos, patrones y normas sociales”. Un ejemplo sencillo es el robot Maggie, un robot con alta capacidad de interacción, a tal punto de poder bailar con una persona. Maggie cambia sus movimientos dependiendo de las acciones detectadas por los sensores táctiles que se encuentran en su cuerpo.

Estos robots están diseñados para un sin número de tareas, pero todas se enfocan en la asistencia de las personas. Uno de los aspectos más importantes es su aspecto físico que comúnmente es muy agradable, esto con el fin de generar confianza e incentivar el uso del robot. Entre las apariencias más comunes que tienen estos robots se encuentran los robots humanoides que pretenden parecerse a un humano.

Figura 5

Robot ASIMO



Nota. Tomado de Honda, 2023

Este es el caso de ASIMO (Figura 5), un robot humanoide que se usa como un compañero de asistencia que guía y corrige actividades de aprendizaje. Este método ayuda al aprendizaje a través de la robótica social gracias a la retroalimentación instantánea que ASIMO puede entregar a los estudiantes (Al Hakim et al., 2022).

La rama de la robótica social que está enfocada a la salud mental es considerada con gran potencial y muy prometedora para el apoyo y tratamiento de los pacientes, especialmente de los niños. A estos robots se los llama robots de asistencia social (SAR) y son muy bien recibidos y aceptados por esta parte de la población. Son generalmente usados para la distracción, apoyo social y emocional durante la estadía en un hospital con pacientes pediátricos. Estos robots son de gran ayuda y ampliamente aceptados por padres y pacientes cuando estos tienen algún tipo de problema con las terapias comunes tales como el uso de mascotas, debido a que estas podrían comprometer la salud del niño (Kabacińska et al., 2021).

Tabla 1

Robots más relevantes enfocados a la terapia

| Nombre | Enfoque |
|------------|---------------------------|
| Robot Nao | Terapia y educación |
| Robot PARO | Terapia |
| Robot Tega | Educación |
| Robot Pleo | Terapia y entretenimiento |

En la investigación realizada por Kabacińska et al. (2021), se realiza una búsqueda de los robots de asistencia más relevantes, enfocándose en aquellos que se centren en la salud mental de los pacientes. En la Tabla 1, se especifica el enfoque de cada uno y a continuación, se detallan sus principales características.

Robot Nao. Es un robot social con aspecto humanoide que fue creado por la empresa Aldebaran. Este robot se ha convertido en una excelente herramienta en los ámbitos de educación y la investigación. Nao tiene varias características que lo vuelven un robot de usos múltiples. Tiene 25 grados de libertad, sensores táctiles en todo su cuerpo, micrófonos que permiten la comunicación con el usuario, reconocimiento de voz disponible en 20 idiomas, cámaras para el reconocimiento de personas y objetos. Gracias a todas estas cualidades, Nao

es considerado un robot social con un altísimo grado de interactividad con el usuario (Aldebarán, s/f).

Actualmente, Nao es uno de los robots más utilizados para terapias en niños, por ejemplo, en terapias de distracción en hospitales, terapia para niños con TEA y terapia en niños con problemas de aprendizaje.

Robot PARO. Es un robot interactivo con apariencia de una foca bebé, creado por la empresa AIST. Este robot permite que los métodos terapéuticos que se administran normalmente con animales puedan ser aplicados en entornos tales como hospitales u otros lugares donde los animales vivos puedan presentar inconvenientes para el sitio o para ellos mismos. PARO consta de diferentes tipos de sensores tales como táctiles, de luz, de audición, temperatura y postura. Debido a esto, el robot es capaz de percibir a las personas y su entorno, además de poder interactuar como si se tratara de una foca viva, moviendo su cabeza y piernas (PARO Robots, s/f).

A diferencia de los robots Nao, PARO no tiene tantas características en cuanto a su multifuncionalidad, pero sigue siendo un robot de asistencia social. Este robot puede ser usado tanto en niños como adultos como un apoyo emocional frente a diversas situaciones. Según Yuan et al. (2021), el uso de PARO mejora el estado de ánimo, reduce el estrés y fomenta la interacción entre robot-humano y humano-humano.

Robot Tega. Es una plataforma de robots sociales que ha sido construida y desarrollada en MIT Media Lab. Fue diseñada específicamente para permitir interacciones a largo plazo con niños. Tega tiene un funcionamiento peculiar, ya que hace uso de tecnología Android para su control y además usa la pantalla para mostrar su cara y expresiones. Por medio del teléfono celular se puede realizar el control de motores y el procesamiento de los datos de los sensores (Kory-Westlund & Breazeal, 2019).

Al ser una plataforma desarrollada en Android, esta puede ser programada con múltiples fines, tales como la terapia o la educación. Tega ha sido utilizado en el ámbito escolar

para impulsar y motivar el aprendizaje de un segundo idioma en escuelas públicas. Así mismo, brinda compañía a los niños mediante juegos como rompecabezas.

Robot Pleo. El robot Pleo fue desarrollado en el año 2007 por la empresa Ugobe y tiene la característica de simular la apariencia de un dinosaurio *camarasaurus* bebé. Está diseñado y programado para ser una mascota, es por esto que tiene la capacidad de interactuar con su usuario y a su vez de ejecutar acciones de manera independiente. Entre sus especificaciones técnicas tiene 14 motores, 12 sensores táctiles en todo su cuerpo y 14 sensores de movimiento. Este robot ha tenido varios cambios desde su primera salida al mercado, en los cuales ha implementado nuevas características que permiten que cada vez se parezca más a una mascota (Pleo rb, s/f).

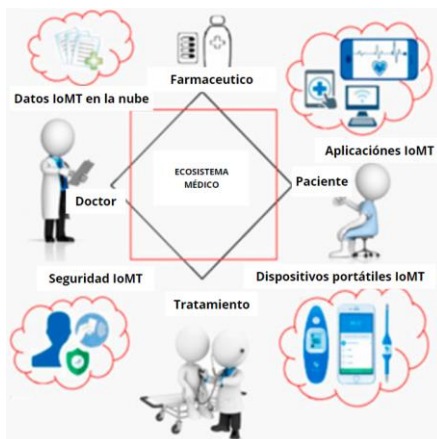
Pleo puede ser reconocido como un robot de asistencia social para niños, ya que, al ser un robot con capacidad de interacción, se convierte en una herramienta para mejorar las habilidades sociales en niños que tengan problemas de comunicación, como es el caso de niños con TEA. Según Corrales Castaño & Rodríguez Torres (2022), los niños con TEA socializan y hablan con un robot Pleo tanto como lo hacen con un humano adulto, confirmando de esta manera que es una buena herramienta para terapias de comunicación.

Internet de las cosas (IoT)

El internet de las cosas se define como la interconexión de objetos físicos por medio del internet, los cuales logran interactuar mediante sensores, actuadores y redes de comunicación. Sus aplicaciones son varias, entre las cuales consta la comunicación, el acceso a internet, almacenamiento de datos e información, interacción humano-objeto, entre otros. Esta tecnología se encuentra tomando fuerza en varios entornos tales como la industria, la salud, la seguridad, la educación y el hogar (Muñoz, 2019).

Figura 6

Ecosistema médico basado en IoMT



Nota. Tomado de *IoMT amid COVID-19 pandemic: Application, architecture, technology, and security*, por Mohd Aman et al., 2021.

Internet de las cosas médicas (IoMT). Varias circunstancias de la actualidad han encaminado a esta tecnología a ser un recurso necesario, esto debido a que estos sistemas han demostrado ser de gran ayuda para prevenir, predecir y monitorear enfermedades infecciosas emergentes. Además, han logrado gran agilidad en cuanto a la vigilancia en tiempo real de pacientes mediante el uso de dispositivos portátiles de control de salud, redes inalámbricas, inteligencia artificial y almacenamiento en la nube, para lo cual se ha integrado un modelo de ecosistema médico basado en IoT como se ve en la Figura 6 (Mohd Aman et al., 2021).

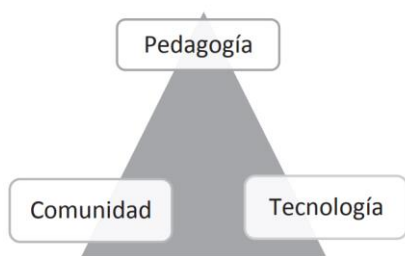
Según la investigación realizada por Singh et al. (2020), en la que se determina los beneficios del IoMT durante la pandemia de COVID-19, se llega a la conclusión de que esta tecnología es muy útil para que el paciente pueda identificar sus síntomas y acceder a un tratamiento adecuado. De la misma manera, ayuda al sistema de gestión de pacientes y médicos en los hospitales.

Internet de las cosas en la educación. La educación también se ha acogido a esta nueva tecnología que ha generado ambientes educativos inteligentes, los cuales tienen como principal característica el hecho de que un estudiante puede tener acceso al aprendizaje desde cualquier lugar y en cualquier momento, por ende, IoT representa una herramienta versátil tanto para alumnos como para maestros (Acosta-Díaz et al., 2020).

Actualmente, los modelos educativos han ido evolucionando y generando nuevos esquemas de enseñanza-aprendizaje que se basan en las TIC (Tecnologías de la información y comunicación), las cuales permiten desarrollar programas de aprendizaje a distancia, virtual. Esto ha permitido que el desarrollo del aprendizaje se pueda monitorear constantemente mediante dispositivos con acceso a internet, tales como, portátiles, celulares, dispositivos digitales de escritura, entre otros. En función a lo anterior, García et al. (2018) menciona que: “es necesario generar un modelo de aprendizaje basado en un tridente que involucre pedagogía, comunidad y tecnología “ (Figura 7). De esta manera, se pretende que tanto docentes, estudiantes y padres de familia ayuden a acoger este nuevo sistema de educación, mediante la concientización y adquisición de cultura digital, que hace uso de la nueva tecnología IoT.

Figura 7

Tridente educativo



Nota. Tomado de *Internet de las Cosas: Hacia una Educación Inteligente*, por García et al., 2018.

Sistemas Ciberfísicos

Los sistemas ciberfísicos (CPS) comprenden la integración de los sistemas de computación con los procesos físicos. Las computadoras tienen el trabajo de monitorear los procesos físicos con la finalidad de tener una retroalimentación de su funcionamiento a través de sensores, para de esta manera crear un control inteligente con capacidad de adaptación, autonomía y eficiencia.

Entre los ejemplos más representativos de sistemas ciberfísicos que se usan en la actualidad, se tiene el control industrial, control computarizado de vehículos y aeronaves, sistemas inalámbricos de sensores, redes inteligentes y demás dispositivos que son comúnmente usados para la tecnología del Internet de las Cosas (IoT). Estos sistemas se han vuelto un punto clave para el desarrollo de la sociedad y es por ello que el correcto diseño, desarrollo, seguridad y protección de los sistemas ciberfísicos son áreas de investigación de importancia crítica (Pivoto et al., 2021).

Protocolo de comunicación MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de comunicación basado en el método de publicador/suscriptor. Este protocolo se caracteriza por ser fácil de implementar debido a su consumo mínimo de recursos en cuanto a procesamiento y ancho de banda. Su funcionalidad destaca en los sistemas IoT por su fácil funcionamiento (Moreno Cerdá, 2018).

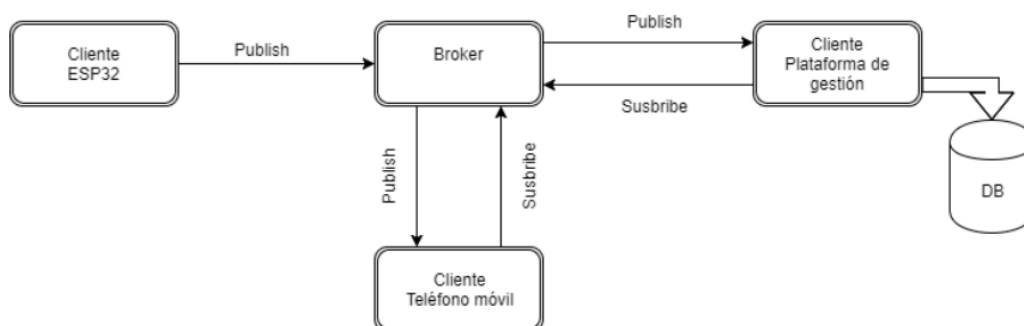
Respecto a su arquitectura se debe acotar que, para establecer la comunicación mediante este protocolo se necesita de cuatro elementos primordiales.

- **Publicador:** Es aquel que envía el mensaje.
- **Suscriptor:** Es aquel que recibe el mensaje.
- **Bróker:** Es el encargado de redirigir los mensajes a los clientes suscritos, dependiendo del tópico.

- Tópico: es una cadena de texto (string) UTF-8 y este contiene el mensaje enviado por el publicador.

Figura 8

Ejemplo de arquitectura MQTT



Nota. Tomado de *Demostrador arquitectura publish/subscribe con MQTT*, por Moreno Cerdá, 2018.

De manera simplificada y general, se podría explicar el funcionamiento del protocolo MQTT de la siguiente manera: El bróker es el servidor que comunica a los clientes (Publicador y Suscriptor), es decir, recibe y envía los mensajes. Los clientes no se comunican directamente, sino que el bróker actúa como intermediario entre ellos y el mensaje se envía por medio de tópicos. En la Figura 8 se puede apreciar de mejor manera como actúa este protocolo de comunicación con un ejemplo.

Estado del arte

En la Tabla 2, se presentan quince artículos relevantes publicados en los últimos cuatro años, que aportarán información actualizada sobre temas en común con el presente proyecto, centrándose en el uso de tecnología para terapia y educación en niños con dislexia y otros problemas de aprendizaje. Esta información servirá para una posterior comparación y análisis de sus mayores cualidades, para ser aprovechada como referencia para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 2*Matriz del estado del arte*

| No | Artículo | Año | Enfoque | | Herramientas Utilizadas | | | | | | Finalidad | | | |
|----|--|------|----------|-----|--------------------------|-----------|-----------|------------------|----------|---------------------|-----------|-------------|---------|-----------|
| | | | Dislexia | TEA | Problemas de aprendizaje | Software | | Sistema | | Base de datos | | Diagnóstico | Terapia | Educación |
| | | | | | | App Móvil | App de PC | Realidad virtual | Robótica | Sistema Ciberfísico | Local | | | |
| 1 | Social Robots for Pedagogical Rehabilitation: Trends and Novel Modeling Principles (Kaburlasos & Vrochidou, 2019). | 2019 | X | X | | | | X | | | | X | X | |
| 2 | Addressing Special Educational Needs in Classroom with Cyber Physical Systems (Atanasova & Yosifova, 2019). | 2019 | | | X | | | | | X | | | X | |
| 3 | Human-Robot-Collaboration (HRC): Social Robots as Teaching Assistants for Training Activities in Small Groups (Rosenberg-Kima et al., 2019). | 2019 | X | | | X | | X | | X | | | X | |

| No | Artículo | Año | Enfoque | | Herramientas Utilizadas | | | | | | Finalidad | | | |
|----|---|------|----------|-----|--------------------------|-----------|-----------|------------------|----------|---------------------|-----------|-------------|---------|-----------|
| | | | Dislexia | TEA | Problemas de aprendizaje | Software | | Sistema | | Base de datos | | Diagnóstico | Terapia | Educación |
| | | | | | | App Móvil | App de PC | Realidad virtual | Robótica | Sistema Ciberfísico | Local | | | |
| 4 | Ambiente basado em ferramenta robótica para auxílio educacional de alunos com dislexia (Ferreira, 2020). | 2020 | X | | | | | X | | X | | | | |
| 5 | Mobile Applications, An Emerging Powerful Tool for Dyslexia Screening and Intervention (Politi-Georgousi & Athanasios, 2020). | 2020 | X | | X | | | | | | X | X | | |
| 6 | Intelligent Games for Learning and the Remediation of Dyslexia: Using Automaticity Principles (Jamshidifarsani et al., 2021). | 2021 | X | | | | | | X | | X | | X | |
| 7 | Using augmented reality to support children with dyslexia (Aborokbah, 2021). | 2021 | X | | | | X | | | | | | X | |

| No | Artículo | Año | Enfoque | | Herramientas Utilizadas | | | | | | Finalidad | | | |
|----|--|------|----------|-----|--------------------------|-----------|-----------|------------------|----------|---------------------|-----------|-------------|---------|-----------|
| | | | Dislexia | TEA | Problemas de aprendizaje | Software | | Sistema | | Base de datos | | Diagnóstico | Terapia | Educación |
| | | | | | | App Móvil | App de PC | Realidad virtual | Robótica | Sistema Ciberfísico | Local | | | |
| 8 | “It Is Not the Robot Who Learns, It Is Me.” Treating Severe Dysgraphia Using Child– Robot Interaction (Gargot et al., 2021). | 2021 | X | | X | X | | | X | | X | | X | |
| 9 | Educational robotics in Primary Education. A case in Greece (Chaidi et al., 2021). | 2021 | | X | X | | | | X | | | | | X |
| 10 | Tití App, an Interactive Psycho- Pedagogical Recovery Tool: A Pilot Study (Gordón et al., 2022). | 2022 | X | | | X | X | | | | X | | X | X |
| 11 | Mobile and Simulation-based Approach to reduce the Dyslexia with children Learning Disabilities (Muthumal et al., 2022). | 2022 | X | | | X | | | X | | | | X | X |
| 12 | Diseño de una aplicación móvil para la detección de riesgo de dislexia en estudiantes de 6 a 9 años del centro | 2022 | X | | | X | | | | | X | | X | |

| No | Articulo | Año | Enfoque | | Herramientas Utilizadas | | | | | | Finalidad | | | | | |
|----|--|------|----------|-----|--------------------------|-----------|-----------|------------------|----------|---------|-------------|---------------|------------|-------------|---------|-----------|
| | | | Dislexia | TEA | Problemas de aprendizaje | Software | | | Sistema | | | Base de datos | | Diagnóstico | Terapia | Educación |
| | | | | | | App Móvil | App de PC | Realidad virtual | Robótica | Sistema | Ciberfísico | Local | En la nube | | | |
| 16 | Diseño y construcción de un sistema ciberfísico como herramienta de terapia en niños con dislexia. | 2023 | X | | | X | | | | X | X | | X | | | |

De manera general, se puede evidenciar un claro avance en la inclusión de tecnología en los aspectos de terapia y educación enfocada a niños con problemas de aprendizaje tales como la dislexia. Las herramientas más comúnmente usadas para este fin son: la terapia mediante robótica social y el uso de aplicaciones móviles, como se ve en los artículos 4, 5, 9, 10 y 15. Esto debido a la gran aceptación que tienen los niños con sistemas que pueden ser usados como un juego de interacción y mas no como una terapia. Actualmente se desarrollan aplicaciones móviles que trabajan con cierto tipo de juegos y ejercicios enfocados a la educación y/o detección de niños con dislexia, pero carecen de un estímulo visual más fuerte que permita mantener la concentración de los niños. Debido a esto, se ha optado por la integración de robots sociales como un refuerzo a las actividades que se realizan en las aplicaciones móviles, de tal manera que permitan mantener la atención de los niños en dicha actividad. En los artículos 8 y 11 se puede constatar la versatilidad de esta metodología.

Se puede ver una escasa cantidad de trabajos enfocados a la terapia o educación de niños mediante el uso de aplicaciones para computadores, como en los artículos 10 y 14. Esto se debe a que los teléfonos celulares o tabletas tienden a ser de fácil uso y mucho más portátiles que un computador, siendo así una opción más conveniente, tanto para alumnos como para docentes.

Se puede decir que los sistemas que actualmente están entrando en auge para la educación, terapia y detección de problemas de aprendizaje, son los sistemas de realidad virtual y ciberfísicos, como en los artículos 2, 6, 7 y 13. Estos sistemas tienen grandes beneficios como: personalización de actividades según su necesidad, capacidad de uso remoto del sistema y conexión a internet para almacenamiento/monitoreo de datos en tiempo real para la evaluación de resultados.

Conclusión del Capítulo 2

La dislexia es un trastorno de la lectoescritura que puede generar varios contratiempos en los primeros años de formación académica de la persona que lo padezca, por lo que se considera un problema que debe ser resuelto prioritariamente para que en el futuro no represente un obstáculo en su educación o vida cotidiana. Actualmente, los robots sociales son considerados una gran solución para ámbitos educativos, médicos, terapéuticos y de entretenimiento, lo cual incentiva a expandir su uso a nuevas aplicaciones como la terapia para dislexia.

Con base en la investigación del estado del arte actual sobre la nueva tecnología que se aplica para el tratamiento de la dislexia en niños, se puede afirmar que este proyecto está encaminado a ser una herramienta de terapia con la tecnología necesaria para ser considerada novedosa y de gran impacto en el ámbito de la terapia para la dislexia, ya que integra nuevas características como la comunicación MQTT, base de datos en la nube y robótica social.

Capítulo III

Diseño y construcción del sistema

En el presente capítulo se detalla el diseño y construcción del sistema ciberfísico como herramienta de terapia para niños con dislexia; para lo cual, se ha dividido este sistema en cuatro subsistemas. El primero se enfoca en el área mecánica, donde se busca un diseño físico agradable basado en un robot humanoide, además de un mecanismo de movimiento en su cabeza que permita dar una retroalimentación visual a los niños.

El segundo subsistema está dirigido al área electrónica, en donde se buscará cumplir las tareas de movimiento con servomotores, iluminación del robot, adquisición y envío de datos de sensores, y principalmente la programación de microcontroladores que hagan posible todo lo anteriormente planteado. Adicionalmente, se realizará el diseño y construcción de placas PCB que permitirán el funcionamiento de todo este subsistema.

El tercer subsistema hace referencia al diseño de la interfaz HMI que será utilizado directamente por los niños con dislexia. Este apartado es particularmente importante, ya que aquí se diseñarán y programarán aspectos como: colores, aspecto y dinámicas de funcionamiento de las pantallas que contienen los ejercicios que servirán como herramienta de terapia.

Finalmente, el cuarto subsistema se encargará de la comunicación de todos los subsistemas anteriormente mencionados mediante el protocolo MQTT, así como la creación de una base de datos y una página web en la nube, para que se pueda acceder al monitoreo de datos y resultados de los alumnos que usen la herramienta de terapia.

A continuación, se detalla el desarrollo de cada uno de estos subsistemas haciendo uso de conceptos de ingeniería, además de requerimientos establecidos por los usuarios con la finalidad de lograr diseños funcionales y seguros para el uso de niños con dislexia.

Diseño mecánico

En este apartado se abordará el tema de diseño mecánico, que comprende aspectos como el modelo visual, mecanismos de movimiento, selección de materiales y simulaciones de esfuerzo; para lo cual se hará uso del software de diseño asistido por computadora SolidWorks.

Diseño visual

Al ser un sistema que tiene como objetivo ser usado para la terapia de niños, se ha optado por dar un aspecto visual llamativo. De esta manera se pretende que, al momento de realizar la terapia, los infantes vean a este robot como un juguete que despierte su interés y disfruten usarlo.

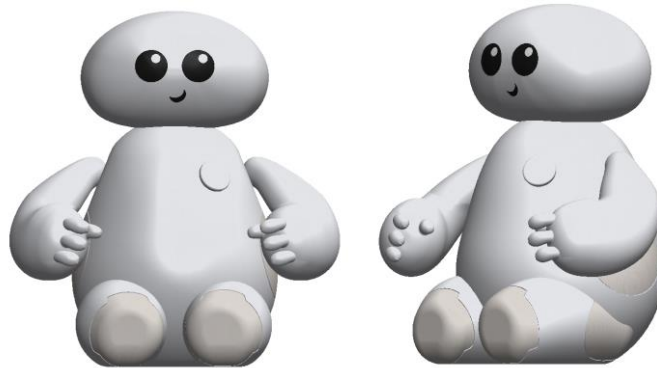
Para que el robot sea seguro al momento de ser utilizado por los niños, es necesario que este no tenga bordes puntiagudos, ni astillas en su estructura; dado que puede ocasionar alguna lesión o herida en los infantes al momento de usar el robot (Acosta & Ayala, 2019). Por este motivo, se ha optado por que el robot tenga un diseño simple y de aspecto redondeado en toda su estructura, como se muestra en la Figura 9.

Ciertas partes del robot como sus pies, muslos y costados del cuerpo están consideradas para ser construidos de un material y aspecto diferente al resto del cuerpo. Esto con el fin de que estos elementos sean de uso interactivo para los usuarios a través del manejo de sensores en el interior de estas piezas.

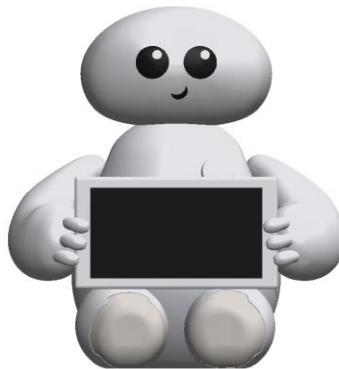
Para llegar a este diseño se consideró entre los aspectos más importantes el espacio que debería tener el robot en su interior para la instalación de los componentes electrónicos. Es así que, en la parte frontal del robot, se planea ubicar una pantalla táctil, por lo cual se toma como base el tamaño total de la pantalla para establecer las medidas de alto y ancho del robot. Este espacio es un aspecto fundamental debido a que permite la manipulación directa de la interfaz hombre-máquina (HMI), como se aprecia en la Figura 10.

Figura 9

Diseño visual del robot

**Figura 10**

Implementación de pantalla HMI al robot

***Segmentación de partes***

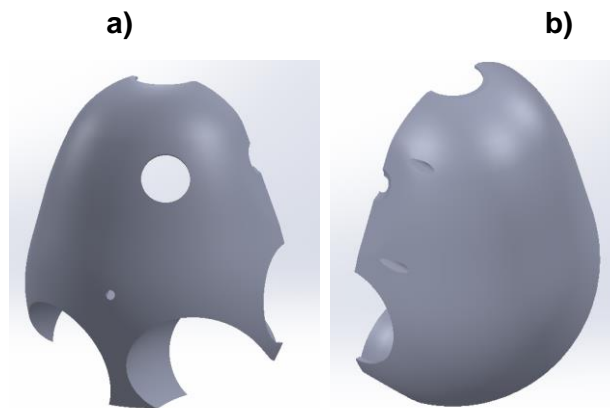
Una vez realizado el diseño preliminar, se pueden segmentar las partes que van a conformar el robot, para así poder construirlos mediante impresión 3D. En este apartado se detalla cada una de las partes que se construirán.

