



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT TERAPÉUTICO Y ASISTENCIAL PARA UN INDIVIDUO ADOLESCENTE CON TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA PERFILADO”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

EDGAR SEBASTIÁN SÁNCHEZ BENALCÁZAR

HÉCTOR JOSUÉ ÁLVAREZ BARERA

Riobamba - Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT TERAPÉUTICO Y
ASISTENCIAL PARA UN INDIVIDUO ADOLESCENTE CON
TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA PERFILADO”**

Trabajo de Integración Curricular:

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: HÉCTOR JOSUÉ ÁLVAREZ BARRERA

EDGAR SEBASTIÁN SÁNCHEZ BENALCÁZAR

DIRECTOR: Ing. JOSÉ LUIS MORALES GORDÓN

Riobamba-Ecuador

2022

©2022, Edgar Sebastián Sánchez Benalcázar & Héctor Josué Álvarez Barrera

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Edgar Sebastián Sánchez Benalcázar y Héctor Josué Álvarez Barrera, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 1º de julio de 2022



Edgar Sebastián Sánchez Benalcázar

0604361550

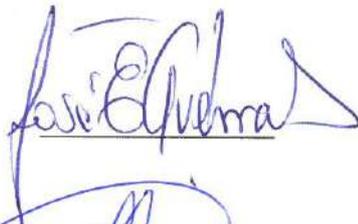
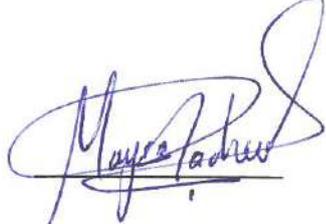


Héctor Josué Álvarez Barrera

1804527750

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; tipo: Dispositivo Tecnológico, **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT TERAPÉUTICO Y ASISTENCIAL PARA UN INDIVIDUO ADOLESCENTE CON TRASTORNO DEL ESPECTRO AUTISTA PERFILADO”**, realizado por los señores: **EDGAR SEBASTIÁN SÁNCHEZ BENALCÁZAR** y **HÉCTOR JOSUÉ ÁLVAREZ BARRERA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. José Enrique Guerra Salazar PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		<u>01/07/2022</u>
Ing. José Luis Morales Gordón DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		<u>01/07/2022</u>
Ing. Mayra Alejandra Pacheco Cunduri MIEMBRO DEL TRIBUNAL		<u>01/07/2022</u>

DEDICATORIA

A mis padres, Edgar y Lily, quienes siempre me han inculcado un alto sentido de responsabilidad, me han apoyado en cada instante y aspecto de mi vida, y cuyo anhelo ha sido el llegar a verme como un profesional y más que eso, como una persona correcta. A mi hermana, Estefanía, quien me ha enseñado la virtud de la perseverancia, a llevar siempre la alegría en toda circunstancia y de quien siempre he admirado su inteligencia y sensatez. A mis queridos abuelos: Martha, Emigdio y Ma. Eugenia, quienes a través de su vida me han enseñado la satisfacción del trabajo honesto y quienes siempre han estado pendientes durante todo mi proceso de formación. Y a Emilio, quien desde su forma diferente de entender el mundo y convivir con él, inspiró este trabajo.

Sebastián

Primero quiero dedicar este trabajo a mis padres, quienes fueron la fuerza incondicional más importante en la trayectoria de mi carrera universitaria, cuyos valores y enseñanzas sembraron en mí la fortaleza y dedicación para alcanzar mi sueño. A mis hermanas que me brindaron su apoyo moral durante toda esta etapa de mi vida. A mis familiares y amigos que brindaron consejos y palabras de aliento. Para ustedes que hicieron posible esto, con mucho afecto y esfuerzo.

Josué

AGRADECIMIENTO

Nuestro profundo y sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por la formación recibida durante el transcurso de la carrera. Al ingeniero José Luis Morales, por su paciencia y apoyo en el cumplimiento de este Trabajo de Integración Curricular. Y especialmente a la familia Ricaurte-Gaibor, de quienes hemos recibido la apertura requerida para hacer posible este proyecto.