Cuerpo. Ha sido diseñado de tal manera que en la parte frontal puedan ser insertados los pies del robot, también consta de un orificio en la parte alta que permitirá la salida de audio y un orificio más pequeño destinado a la salida de cableado para la pantalla HMI, como se aprecia en la Figura 11.

La parte trasera del cuerpo tiene orificios para insertar tornillos M3, con el fin de cerrar esta sección del robot. Cabe recalcar que, en la parte superior de ambas partes se encuentra un orificio que permitirá la salida del mecanismo de movimiento de la cabeza.

Figura 11

Cuerpo simulado del robot: a) Parte delantera. b) Parte trasera.



Brazos y piernas. Los brazos cumplirán la función de sostener la pantalla HMI de tal manera que el usuario pueda hacer uso de ella, estos se pueden ver en la Figura 12. Por otra parte, las piernas serán huecas como se aprecia en la Figura 13, para que ahí se puedan situar luces led y el respectivo cableado.

Figura 12

Brazos simulados: a) Brazo derecho. b) Brazo izquierdo

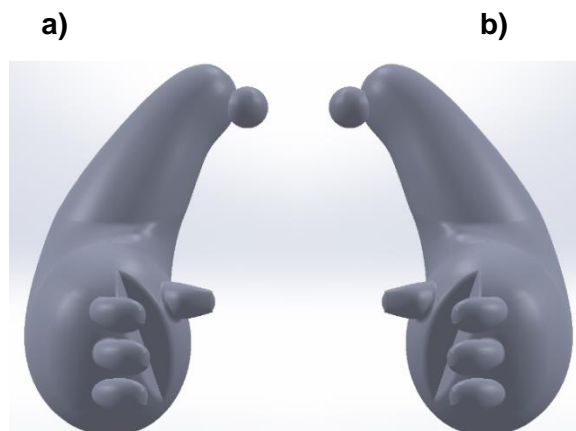
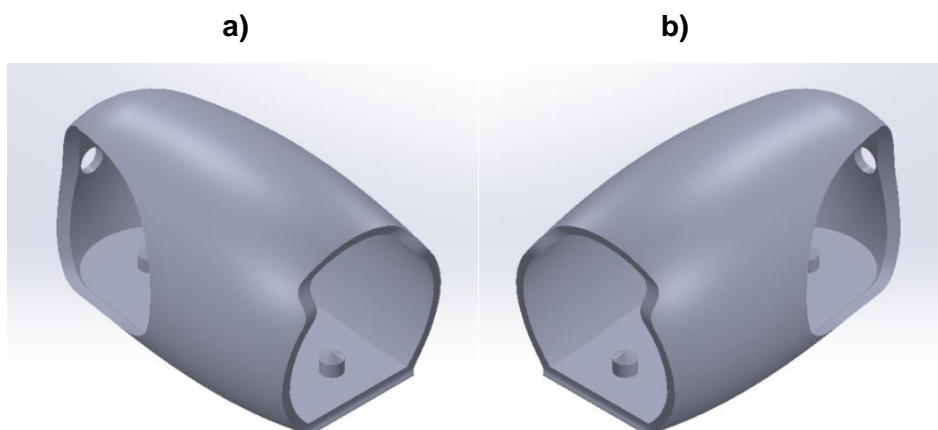


Figura 13

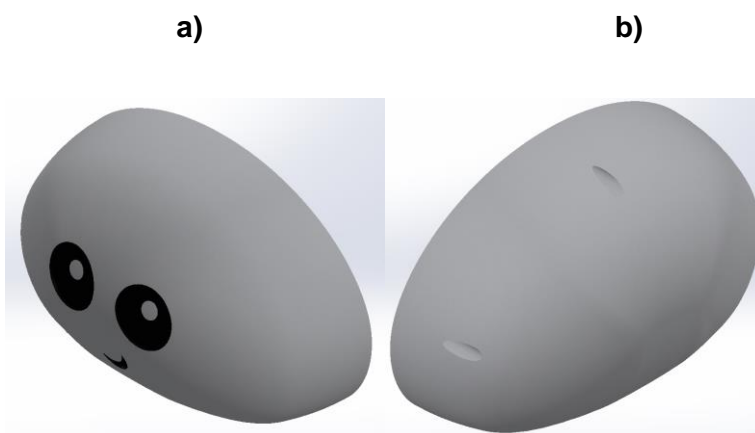
Piernas simuladas: a) Pierna derecha. b) Pierna izquierda.



Cabeza. Al igual que el cuerpo, consta de una parte delantera y una trasera, como se observa en la Figura 14, con orificios donde se podrán insertar tornillos M3, cuya finalidad es poder unir ambas partes para formar este elemento.

Figura 14

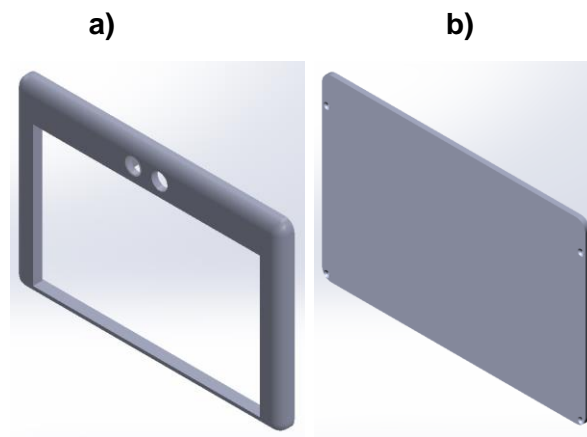
Cabeza simulada: a) Parte frontal. b) Parte trasera.



Carcasa de pantalla. Para la protección de la pantalla se va a colocar una carcasa con el fin de no exponer sus circuitos internos y pueda sufrir alguna avería. Además, tiene orificios hechos a medida para que ingrese un sensor ultrasónico. De igual manera, consta de dos partes para poder colocar la pantalla y luego cerrar, como se ve en la Figura 15.

Figura 15

Carcasa de pantalla simulada: a) Parte frontal. b) Parte trasera.



Pies, muslos y costados. En la Figura 16, Figura 17 y Figura 18 se pueden apreciar estos elementos, mismos que forman parte de las piernas y cuerpo del robot, pero a diferencia del resto de los elementos, se caracterizan porque tienen el fin de ser manipulados por los usuarios y además deben tener cierta transparencia que permita ver los colores de las luces que estarán en su interior, por lo tanto, debe ser construido en un material diferente al de los demás.

Figura 16

Pies simulados: a) Pie derecho. b) Pie izquierdo.

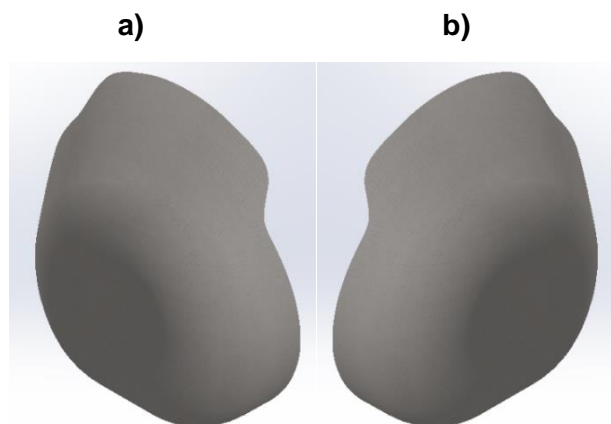
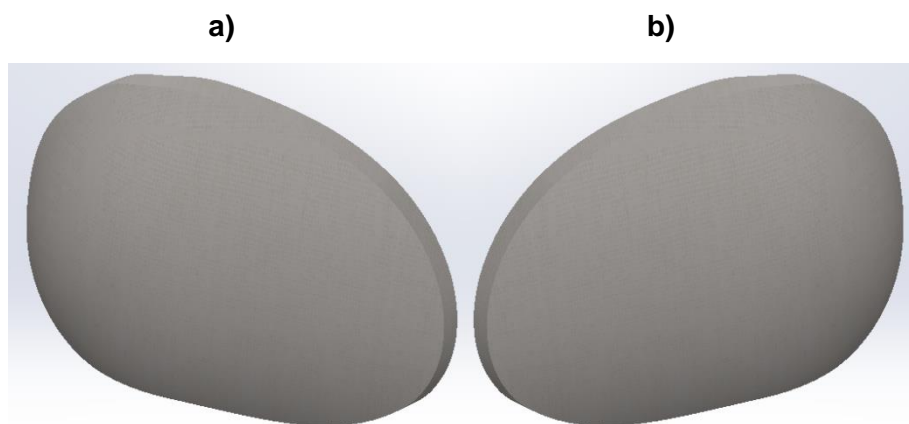
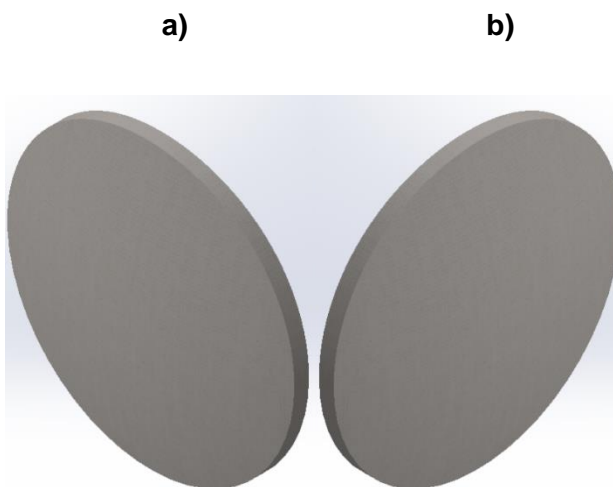


Figura 17

Muslos simulados: a) Muslo derecho. b) Muslo izquierdo

**Figura 18**

Costados simulados: a) Costado derecho. b) Costado izquierdo



Diseño de soporte y mecanismo

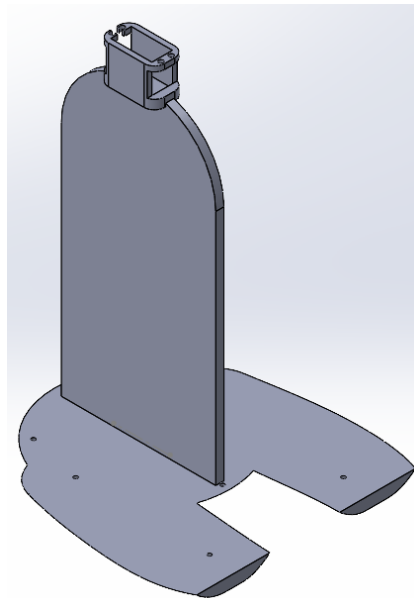
En la cabeza del robot se espera tener un mecanismo móvil que permita expresar: afirmación, negación y duda. En consecuencia, se ha diseñado un mecanismo de tres grados de libertad que permitan el movimiento de la cabeza. Previo a esto, se debe diseñar un soporte

para dicho mecanismo que a su vez sirva de base para colocar y unir todos los elementos previamente mencionados.

Base/Soporte. La base debe ser plana en la superficie de contacto con el lugar donde se va a apoyar el robot, para que de esta manera quede firme. A su vez, tendrá orificios para tornillos M3 que permitan asegurar las piezas a la base. Finalmente, en el centro de esta base se tendrá un soporte a manera de columna que permita soportar el peso de los elementos del mecanismo, servomotores y piezas de la cabeza. Todas estas características se observan en la Figura 19.

Figura 19

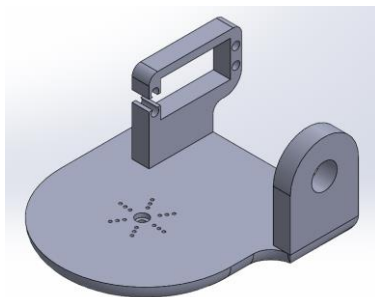
Base/soporte simulado



Mecanismo. El mecanismo de tres grados de libertad que se implementará en el interior de la cabeza constará de tres acoples, y permitirán la ejecución de gestos tales como la afirmación, la negación y la duda. En la Figura 20, Figura 21 y Figura 22 se aprecia la simulación CAD de estos acoples.

Figura 20

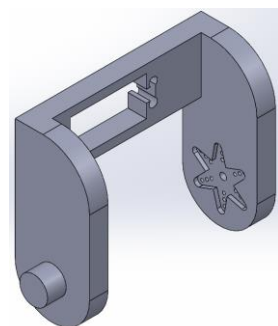
Acople simulado del primer grado de libertad



Nota. El primer grado de libertad ejecuta la acción de negación.

Figura 21

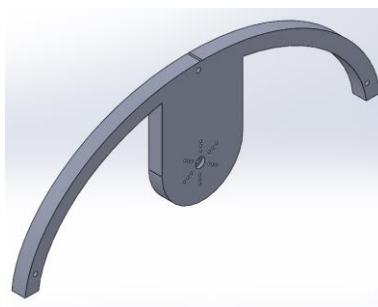
Acople simulado del segundo grado de libertad



Nota. El segundo grado de libertad ejecuta la acción de afirmación.

Figura 22

Acople simulado del tercer grado de libertad

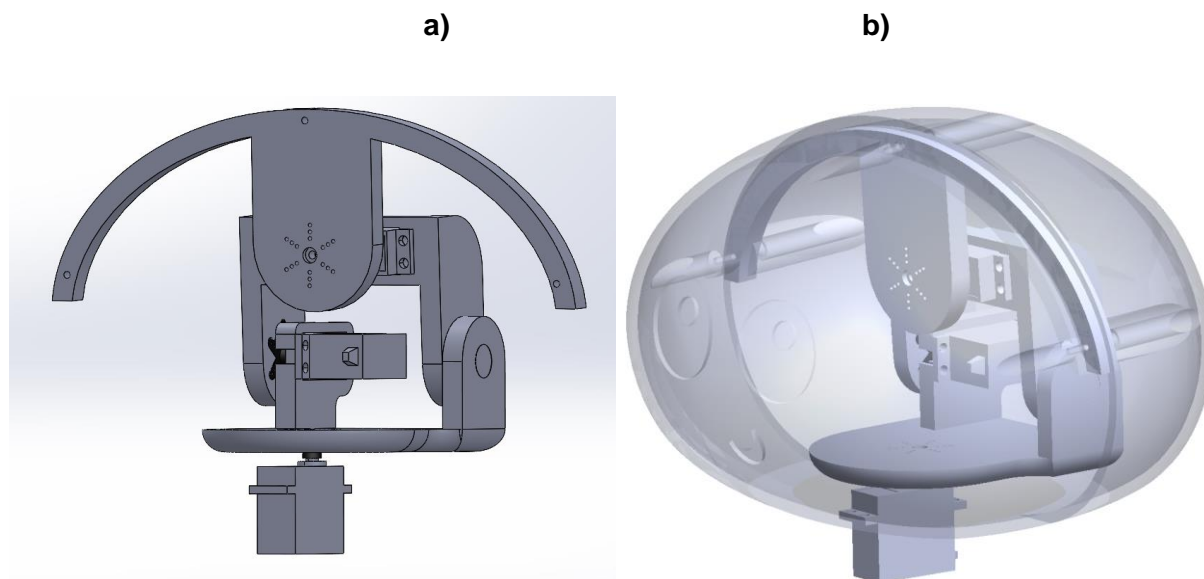


Nota. El tercer grado de libertad ejecuta la acción de duda.

De esta manera, cuando se unen estos acoples a los servomotores que darán movimiento a la cabeza del robot, se obtiene el mecanismo de tres grados de libertad que se observa en la Figura 23.

Figura 23

Mecanismo de la cabeza del robot: a) Sin carcasa b) Con carcasa



Selección de materiales

Los materiales seleccionados para la construcción del robot se basan en la disponibilidad, precio y objetivo de los mismos. El software CES EduPack servirá como apoyo en la búsqueda de estas características, para así establecer un análisis y escoger los más adecuados según las necesidades. Para este apartado se tomará en cuenta los siguientes elementos que forman parte del robot: carcasa, elementos de interacción y elementos móviles.



Carcasa. La carcasa corresponde a todos aquellos elementos que no interactúan de manera física con el usuario, es decir, únicamente se considera como el armazón del robot. Se debe tener en cuenta que todos los elementos han sido diseñados mediante un software CAD, lo que implica que la construcción de estos elementos debe ser realizada en impresoras 3D;

por lo tanto, se busca un material suficientemente resistente para su uso, pero a la vez, con características termo-moldeables para su impresión.

Gracias a estas consideraciones se ha podido establecer que el material más adecuado para la construcción de la carcasa del robot es el Polímero ABS. Este material es fuerte, tenaz y fácil de moldear. Entre sus principales cualidades se encuentra su amplia paleta de colores, gran tenacidad a los golpes y no es tóxico, lo que lo hace un excelente material para el uso en niños. Cabe destacar que es de fácil adquisición y su precio es accesible. Todas estas características se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Características del Polímero ABS

| Propiedad | Descripción | Gráfico |
|--------------------|---|--|
| Definición general | Las propiedades del ABS permiten moldeos detallados, acepta una amplia paleta de colores, no es tóxico y es suficientemente tenaz como para sobrevivir todo lo que los niños puedan infringirle |  |
| Composición | Bloques de terpolímero de acrilonitrilo (15-35%), butadieno (5-30%) y estireno (40-60%). |  |
| Densidad | $1.03 \times 10^3 - 1.06 \times 10^3 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ | |
| Límite elástico | $34.5 - 49.6 [Mpa]$ | |
| Precio | $2.69 - 3.25 \left[\frac{USD}{kg} \right]$ | |

Nota. Datos tomados de Granta Design, 2023


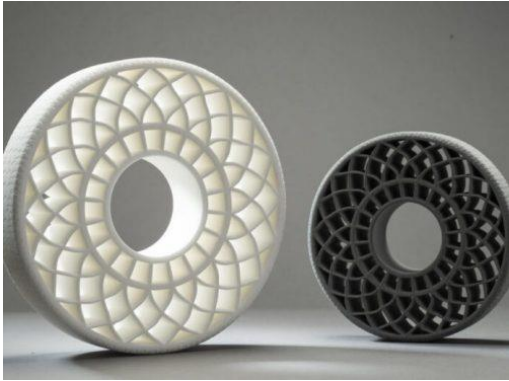
Elementos de interacción. Estos elementos tienen como objetivo ser manipulados por el usuario, es por esto que se considera entre los requerimientos que sea construido con un

material flexible. De esta manera, los usuarios podrán manipular partes del robot sin que puedan lastimarse o dañar el equipo. Además, este material debe tener cierta transparencia debido a que en su interior se integrarán luces para hacer mucho más llamativo al robot.

Por cuestiones de disponibilidad y costos, además de las consideraciones anteriores, se ha determinado que el mejor material para este fin es el poliuretano termoplástico. Este material viene en presentación de filamento para impresoras 3D y es conocido como filamento TPU. Este material se caracteriza por ser: blando, elástico, no tóxico, termo-moldeable, entre otras, como se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 4

Características del material TPU

| Propiedad | Descripción | Gráfico |
|--------------------|---|--|
| Definición general | Lo primero que viene en mente al pensar en el poliuretano es el material blando y elástico utilizado en la industria textil (lycra o spandex), pero también se puede presentar en apariencia curtida o rígida. Al igual que el PVC, los poliuretanos tienen grados termoplásticos, elastoméricos y termoestables. |  |
| Densidad | $1.12 \times 10^3 - 1.24 \times 10^3 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ |  |
| Elongación | 60 - 550 % | |
| Límite elástico | 40 - 53.8 MPa | |
| Precio | 4.45 - 4.91 $\left[\frac{USD}{kg} \right]$ | |

Nota. Datos tomados de Granta Design, 2023

Elementos móviles. En la cabeza del robot se instalará un mecanismo de tres grados de libertad, por lo tanto, es necesario que este sea lo suficientemente resistente para que pueda generar el movimiento y no romperse o deformarse.

Debido a las características antes vistas en el Polímero ABS, se ha decidido implementar el mismo material para los elementos móviles. Cabe recalcar que, para hacer que este material sea mucho más resistente, se configura la impresión 3D para que tenga un relleno del 100%. Esto se aplica únicamente en los elementos que forman parte del mecanismo, mas no en los elementos de la carcasa.

Análisis de esfuerzos principales

Las simulaciones de análisis estático fueron realizadas en el software SolidWorks, en donde es necesario aplicar ciertas características a las piezas para que los resultados de la simulación sean lo más cercanos a la realidad. La primera característica a aplicar será el material de construcción de los elementos (Polímero ABS), con el fin de replicar las propiedades mecánicas del material, que se detallan en la Tabla 5. Finalmente, se hará uso de las fuerzas reales a las que son sometidas cada una de las piezas.

Tabla 5

Propiedades mecánicas del Polímero ABS

| Polímero ABS | |
|----------------------------------|---|
| Tipo de modelo | Isotrópico elástico lineal |
| Criterio de error predeterminado | Desconocido |
| Límite de tracción | 3×10^7 [N/m ²] |
| Módulo elástico | 2×10^9 [N/m ²] |
| Coefficiente de Poisson | 0.394 |
| Densidad | 1,020 [kg/m ³] |
| Módulo cortante | 3.189×10^8 [N/m ²] |

Nota. Datos tomados de SolidWorks, 2020

Para la obtención de las fuerzas a las que se verán sometidos los elementos, en primer lugar, se debe obtener los pesos que van a soportar dichos elementos. Para esto, se hace uso de una balanza, la cual arroja los valores mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6

Tabla de pesos

| Nombre | Peso a soportar |
|--------------------------------------|-----------------|
| Base/Soporte | 1.020 [kg] |
| Acople del primer grado de libertad | 0.871 [kg] |
| Acople del segundo grado de libertad | 0.751 [kg] |
| Acople del tercer grado de libertad | 0.637 [kg] |

A partir de estos datos se pueden obtener las fuerzas aplicando la fórmula de la ecuación (1), tomando en cuenta el dato de la gravedad que se considera como $9.81 \left[\frac{m}{s} \right]$.

$$F = m * g \quad (1)$$

$$F_1 = 1.020 * 9.81 = 10.0062 [N] \quad (2)$$

$$F_2 = 0.871 * 9.81 = 8.54451 [N] \quad (3)$$

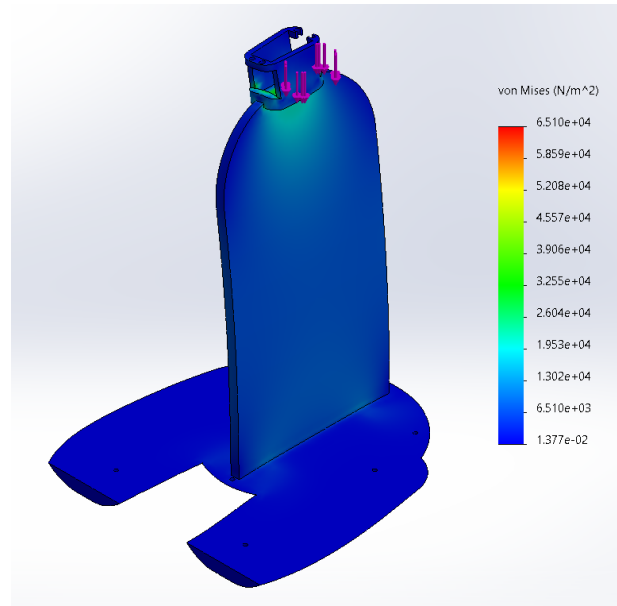
$$F_3 = 0.751 * 9.81 = 7.36731 [N] \quad (4)$$

$$F_4 = 0.637 * 9.81 = 6.24897 [N] \quad (5)$$

Base/Soporte. Este elemento es el más importante, debido a que soporta el peso de todo el mecanismo de movimiento, la carcasa de la cabeza y los servomotores. Para una correcta simulación de las tensiones que actúan en este elemento, se hace uso de la fuerza calculada en la ecuación (2).

Figura 24

Simulación de tensiones de Von Mises – Base/Soporte



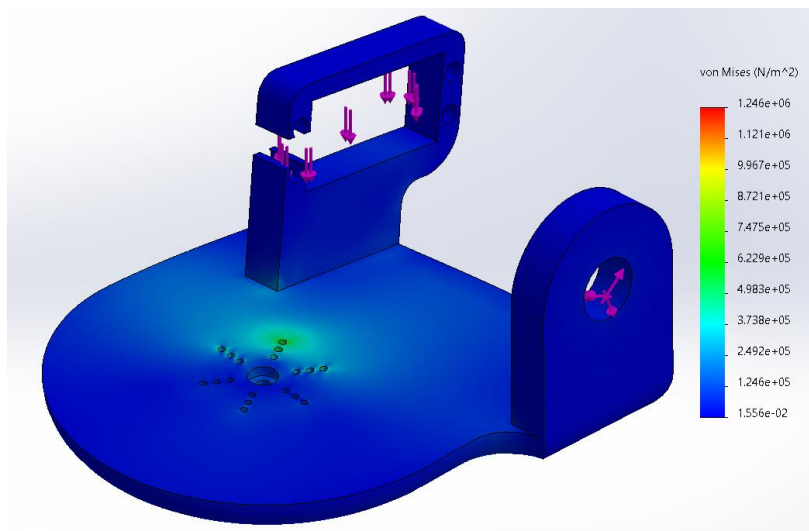
En la Figura 24 se puede apreciar el esfuerzo máximo soportado por este elemento, el cual es de $65096.33 \left[\frac{N}{m^2} \right]$, lo cual asegura que el material no cederá por la carga debido a que no excede el límite de tracción mostrado en la Tabla 5.

Acople del primer grado de libertad. Este elemento es el encargado del primer grado de libertad, es decir, ejecuta el gesto de negación en el robot. Sobre este acople se encuentran los elementos encargados de dar los movimientos de los dos grados de libertad restantes, por lo que soporta el peso de estos. En la ecuación (3) se obtuvo la fuerza que es aplicada sobre este acople.

En la Figura 25 se puede observar que existen tensiones evidentes en el centro de la base, en donde iría el acople para el servomotor, sin embargo, no son lo suficientemente altas como para que el elemento llegue a fallar. El esfuerzo máximo soportado por este elemento es de $1245842.25 \left[\frac{N}{m^2} \right]$.

Figura 25

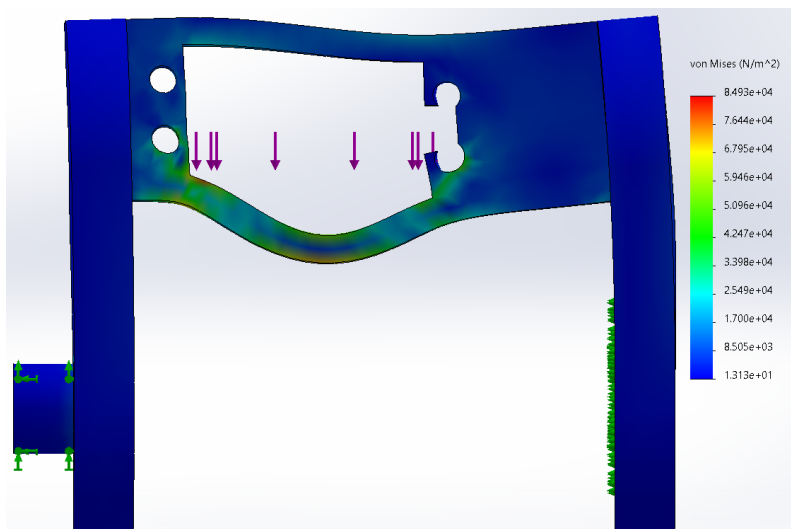
Simulación de tensiones de Von Mises – Acople del primer grado de libertad



Acople del segundo grado de libertad. Este acople se encarga de generar el segundo grado de libertad correspondiente al gesto de afirmación en el robot. Este elemento soporta el peso del último grado de libertad y la carcasa de la cabeza del robot. En la ecuación (4) se obtuvo la fuerza a la cual se somete.

Figura 26

Simulación de tensiones de Von Mises – Acople del segundo grado de libertad

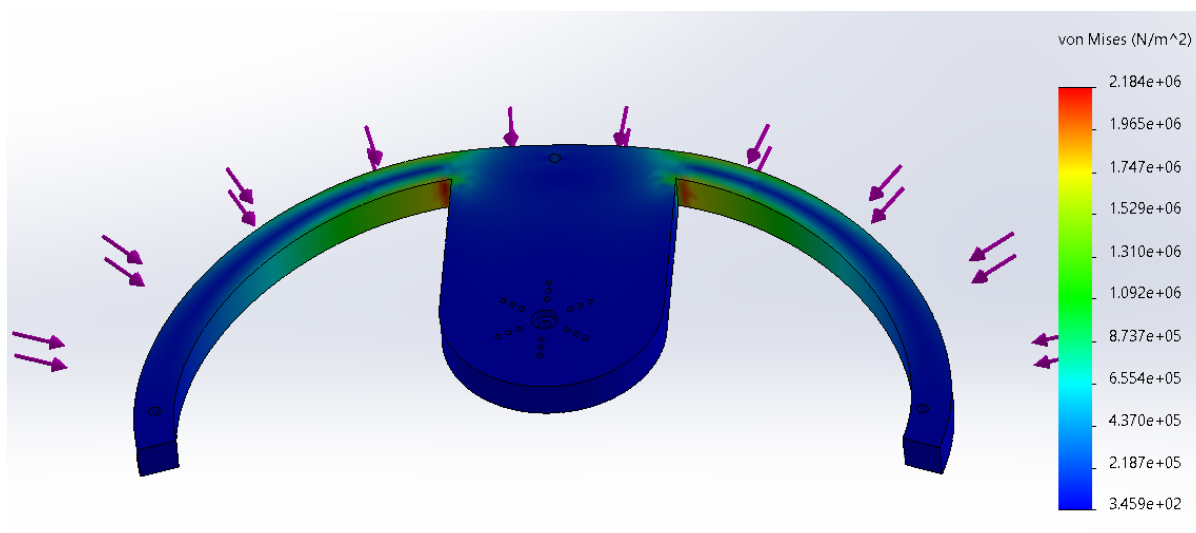


En la Figura 26 se observa como existe grandes tensiones en el área donde se ubicaría el servomotor. Esto es algo normal debido a que el peso se concentra en esa zona. No obstante, esto no representa ningún problema en el acople, ya que el esfuerzo máximo es de $84931.43 \left[\frac{N}{m^2} \right]$, lo que indica que no existirá fallo.

Acople del tercer grado de libertad. Finalmente, se encuentra el acople encargado del último grado de libertad, que genera el gesto de duda en el robot. Este elemento soporta únicamente la carga de la carcasa de la cabeza del robot, que fue calculada previamente en la ecuación (5).

Figura 27

Simulación de tensiones de Von Mises – Acople del tercer grado de libertad



En la Figura 27 se puede apreciar cómo aparecen concentradores de esfuerzos en las esquinas. Esto podría evitarse haciendo un redondeo en dichas esquinas, sin embargo, no es necesario realizarlo porque no existe riesgo de fallo en este elemento, debido a que el esfuerzo máximo registrado es de $2183755.75 \left[\frac{N}{m^2} \right]$.

Diseño electrónico

A continuación, se detalla el diseño y construcción del apartado electrónico del robot. Para esto se realizará una búsqueda de los elementos electrónicos óptimos para su uso en este robot, así como la programación de los microcontroladores, el diseño de los circuitos y finalmente la construcción de los mismos en placas PCB.

Selección de componentes electrónicos

El robot posee varios elementos electrónicos en su interior y exterior. Entre estos elementos se encuentran actuadores, sensores, tarjetas de adquisición de datos, entre otros. En este apartado se seleccionará, entre varias opciones, los elementos óptimos que se consideren, realizando una comparativa de sus principales características.

Pantalla HMI. Se opta por buscar una pantalla que permita el diseño de una interfaz dinámica en las dimensiones necesarias para que sea aceptable a los objetivos planteados. De igual manera, se toma en cuenta la compatibilidad existente con los módulos de adquisición de datos, así como su coste beneficio. Estos aspectos se analizan en la Tabla 7.

Tabla 7

Comparativa para selección de pantalla HMI

| Pantalla HMI | Tamaño | Tipo de táctil | Capacidad de memoria | Alimentación | Precio |
|---------------------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------|---------------|
| SunFounder Raspberry Pi 4 | 10.1" | - | - | 5V - 2.5A | USD 145 |
| Nextion NX8048P070 | 7" | Resistivo | 128 MB | 5V - 1A | USD 120 |
| Nextion NX1060P101 | 10.1" | Capacitivo | 128 MB | 5V - 2A | USD 150 |

La pantalla seleccionada fue una Nextion modelo NX1060P101 debido a su gran facilidad de programación de interfaces gráficas, a la compatibilidad existente para interactuar

con tarjetas de adquisición de datos como Arduino y Raspberry, a la presencia de una salida de audio controlable y al espacio de memoria disponible para almacenar información. Además, al poseer tecnología táctil capacitiva, permite un mejor manejo por parte de los niños. Existen otros modelos en el mercado que, aunque tengan un coste menor sus características, no igualan a este modelo que dispone de todos los medios que se necesitan para la realización de este proyecto.

Tarjeta de adquisición de datos. Para la programación de todo el sistema se decidió emplear una DAQ que permita la manipulación de datos, así como el control de entradas y salidas digitales mediante programación. Por otro lado, se busca crear un intercambio de información con un entorno web, para lo cual, es necesario contar con una DAQ que incluya un sistema integrado de comunicación inalámbrica. Se realiza una comparación de características en la Tabla 8.

Tabla 8

Comparativa para selección de tarjeta de adquisición de datos

| Tarjeta DAQ | Tipo de placa | Tipo de programación | Dimensiones | Conexión Wifi | Precio |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------|---------|
| NodeMCU ESP8266 | CPU Tensilica L106 | C++ | 4.9x2.6x1.2 cm | Sí | USD 10 |
| Arduino Uno | Microcontrolador ATmega328P | C++ | 8x5.51x2.49 cm | No | USD 12 |
| Raspberry pi 4 | Micrordenador SoC BCM2711 | JavaScript/ Python | 12.19x7.59x3.4 cm | Sí | USD 140 |

El modelo que se emplea para este proyecto es la ESP8266 debido a su facilidad de programación, a su compatibilidad con protocolos de comunicación web, librerías de periféricos externos, la relación coste beneficio que esta brinda, así como su dimensionamiento compacto

y fácil adquisición. Además, trae integrado un módulo Wifi que permite aprovechar de mejor manera el uso del protocolo de comunicación MQTT.

Sensor de distancia. En la parte superior de la pantalla HMI, se ubicará un sensor que permita medir la distancia a la que se encuentra el usuario, con el objetivo de que el niño no acerque demasiado su rostro a la pantalla. Asimismo, se busca un sensor con compatibilidad a Arduino para que su programación sea sencilla. En la Tabla 9 se analiza la mejor entre dos opciones de sensores.

Tabla 9

Comparativa para selección de sensores de distancia

| Sensor | Rango de medición | Voltaje de operación | Dimensiones | Precio |
|----------------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------|
| Sensor de presencia SR501 | 300-500 cm | 5-12 V | 32x24x18 mm | USD 2.50 |
| Sensor ultrasónico HC-SR04 | 2-450 cm | 5 V | 45x20x15 mm | USD 3 |

El sensor elegido es el sensor ultrasónico HC-SR04 debido a su facilidad de programación en el software Arduino IDE y su rango de medición. Además, es un elemento de fácil adquisición por su disponibilidad y precio.

Sensor para detección de toque. Para que los elementos interactivos puedan enviar una señal, estos deben tener un sensor que reconozca, sin mayor esfuerzo, cuando han sido tocados. Se debe considerar que estos sensores deben ser de un tamaño muy pequeño para que pueda ser imperceptibles dentro de las impresiones 3D realizadas en material TPU.

Tabla 10

Comparativa para la selección de sensores para detección de toque

| Sensor | Capacitivo | Voltaje de operación | Tipo de señal | Precio |
|-------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|---------------|
| Sensor piezoeléctrico | No | 3.3-5 V | Analógica | USD 1 |
| Sensor Táctil TTP223 | Si | 2-5.5 V | Digital | USD 2 |

Luego de la comparación de los sensores presentados en al Tabla 10, se determina que el sensor seleccionado es el sensor Táctil TTP223 debido a que tiene la cualidad de ser un capacitivo, es decir, no es necesario ejercer fuerza sobre él para que la señal sea detectada. Esta característica es importante al momento de trabajar con niños, debido a que no es conveniente el uso de elementos que impliquen realizar fuerza o presión para que funcionen, como es el caso del sensor piezoeléctrico. El tipo de señal que este sensor capacitivo envía es de tipo digital, por lo que es de fácil manipulación en el código de programación.

Iluminación. Para que el robot sea más atractivo para los niños, se requiere que tenga luces de varios colores para así llamar la atención y a su vez se asemeje más a un juguete. Estas luces deben tener la característica de cambiar de color mediante programación, por lo que se sugiere que las luces sean RGB. A continuación, se presenta la comparativa entre las opciones a escoger en la Tabla 11.

Tabla 11

Comparativa para la selección de luces

| Tipo de luces | RGB | Voltaje de operación | Protección | Precio |
|----------------------|------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|
| Diodo LED | Si | 5 V | Encapsulado transparente | USD 0.10 c/u |
| Tiras LED 5050 | Si | 12 V | Recubrimiento de silicona | USD 15 |

Por su disponibilidad y fácil uso, se ha optado por tiras LED RGB para la iluminación del robot. Estas luces pueden ser controladas mediante el módulo ESP8266, para lo cual, se necesitará de tres mosfet IRF530 para controlar cada uno de los colores: rojo, verde y azul.

Servomotores. Estos elementos están encargados de generar el movimiento en la cabeza del robot y se acoplará uno por cada una de las partes del mecanismo de tres grados de libertad. Deben tener el torque suficiente para sostener el peso de los componentes de la cabeza. Para comprobar esto, se calcula el torque máximo que tendría que soportar un servomotor para generar el movimiento de la cabeza con la ayuda de la ecuación (6).

$$T = F * D \quad (6)$$

Los datos a usar para el cálculo del torque se basarán en la fuerza máxima a la que se someterá los servomotores, lo cual fue calculado previamente en la ecuación (2) y en el radio de los acoples del eje de un servomotor común que es 0.0165 [m]. Con este dato se procede a la comparación mostrada en la Tabla 12.

$$T_{max} = 10.0062 * 0.0165 = 0.165 [N * m] \quad (7)$$

Tabla 12

Comparativa para la selección de servomotores

| Servomotor | Voltaje de operación | Torque | Peso | Tipo de eje | Precio |
|-------------------|----------------------|-----------|------|-------------|--------|
| Servomotor MG958 | 4.8-6.6 V | 1.765 N*m | 65 g | Metálico | USD 15 |
| Servomotor MG996R | 4.8-7.2 V | 0.922 N*m | 55 g | Metálico | USD 8 |
| Servomotor SG90 | 4-7.2 V | 0.118 N*m | 9 g | Plástico | USD 3 |

En consideración, al torque máximo calculado en la ecuación (7) y a la disponibilidad del elemento se ha optado por seleccionar al servomotor MG958. Esto debido a su alto torque, por el cual no supondrá problemas al momento de mover los elementos de la cabeza del robot. Al

tener un mecanismo de tres grados de libertad, es necesario la adquisición de tres servomotores, uno por cada grado de libertad.

Fuente de alimentación. Para el abastecimiento de energía de todos los componentes escogidos previamente, se requiere de una fuente de alimentación lo suficientemente potente para que los elementos se enciendan y trabajen eficientemente. Para esto, se procede a adquirir los valores de potencia consumida de cada elemento electrónico seleccionado previamente, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Potencia consumida por cada elemento

| Nombre | Potencia |
|-----------------------------|-----------------|
| Pantalla Nextion NX1060P101 | 10 W |
| Módulo ESP8266 | 0.24 W |
| Sensor ultrasónico HC-SR04 | 0.075 W |
| Sensor Táctil TTP223 | 0.0000165 W |
| LED RGB 5050 | 0.24 W |
| Servomotor MG958 | 8 W |

Nota. Los parámetros de potencia fueron obtenidos de la ficha técnica de cada uno de los elementos.

Para obtener la potencia total consumida por todo el sistema electrónico, se debe considerar que, en ciertos casos, se hará uso de más de una unidad del elemento por lo que la potencia de dicho elemento se deberá multiplicar por el número de unidades a utilizar.

Tabla 14*Potencia total consumida*

| Nombre | Cantidad | Potencia |
|-----------------------------|----------|---------------|
| Pantalla Nextion NX1060P101 | 1 | 10 W |
| Módulo ESP8266 | 4 | 0.96 W |
| Sensor ultrasónico HC-SR04 | 1 | 0.075 W |
| Sensor Táctil TTP223 | 2 | 0.000033 W |
| LED RGB 5050 | 87 | 20.88 W |
| Servomotor MG958 | 3 | 24 W |
| Potencia total | | 55.9 W |

Para evitar posibles sobrecalentamientos en el sistema electrónico, se añade un 20% del valor de la potencia total consumida obtenida en la Tabla 14. De esta manera, la potencia total que consumen los elementos electrónicos es de 67.08 W, para lo cual, se deberá buscar una fuente de alimentación que iguale o supere este valor. Para determinar la mejor opción se realiza la comparativa como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15*Comparativa para la selección de fuentes de alimentación*

| Fuente de alimentación | Voltaje de entrada | Voltaje de salida | Corriente de salida | Potencia | Precio |
|---|--------------------|-------------------|---------------------|----------|---------|
| Fuente de alimentación conmutada S-60-12 | 110-240 V (AC) | 12V | 5A | 60W | USD 8 |
| Fuente de alimentación conmutada S-120-12 | 110-240 V (AC) | 12V | 10A | 120W | USD 18 |
| Batería de LiPo HRB | - | 14.8V | 10000mAh | 120W | USD 100 |

Los aspectos más importantes que se tomaron en cuenta para la selección de la fuente de alimentación fueron: el precio de la misma, la facilidad de adquisición y la capacidad de abastecimiento para el consumo de potencia. Es por esto que se ha optado por la fuente de alimentación conmutada S-120-12 que entrega 120W, que son suficientes para el funcionamiento del sistema, además que tiene un precio muy accesible.

Conclusión de la selección de componentes electrónicos. Considerando los requerimientos propios de un sistema ciberfísico, las necesidades de los usuarios y las opciones comerciales, se ha podido llegar a la selección de los componentes eléctricos óptimos para la elaboración de este proyecto, mismos que se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16

Elementos electrónicos seleccionados

| Elemento | Mejor opción | Cantidad |
|------------------------------------|--|-----------------|
| Pantalla HMI | Pantalla Nextion NX1060P101 | 1 |
| Tarjeta de adquisición de datos | Módulo ESP8266 | 4 |
| Sensor de distancia | Sensor ultrasónico HC- SR04 | 1 |
| Sensor para detección de toque | Sensor Táctil TTP223 | 2 |
| Iluminación | LED RGB 5050 | 1 |
| Servomotores | Servomotor MG958 | 3 |
| Fuente de alimentación | Fuente de alimentación conmutada S-120-12 | 1 |

Programación de microcontroladores

Una vez realizada la selección de componentes, se debe establecer las funciones de cada uno de ellos en el sistema. Los módulos ESP8266 son los encargados de controlar los actuadores, recibir señales y datos de los sensores, es decir, es un componente primordial.

En este apartado se detallará la programación de las funciones establecidas en los módulos ESP8266 para cada uno de los elementos electrónicos que actúan en el robot. Se debe acotar que, el sistema se divide en dos módulos que se encargarán de tareas distintas, y estos a su vez tendrán dos módulos ESP8266 cada uno, que interactuarán entre sí por medio del protocolo de comunicación MQTT.

El microcontrolador 1 recibe los datos enviados por la pantalla Nextion y envía dichos datos, mediante el protocolo MQTT, hacia el microcontrolador 2 para que los actuadores trabajen.

Figura 28

Primer módulo

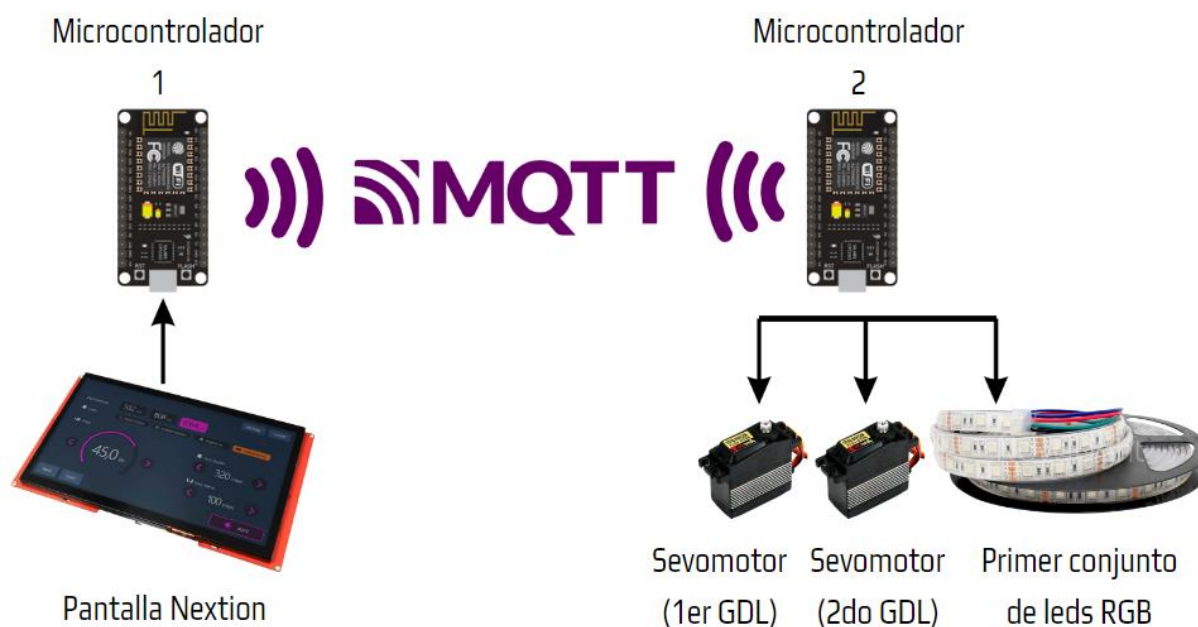
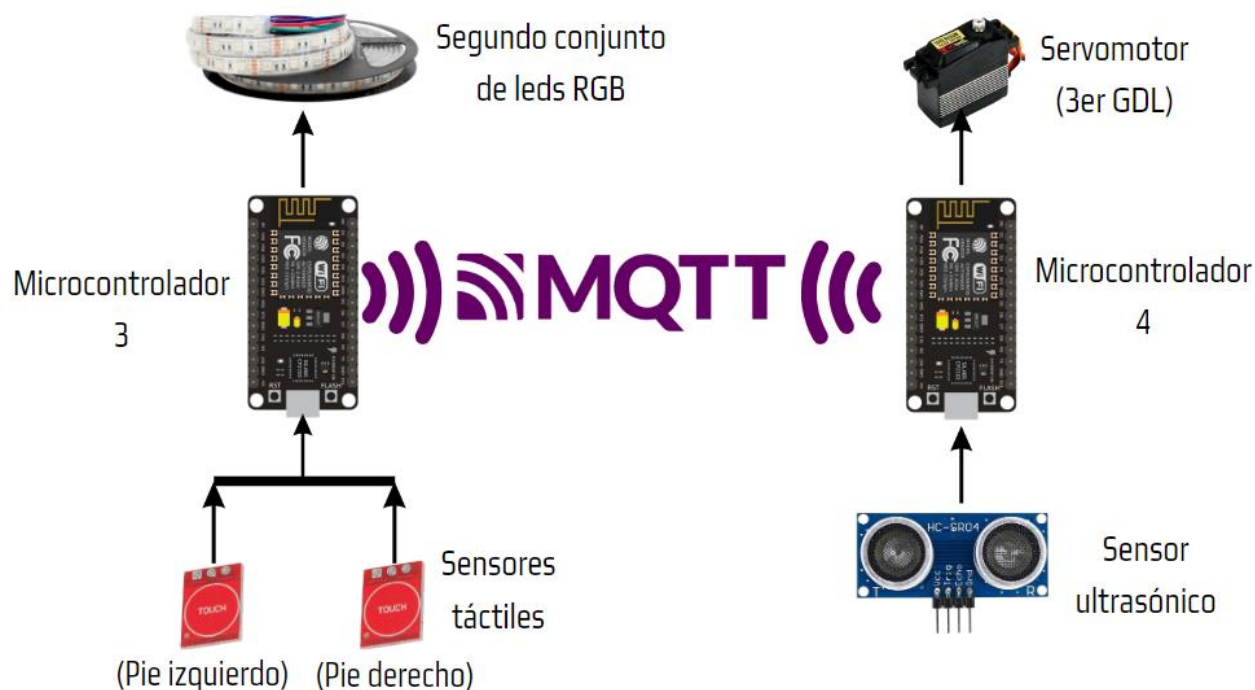


Figura 29*Segundo módulo*

El microcontrolador 3 recibe la señal de los sensores táctiles ubicados en cada uno de los pies del robot y envía mediante el protocolo MQTT los datos al microcontrolador 4 para que trabaje el servomotor del tercer grado de libertad. De la misma manera, El microcontrolador 4 recibe los datos de distancia enviados por el sensor ultrasónico y los envía, mediante el protocolo MQTT, hacia el microcontrolador 3 para que activen el segundo conjunto de leds RGB. Con base en los diagramas propuestos en la Figura 28 y Figura 29, se procede a la programación de cada uno de los módulos ESP8266.

Microcontrolador 1. Para realizar el intercambio de datos entre la pantalla HMI y la tarjeta de adquisición de datos es necesario emplear las librerías propias del fabricante Nextion que ofrece a los módulos Arduino la cual es “Nextion.h”. Puesto que la programación para Arduino es la misma que para la familia ESP8266 se pueden utilizar dichos comandos de la misma manera.

En primer lugar, se realiza la inicialización de los datos que se enviarán desde la pantalla Nextion hacia el módulo ESP8266, en este caso serán los datos de: nombre, apellido, edad, género y el resultado de cada uno de los ejercicios programados en el apartado del Diseño de interfaz humano-máquina (HMI). Para que estos datos sean leídos por el módulo ESP8266 es necesario ingresar línea de código mostrada en la Figura 30. Este código permite recibir un único dato del tipo "String" en el módulo ESP8266, por lo que se deberá realizar este proceso para cada uno de los datos que se deseen obtener.

Figura 30

Estructura y código para inicialización de datos a recibir Nextion-ESP8266

```
39 NexText nom = NexText (3,2,"t0");//Nombre
```

Nombre de la variable

Número de página en la que se encuentra el dato

ID asignada del elemento

Nombre del elemento

Nota. Los datos de número de página, id y nombre del elemento se pueden encontrar en el software de diseño de la HMI, Nextion Editor.

El siguiente comando inicializa todos los elementos que, al ser tocados en la pantalla HMI, permiten el envío de los datos hacia el módulo ESP8266. Se puede decir que, tiene una arquitectura similar a la vista anteriormente, como se puede apreciar en la Figura 31.

Figura 31

Estructura y código para inicialización de elementos táctiles

```
43 NexButton b_datos = NexButton (3,15,"b3");//Boton Envio Datos
```

Nombre de la variable

Número de página en la que se encuentra el elemento táctil

ID asignada del elemento

Nombre del elemento

Seguido a esto, se establece la lista de elementos táctiles a los cuales el módulo ESP8266 tendrá acceso desde la pantalla Nextion, como se observa en la Figura 32. Únicamente quedaría ingresar el comando “nexInit()” en la sección “void setup()” del código de Arduino para que, de esta manera, el microcontrolador queda lista para trabajar con los elementos previamente inicializados.

Figura 32

Código para acceso de elementos táctiles de la HMI en el módulo ESP8266

```
190 NexTouch *nex_listen_list[]=
191 {
192     &b_datos
193     NULL
194 };
```

Finalmente, el microcontrolador 1 se configura como un publicador para el protocolo de comunicación MQTT, es decir, enviará mensajes con los datos de información personal de los niños y los resultados de los ejercicios que realicen. Para esto se utilizan las librerías “ESP8266WiFi.h” y “PubSubClient.h”. Adicionalmente, se procede a ingresar las credenciales para la conexión a internet y el bróker con el cual se va a establecer la comunicación MQTT como se muestra en la Figura 33. El bróker con el que trabajará este proyecto es “broker.emqx.io”.

Figura 33

Credenciales de conexión a internet

```
30 const char* ssid = "ROBOTICA";
31 const char* password = "3$pe.2019.R0B0";
32 const char* mqtt_server = "broker.emqx.io";
```

En la sección de “void setup()” de Arduino se establece la conexión con el servidor MQTT y se indica el puerto en el que se va a trabajar que en este caso es el puerto 1883, mediante el código mostrado en la Figura 34.