Sebastián & Josué

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Trastorno del Espectro Autista.....	3
1.1.1. <i>Afecciones del Trastorno del Espectro Autista.....</i>	3
1.1.2. <i>Clasificación del Trastorno del Espectro Autista.....</i>	4
1.1.3. <i>Perfilamiento del usuario.....</i>	4
1.1.4. <i>El Trastorno del Espectro Autista en el mundo.....</i>	5
1.1.5. <i>El Trastorno del Espectro Autista en Ecuador.....</i>	5
1.2. Terapias y tratamientos tradicionales para el Trastorno del Espectro Autista.....	6
1.2.1. <i>Terapia del habla.....</i>	7
1.2.2. <i>Pictogramas.....</i>	7
1.2.3. <i>Modos para detección de pictogramas.....</i>	9
1.2.3.1. <i>Sensor de color.....</i>	9
1.2.3.2. <i>Módulo de radio frecuencia RFID/NFC.....</i>	9
1.2.3.3. <i>Sistema de visión artificial.....</i>	10
1.2.3.4. <i>Análisis comparativo de modos para detección de pictogramas.....</i>	10
1.3. Terapia para el Trastorno del Espectro Autista con robots.....	11
1.3.1. <i>Robots sociales o interactivos.....</i>	12
1.3.2. <i>Robots asistenciales para el tratamiento del TEA.....</i>	12
1.3.2.1. <i>Robota.....</i>	15
1.3.2.2. <i>Kit LEGO MindStorms EV3.....</i>	15
1.4. Actuadores.....	16

1.4.1.	<i>Motores</i>	17
1.4.1.1.	<i>Micromotores</i>	17
1.4.1.2.	<i>Motores paso a paso</i>	17
1.4.1.3.	<i>Servomotores</i>	17
1.4.2.	<i>Análisis comparativo de servomotores</i>	18
1.5.	<i>Cinemática inversa</i>	18
1.6.	<i>Análisis de esfuerzo</i>	19
1.7.	<i>Indicadores</i>	20
1.7.1.	<i>Indicadores sonoros</i>	21
1.7.2.	<i>Indicadores lumínicos</i>	21
1.8.	<i>Tarjetas de desarrollo</i>	21
1.8.1.	<i>Análisis comparativo de tarjetas de desarrollo comerciales</i>	22
1.9.	<i>Baterías</i>	22
1.9.1.	<i>Análisis comparativo de baterías</i>	23
1.10.	<i>Aplicación móvil</i>	24
1.10.1.	<i>Softwares para desarrollo de una aplicación móvil</i>	24
1.10.2.	<i>Análisis comparativo de softwares para desarrollo de aplicaciones móviles</i>	25
1.11.	<i>Dispositivos de comunicación inalámbrica robot-app</i>	25
1.11.1.	<i>Bluetooth</i>	26
1.11.2.	<i>Wi-Fi</i>	26
1.11.3.	<i>Análisis comparativo de dispositivos de comunicación inalámbrica</i>	27

CAPÍTULO II

2.	PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO	28
2.1.	Requerimientos del sistema	28
2.2.	Consolidación del sistema	29
2.3.	Arquitectura de hardware del robot TEO	30
2.4.	Estructura del robot	30
2.4.1.	<i>Materiales para la estructura del robot TEO</i>	31
2.4.2.	<i>Diseño de la estructura del robot</i>	33
2.4.2.1.	<i>Diseño del cuerpo</i>	35
2.4.2.2.	<i>Diseño de la cabeza</i>	36
2.4.2.3.	<i>Diseño de las extremidades delanteras</i>	36