Figura 34

Establecimiento de conexión con el bróker MQTT

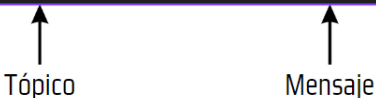
```
418 void setup() {  
419     Serial.begin(9600);  
420     setup_wifi();  
421     client.setServer(mqtt_server, 1883);
```

Para concluir, se usa el siguiente código para el envío de datos desde el publicador hacia el bróker MQTT y posteriormente al suscriptor, que será el microcontrolador 2. En el código de la Figura 35 se indica como establecer el tópicos y el mensaje a enviar

Figura 35

Estructura y código para publicador MQTT

```
454 client.publish("Nombre", Nombre.c_str());
```



Al ser un código tan pesado, debido a la cantidad de datos que se tiene que recibir, se opta por no sobrecargar o saturar el microcontrolador con tanta información, evitando así un funcionamiento lento o con errores. Por lo cual, el microcontrolador 1 fungirá únicamente como tarjeta de adquisición de datos para la pantalla HMI Nextion.

Microcontrolador 2. El segundo microcontrolador funcionará como un suscriptor en la comunicación del protocolo MQTT, lo que quiere decir que únicamente recibirá mensajes desde el bróker a través de los tópicos establecidos. Estos mensajes contendrán datos de tipo String que permitan que los actuadores trabajen.

Para la configuración del suscriptor MQTT, en primer lugar, se incluyen las librerías “ESP8266WiFi.h” y “PubSubClient.h” y se usan las mismas credenciales de nombre de red, contraseña y bróker MQTT, especificadas en la Figura 33. Luego, se establece la conexión con el bróker MQT, como se ve en la Figura 34, y finalmente se define el tópicos por el cual van a

llegar los mensajes hacia el suscriptor MQTT, haciendo uso de la línea de código presentada en la Figura 36.

Figura 36

Estructura y código para establecimiento de suscriptor MQTT

```
159 client.subscribe("Acciones");
```

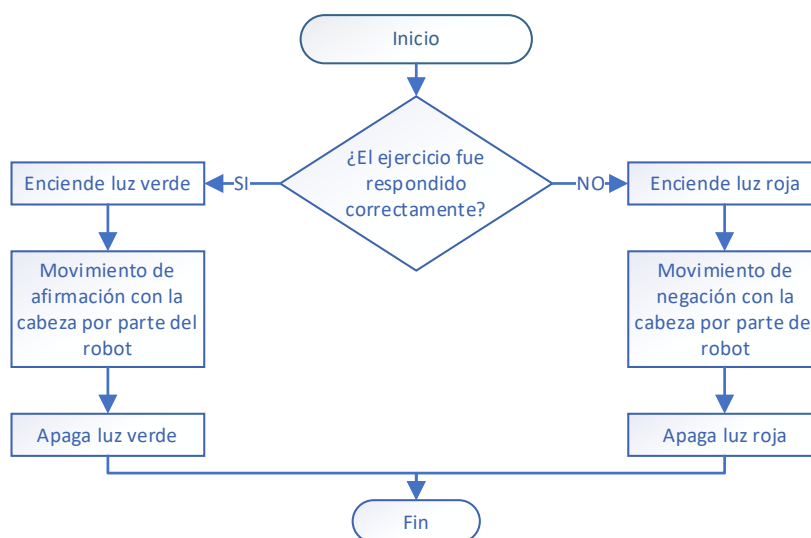
↑
Tópico

Una vez que se haya establecido la suscripción MQTT en el microcontrolador, se puede recibir los mensajes que el publicador haya enviado al bróker y este puede enviar los mensajes al suscriptor, siempre y cuando tengan el mismo tópico. Cuando estos mensajes llegan, pueden ser usados para el control de encendido de los leds y servomotores.

El control de encendido y apagado de los actuadores, depende de los mensajes que lleguen desde el publicador hacia el suscriptor, haciendo que este último ejecute las acciones establecidas para cada resultado, como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 37.

Figura 37

Diagrama de flujo de activación de retroalimentaciones visuales

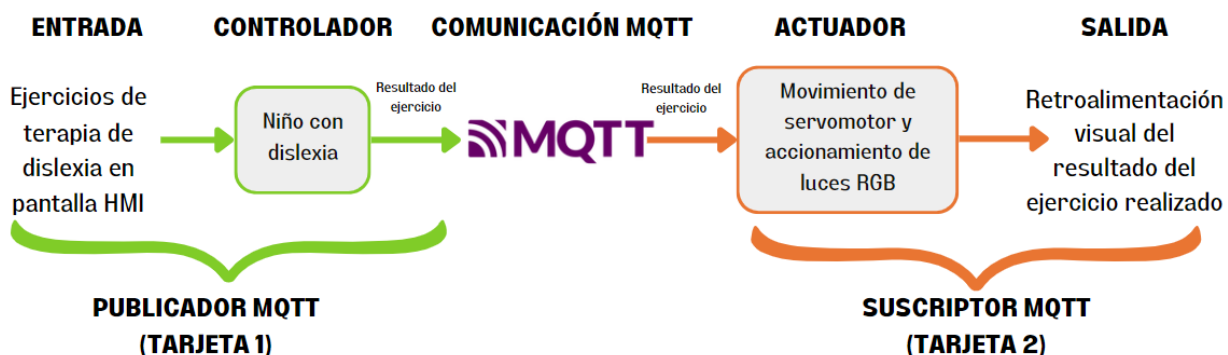


Así, el microcontrolador 2 queda lista para trabajar en conjunto con el microcontrolador 1 para conformar el primer módulo de funcionamiento del sistema, el cual es el más importante ya que es el que interactúa directamente con los niños que usen al robot.

De esta manera, el primer módulo completa su funcionamiento, el mismo que está basado en un sistema de control en lazo abierto. En la Figura 38 se puede observar a detalle cómo actúa este control en el primer módulo del sistema.

Figura 38

Sistema de control en lazo abierto para el primer módulo

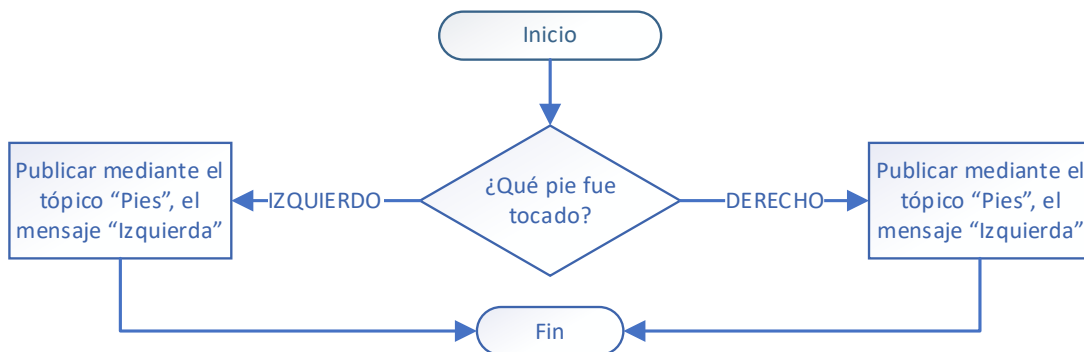


Microcontrolador 3. El tercer microcontrolador será declarado como publicador y suscriptor a la vez, esto debido a que mantendrá comunicación bilateral mediante MQTT con el microcontrolador 4. Por lo mismo, en esta tarjeta se implementa los comandos usados para la configuración del microcontrolador 1 como publicador, y conjuntamente, se emplea los comandos usados para la configuración del microcontrolador 2 como suscriptor.

Cuando el microcontrolador 3 actúa como publicador, recibe las señales enviadas por los sensores táctiles que se encuentran en los pies del robot. Estos datos son recibidos por el microcontrolador 3 y publicados hacia el bróker mediante el tópic "Pies". Para una mejor comprensión sobre el funcionamiento de la publicación de señales, se puede observar la Figura 39.

Figura 39

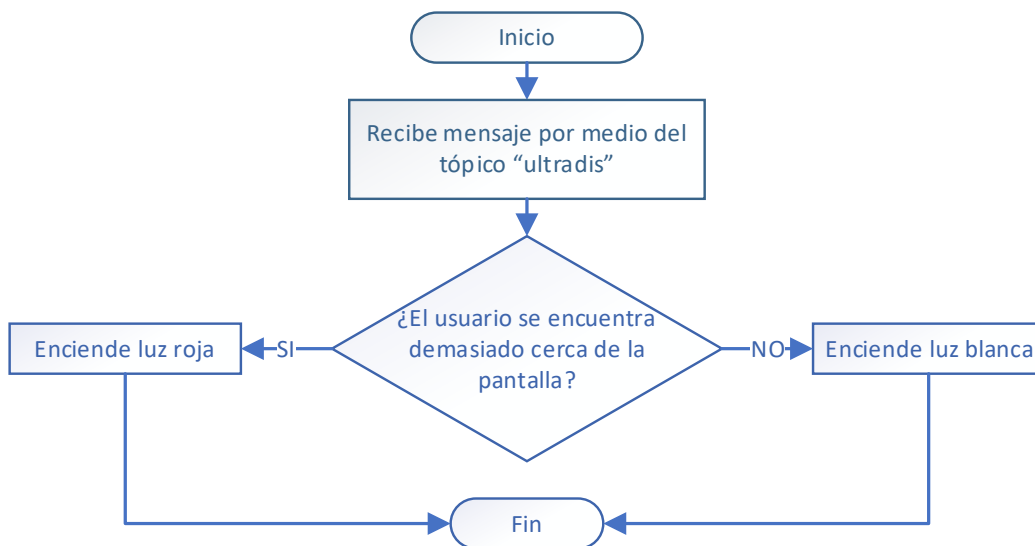
Código para publicación de señal de sensores táctiles



Quando actúa como suscriptor, recibe datos del sensor ultrasónico que determina si el usuario se encuentra a la distancia adecuada para el manejo de la pantalla táctil, en este caso son 25 cm. Este dato llega al suscriptor mediante el tópico “ultradis” y en caso de que se encuentre a la distancia adecuada, las luces RGB presentan una luz blanca, caso contrario, enciendan una luz roja. Este proceso se muestra de mejor manera en el diagrama de la Figura 40.

Figura 40

Diagrama de flujo de luces RGB



Microcontrolador 4. Al igual que el microcontrolador 3, esta va a funcionar como publicador y suscriptor a la vez, como se detalló en el apartado anterior, es decir, sigue la misma metodología y los mismos comandos para su programación.

Para que funcione como publicador, el microcontrolador recibe datos del sensor ultrasónico y envía dichos datos al bróker MQTT mediante el tópico "Distancia". Posteriormente estos datos son tratados para luego ser enviados hacia el suscriptor como se muestra en la Figura 41.

Para su funcionamiento como suscriptor, el microcontrolador 4 deberá recibir los datos enviados desde el bróker con información de los sensores táctiles. Dependiendo del sensor que haya sido tocado se activa el movimiento del servomotor correspondiente al tercer grado de libertad, que se encarga de realizar el gesto de pensamiento o duda en el robot, inclinando su cabeza hacia la derecha o izquierda. Este control se muestra de mejor manera en la Figura 42.

Figura 41

Diagrama de flujo de publicación de datos del sensor ultrasónico

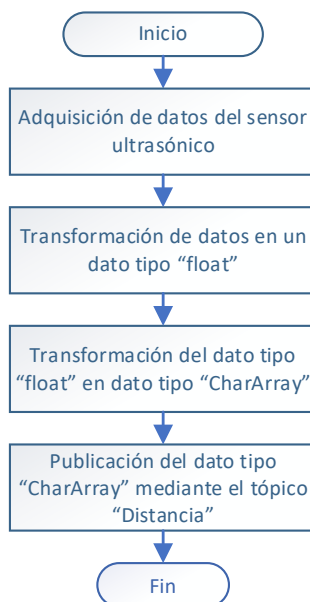
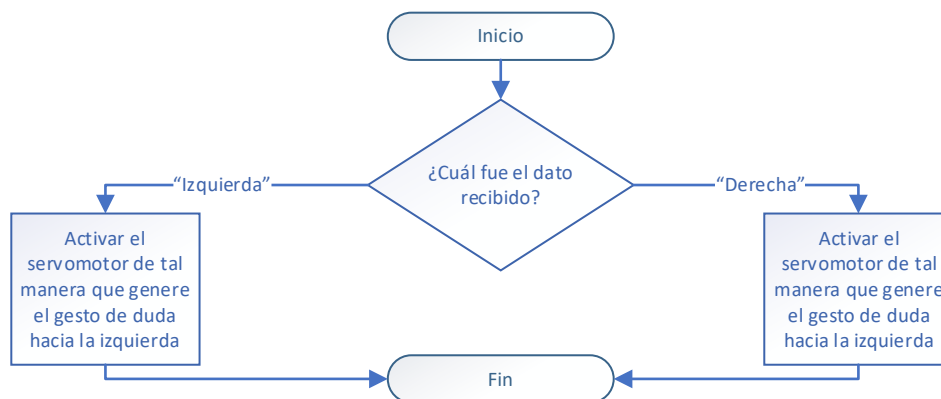


Figura 42

Diagrama de flujo de activación del servomotor para el gesto de duda



De esta manera, los microcontroladores 3 y 4, correspondientes al segundo módulo del sistema quedan listos para interactuar entre sí. Este segundo módulo usa dos sistemas de control de lazo abierto, los cuales se detallan en la Figura 43 y Figura 44.

Figura 43

Sistema de control en lazo abierto. Sensores táctiles-Servomotor

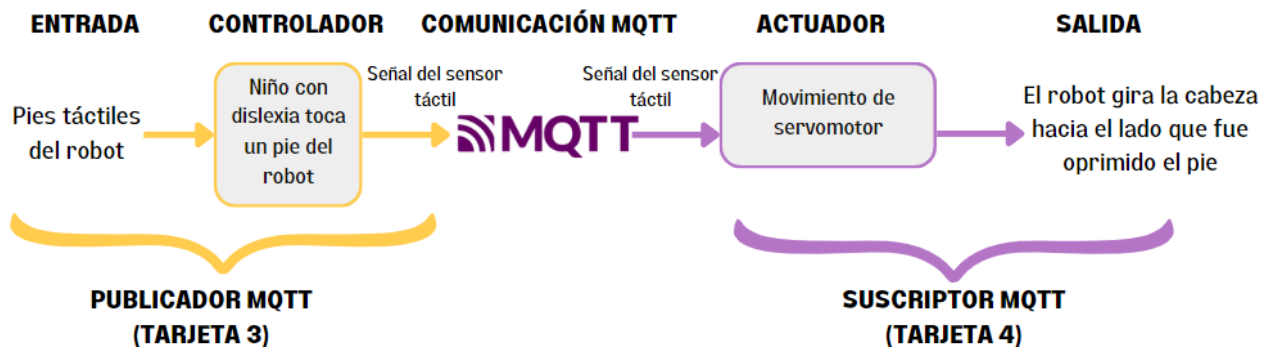
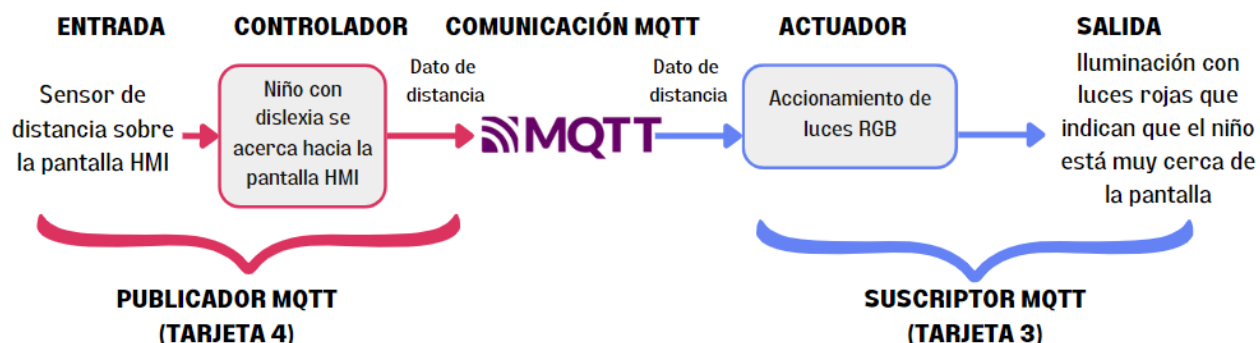


Figura 44

Sistema de control de lazo abierto. Sensor ultrasónico-Luces RGB



Diseño de placa electrónica

Los circuitos de conexión para el presente proyecto se dividirán en dos placas electrónicas. La placa principal se encargará, en primer lugar, de la reducción de voltaje de 12V que entrega la fuente de alimentación, a 5V. Este voltaje alimenta a elementos tales como: las tarjetas de adquisición de datos (ESP8266), la pantalla Nextion, el conjunto de luces led RGB y los servomotores encargados de dos grados de libertad. El detalle de conexiones del circuito se presenta en la Figura 45.

La placa secundaria se encarga de la adquisición de datos y señales enviados por los sensores ultrasónico y táctil, respectivamente. Además, controla el movimiento de un servomotor y un segundo conjunto de luces led RGB. Existirán dos módulos ESP8266, cada una en conexión con un sensor y un actuador. En la Figura 46 se detalla el diagrama de conexión del circuito.

Para la construcción de estas placas electrónicas se debe tener en cuenta el área en donde se va a colocar las placas, para de esta manera dimensionar correctamente y realizar una distribución adecuada de los elementos. En este caso, el área se ve delimitada por el ancho de la pieza Base/Soporte, ya que las placas serán ancladas con tornillos en esta pieza.

El área máxima que se puede usar es de 150x150 mm, es decir, las placas no pueden exceder estas medidas.

Figura 45

Esquema electrónico de la placa principal

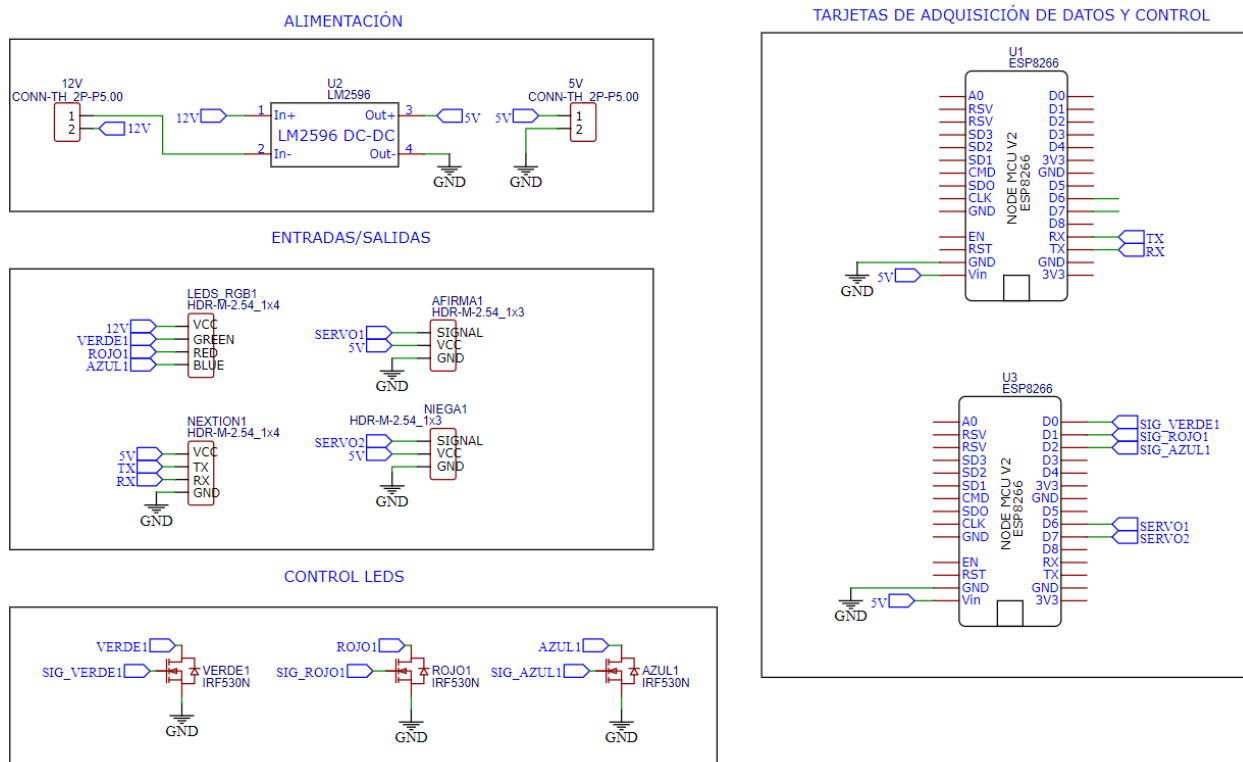


Figura 46

Esquema electrónico de la placa secundaria

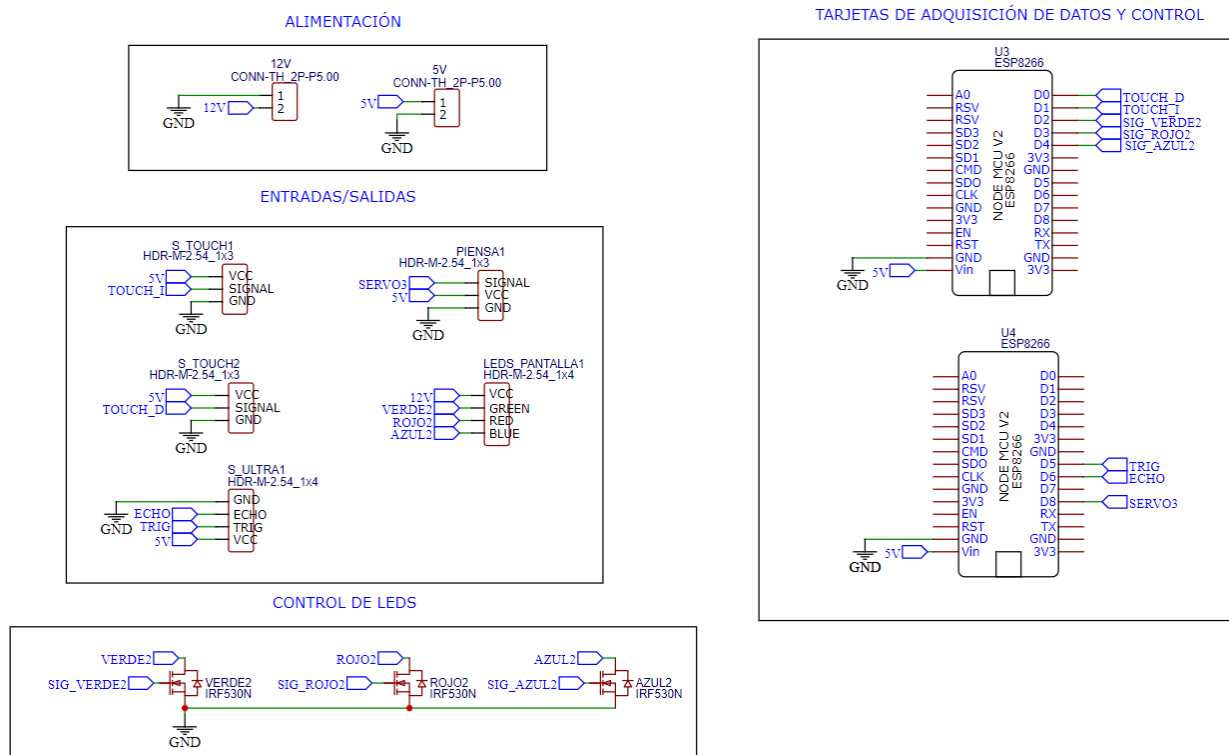
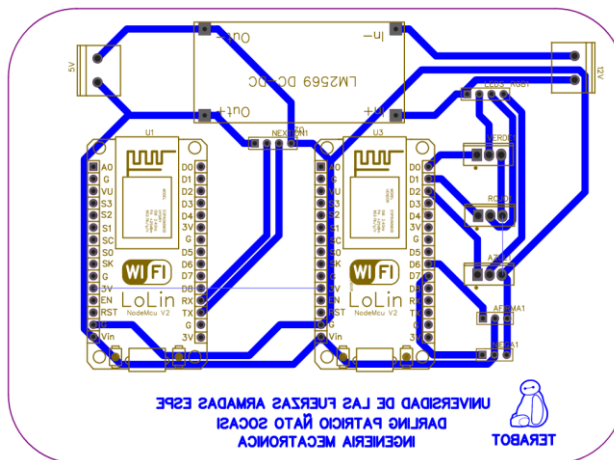


Figura 47

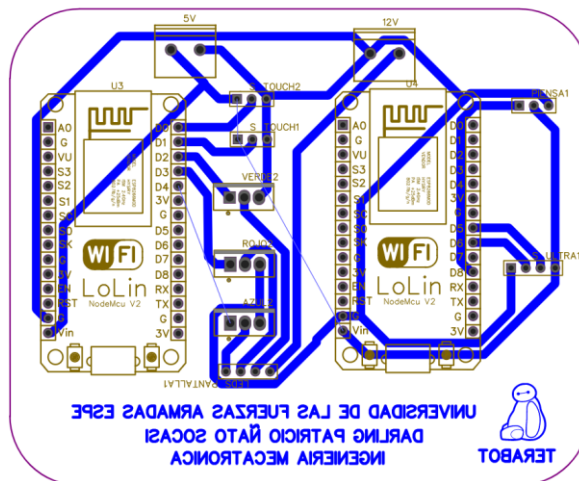
Diseño PCB para la placa principal



Nota. La placa principal tiene unas dimensiones de 130x100mm.

Figura 48

Diseño PCB para la placa secundaria



Nota. La placa secundaria tiene unas dimensiones 100x80mm.

La fabricación de las placas PCB, que se observan en la Figura 47 y Figura 48, se realizó mediante el método de grabado CNC, para que las placas sean funcionales y estéticas. La soldadura de los elementos electrónicos fue realizada de manera manual.