2.4.2.4.	<i>Diseño de las orejas y la cola</i>	37
2.4.3.	<i>Análisis cinemático de la estructura</i>	37
2.5.	Componentes de hardware del robot TEO	40
2.5.1.	<i>Hardware de procesamiento de datos</i>	40
2.5.2.	<i>Hardware de adquisición de datos</i>	42
2.5.3.	<i>Hardware de comunicación</i>	43
2.5.4.	<i>Hardware de actuación</i>	44
2.5.4.1.	<i>Selección de servomotores</i>	44
2.5.4.2.	<i>Servomotor Hitech HS-311</i>	50
2.5.4.3.	<i>Servomotor Tower Pro SG-90</i>	50
2.5.4.4.	<i>Módulo MP3 DFPlayer Mini</i>	51
2.5.4.5.	<i>Módulo amplificador de audio PAM8403</i>	51
2.5.4.6.	<i>Diodo LED RGB</i>	52
2.5.5.	<i>Hardware de alimentación</i>	52
2.5.5.1.	<i>Batería Li-Po 7,4V Turnigy Nano Tech 3000mAh 20-40C</i>	52
2.5.5.2.	<i>Módulos reguladores de voltaje AMS1117 y LM2596 mini</i>	54
2.6.	Esquema de conexión y diseño de placa PCB	55
2.6.1.	<i>Esquema de conexión</i>	55
2.6.2.	<i>Diseño de la placa PCB</i>	56
2.7.	Diseño de software del robot TEO	58
2.7.1.	<i>Etapa de monitoreo de la batería</i>	58
2.7.2.	<i>Etapa de lectura de pictogramas</i>	58
2.7.3.	<i>Etapa de comunicación con la aplicación móvil</i>	59
2.7.4.	<i>Etapa de control de movimiento</i>	60
2.8.	Diseño de la aplicación móvil	64
2.8.1.	<i>Estructura de la aplicación móvil</i>	64
2.8.2.	<i>Programación de TEO APP</i>	64

CAPÍTULO III

3.	VALIDACIÓN DE PROTOTIPO	68
3.1.	Peso y dimensiones del robot	68
3.2.	Carga y duración del batería	69
3.2.1.	<i>Tiempo de carga de la batería</i>	69

3.2.2.	<i>Tiempo de operación del robot TEO</i>	70
3.3.	Distancia máxima de respuesta	70
3.4.	Efectividad de respuesta	71
3.4.1.	<i>Lectura de pictogramas</i>	71
3.4.2.	<i>Respuesta a señales de la aplicación móvil</i>	72
3.5.	Movimiento	73
3.6.	Resultados en actividades terapéuticas	73
3.6.1.	<i>Resultados de actividad con tarjetas tradicionales</i>	74
3.6.2.	<i>Resultados de actividad con pictogramas</i>	74
3.6.3.	<i>Actividad con aplicación móvil</i>	76
3.6.4.	<i>Análisis estadístico de los resultados obtenidos en las actividades</i>	77

CAPÍTULO IV

4.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	81
4.1.	Análisis de costos	81

	CONCLUSIONES	84
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	85
--	------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Ventajas y desventajas del uso de pictogramas en menores con TEA.....	8
Tabla 2-1:	Comparación de posibles modos para detección de pictogramas.....	11
Tabla 3-1:	Ventajas del tratamiento con robots en pacientes con TEA.....	14
Tabla 4-1:	Comparación motores.....	18
Tabla 5-1:	Comparación de familias de tarjetas de desarrollo.....	22
Tabla 6-1:	Comparación de baterías comerciales.....	23
Tabla 7-1:	Comparación de <i>softwares</i> de desarrollo de aplicaciones móviles.....	25
Tabla 8-1:	Comparación de las tecnologías de comunicación inalámbrica Bluetooth y Wi-Fi...	25
Tabla 1-2:	Parámetros D-H de las patas delanteras.....	38
Tabla 2-2:	Comparación de tarjetas de desarrollo.....	41
Tabla 3-2:	Comparación de módulos RFID/NFC.....	42
Tabla 4-2:	Comparación de módulos Bluetooth.....	43
Tabla 5-2:	Propiedades físicas y torque de las orejas	45
Tabla 6-2:	Propiedades físicas de la cola.....	46
Tabla 7-2:	Propiedades físicas de la cabeza para el primer movimiento.....	46
Tabla 8-2:	Propiedades físicas de la cabeza para el segundo movimiento.....	47
Tabla 9-2:	Propiedades físicas del pie.....	48
Tabla 10-2:	Propiedades físicas del pie y eslabón inferior.....	48
Tabla 11-2:	Propiedades físicas del pie y eslabones inferior y medio.....	49
Tabla 12-2:	Selección de servomotor según el torque requerido por cada pieza.....	49
Tabla 13-2:	Corriente de consumo de los elementos del circuito lector de pictogramas.....	53
Tabla 14-2:	Corriente de consumo de los elementos del circuito encargado de la comunicación y parte motriz.....	54
Tabla 1-3:	Dimensiones y peso del robot TEO.....	68
Tabla 2-3:	Registro de tiempo de carga de la batería.....	69
Tabla 3-3:	Registro de tiempos de operación.....	70
Tabla 4-3:	Datos de prueba de distancia de lectura sensor RFID PN532.....	71
Tabla 5-3:	Datos de prueba de distancia de módulo Bluetooth HC-05.....	71
Tabla 6-3:	Registro de efectividad de lectura de pictogramas.....	71
Tabla 7-3:	Registro de datos de efectividad de respuesta a señales de app.....	72
Tabla 8-3:	Comparación de ángulos obtenidos en programación y medidos en el robot TEO....	73
Tabla 9-3:	Resultados obtenidos en 10 días de actividad con tarjetas.....	74