Figura 49

Placa PCB principal

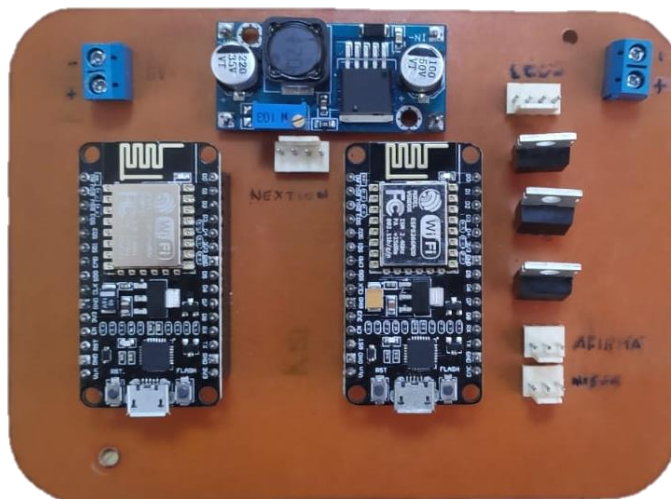
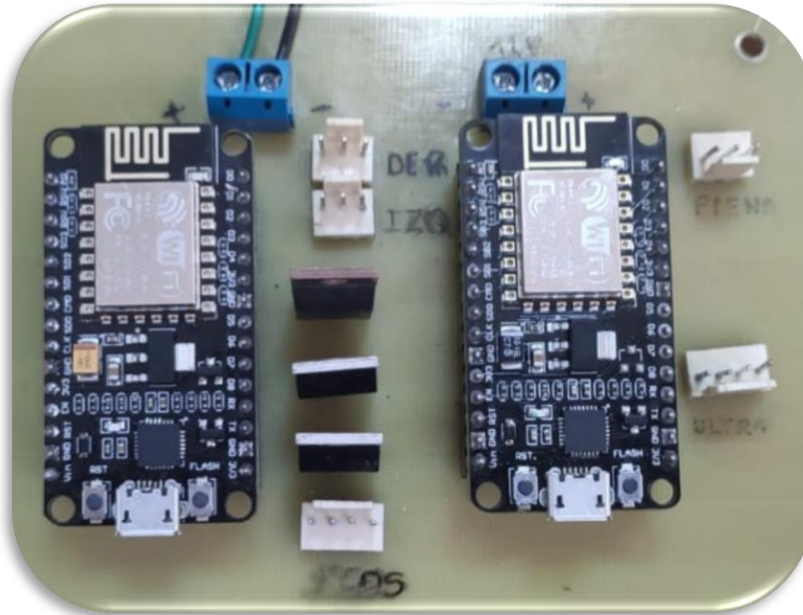


Figura 50

Placa PCB secundaria



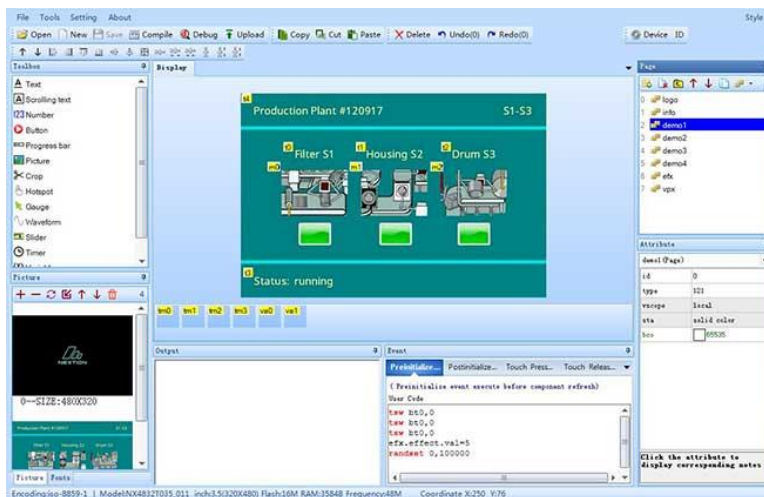
Una vez obtenidas las placas como se muestran en la Figura 49 y Figura 50, se opta por ubicarlas paralelamente, haciendo uso de separadores de placas para que los elementos no entren en contacto entre sí.

Diseño de interfaz humano-máquina (HMI)

El sistema implementado en este proyecto lleva consigo una interfaz gráfica implementada en una pantalla HMI de la marca NEXTION modelo NX1060P101. El fabricante de esta pantalla pone a disposición del usuario un software que permite el diseño y programación de todo tipo de interfaces gráficas que pueden ser utilizadas en diferentes proyectos, dicho programa se llama Nextion Editor (Figura 51) y otorga al usuario la libertad de utilizar todo un panel de elementos visibles y no visibles que pueden ser utilizados para determinadas funciones de una interfaz.

Figura 51

Interfaz del software Nextion Editor



Al ser una interfaz dinámica es necesario que los elementos visibles como son los botones, barras de desplazamiento, casillas de ingreso de texto, y demás; puedan interactuar entre sí de tal manera que cumpla un objetivo determinado. Para lograr eso es necesario establecer acciones de control a través de un lenguaje de programación. El software Nextion Editor ofrece al usuario un editor de texto “Event” que podrá ser utilizado con un lenguaje basado en C++, pero modificado para emplear comandos establecidos por la compañía Nextion para determinados elementos de la pantalla que pueden ser programados. También cuenta con una consola de visualización “Output” donde se podrá dar seguimiento al comportamiento de la pantalla ante una determinada acción.

Los aspectos más importantes a considerar antes de realizar el diseño de las pantallas para la interacción de niños con dislexia son las pautas de diseño y contenido que tendrán cada una de ellas. Este tema es de suma importancia debido a que se busca una herramienta que beneficie y aporte a la terapia de la dislexia, por lo que su contenido no puede contener elementos que retarden, retrocedan o generen conflicto con la terapia.

Según Rello (2018), existen ciertos parámetros que pueden ser usados para el diseño de un entorno en el cual interactúen personas con dislexia. Para este proyecto se tomarán en cuenta los parámetros de: tipografía, tamaño de fuente, colores y léxico.

Tabla 17

Parámetros para diseño de HMI

| Parámetro | Selección | Característica |
|------------------|---|--|
| Tipografía | Sans Serif | No contiene serifas que puedan llegar a dificultar la lectura de los textos. |
| Tamaño de fuente | Grande en función del tamaño de la pantalla | Permite la lectura de los textos sin mayor dificultad |
| Colores | Amarillo claro y crema | Colores suaves y cálidos |
| Léxico | Sencillo | Palabras frecuentes y fácil de reconocer para el lector |

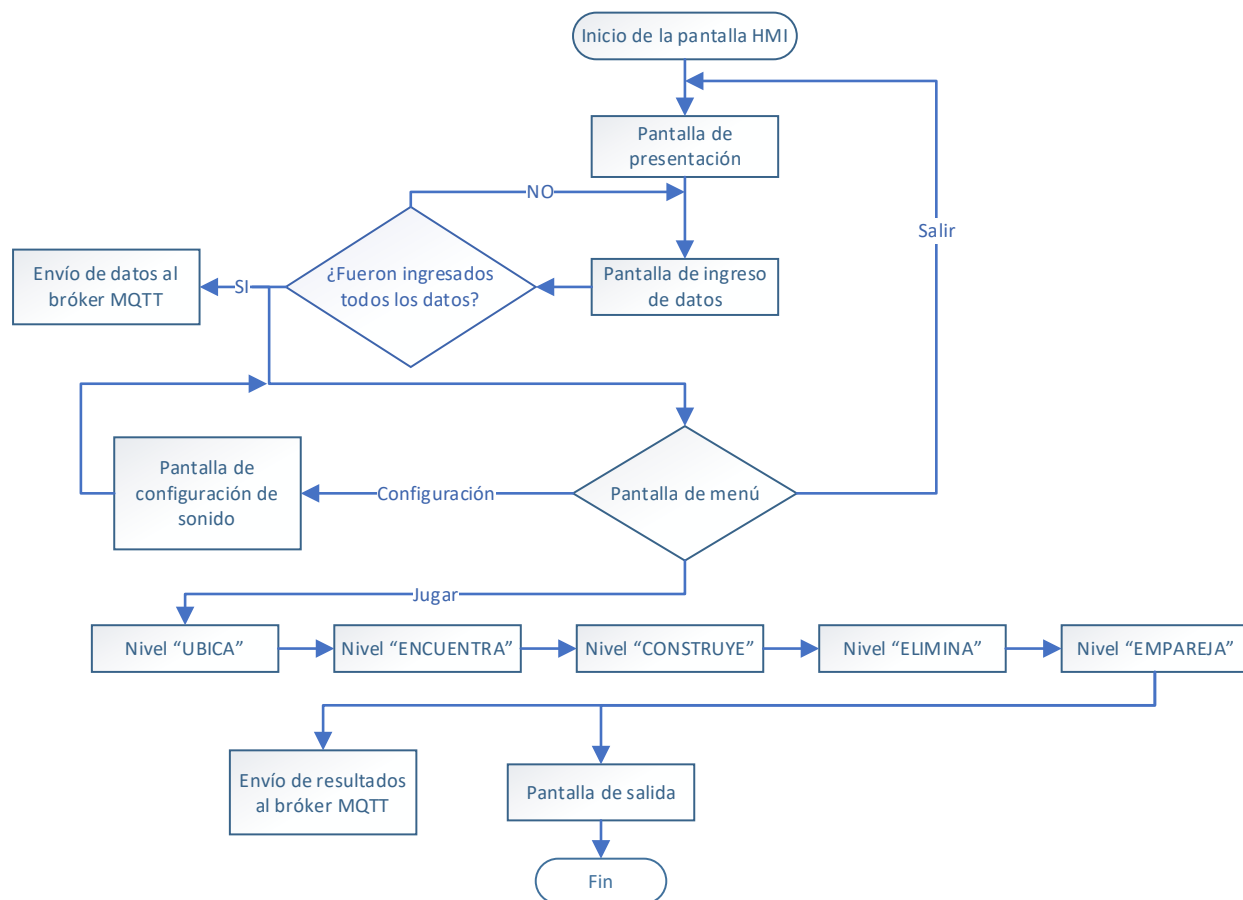
Tomando en cuenta las consideraciones mostradas en la Tabla 17, se puede diseñar las pantallas de interacción con la seguridad de que los niños no tendrán problemas en cuanto a la legibilidad y comprensión en las pantallas o en la navegación por la interfaz.

El diseño de la interfaz propuesta para este proyecto consta de: pantalla de inicio, ingreso de datos, menú, configuración de sonido y pantallas de interactividad. En este apartado se profundizará en el tema del diseño y elaboración de las pantallas, ya que, son muy importantes para el funcionamiento del robot.

Para una mejor comprensión del funcionamiento y flujo de la pantalla HMI, se presenta el diagrama de flujo de la Figura 52, en donde se presentan las principales acciones que realizará la pantalla HMI cuando esta sea ejecutada.

Figura 52

Diagrama de flujo del funcionamiento de la pantalla HMI



Pantalla principal e ingreso de datos

En la pantalla principal, como se puede visualizar en la Figura 53, se muestra el nombre del robot, la imagen del mismo y únicamente dos botones. Además, contiene una presentación del robot mediante un audio que se reproduce por el altavoz.

El botón central envía a la pantalla de registro de datos y el botón de la derecha lleva a una pantalla nueva en donde se muestra un código QR, como se ve en la Figura 54, que puede ser escaneado para visualizar la página web en donde se muestra el registro de datos y resultados de los niños que usen al robot. Este apartado se detalla en Diseño de la comunicación MQTT y monitoreo de datos (IoT).

Figura 53

Pantalla principal de la interfaz HMI

**Figura 54**

Pantalla de código QR para redireccionar a la página web



En la Figura 55, se presenta la pantalla de registro de datos, en donde se pueden ver casillas de texto y numéricas que permiten escribir los nombres, apellidos y edad. Seguido, se encuentran dos íconos que permiten elegir el género del usuario. Una vez llenados todos los datos de esta página se oprime el botón de “Guardar” para que así estos datos sean enviados hacia el módulo ESP8266 y mediante MQTT sean enviados al bróker.

Figura 55

Página de registro de datos

¡QUIERO CONOCERTE!

Nombre:

Apellido:

Edad: años

Chico Chica

Pantalla de menú y configuración

Una vez ingresados los datos se accede a la pantalla de menú, mostrada en la Figura 56, en donde se encuentran tres botones. El primero hace que el juego empiece y muestre la pantalla con la instrucción del primer grupo de ejercicios. El segundo permite acceder a las configuraciones de sonido. El tercero permite salir y regresar a la pantalla principal.

Figura 56

Página de menú



En la pantalla de configuración se integró un elemento slider que permite subir y bajar el volumen, además de un botón de doble estado que enciende o apaga el sonido que emite el robot; y finalmente, el último botón regresa a la pantalla de menú. Todos estos elementos se pueden apreciar en la Figura 57.

Figura 57

Página de configuración de sonido



Pantallas interactivas

Previo al inicio de las pantallas interactivas, se presenta una página con la instrucción del conjunto de ejercicios a resolver como se observa en la Figura 58. Las instrucciones se presentan con: un ícono que describa la actividad, un texto y un audio con la instrucción. Esta pantalla se presentará por un tiempo de 5 a 7 segundos, según qué tan larga sea el enunciado que se dé al usuario.

Una vez transcurrido el tiempo de presentación de la pantalla de instrucciones, pasa a mostrarse la pantalla dónde se desarrolla el ejercicio. Todas estas pantallas tienen un mismo formato en el cual se encuentran elementos que son independientes del ejercicio a desarrollar y sirven para interacción o información visual. Cabe recalcar que cada vez que un ejercicio sea completado, se reproducirá un audio acorde al resultado del ejercicio y aparecerá el botón que

permite continuar con el siguiente ejercicio. En la Figura 59 se puede observar a detalle los elementos y la función que se desarrollan en estas pantallas.

Figura 58

Pantalla de instrucción para cada conjunto de ejercicios



Figura 59

Formato de pantallas de desarrollo de ejercicios



Nivel "Ubica". En este nivel se presenta un conjunto de letras que conforman una palabra, sin embargo, una de estas letras estará desordenada como se puede ver en la Figura 60. El objetivo de este nivel es que el niño sepa identificar la palabra y tenga la capacidad de

ordenar correctamente las letras para formar la palabra. Este ejercicio trabaja la transposición de letras en las palabras.

Figura 60

Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel “Ubica”



En cuanto a los elementos de interacción que se usan en este ejercicio, únicamente son sliders. El número de sliders usados en esta pantalla depende del número de letras que conformen la palabra a trabajar, ya que cada slider representa una letra. Se usan sliders para poder mover longitudinalmente una letra, mientras las otras letras van tomando la ubicación previa en donde estuvo la letra móvil. Esto genera un efecto visual en donde las letras van tomando ubicación mientras se ordenan para formar la palabra.

Para determinar que el ejercicio fue desarrollado con éxito, se recurre a la programación del slider principal y se hace uso de un bucle “If”, en donde se condiciona que, si la letra está ubicada en el lugar correcto, se envíe hacia el módulo ESP8266 un dato de tipo texto con el número “1”, caso contrario, si la letra se ubica incorrectamente, se envía un dato tipo texto con el número “0”. EL diagrama de flujo de la Figura 61, lo explica de mejor manera. Esta metodología se usa para los cuatro ejercicios que conforman este nivel (Figura 62) con ciertas diferencias en el código por el número de letras que conformen la palabra a ordenar.

Figura 61

Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel “Ubica”

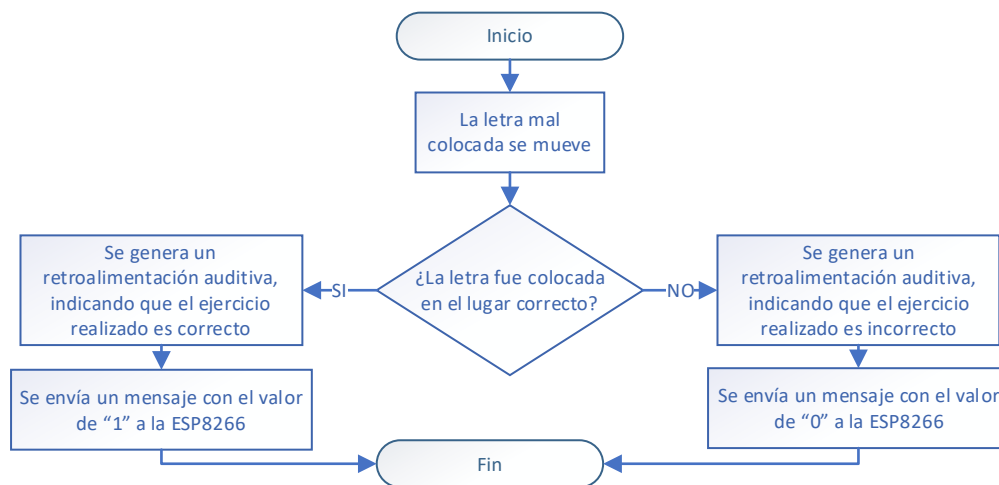


Figura 62

Ejercicios del nivel “Ubica”



Nivel “Encuentra”. En primer lugar, aparece la pantalla que se observa en la Figura 63, donde se debe escuchar la instrucción mientras se observa un video didáctico que muestra la correcta escritura de la letra a encontrar en la pantalla interactiva.

Figura 63

Pantalla de instrucción para cada letra



Una vez que la pantalla de instrucción sea presentada, aparecerá la pantalla de interacción para este nivel (Figura 64), en donde se encontrará un conjunto de letras repartidas en cuatro filas y cuatro columnas. En caso de que el niño desee volver a escuchar la letra que se pide buscar, se coloca un botón que permite reproducir nuevamente la instrucción del ejercicio. El objetivo de este ejercicio es que el niño ubique y seleccione la letra que fue mencionada en la instrucción para de esta manera trabajar los problemas de inversión de letras y números que son gráficamente parecidos.

Figura 64

Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel "Encuentra"



Los elementos de interacción que ocupa este nivel son únicamente botones en cada una de las letras, de tal manera que al oprimirse alguna de las letras se pueda determinar si el ejercicio fue realizado correctamente. La validación de este ejercicio se realiza mediante la programación de cada uno de los botones. En caso de que se oprima alguna de las letras que son correctas, se envía un número "1" hacia el módulo ESP8266, y en caso de que se oprima una de las letras incorrectas, se envía un número "0". En el diagrama de flujo de la Figura 65 se puede visualizar de mejor manera su validación.

Figura 65

Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel "Encuentra"

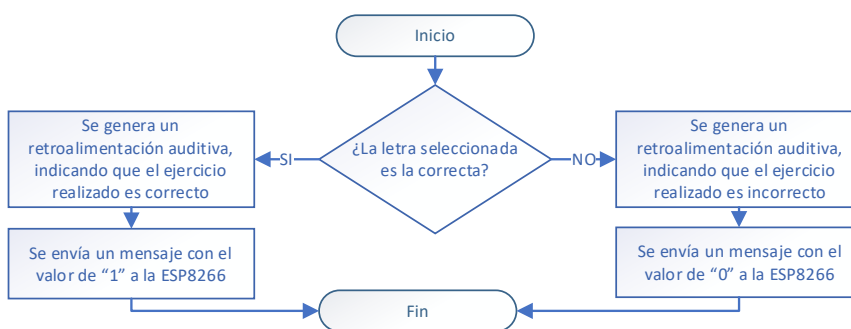
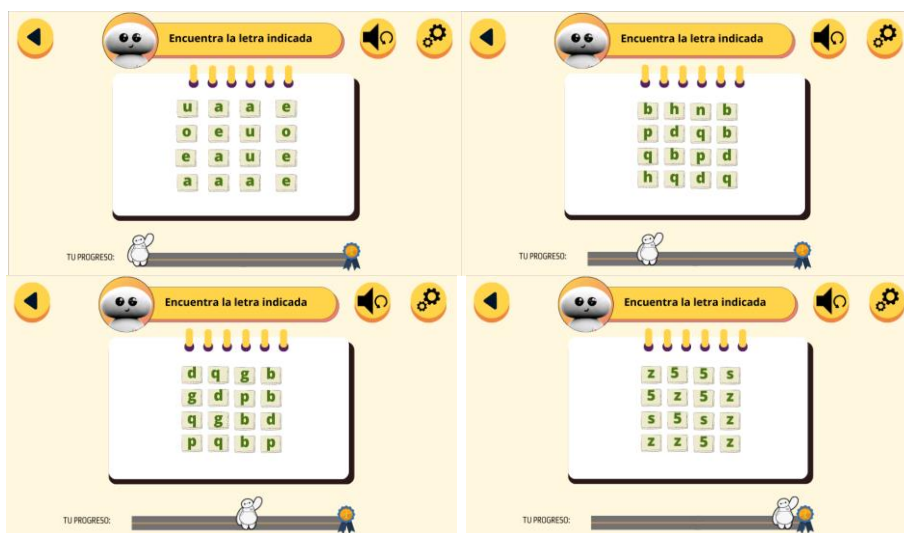


Figura 66

Ejercicios del nivel "Encuentra"



Es necesario mencionar que, esta programación es usada para todos los ejercicios del nivel “Encuentra” (Figura 66), lo único que cambia son las letras a encontrar y la posición de las mismas en el área de desarrollo del ejercicio.

Nivel “Construye”. Cuando aparezca la pantalla interactiva se podrá observar en el área de desarrollo del ejercicio, una palabra a la cual le hará falta su prefijo, además de un dibujo que representa la palabra en cuestión y en la parte inferior, tres opciones de prefijos que el usuario podrá escoger para formar la palabra completa, como se aprecia en la Figura 67. Para lograr esto, el usuario deberá arrastrar la opción que le parezca correcta hacia el lugar donde debería estar el prefijo para formar la palabra indicada por el gráfico. Este ejercicio ayuda al usuario a identificar de mejor manera las derivaciones que tienen las palabras.

Figura 67

Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel “Construye”



Los elementos interactivos para estos ejercicios son únicamente tres botones que representan cada una de las opciones que pueden ser elegidas por el usuario. La diferencia entre los botones usados previamente y estos botones radica en la configuración que hace que estos elementos sean móviles, de tal manera que identifiquen cuando exista un toque sobre ellos y lo interprete como un permiso de movimiento hacia cualquier lugar de la pantalla. Esto se logra entrando a la configuración del botón y activando la función “drag”.

Una vez que los botones queden habilitados para que puedan ser arrastrados por la pantalla, se procede a realizar la validación de los ejercicios mediante programación basada en el diagrama de flujo de la Figura 68. En primer lugar, se identifica el conjunto de coordenadas en las cuales los botones deberían estar para formar la palabra deseada. En segundo lugar, se recurre a un ciclo "If" que establece que, si el botón con el prefijo que genera la palabra es arrastrado hacia las coordenadas previamente identificadas, el ejercicio está resuelto correctamente; por otro lado, si el botón arrastrado tiene un prefijo que no forma la palabra deseada, el ejercicio estará incorrecto. Como en los niveles anteriores se envía un "1" si es correcto y un "0" si es incorrecto. La dinámica es la misma para todos los ejercicios de este nivel (Figura 69), únicamente cambia la palabra y las opciones de prefijos.

Figura 68

Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel "Construye"

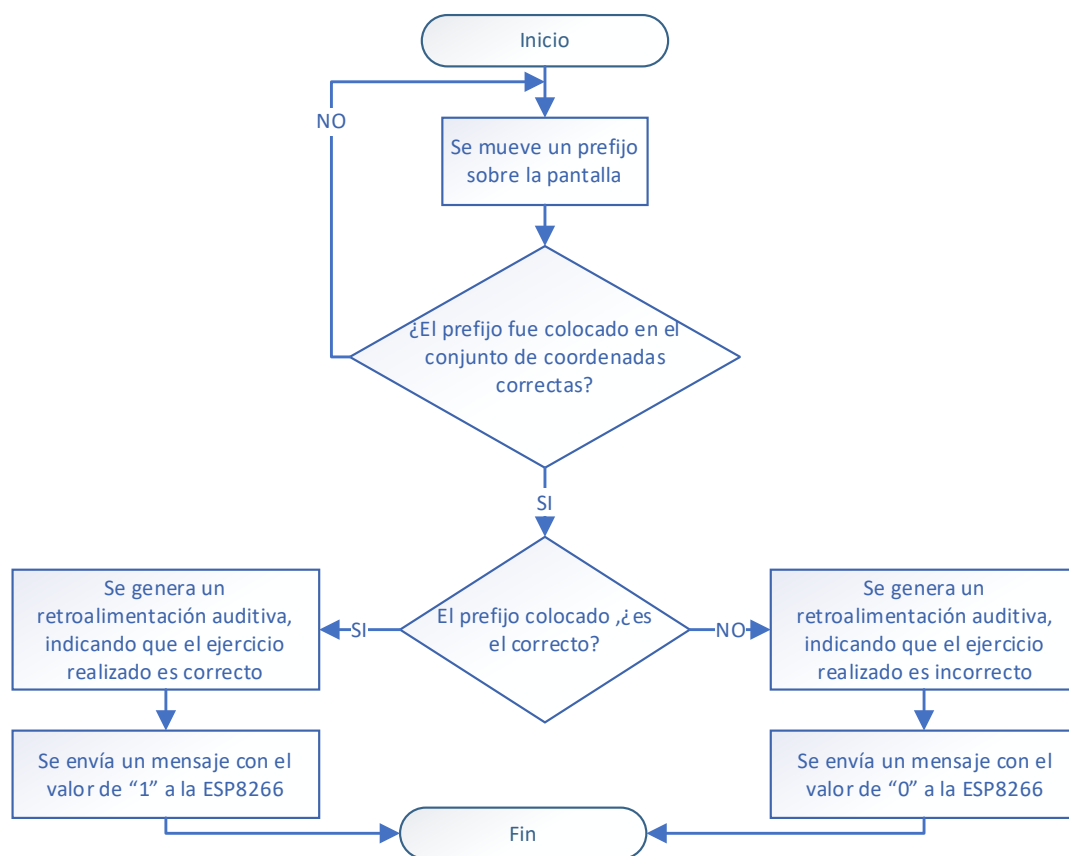


Figura 69

Ejercicios del nivel “Construye”



Nivel “Elimina”. En este nivel se tiene una palabra que está representada mediante un gráfico en la parte inferior del área de desarrollo del ejercicio, como se aprecia en la Figura 70. Esta palabra se forma con varias letras, pero una de ellas no corresponde a la palabra, es decir, existe una letra sobrante. El objetivo de este ejercicio es encontrar dicha letra y seleccionarla. Este ejercicio ayuda cuando el usuario tiene problemas de omisión o adición de letras en las palabras.

Figura 70

Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel “Elimina”



Al ser ejercicios simples, en los que se debe seleccionar una letra, se hace uso de botones. El botón que tiene la letra sobrante se programará para que sea la respuesta correcta (envía un "1"), en cambio, se usará un solo botón grande a lo largo de toda la palabra y detrás del primer botón, de manera que, si llega a pulsarse cualquiera de las letras que sí forman parte de la palabra, se indique que la respuesta es incorrecta (envía un "0"). Así lo indica el diagrama de flujo de la Figura 71 y aplica para todos los ejercicios del nivel (Figura 72).

Figura 71

Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel "Elimina"

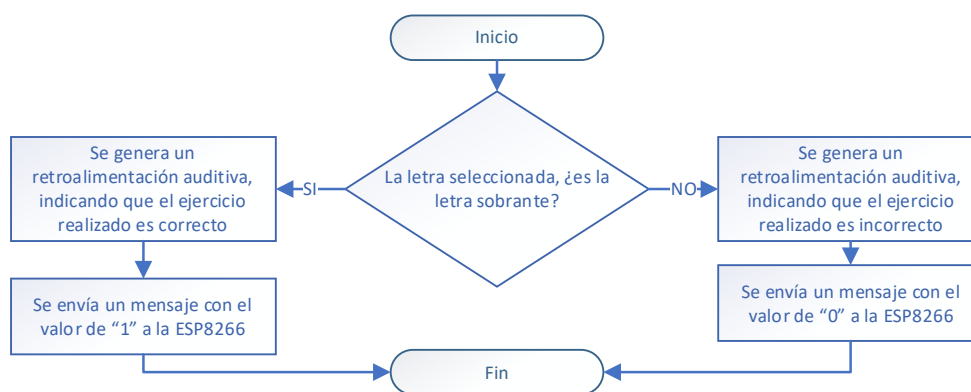
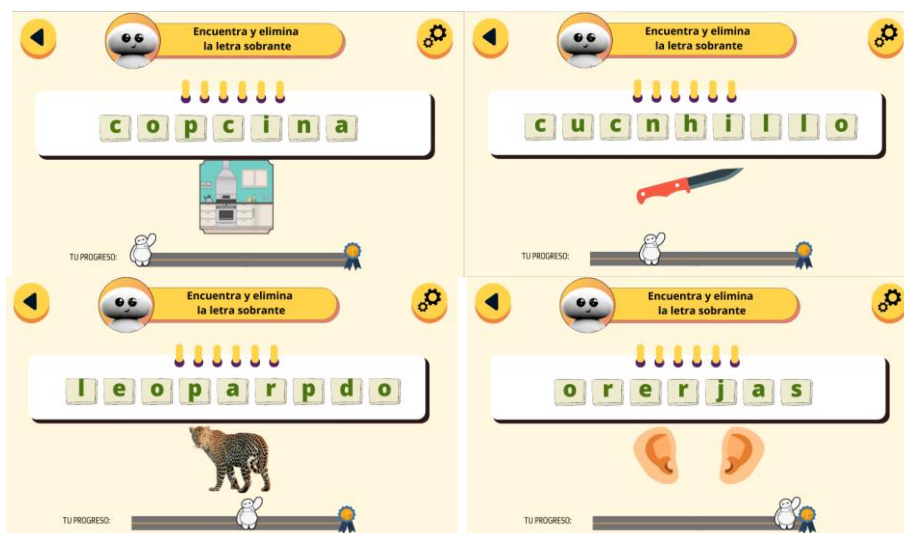


Figura 72

Ejercicios del nivel "Elimina"



Nivel “Empareja”. En este nivel se presentan dos grupos de cuatro botones, uno a la izquierda y otro a la derecha del área de desarrollo del ejercicio, como se aprecia en la Figura 73. Para solucionar este ejercicio, se debe seleccionar una palabra cualquiera de la columna izquierda y seleccionar una palabra igual en la columna derecha. En estos ejercicios se persiguen dos objetivos que son: la correcta identificación de las nociones espaciales (izquierda y derecha) y el emparejamiento de palabras idénticas.

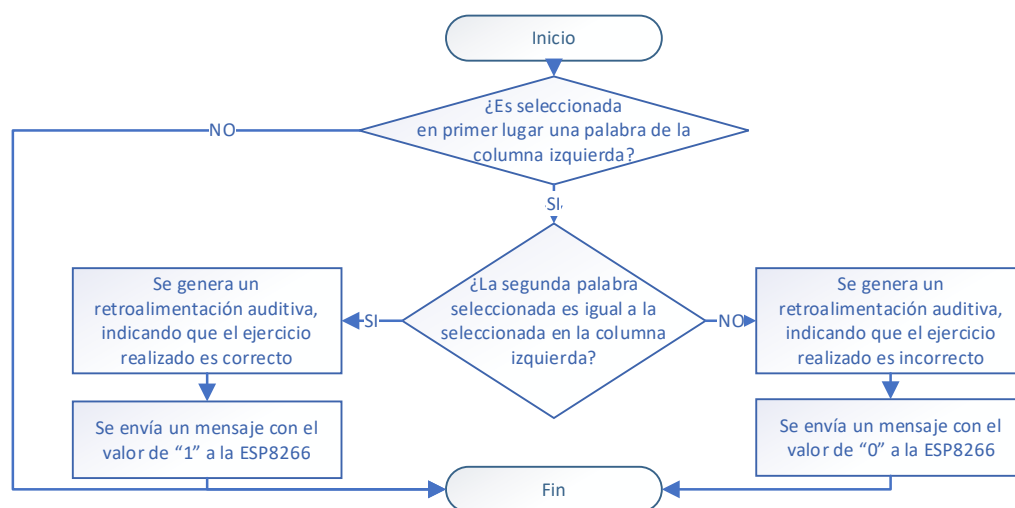
Figura 73

Pantalla interactiva del primer ejercicio del nivel “Empareja”



Figura 74

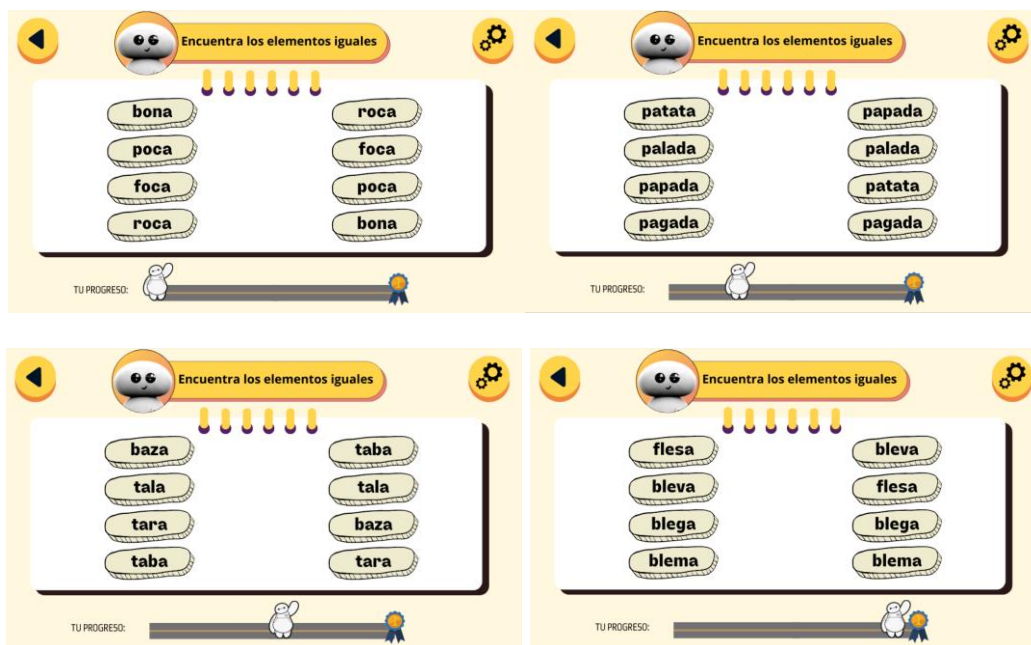
Diagrama de flujo para la validación del resultado de los ejercicios del nivel “Empareja”



Para los ejercicios de este nivel (Figura 75), se usa una validación doble, es decir, en primer lugar, se validará mediante un bucle "If" que el primer elemento seleccionado, pertenezca a la columna izquierda para luego validar mediante otro "If" que el siguiente elemento escogido sea uno que pertenezca a la columna derecha y sea idéntico al primer elemento. En caso de que primero se seleccione un elemento de la columna derecha, el ejercicio será declarado como incorrecto. Si la respuesta es incorrecta se envía un "0", caso contrario se envía un "1", como se indica en el diagrama de flujo de la Figura 74.

Figura 75

Ejercicios del nivel "Empareja"



Diseño de la comunicación MQTT y monitoreo de datos (IoT)

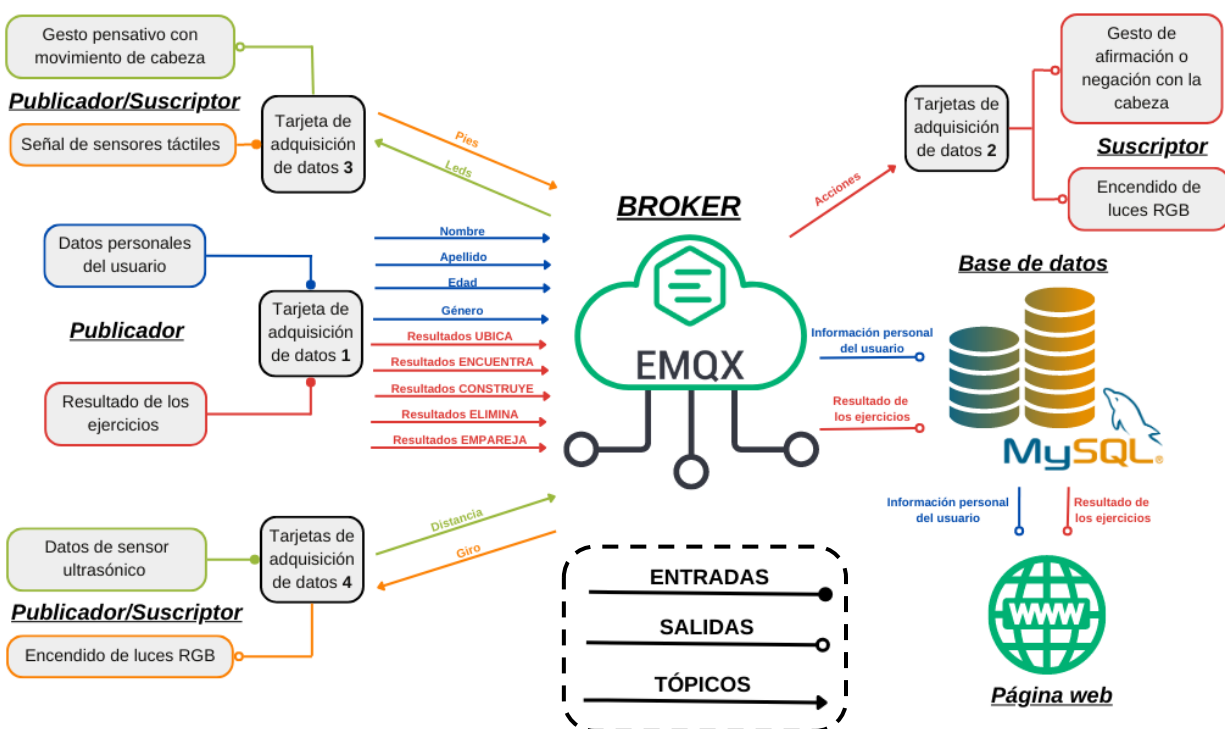
En este apartado se describe la elaboración del sistema de comunicación basado en el protocolo MQTT, además de la creación de la base de datos para el almacenamiento de información enviada desde la pantalla HMI y la elaboración de la página web en donde se podrán visualizar toda la información del usuario y de los resultados que tuvo al hacer uso de la pantalla HMI.

Estructura MQTT

Para el desarrollo del presente proyecto se implementó la estructura de comunicación mostrada en la Figura 76. En dicha estructura se puede evidenciar la existencia de un bróker MQTT en la nube, que permite que los datos sean enviados y recibidos a través de internet. También consta de tres publicadores y tres suscriptores que se comunican a través del bróker, mediante sus respectivos tópicos. Finalmente, una base de datos en MySQL que permite el almacenamiento de información para que posteriormente se publicada en una página web creada mediante software Node-RED.

Figura 76

Estructura de comunicación MQTT del robot



Base de datos

Para la creación de la base de datos se recurre a una herramienta gratuita como lo es Clever Cloud. Esta plataforma ofrece un servicio gratuito para la creación de bases de datos en

MySQL, para lo cual únicamente se necesita la creación de una cuenta. Esta base de datos tiene ciertas limitaciones al ser gratuita, pero resulta ser muy útil para los fines de este proyecto. Una vez creada la base de datos, la plataforma mostrará las credenciales necesarias para su uso, como se ve en la Figura 77, las cuales posteriormente serán requeridas en la programación en Node-RED.

Figura 77

Credenciales de la base de datos en MySQL

Database Credentials


Get credentials for manual connections to this database. [Export Environment Variables](#)

Host

Database Name

User

Password

Port

Para empezar a usar la base de datos únicamente se debe ingresar a la pestaña PHPMyAdmin y crear una nueva tabla con el nombre “Alumnos”. No es necesario realizar más configuraciones, ya que todos los códigos en SQL se ejecutarán directamente en los nodos de Node-RED.

Node-RED

Es una herramienta que permite la programación mediante flujos y nodos con el fin de conectar dispositivos de hardware con servicios en línea (IBM, 2023). Para tener este software es necesario tener un servidor en la nube, ya que de esta manera se puede hacer uso de brókeres que también trabajan en la nube y así acceder al software desde cualquier dispositivo con acceso a internet.

Tabla 18


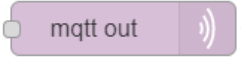
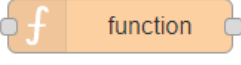
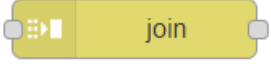
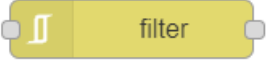

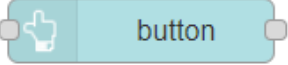


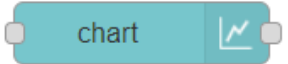
Características del servidor en la nube

| Parámetro | Descripción |
|-------------------|--------------------|
| Sistema operativo | Ubuntu 22.10 x64 |
| Localización | New York |
| Memoria | 512 MB |
| Almacenamiento | 10 GB |
| IP | 137.184.25.132 |

El proveedor de servicios virtuales que se usa para la instalación de Node-RED es Digital Ocean debido a que el servicio es gratuito durante los primeros dos meses de uso. Aquí se puede instalar una máquina virtual para el uso de Node-RED. Las especificaciones de dicha máquina virtual se pueden ver en la Tabla 18.

La parte medular de comunicación de este proyecto ha sido desarrollada en este software, debido a su facilidad ante la creación de flujos, gran cantidad de nodos que permiten realizar diferentes acciones, la comunicación mediante MQTT, la comunicación con servidores de base de datos MySQL y la facilidad de creación de una página web. Los nodos que se usarán para el funcionamiento del presente proyecto se detallan en la Tabla 19.

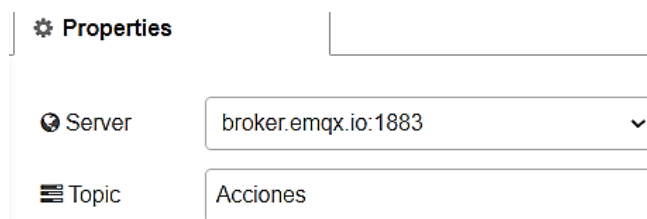
Tabla 19*Listado de nodos empleados y sus funciones*

| Nombre | Nodo | Función |
|--------------|---|--|
| Entrada MQTT |  | Permite la entrada de mensajes enviados desde un bróker MQTT |
| Salida MQTT |  | Permite la salida de mensajes enviados desde un bróker MQTT |
| Función |  | Permite programar una función en lenguaje JavaScript |
| Unir |  | Une un conjunto de mensajes en uno solo |
| Filtro |  | Permite el paso de mensajes según el tipo de filtro deseado |
| MySQL |  | Permite el acceso a una base de datos MySQL |
| Botón |  | Añade un botón a la interfaz de usuario |
| Tabla |  | Añade una tabla a la interfaz de usuario |
| Texto |  | Añade un texto no editable a la interfaz de usuario |
| Gráfico |  | Añade un gráfico estadístico a la interfaz de usuario |

Comunicación MQTT. Node-RED actúa como un intermediario entre la comunicación del cliente y el bróker, ya que mediante sus nodos de entrada y salida MQTT permite acceder al bróker y al tópicos por el cual se comunican. Los tópicos usados en este sistema de comunicación pueden ser visualizados en la Figura 76. De esta manera los datos enviados desde los módulos ESP8266 llegan al software Node-RED mediante los nodos de entrada y salida MQTT, siempre y cuando se configuren correctamente, como se observa en la Figura 78.

Figura 78

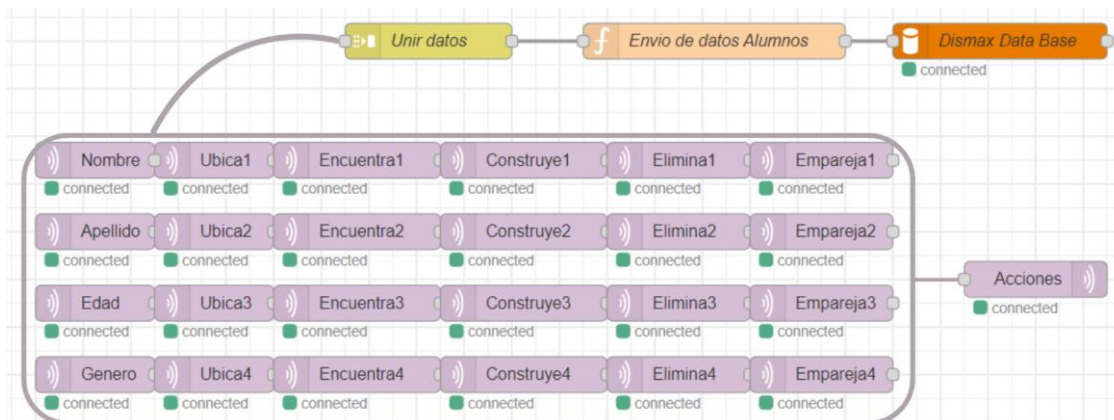
Configuración de los nodos de entrada y salida MQTT



Comunicación Pantalla HMI-Base de datos y Pantalla HMI-Actuadores. Los datos informativos de los usuarios y los resultados de los ejercicios llegan mediante los nodos “mqtt in” y son unidos mediante el nodo “join” para que puedan ser enviados a la base de datos en un solo mensaje. Por otro lado, los datos de los resultados de los ejercicios son devueltos uno por uno mediante un solo nodo “mqtt out” para que los actuadores generen la retroalimentación positiva o negativa según el resultado de cada ejercicio. Esta programación mediante flujos se puede apreciar en la Figura 79.

Figura 79

Flujo de comunicación entre pantalla HMI-base de datos y pantalla HMI-actuadores

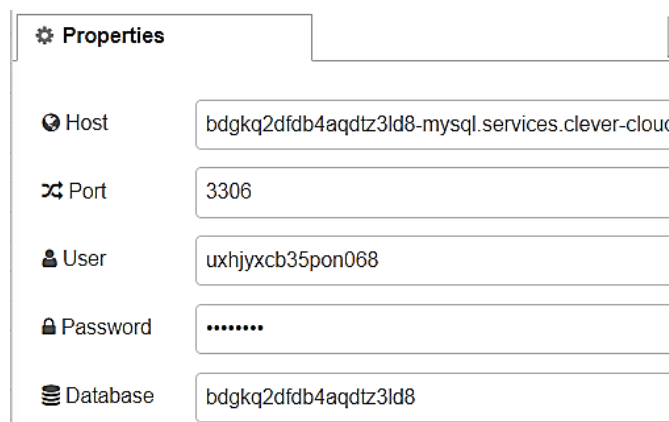


En el nodo “función” se configura el mensaje para ser enviado hacia la base de datos mediante el código escrito en SQL “INSERT INTO”. De esta manera, toda la información será ingresada en la tabla “Alumnos” creada previamente en la base de datos. Por último, para que

esta información llegue a la base de datos, es necesario realizar la configuración del nodo “mysql”, como se indica en la Figura 80, con las credenciales mostradas en la Figura 77.

Figura 80

Configuración del nodo mysql

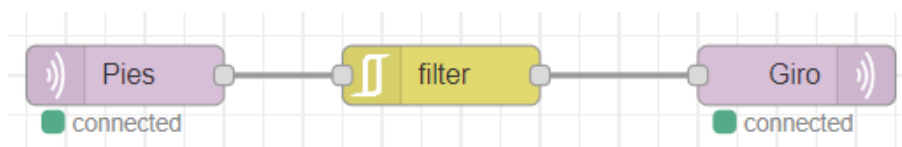


Comunicación Sensores táctiles-Servomotor y Sensor ultrasónico-Luces RGB.

Estos sistemas de comunicación son simples y constan únicamente de tres nodos cada uno, como se ve en la Figura 81 y Figura 83. El primer sistema usa los datos que lleguen por MQTT al nodo “mqtt in” y los filtra con el nodo “filter” para hacer que el nodo “mqtt out” envíe un único mensaje cada vez que este cambie. Esto sirve para que el robot mueva la cabeza una sola vez cada que se toque el sensor táctil.

Figura 81

Flujo para la comunicación Sensores táctiles-Servomotor



El segundo sistema usa el mismo mecanismo anterior, con la única diferencia que en vez del nodo “filter”, se usa un nodo “function”, en donde se programa el mensaje que se enviará. Esta programación se desarrolla en JavaScript y mediante un bucle “if” establece que,

si la distancia recibida por el sensor es menor a 25cm, se envíe un mensaje de tipo texto con la palabra “Cerca”, caso contrario, se envíe la palabra “OK”. Esto significa que cuando el usuario se encuentre a menos de 25cm de la pantalla, se enviará el mensaje para que se enciendan las luces de color rojo, indicando así que debe alejarse de la pantalla. Así lo explica el diagrama de flujo de la Figura 82.

Figura 82

Diagrama de flujo de la configuración del nodo “function”

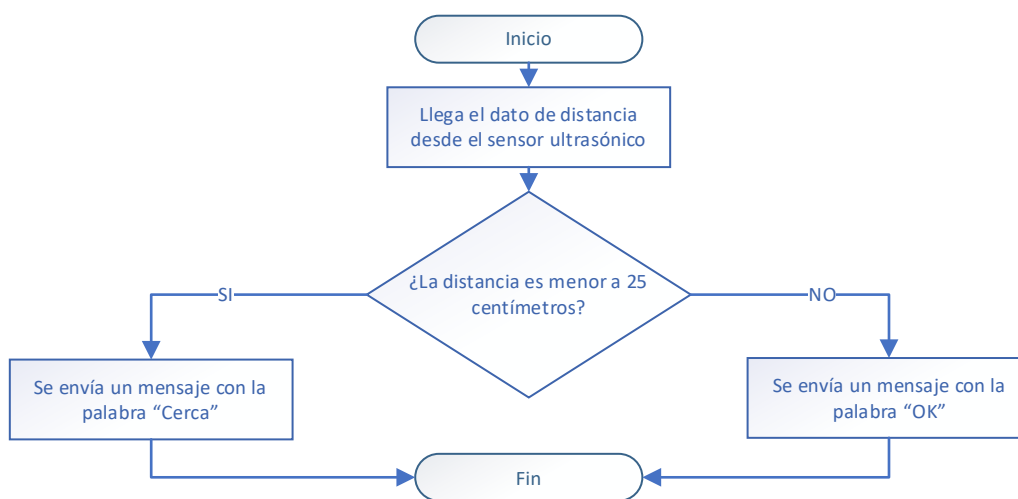
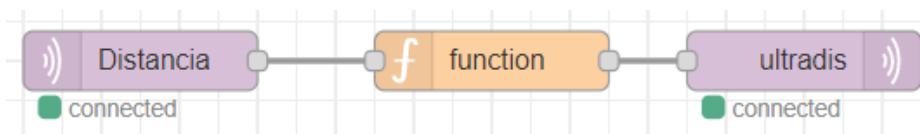


Figura 83

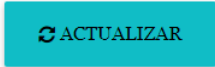




Flujo para la comunicación Sensor ultrasónico-Luces RGB



Página web. La página web es desarrollada en su totalidad con el software Node-RED y su módulo de nodos llamado “dashboard”. Este módulo permite la creación de elementos dinámicos y estáticos que se pueden mostrar en pantalla. El objetivo de esta página es el monitoreo de los datos y resultados de los alumnos con dislexia que hayan hecho uso del robot, por esto se implementarán los siguientes elementos interactivos.