Tabla 10-3:	Resultados obtenidos en 10 días de actividades con pictogramas.....	75
Tabla 11-3:	Resultados obtenidos en 10 días de la actividad con la aplicación móvil.....	77
Tabla 12-3:	Promedio de los resultados obtenidos en las actividades.....	78
Tabla 13-3:	Suma de cuadrados total de la muestra.....	79
Tabla 14-3:	Suma de cuadrados residual de la muestra.....	80
Tabla 15-3:	Grados de libertad y media de las sumas de los cuadrados.....	80
Tabla 1-4:	Costo de los componentes del <i>hardware</i> del robot TEO.....	82
Tabla 2-4:	Tabla comparativa LEGO MindStorms EV3 y robot TEO.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Ejemplos de pictogramas.....	8
Figura 2-1:	Sensor y tarjeta RFID/NFC.....	10
Figura 3-1:	Robot Zeno interactuando con un menor con TEA.....	13
Figura 4-1:	Sesión de imitación entre menor con TEA y Robota.....	15
Figura 5-1:	Robot secuenciador de colores construido con LEGO MINDSTORMS.....	16
Figura 6-1:	Servomotor SG90.....	18
Figura 7-1:	Estructura de un robot con dos cadenas cinemáticas.....	19
Figura 8-1:	Análisis estático de tensión de Von Mises	20
Figura 9-1:	Diodo LED.....	21
Figura 10-1:	Entorno de desarrollo MIT App Inventor.....	25
Figura 11-1:	Módulo Bluetooth.....	26
Figura 1-2:	Arquitectura del sistema.....	29
Figura 2-2:	Arquitectura de hardware del robot TEO.....	30
Figura 3-2:	Rollo de filamento PLA.....	31
Figura 4-2:	Molde de poliuretano del robot TEO.....	32
Figura 5-2:	Fieltro utilizado para crear el pelaje del robot TEO.....	33
Figura 6-2:	Vista frontal y lateral de un cachorro de raza <i>Golden Retriever</i>	33
Figura 7-2:	Dimensiones establecidas en base al diseño propuesto.....	34
Figura 8-2:	Zoomorfismo de un labrador con la pata levantada.....	34
Figura 9-2:	Dimensiones establecidas para cabeza, orejas y cola del robot TEO.....	34
Figura 10-2:	Articulaciones tomadas en cuenta para el movimiento en el robot TEO.....	35
Figura 11-2:	Captura de pantalla del diseño mecánico en Inventor	35
Figura 12-2:	Diseño del cuerpo del robot TEO.....	36
Figura 13-2:	Diseño de la cabeza del robot TEO.....	36
Figura 14-2:	Diseño de las extremidades delanteras del robot TEO.....	37
Figura 15-2:	Diseño de las orejas y cola del robot TEO.....	37
Figura 16-2:	Sistema de coordenadas de las patas delanteras.....	38
Figura 17-2:	Arduino Nano CH340.....	41
Figura 18-2:	Módulo RFID/NFC PN532.....	42
Figura 19-2:	Tarjetas RFID/NFC.....	43
Figura 20-2:	Módulo Bluetooth HC-05.....	44
Figura 21-2:	Servomotor Hitech HS-311.....	50

Figura 22-2:	Servomotor TowerPro SG-90.....	50
Figura 23-2:	Módulo MP3 DFPlayer Mini.....	51
Figura 24-2:	Módulo amplificador de audio PAM8403.....	51
Figura 25-2:	Parlante 8Ohm/3W 30x70mm.....	52
Figura 26-2:	Diodo LED RGB.....	52
Figura 27-2:	Batería Turnigy Nano-Tech 7,4V 3000mAh 20-40C.....	53
Figura 28-2:	Módulo regulador de voltaje AMS1117 3,3V.....	54
Figura 29-2:	Módulo regulador de voltaje LM2596 mini.....	55
Figura 30-2:	Esquema electrónico del circuito del robot TEO.....	56
Figura 31-2:	Diseño de la placa PCB del robot TEO.....	57
Figura 32-2:	Impresión de la PCB del diseño previamente realizado.....	57
Figura 33-2:	Placa PCB del robot TEO.....	57
Figura 34-2:	Análisis de la fórmula para el monitoreo de la batería, donde X es el valor leído por el puerto A0 y Vs el voltaje de la fuente.....	58
Figura 35-2:	Diagrama de flujo lector de pictogramas.....	59
Figura 36-2:	Diagrama de flujo conexión Bluetooth y control de servomotores.....	60
Figura 37-2:	Diseño de una pata delantera en SolidWorks.....	61
Figura 38-2:	Modelado de una pata delantera en Simulink.....	61
Figura 39-2:	Diseño de la función en Simulink.....	62
Figura 40-2:	Scribd del bloque de cinemática inversa.....	62
Figura 41-2:	Simulación en MatLab del movimiento de una pata delantera del robot TEO con cinemática inversa.....	63
Figura 42-2:	Etapas del código de cinemática inversa para control de servomotores.....	63
Figura 43-2:	Pantallas de menú, <i>talker</i> y juegos de TEO APP.....	64
Figura 44-2:	Programación de un botón de la opción Talker de TEO APP.....	65
Figura 45-2:	Programación de la conexión Bluetooth en TEO APP.....	65
Figura 46-2:	Diagrama de flujo de la programación de la sección juegos de TEO APP.....	66
Figura 47-2:	Captura de pantalla del juego con la temática de comida.....	67
Figura 48-2:	Captura de pantalla de parte de la programación de TEO APP.....	67
Figura 1-3:	Toma de medidas del robot TEO.....	68
Figura 2-3:	Pruebas de carga del robot TEO.....	69
Figura 3-3:	Medida de distancia máxima.....	70
Figura 4-3:	Pruebas de lectura de pictogramas.....	72
Figura 5-3:	Pruebas de respuesta a app.....	72

Figura 6-3:	Medición de los ángulos tomados por el robot TEO para llegar a un punto determinado.....	73
Figura 7-3:	Actividad con pictogramas.....	75
Figura 8-3:	Actividad con aplicación móvil.....	76

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Edad en meses del paciente con TEA en la que sus padres detectaron que era diferente.....	6
Gráfico 2-1:	Efectividad de los tratamientos recibidos por los niños con TEA en Ecuador.....	7
Gráfico 3-1:	Tiempo en minutos en los que los participantes fijaron su vista, se acercaron, tocaron o imitaron a Robota.....	15
Gráfico 4-1:	Porcentaje de aciertos de 3 niños con TEA en 4 sesiones con el robot secuenciador de colores.....	16
Gráfico 1-3:	Número de aciertos obtenidos durante 10 días de actividad con tarjetas.....	74
Gráfico 2-3:	Número de aciertos obtenidos durante 10 días de actividad con pictogramas.....	76
Gráfico 3-3:	Cantidad de fallos, intentos y porcentaje de efectividad al completar la actividad durante 10 días.....	77

ABREVIATURAS

CC: Corriente Continua.