Tabla 20

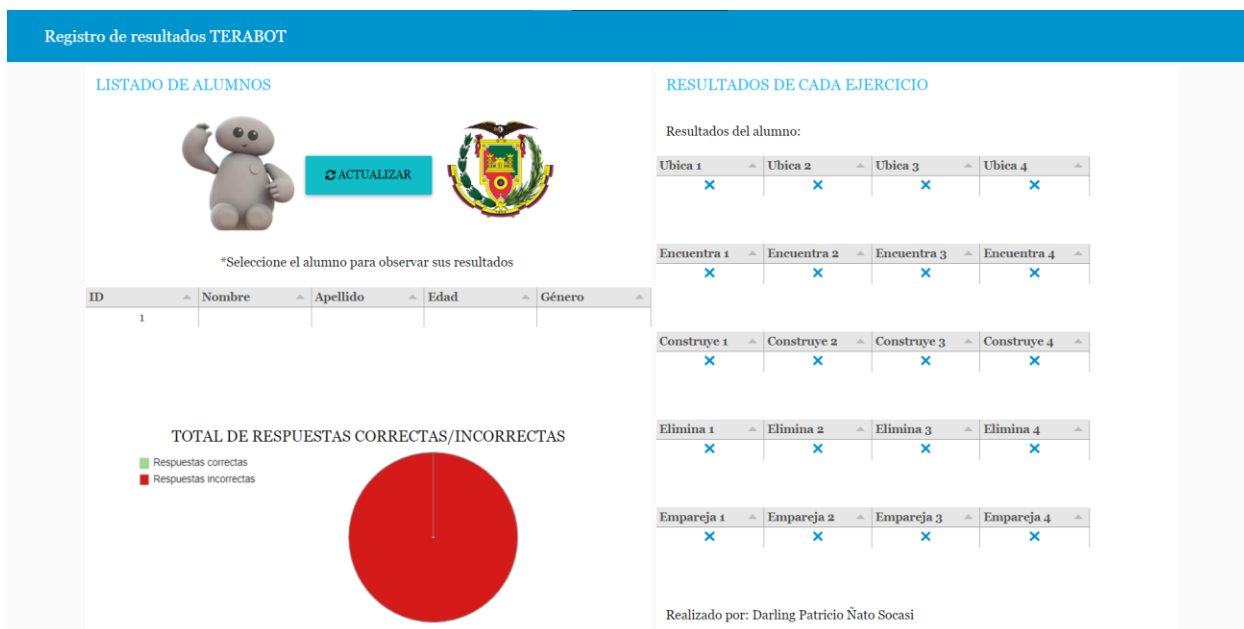
Elementos que forman parte de la interfaz de la página web

| Elemento | Gráfico | Descripción |
|--|--|--|
| Botón “ACTUALIZAR” |  | Sirve para cargar y actualizar la lista de estudiantes |
| Tabla de listado de estudiantes |  | Enlista la información personal de los estudiantes. |
| Tabla de detalle de resultados del nivel |  | Presenta el resultado de cada ejercicio realizado en un determinado nivel. |
| Grafica estadística | <p>TOTAL DE RESPUESTAS CORRECTAS/INCORRECTAS</p>  | Presenta mediante un diagrama de pastel la cantidad de ejercicios correctos o incorrectos. |
| Texto dinámico | Resultados del alumno: Alfonso | Presenta el nombre del estudiante que se haya seleccionado en el listado. |
| Imagen decorativa |  | Tiene fines estéticos y no influye en el funcionamiento de la página web. |

Para que estos elementos formen parte de la página web, se usarán los nodos del módulo “dashboard” que fueron presentados en la Tabla 19 y se irán colocando de manera que la navegación en la página web sea lo más intuitiva posible. Los elementos que van a formar parte de la interfaz mostrada en la Figura 84, se detallan en la Tabla 20.

Figura 84

Página web para monitoreo de datos y resultados



La página web entra en funcionamiento cuando los nodos que hacen parte de la misma son configurados con las funciones que van a realizar. Para lo cual, en primer lugar, se realiza un llamado de la información que fue previamente guardada en la base de datos haciendo uso del nodo “function” e insertando el código mostrado en la Figura 85, para posteriormente enviar los datos a la tabla de listado de estudiantes y de esta manera se muestre la información de los alumnos.

Figura 85

Código para llamado de información de la base de datos

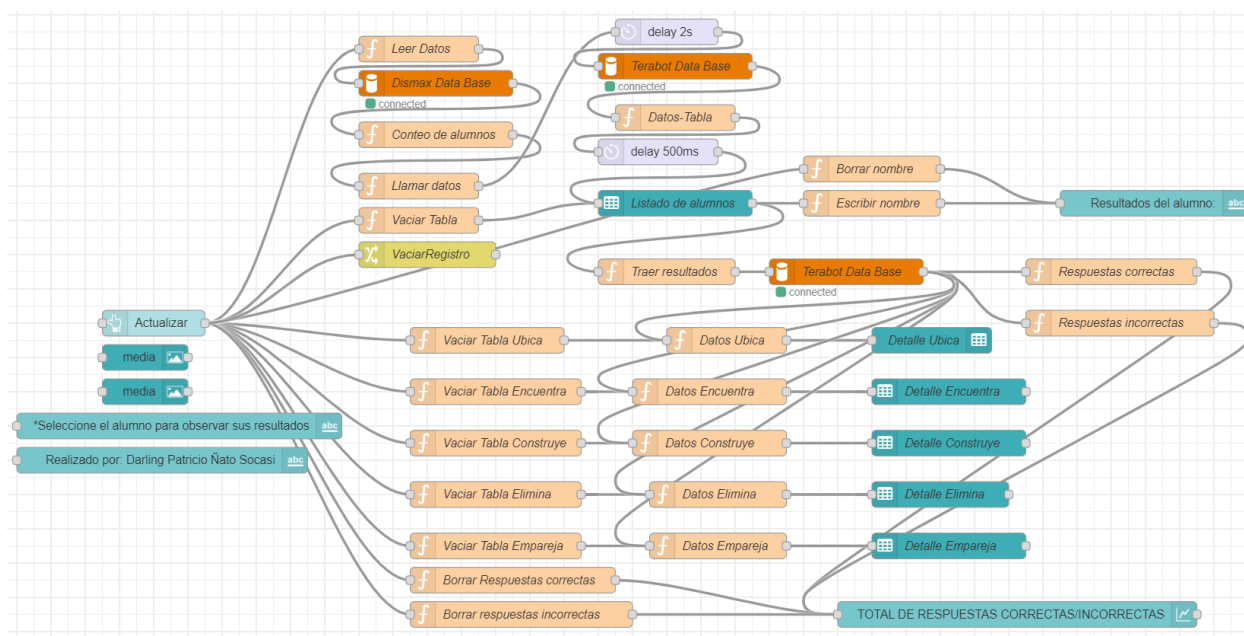
```
SELECT id, Nombre, Apellido, Edad, Género FROM Alumnos
```

Cuando sea mostrada la lista de estudiantes, el usuario podrá seleccionar un estudiante para que se muestren sus resultados en las tablas de detalle de resultados del nivel. Para

lograr esto se usa nuevamente el nodo “function” y se usa el mismo código de la Figura 85, con la diferencia que se llaman a los resultados de todos los ejercicios realizados y se presentan en las tablas de detalle de resultados del nivel. Estos datos obtenidos también son usados en la presentación de la gráfica de pastel que muestra la totalidad de ejercicios correctos e incorrectos. Todo este procedimiento se puede ver a detalle mediante la programación de flujos y nodos mostrados en la Figura 86.

Figura 86

Flujo de creación de la página web y llamado de información de la base de datos



Implementación de los subsistemas

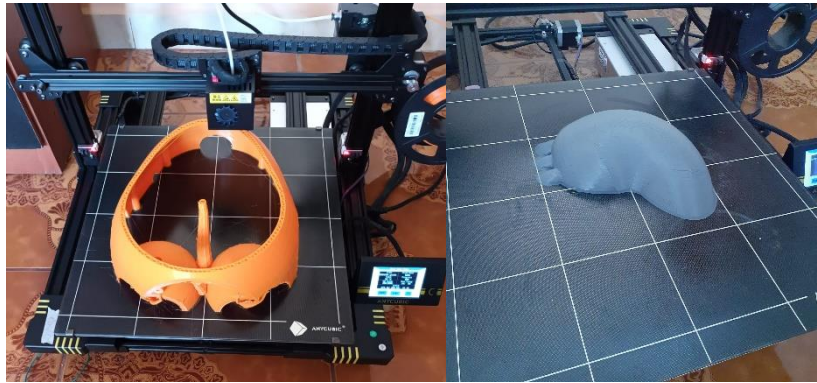
Una vez que todos los sistemas están listos para trabajar, se procede a la integración de los mismos para conformar el sistema ciberfísico. En este apartado se podrá evidenciar la construcción y ensamble de los subsistemas mecánico y electrónico, obviando así al subsistema de la interfaz HMI y subsistema de comunicación, ya que estos quedan implícitos en el subsistema electrónico.

Subsistema mecánico

Una vez realizado el diseño mecánico, se procede a la fabricación de las partes en impresoras 3D de alto volumen, como se ve en la Figura 87. Esto a consecuencia de que la mayoría de las partes son relativamente grandes, lo que conlleva adicionalmente a varias horas de impresión.

Figura 87

Fabricación de partes en impresoras 3D



Con el fin de que el aspecto físico del robot se vea liso, es necesario rellenar las imperfecciones generadas por la impresión 3D con masilla, como se observa en la Figura 88, para así después pintar las partes y que el robot quede de un color agradable a la vista de los usuarios. En este caso se usa un color blanco mate que se visualiza en la Figura 89.

Figura 88

Elementos de la carcasa del robot masillados



Figura 89

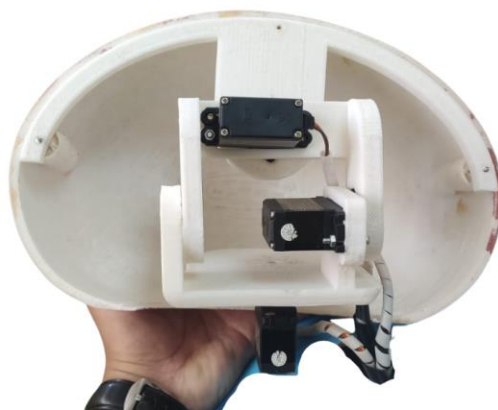
Elementos de la carcasa del robot pintados



Una vez que las piezas están listas se realiza el armado de una de las partes más importantes del robot, como lo es el mecanismo de movimiento de la cabeza que se muestra en la Figura 90. Este mecanismo cuenta con tres partes principales, adicionalmente la carcasa exterior de la cabeza y los servomotores.

Figura 90

Mecanismo de movimiento de cabeza construido

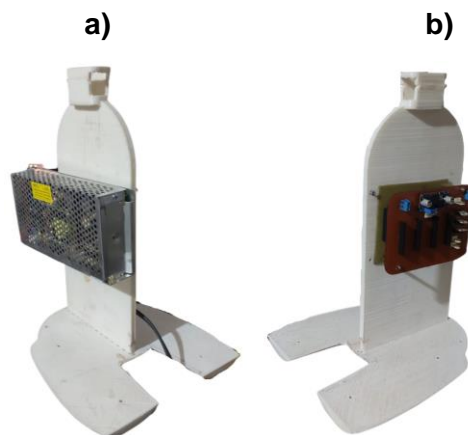


Subsistema electrónico

El sistema electrónico básicamente consta de los elementos vistos en el apartado de Selección de componentes electrónicos, y de las placas PCB que se muestran en la Figura 49 y Figura 50. Para su acople en el robot, se procede a empotrar las placas principal y secundaria en el elemento correspondiente a Base/Soporte; el mismo procedimiento se realiza en el lado opuesto del elemento para empotrar la fuente de alimentación 12V-10^a, para obtener un resultado como el que se observa en la Figura 91.

Figura 91

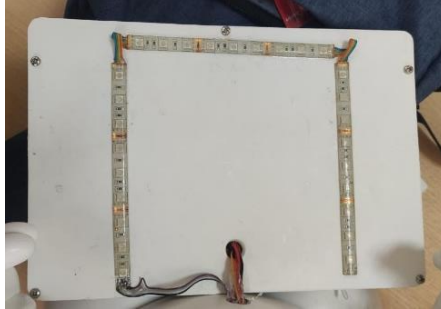
Acople de elementos en el elemento Base/Soporte: a) Fuente de alimentación. b) Placas PCB.



Otro de los elementos electrónicos que se integran a las partes del robot, son las luces led RGB. Estas son colocadas en la parte posterior de los elementos flexibles con la intención de que la luz de los leds RGB pueda verse a través de ellos, pero también detrás de la pantalla HMI, que se observa en la Figura 92. Adicionalmente, se colocan los sensores táctiles en los elementos flexibles correspondientes a los pies del robot, como se aprecia en la Figura 93 y para finalizar, se coloca la pantalla HMI junto al sensor ultrasónico en la carcasa de protección para estos elementos, como se muestra en la Figura 94.

Figura 92

Colocación de luces RGB

**Figura 93**

Colocación de sensores táctiles

**Figura 94**

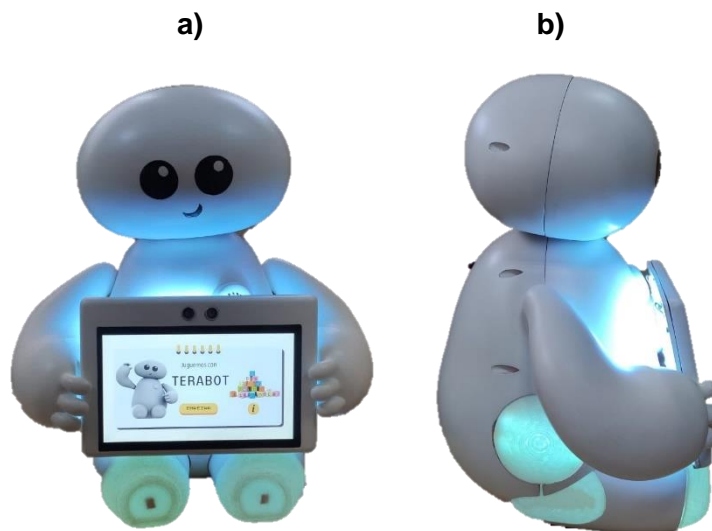
Colocación de pantalla HMI y sensor ultrasónico: a) Vista posterior. b) Vista frontal.



De esta manera el sistema queda montado y listo para funcionar. Para la verificación del funcionamiento del robot, se conecta a un tomacorriente de 110V, haciendo así que la pantalla HMI como las luces se enciendan (Figura 95), indicando que el sistema se encuentra operando.

Figura 95

Robot listo para su funcionamiento: a) Vista frontal. b) Vista lateral.



Conclusión del Capítulo 3

Se realizó el diseño y construcción de cada uno de los sistemas que actúan en el sistema ciberfísico, de tal manera que todos cumplen con la función para la cual fueron elaborados.

El subsistema mecánico que brinda la imagen o aspecto del robot, así como el movimiento de cabeza para generar una retroalimentación visual al usuario, imitando gestos humanos tales como la afirmación, la negación o la duda. El subsistema electrónico se encarga de la alimentación y el control de la red de sensores y actuadores presentes en el robot. El subsistema de la interfaz HMI presenta los ejercicios enfocados al tratamiento de la dislexia y es aquel que se encuentra en contacto directo con los usuarios. Finalmente, el subsistema de comunicación basado en el protocolo MQTT, permite enviar datos y señales entre las diferentes

tarjetas de adquisición de datos, envía la información por medio de Wifi hacia la base de datos y posteriormente a la página web.

La implementación de todos estos subsistemas da como resultado un sistema ciberfísico capaz de apoyar a la terapia de niños con dislexia mediante ejercicios en una pantalla HMI, retroalimentaciones visuales y auditivas por parte del robot, y una página de monitoreo de datos e información de los niños que realizan las actividades con el robot.

Capítulo IV

Pruebas y resultados.

En este capítulo, se exponen las pruebas de funcionamiento realizadas con el sistema ciberfísico completo, además de la validación de las mismas, mediante el análisis de los datos e información obtenida de encuestas aplicadas a profesionales de la educación y terapia, con el fin de evaluar la hipótesis planteada en el Capítulo 1.

Pruebas de funcionamiento

Para la determinar la utilidad del sistema ciberfísico es necesario aplicar pruebas de funcionamiento, y de esta manera recolectar información mediante encuestas que permitan una correcta validación del sistema ciberfísico. La intervención de personas con experiencia en terapia y educación de niños con dislexia, hará que la validación del sistema sea mucho más confiable. Es por ello que, se optó por buscar personas con estas características en dos entidades como son: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y Programa Educativo Ilvem Ecuador.

Estudio y recolección de datos

Para la valoración del sistema ciberfísico fue necesaria la presentación del funcionamiento del sistema ciberfísico y sus características a dos grupos poblacionales:

Grupo 1: Profesionales pertenecientes a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con experiencia en educación, terapia y tecnología de asistencia social (Tabla 21).

Grupo 2: Profesionales docentes del programa educativo Ilvem Ecuador con experiencia en niños con dislexia (Tabla 22).

Tabla 21*Integrantes del Grupo 1*

| Cantidad | Profesión |
|-----------------|---|
| 1 | Ingeniería mecatrónica |
| 1 | Docencia/Pedagogía |
| 1 | Psicopedagogía |
| 1 | Terapia educativa |
| 1 | Ingeniería electrónica |
| 1 | Bacteriología |
| 1 | Especialista de transferencia de tecnología |

Tabla 22*Integrantes del Grupo 2*

| Cantidad | Profesión |
|-----------------|----------------------|
| 1 | Terapia del lenguaje |
| 2 | Psicología educativa |
| 1 | Educación inicial |
| 2 | Psicopedagogía |

Al tener dos grupos con un total de 13 profesionales, es más fácil obtener información con perspectivas diferentes, de tal manera que se obtiene apreciaciones desde enfoques terapéuticos, educacionales e ingenieriles. La encuesta aplicada al grupo poblacional abordará preguntas con respecto al funcionamiento y utilidad del sistema ciberfísico. Para lo cual se aplicarán preguntas enlistadas en la Tabla 23.

Tabla 23*Listado de preguntas de la encuesta*

| No. | Pregunta |
|------------|---|
| 1 | ¿En qué medida considera usted que el robot social es funcional? |
| 2 | ¿En qué medida considera que el modelo puede ser aplicado en alumnos con dislexia? |
| 3 | ¿Considera que las terapias con tecnología de asistencia podrían arrojar mejores resultados que las terapias convencionales? |
| 4 | ¿Considera usted que se podría mejorar una actividad específica en una persona con dislexia, con el uso de este robot social? |
| 5 | ¿Considera usted que la página web en la que se puede visualizar los datos y respuestas de los alumnos, podrían facilitar el análisis del progreso del tratamiento de alumnos con dislexia? |
| 6 | ¿En qué grado consideraría que la aplicación del robot social “Terabot” ayudaría en terapias para alumnos con Dislexia? |
| 7 | ¿Considera usted que el uso del robot social “Terabot” representa algún tipo de riesgo físico, psicológico o emocional, en niños con supervisión? |

Nota. Las preguntas se responderán con una ponderación del 1 al 4, siendo 4: Totalmente de acuerdo; y 1: Totalmente desacuerdo.

Resultados

Se realizaron demostraciones para los grupos previamente establecidos para que puedan emitir criterios y puedan evaluar el sistema ciberfísico. Para el primer grupo se realizó una breve explicación de las cualidades que tiene el sistema ciberfísico para después permitir a los asistentes la interacción con el robot (Figura 96).

Figura 96

Pruebas de funcionamiento para el primer grupo (Universidad de las Fuerzas Armadas)



En el segundo grupo se tuvo la oportunidad de que alumnos de 9 a 11 años de edad diagnosticados con dislexia, hagan uso del robot, como se observa en la Figura 97, en programa educativo Ilvem Ecuador, con el fin de que los profesionales de este grupo puedan observar su funcionamiento en el grupo poblacional al cual está dirigido el proyecto. Para que los niños puedan hacer uso del robot, se emitió previamente un “Consentimiento informado” dirigido a los padres, con el objetivo de que tengan más información sobre proyecto y a sepan que estas pruebas tienen fines únicamente investigativos.

Figura 97

Pruebas funcionamiento para el segundo grupo (Ilvem Ecuador)



Una vez realizadas las presentaciones y pruebas del sistema ciberfísico, se entregan las encuestas a los profesionales para que puedan responder a las preguntas. Las encuestas obtuvieron la información mostrada en la Tabla 24, por parte de los 13 encuestados.

Tabla 24

Resultados de la encuesta aplicada

| Encuestado | Pregunta 1 | Pregunta 2 | Pregunta 3 | Pregunta 4 | Pregunta 5 | Pregunta 6 | Pregunta 7 |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 1 |
| 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| 6 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 7 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| 8 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 9 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 10 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 1 |
| 11 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| 12 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 |
| 13 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 1 |

Análisis de resultados

A continuación, se realizará el análisis de la información obtenida de cada una de las preguntas, tras la aplicación de la encuesta a los profesionales que presenciaron las pruebas de funcionamiento del sistema ciberfísico.

Pregunta 1. ¿En qué medida considera usted que el robot social es funcional?

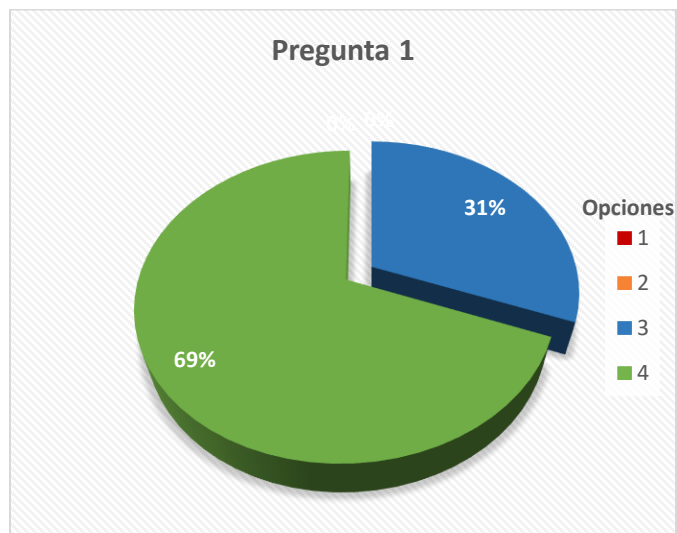
Tabla 25

Resultados de la pregunta 1

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|----------|------------|------------|
| 1 | 0 | 0% |
| 2 | 0 | 0% |
| 3 | 4 | 31% |
| 4 | 9 | 69% |
| Total | 13 | 100% |

Figura 98

Gráfico estadístico de la pregunta 1



Del total de 13 personas encuestadas, el 69% de ellas ponderan en el valor máximo la funcionalidad el robot, mientras que un 31% consideran un valor de 3 en cuanto a funcionalidad. Esto se puede interpretar como que en su mayoría los encuestados consideran que el robot es completamente funcional, mientras que el restante considera que el robot es funcional, pero podría necesitar ciertos ajustes en el software o hardware.

Pregunta 2. ¿En qué medida considera que el modelo puede ser aplicado en alumnos con dislexia?

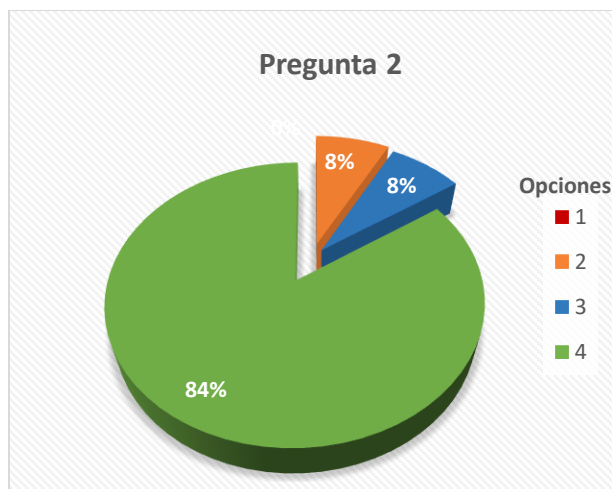
Tabla 26

Resultados de la pregunta 2

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|----------|------------|------------|
| 1 | 0 | 0% |
| 2 | 1 | 8% |
| 3 | 1 | 8% |
| 4 | 11 | 84% |
| Total | 13 | 100% |

Figura 99

Gráfico estadístico de la pregunta 2



Un 8% de los encuestados pondera un valor bajo, en cuanto a la aplicación del sistema en niños, mientras que un porcentaje igual pondera un valor de 3; esto se podría considerar como que el sistema debería mejorar para poder ser aplicado en niños con dislexia, pero estas consideraciones no son totalmente influyentes debido a que un 85% de la población encuestada considera que el sistema ciberfísico puede ser aplicado a niños con dislexia, lo que se interpreta como que es un sistema apto para el uso de terapias.

Pregunta 3. ¿Considera que las terapias con tecnología de asistencia podrían arrojar mejores resultados que las terapias convencionales?

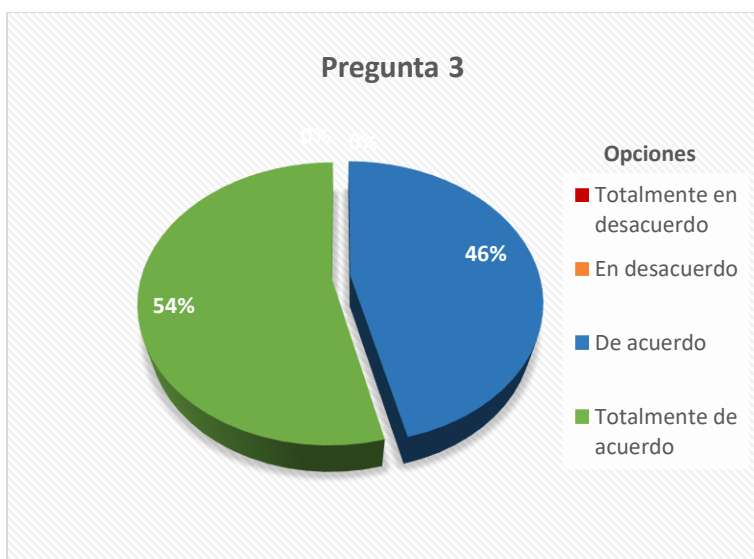
Tabla 27

Resultados de la pregunta 3

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------------------|------------|------------|
| Totalmente en desacuerdo | 0 | 0% |
| En desacuerdo | 0 | 0% |
| De acuerdo | 6 | 46% |
| Totalmente de acuerdo | 7 | 54% |
| Total | 13 | 100% |

Figura 100

Gráfico estadístico de la pregunta 3



El 54% de los encuestados está totalmente de acuerdo con que las nuevas tecnologías de terapia pueden ser mejores que las terapias convencionales, mientras que el 46% está de acuerdo. Esto último se podría interpretar como que las nuevas tecnologías pueden ayudar a estas terapias, pero no podrían reemplazarlas, a pesar de ello siguen siendo bien aceptadas.

Pregunta 4. ¿Considera usted que se podría mejorar una actividad específica en una persona con dislexia, con el uso de este robot social?