CEA: Comité Español de Automática.

CPU: *Central Processing Unit* o Unidad Central de Procesamiento.

DC: *Direct current* o Corriente directa.

GPS: Global Positioning System o Sistema de Posicionamiento Global.

HRI: Human-Robot Interaction o Interacción Humano-Robot.

IFR: International Federation of Robotics o Federación Internacional de la Robótica.

LED: *Light Emitting Diode* o Diodo Emisor de Luz.

MIT: *Massachusetts Institute of Technology* o Instituto Tecnológico de Massachusetts.

MSP: Ministerio de Salud Pública.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

RFID: *Radio Frequency Identification* o Identificación por radiofrecuencia.

TEA: Trastorno del Espectro Autista.

TEL: Trastorno Específico del Lenguaje.

TDI: Trastorno Desintegrativo de la Infancia.

TGD: Trastorno Generalizado del Desarrollo.

NFC: *Near Field Communication* o Comunicación de campo cercano.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se enfoca en el diseño y construcción de un robot asistencial y terapéutico basado en las necesidades específicas de Emilio, un menor con Trastorno del Espectro Autista, quien posee discapacidad intelectual y no puede comunicarse verbalmente sino solo con el uso de pictogramas. El diseño del robot llamado TEO, se basó en un robot zoomórfico con forma de un cachorro labrador, además, posee la capacidad de interpretar pictogramas y reproducir su significado de manera oral mediante el uso de tarjetas de identificación por radio frecuencia, sensores de lectura y parlantes. Además, interactúa con Emilio a través de movimientos realizados como respuesta de las actividades que desarrolló el sujeto en una aplicación móvil compatible con el sistema operativo Android, esta comunicación se realizó por Bluetooth. Las pruebas realizadas en el transcurso de 10 días mostraron un incremento del 15% en la capacidad de Emilio para reconocer y utilizar pictogramas físicos, al igual que demostró un incremento del 11,04% en la destreza del uso de pictogramas en la aplicación móvil. En conclusión, el robot Teo ayudó a Emilio a comunicarse utilizando los pictogramas físicos y digitales de una manera más clara y precisa, debido a que el robot fue capaz de interpretar correctamente el 100% de los pictogramas en un tiempo de respuesta inmediato sin errores de lectura y de recepción de señal de la aplicación móvil. Se recomienda en el diseño de robots asistenciales, incluir mayor cantidad de movimientos que permitan realizar más actividades terapéuticas, al igual que implementar visión artificial para mejorar el reconocimiento de pictogramas y ofrecer nuevas formas de comunicación.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <ROBÓTICA>, <ROBÓTICA ASISTENCIAL>, <ROBOT TERAPÉUTICO>, <AUTISMO>, <SENSOR RFID>.



1944-DBRA-UPT-2021

2021-10-21

ABSTRACT

The present degree work focused on the design and construction of an assistive robot and based on the specific needs of Emilio, a minor with autism spectrum disorder, who has an intellectual disability and is not able to communicate verbally but only with the use of pictograms. The design of the robot called TEO, was based on a zoomorphic Labrador puppy alike robot, in addition, it can interpret pictograms and reproduce their meaning orally by using radiofrequency identification cards, reading sensors and speakers. Also, it interacts with Emilio through movements in response to the activities carried out by the subject in a mobile application compatible with the Android operating system, this communication was made by Bluetooth Tests performed over the course of 10 days showed a 15% increase in Emilio's ability to recognize and use physical pictograms, as well as demonstrated a 11.04% increase in the skill of using pictograms in the mobile application. In conclusion, the robot Teo helped Emilio to communicate using the physical and digital pictograms in a clearer and more precise way, because the robot was able to interpret correctly 100% of the pictograms in an immediate response time without reading errors and receiving signal from the mobile application. It is recommended in assistive robot design, to include more movements that enable more therapeutic activities, as well as to implement artificial vision to improve the recognition of pictograms and offer new forms of communication.