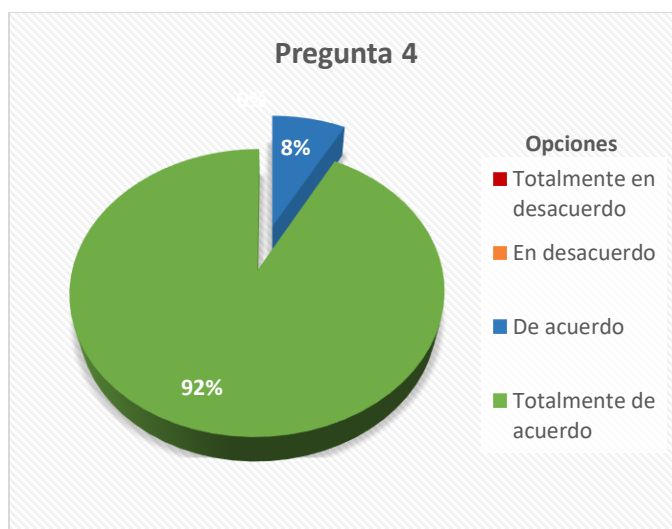
Tabla 28

Resultados de la pregunta 4

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------------------|------------|------------|
| Totalmente en desacuerdo | 0 | 0% |
| En desacuerdo | 0 | 0% |
| De acuerdo | 1 | 8% |
| Totalmente de acuerdo | 12 | 92% |
| Total | 13 | 100% |

Figura 101

Gráfico estadístico de la pregunta 4



Casi la totalidad de los encuestados (92%) afirma que se encuentra totalmente de acuerdo que el sistema puede mejorar una actividad específica de una persona con dislexia. Esto se debe al software de interacción que presenta la pantalla HMI que tiene varios ejercicios para uso en terapias, por lo que se puede interpretar que dichos ejercicios generan un gran aporte educacional y terapéutico.

Pregunta 5. ¿Considera usted que la página web en la que se puede visualizar los datos y respuestas de los alumnos, podrían facilitar el análisis del progreso del tratamiento de alumnos con dislexia?

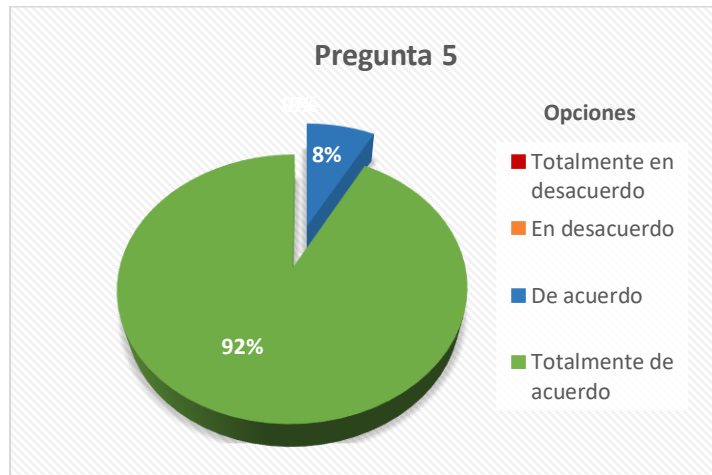
Tabla 29

Resultados de la pregunta 5

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|----------|------------|------------|
| 1 | 0 | 0% |
| 2 | 0 | 0% |
| 3 | 1 | 8% |
| 4 | 12 | 92% |
| Total | 13 | 100% |

Figura 102

Gráfico estadístico de la pregunta 5



El 92% de la población encuestada estima que la página web facilita el análisis de los resultados de los alumnos en su tratamiento de dislexia. Es por esto que se considera un aporte importante para los docentes y educadores encargados de niños con dislexia para que puedan tener un respaldo de los resultados que tienen sus alumnos y así poder identificar su progreso en la terapia.

Pregunta 6. ¿En qué grado consideraría que la aplicación del robot social “Terabot” ayudaría en terapias para alumnos con Dislexia?

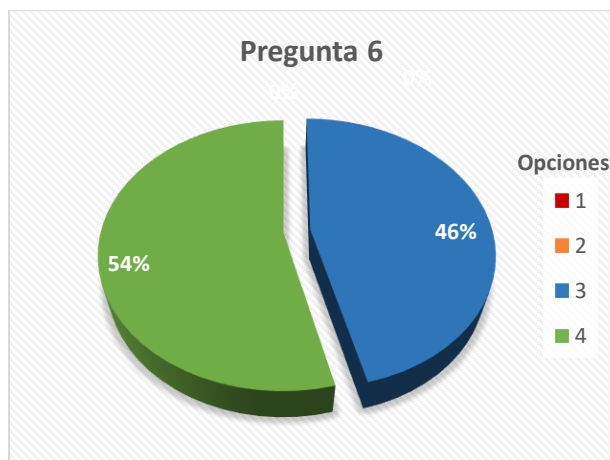
Tabla 30

Resultados de la pregunta 6

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|----------|------------|------------|
| 1 | 0 | 0% |
| 2 | 0 | 0% |
| 3 | 6 | 46% |
| 4 | 7 | 54% |
| Total | 13 | 100% |

Figura 103

Gráfico estadístico de la pregunta 6



Del total de encuestados, un 54% considera un valor de 4 en cuanto a que el robot ayudaría a los alumnos con dislexia en su terapia, mientras que un 46% pondera con un 3. Esto puede ser interpretado como que la mayoría de los encuestados están de acuerdo en que el robot es muy útil para su uso en terapia de alumnos con dislexia, mientras que el restante lo considera útil, pero con la necesidad de ciertos cambios en el software como sería el caso de aumento de ejercicios o un enfoque diferente en los mismos.

Pregunta 7. ¿Considera usted que el uso del robot social “Terabot” representa algún tipo de riesgo físico, psicológico o emocional, en niños con supervisión?

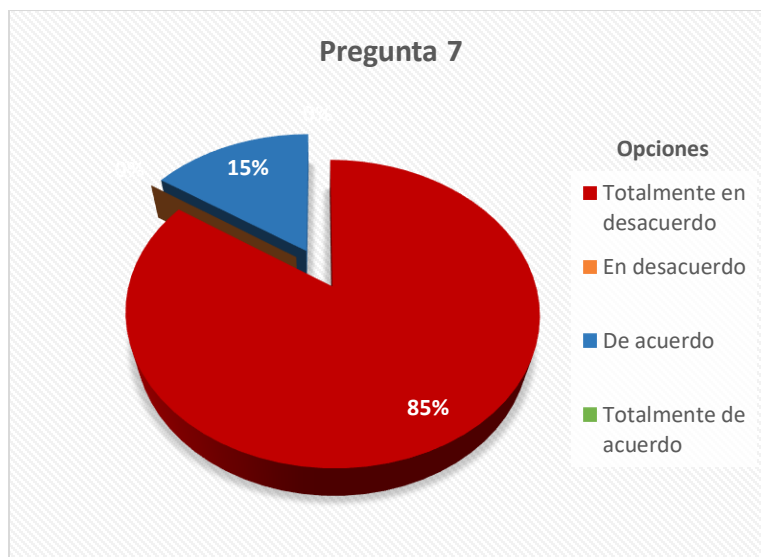
Tabla 31

Resultados de la pregunta 7

| Opciones | Frecuencia | Porcentaje |
|----------|------------|------------|
| 1 | 11 | 85% |
| 2 | 0 | 0% |
| 3 | 2 | 15% |
| 4 | 0 | 0% |
| Total | 13 | 100% |

Figura 104

Gráfico estadístico de la pregunta 7



La gran mayoría de la población encuestada (85%) está de acuerdo en el que el uso del robot no representa ningún tipo de riesgo, siempre y cuando su uso sea supervisado por un adulto que en este caso será el docente o terapeuta encargado del niño. Esto se interpreta como que el sistema es seguro y el usuario no corre peligro durante su funcionamiento.

Validación de la hipótesis

La hipótesis planteada en el capítulo 1 es:

El diseño y construcción de un sistema ciberfísico basado en un robot social terapeuta, con capacidad de comunicación entre una red de sensores y actuadores por medio del protocolo MQTT, puede ser considerado como una herramienta de terapia para niños con dislexia y una herramienta de evaluación de resultados para los docentes.

Después de realizar el análisis de los resultados arrojados por la encuesta realizada a los profesionales de la educación, terapia y tecnología de asistencia social, se puede concluir que la hipótesis planteada es aceptada, con base a las consideraciones de: utilidad del proyecto para los niños con dislexia, funcionalidad de los sistemas que lo integran, versatilidad de uso para alumnos y docentes, y no representar ningún tipo de riesgo para los usuarios.

Conclusiones

Se diseñó y construyó un sistema ciberfísico basado en un robot social que sirve como herramienta para la terapia educativa de niños con dislexia. Este sistema pudo llegar a ser considerado como una herramienta de terapia gracias a dos grandes características. En primer lugar, el software implementado en la pantalla HMI de 10" que permite realizar ejercicios de terapia enfocados en la dislexia a manera de juegos, lo cual permite que la atención del niño se centre en dichos ejercicios. En segundo lugar, el aspecto físico del robot que es visualmente amigable para los niños y que actúa de manera activa en los ejercicios que se realizan en el software, debido a que dan una retroalimentación visual y auditiva según los resultados de los ejercicios, captando completamente la atención de los usuarios.

Se desarrolló una página web en donde se puede encontrar una interfaz para el monitoreo de datos e información de los alumnos que usen el robot. Esta página web tiene la cualidad de que presenta un listado de los alumnos con su información personal, además del detalle de resultados de cada uno de los ejercicios que tiene el software y finalmente una gráfica de pastel que presenta el total de ejercicios correctos e incorrectos. La interfaz es

considerada de gran utilidad para los educadores y terapeutas que trabajan con los niños con dislexia debido a la facilidad de almacenamiento de los datos y resultados, además del acceso a los mismos gracias a que se puede acceder desde cualquier dispositivo con acceso a internet.

El software implementado en la pantalla HMI cumplió con las expectativas de los educadores y terapeutas de niños con dislexia. Los ejercicios que se presentan en pantalla para el uso de los niños tienen la fundamentación teórica correcta para poder ser considerados como herramientas de terapia. Cada uno de los niveles trata problemas de la dislexia tales como: transposición de letras, inversión de letras y/o números gráficamente similares, problemas de derivación de palabras (sufijos y prefijos), omisión y adición de letras en las palabras, y dificultad en la búsqueda de similitud en palabras iguales; por lo tanto, es considerado como un software funcional. Adicionalmente, su interfaz es amigable e intuitiva de tal manera que no es necesaria una explicación previa del uso del software a los niños.

Mediante el uso del protocolo MQTT se logró establecer la comunicación de las redes de sensores y actuadores que forman parte del sistema ciberfísico. El uso de este protocolo permitió que el cableado se vea reducido y que las tarjetas de adquisición de datos no se saturan con la información que reciben y envían. Además, el uso de un bróker en la nube, permite que el sistema ciberfísico pueda ser usado en cualquier lugar con acceso a internet, cosa que no hubiera sido posible en caso de usar un servidor con bróker local.

La validación del sistema ciberfísico concluye que, tanto el robot social, como la interfaz de monitoreo son funcionales, útiles, versátiles y poco peligrosos. Según las encuestas el 69% de los encuestados piensa que la herramienta es funcional, el 84% considera que es apta para aplicarse en niños con dislexia, un 92% cree que es un sistema versátil gracias su interfaz de monitoreo de datos y un 85% piensa que no representa ningún tipo de riesgo físico, psicológico o emocional en los niños que llegasen a usarlo.

El uso del programa Node-RED permitió que la comunicación MQTT se pueda establecer con éxito, ya que este funcionó como un intermediario entre el cliente y el bróker. Su fácil uso y programación fue de mucha ayuda para la configuración de parámetros de gran importancia tales como la definición del bróker y los tópicos que permiten la comunicación entre el publicador y el suscriptor. Además, permitió el envío de la información desde la tarjeta de adquisición hacia la base de datos y posteriormente la recepción de información desde la base de datos hacia la página web. Finalmente, fue la herramienta primordial para la creación de la interfaz de monitoreo de datos de los alumnos con el uso del módulo “dashboard” que permite la inserción de las herramientas principales que se usaron en la página web tales como: botones, tablas, gráficas estadísticas, entre otros.

Recomendaciones

Previo a hacer uso del robot, se recomienda asegurarse de que las tarjetas de adquisición de datos tengan acceso a internet para que así el protocolo MQTT pueda entrar en funcionamiento. En caso de que los microcontroladores no tengan conexión a internet, se verá reflejado en las luces RGB del robot, ya que estas no se encenderán. En este caso el software de la pantalla HMI podrá funcionar sin mayor problema, pero no se tendrá un registro de datos, ni tampoco las retroalimentaciones visuales y auditivas por parte del robot cuando sean resueltos los ejercicios. Para solucionar esto, se deben configurar las credenciales de nombre de red y contraseña en cada una de los módulos ESP8266.

Una vez que el robot esté listo para trabajar, se recomienda una familiarización previa del robot hacia el alumno. Esto se logra mediante una explicación breve al niño haciendo hincapié en que consiste en la pantalla se presentará un juego y que el robot interactuará con él según sus respuestas. Finalmente, se recomienda la incentivación a que el infante haga uso de los sensores táctiles ubicados en los pies del robot, para que de esta manera pueda

observar el movimiento de cabeza que produce hacia la izquierda o derecha, según el pie que toque el niño.

Se recomienda que la red Wifi a la cual sea conectada el robot, tenga una buena conexión, caso contrario podrían generarse retrasos o pérdida de mensajes en la comunicación MQTT. Esto desembocaría en que los datos personales y/o resultados de los niños que usan el robot no se vean reflejados en la página web y también podría verse afectada la retroalimentación visual que genera al robot, ya que no llegarían los mensajes que hacen que el robot mueva su cabeza y encienda las luces.

Durante el uso del robot por parte de los niños, se recomienda que un adulto (Educador o terapeuta) esté presente para que supervise las actividades y por si se presenta alguna dificultad. Además, es recomendable colocar al robot en una superficie que no sea lisa en su totalidad, ya que este podría resbalar causando que se aleje del usuario o pueda caer de la superficie.

Trabajos futuros

Se sugiere la integración de nuevos niveles y ejercicios enfocados a más problemas de dislexia, como por ejemplo la confusión entre nociones (izquierda derecha), reconocimiento de vocales y la identificación de grafemas, de la misma manera, integrar una función de niveles, desde el más fácil hasta el más complejo con la finalidad de que los niños puedan sentir su progreso mientras van realizando las actividades. Finalmente, almacenar varios ejercicios y que estos puedan aparecer de manera aleatoria según el nivel, esto para que los ejercicios realizados no sean siempre los mismos.

Explorar nuevas opciones de pantallas con una sensibilidad mucho más alta a la pantalla Nextion NX1060P101, debido a que, a pesar de ser una pantalla capacitiva, con una buena sensibilidad, se pudo evidenciar que, en algunos casos, los niños lograban activar el táctil de la pantalla con cierta dificultad. Esto puede deberse a que los infantes están

acostumbrados a la sensibilidad alta que tienen los dispositivos móviles tales como celulares o tabletas.

El proyecto tiene un gran potencial para ser usado no solamente para terapia de niños con dislexia, sino también para el ámbito educativo, en el cual se podría programar al robot para que enseñe letras, números, colores, etc. Así mismo, podría ser reprogramado para la enseñanza de nuevos idiomas tales como el inglés, francés, quichua, entre otros; de esta manera este sistema puede ser enfocado en diferentes grupos poblacionales.

Bibliografía

- Aborokbah, M. (2021). Using augmented reality to support children with dyslexia. *International Journal of Cloud Computing*, 10(1/2), 17. <https://doi.org/10.1504/IJCC.2021.113972>
- Acosta, A., & Ayala, M. (2019). *Guía para promotoras y promotores educativos comunitarios*.
- Acosta-Díaz, R., Aréchiga, M., Ramos-Michel, E., & Damián-Reyes, P. (2020). *Capítulo II. Impacto del Internet de las cosas en la educación como apoyo a tareas docentes*. http://www.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/loT-PDF_498.pdf#page=19
- Al Hakim, V. G., Yang, S.-H., Liyanawatta, M., Wang, J.-H., & Chen, G.-D. (2022). Robots in situated learning classrooms with immediate feedback mechanisms to improve students' learning performance. *Computers & Education*, 182, 104483. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104483>
- Aldebarán. (s/f). NAO. <https://www.aldebaran.com/es/nao>
- Angileri, L., & Paternò, F. (2022). EducationalGames: Web Application for Serious Games for Children with Dyslexia and ADHD. En M. Antona & C. Stephanidis (Eds.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. User and Context Diversity* (Vol. 13309, pp. 307–320). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05039-8_22
- Araguillin, V. (2022). *Estrategias que utilizan los docentes en el proceso de enseñanza aprendizaje para niños con dislexia. Un estudio de caso con niños de sexto año de educación general básica en una unidad educativa de la ciudad de Quito* [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23041>
- Asociación Americana de Psiquiatría. (2018). *Suplemento del Manual diagnóstico y estadístico de trastornos mentales* (Quinta).
- Atanasova, A., & Yosifova, A. (2019). Addressing Special Educational Needs in Classroom with Cyber Physical Systems: *International Journal of Cyber-Physical Systems*, 1(1), 71–90. <https://doi.org/10.4018/IJCPS.2019010105>

- Caicedo, C., & Maldonado, C. (2019). *Diseño y construcción de un robot que clasifique tarjetas con rutinas basadas en pictogramas para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) a través de visión artificial*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Camacho-Conde, J. A. (2019). Programa de Intervención Psicopedagógica de Alumnos con Dislexia. *ReiDoCrea: Revista electrónica de investigación Docencia Creativa*.
<https://doi.org/10.30827/Digibug.57766>
- Cano, S., & Benito, V. (2022). *Education, digital technologies and research: Augmented and virtual reality projects FORDYSVAR*.
https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/24666/3/Livro_Resumos_ieTIC2022_24abril2022_versa%CC%83o_final.pdf#page=28
- Castro, S., Casar, L., & García, A. (2018). *Reflexiones sobre la enseñanza inclusiva del inglés apoyada por tecnologías emergentes*. 38.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142019000100012
- Cerezo, D. (2019). *Influencia de la dislexia en la lectura comprensiva de los estudiantes del 3º año de Educación General Básica de la Escuela Gloria Navarrete de Castro provincia de Los Ríos cantón Babahoyo*. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6207>
- Chaidi, E., Kefalis, C., Papagerasimou, Y., & Drigas, A. (2021). Educational robotics in Primary Education. A case in Greece. *Research, Society and Development*, 10(9), e17110916371. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.16371>
- Corrales Castaño, L., & Rodríguez Torres, J. (2022). robótica social como herramienta educativa para alumnado TEA: Estudio de caso. *VISUAL REVIEW. International Visual Culture Review / Revista Internacional de Cultura Visual*, 9(Monográfico), 1–15.
<https://doi.org/10.37467/revvisual.v9.3776>
- Escobar, L., & Heredia, J. (2022). *Diseño de una aplicación móvil para la detección de riesgo de dislexia en estudiantes de 6 a 9 años del centro psicopedagógico “Tiempo de Aprender” en la ciudad de Ambato durante el periodo lectivo 2020 – 2021* [Universidad

- Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/25700/1/UCE-FIL-QQ.BB-ESCOBAR%20LUIS.pdf>
- Espinoza, N., & Almeida, R. (2018). *Rediseño y construcción de un robot social para interacción hombre máquina orientado a la educación de niños/as de 2—5 años* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14865>
- Euribe Salgado, F. (2018). Dislexia: El enemigo silencioso que podemos combatir desde el aula. *Educación*, 24(1), 79–84. <https://doi.org/10.33539/educacion.2018.v24n1.1318>
- Ferreira, J. (2020). *Ambiente baseado em ferramenta robótica para auxílio educacional de alunos com dislexia* [Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca]. <https://eic.cefet-rj.br/ppcic/wp-content/uploads/2020/11/29-Jomar-Ferreira-Monsores.pdf>
- Gantier, N. (2022). *La dislexia: Una cuestión neuropsicológica y neuroeducativa*. 23.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2071-081X2022000100007&script=sci_arttext
- García, L., Ceballos, E., Torres, A., Sacristán, F., & Alvarado, J. (2018). *Internet de las Cosas: Hacia una Educación Inteligente*. https://www.researchgate.net/profile/Luis-Luis-Garcia-2/publication/329104805_Internet_de_las_Cosas_Hacia_una_educacion_inteligente/links/5bf5d2d092851c6b27d16af1/Internet-de-las-Cosas-Hacia-una-educacion-inteligente.pdf
- Gargot, T., Asselborn, T., Zammouri, I., Brunelle, J., Johal, W., Dillenbourg, P., Archambault, D., Chetouani, M., Cohen, D., & Anzalone, S. M. (2021). “It Is Not the Robot Who Learns, It Is Me.” Treating Severe Dysgraphia Using Child–Robot Interaction. *Frontiers in Psychiatry*, 12, 596055. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.596055>
- González. (2019). *Sistema tutorial inteligente para la enseñanza en niños con dificultades intelectuales y cognitivas*. Universidad de La Laguna.

- Gordón, J., Caicedo, A., & Subía, A. (2022). Tití App, an Interactive Psycho-Pedagogical Recovery Tool: A Pilot Study. En A. Mesquita, A. Abreu, & J. V. Carvalho (Eds.), *Perspectives and Trends in Education and Technology* (Vol. 256, pp. 73–82). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5063-5_6
- Granta Design. (2023). *CES EduPAck* (19.2.0.0).
- Hess, J., & Gutierrez, A. (2018). *Introducción a la tecnología de asistencia*. www.ctdinsitute.org
- Honda. (2023). *ASIMO. The world's most advanced humanoid robot*.
<https://asimo.honda.com/default.aspx>
- IBM. (2023). *Node-RED* (V3.0.2) [Java Script]. IBM. nodered.org
- Iza, N. (2022). *Desarrollo de contenidos educativos SCORM para estudiantes con dislexia del Consultorio Psicopedagógico de la UNACH* [Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8937/1/UNACH-EC-FCEHT-PCEINF-0003-2022.pdf>
- Jamshidifarsani, H., Garbaya, S., Lim, T., & Blazevic, P. (2021). Intelligent Games for Learning and the Remediation of Dyslexia: Using Automaticity Principles. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, 7(1), 15–24. <https://doi.org/10.1109/MSMC.2020.3007131>
- Kabacińska, K., Prescott, T. J., & Robillard, J. M. (2021). Socially Assistive Robots as Mental Health Interventions for Children: A Scoping Review. *International Journal of Social Robotics*, 13(5), 919–935. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00679-0>
- Kaburlasos, V. G., & Vrochidou, E. (2019). Social Robots for Pedagogical Rehabilitation: Trends and Novel Modeling Principles. En M. Dimitrova & H. Wagatsuma (Eds.), *Advances in Systems Analysis, Software Engineering, and High Performance Computing* (pp. 1–21). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7879-6.ch001>
- Khaleghi, A., Aghaei, Z., & Behnamghader, M. (2022). Developing two game-based interventions for dyslexia therapeutic interventions using gamification and serious games

- approaches entertainment computing journal. *Entertainment Computing*, 42, 100482.
<https://doi.org/10.1016/j.entcom.2022.100482>
- Kory-Westlund, J. M., & Breazeal, C. (2019). Assessing Children's Perceptions and Acceptance of a Social Robot. *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Interaction Design and Children*, 38–50. <https://doi.org/10.1145/3311927.3323143>
- Lume, I. (2019). *El uso de las tecnologías de la información y comunicación en niños de 5 años en una institución educativa*. [Universidad Nacional de Tumbes].
<http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNITUMBES/1705>
- Luz, C. (2018). *Educación y tecnología: Estrategias didácticas para la integración de las TIC*. UNED.
- Macas, A., & Guevara, C. (2020, julio 18). *Uso de herramientas digitales para mejorar la dislexia en estudiantes de Educación Básica*. 6(3).
<https://dominiodelasciencias.com/index.php/es/article/view/1281>
- Mohd Aman, A. H., Hassan, W. H., Sameen, S., Attarbashi, Z. S., Alizadeh, M., & Latiff, L. A. (2021). IoMT amid COVID-19 pandemic: Application, architecture, technology, and security. *Journal of Network and Computer Applications*, 174, 102886.
<https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102886>
- Moreno Cerdá, F. (2018). *Demostrador arquitectura publish/subscribe con MQTT*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Muñoz, O. (2019). *Internet de las Cosas (IoT)*. Ibukku LLC.
- Muthumal, S. A. D. M., Neranga, K. T., Harshanath, S. M. B., Sandeepa, V. D. R. P., Lihinikaduwa, D. N. R., & Rajapaksha, U. U. S. K. (2022). Mobile and Simulation-based Approach to reduce the Dyslexia with children Learning Disabilities. *2022 IEEE 10th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, 311–317.
<https://doi.org/10.1109/R10-HTC54060.2022.9929822>

Ochoa, C., & Trávez, F. (2018). *Diseño y construcción de una plataforma robótica para pruebas de técnicas sobre visión artificial que permita el aprendizaje y desarrollo del software en robots interactivos* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15040/1/T-ESPE-040402.pdf>

PARO Robots. (s/f). *Robot terapéutico PARO*. <http://www.parorobots.com/>

Pivoto, D. G. S., de Almeida, L. F. F., da Rosa Righi, R., Rodrigues, J. J. P. C., Lugli, A. B., & Alberti, A. M. (2021). Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 176–192. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.11.017>

Pleo rb. (s/f). *What is PLEO rb?* pleoworld.com

Politi-Georgousi, S., & Athanasios, D. (2020). *Mobile Applications, An Emerging Powerful Tool for Dyslexia Screening and Intervention: A Systematic Literature Review*.

Rello, L. (2018). *Superar la dislexia*. Ediciones Paidós.

Remírez de Ganuza, M. (2021). *Cerebro y dislexia, en la actualidad*.

<https://193.146.64.118/handle/123456789/744>

Rosenberg-Kima, R., Koren, Y., Yachini, M., & Gordon, G. (2019). Human-Robot-Collaboration (HRC): Social Robots as Teaching Assistants for Training Activities in Small Groups. *2019 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 522–523. <https://doi.org/10.1109/HRI.2019.8673103>

Saavedra, J., & Maldonado, K. (2022, noviembre 9). *Estrategias TICs en el proceso de enseñanza-aprendizaje de estudiantes con capacidad especial dislexia. 4*.

<https://www.editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/336>

Santacruz, C. (2018, febrero 12). Dificultades en el aprendizaje o trastornos del aprendizaje escolar: Dislexia. *ARJÉ. Revista de Postgrado FaCE-UC*, 12.

<http://www.arje.bc.uc.edu.ve/arje22e/art46.pdf>

Singh, R. P., Javaid, M., Haleem, A., & Suman, R. (2020). Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(4), 521–524. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.041>

SolidWorks. (2020). *SolidWorks* (Versión 2020).

Yuan, F., Klavon, E., Liu, Z., Lopez, R. P., & Zhao, X. (2021). A Systematic Review of Robotic Rehabilitation for Cognitive Training. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, 605715. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.605715>

Apéndices