Keywords: < TECHNOLOGY AND SCIENCE ENGINEERING >, < ROBOTICS >, < ASSISTIVE ROBOTICS >, < THERAPEUTIC ROBOT >, <AUTISM>, < RFID SENSOR >.



INTRODUCCIÓN

El Trastorno del Espectro Autista, en adelante TEA, es un trastorno generalizado del desarrollo de procedencia neuropatológica, es un diagnóstico clínico y afecta de forma significativa a distintas funcionalidades psicológicas (Fuentes-Biggi et al., 2006, p.425). Las personas con TEA suelen tener asociados otros rasgos entre los cuales se puede destacar: retraso mental, problemas de conducta, estados de agitación, ansiedad, depresión, trastornos de alimentación, trastorno del sueño, trastornos de acción motriz, presentan algunos síntomas similares, como problemas de interacción social (Shibata, 2010, p.351).

Los robots asistenciales tienen como objetivo el apoyar a personas con problemas de salud, capacidades diferentes o servir a personas durante tareas cotidianas para ofrecerles una mejor calidad de vida (Salichs et al., 2014, p.1), en lo que respecta a tratamientos del TEA mediante robots, la robótica terapéutica se remonta a los años 80', en los últimos años los investigadores han comenzado a explorar el uso de robots para alcanzar los objetivos terapéuticos específicos para niños con autismo, esta terapia con robots ha obtenido muy buenos resultados, pues al no contar los robots con expresiones o emociones complejas, los pacientes se sienten más cómodos al interactuar y realizar actividades con ellos, ayudando a desarrollar sus habilidades sociales producto de esta interacción (Cabibihan et al., 2013, p.593).

El presente proyecto de titulación, consiste en el diseño y construcción de un robot asistencial para un individuo adolescente con Trastorno del Espectro Autista perfilado, robot elaborado con la finalidad de ayudar a Emilio a comunicarse de mejor manera con las personas con las que convive y se relaciona, además de darle acceso a terapias y brindar mayor seguridad para él y su familia.

JUSTIFICACIÓN

Los robots diseñados para tratar niños y adolescentes con TEA ayudan a mejorar sus destrezas de comunicación social, siendo un campo ampliamente explorado en la actualidad por las bondades que ofrece (Pinel Cardona, 2016, p.14):

- Debido a que los robots no expresan emociones complejas y se comunican de una forma sencilla, a las personas con TEA les resulta más fácil familiarizarse con estos y por consiguiente desarrollar habilidades que permitan descifrar el complejo lenguaje utilizado por los seres humanos en general.
- Por medio de estímulos positivos, el menor puede sentirse más cómodo para realizar actividades terapéuticas, pues un robot puede repetir una actividad N veces si no es realizada de manera correcta hasta lograr que se cumpla con la misma.

- Al no existir una comunicación compleja, es más fácil para el menor interpretar y seguir instrucciones, algo incapaz de realizarse con una persona debido a nuestra propia naturaleza.

Por estos motivos, se ha decidido diseñar un robot amigable, intuitivo y sobre todo útil; que asista a Emilio en su día a día, siendo posible la comunicación con sus familiares, además de darle acceso a actividades terapéuticas desarrolladas para su beneficio.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un robot terapéutico y asistencial para un individuo adolescente con Trastorno del Espectro Autista perfilado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los tipos existentes de robots asistenciales para menores con Trastorno del Espectro Autista.
- Establecer los requerimientos que debe satisfacer el robot asistencial para un individuo adolescente con TEA basado en un perfilamiento preliminar del usuario.
- Diseñar el prototipo que cumpla con los requerimientos establecidos para el robot asistencial para el individuo adolescente perfilado.
- Implementar el diseño definido para el prototipo usando el *hardware* y *software* apropiado, cuidando el cumplimiento de los requerimientos planteados.
- Evaluar el funcionamiento del prototipo implementado y su interactividad con el individuo perfilado basado en el cumplimiento de los requerimientos planteados en esta investigación.

METODOLOGÍA

El desarrollo del prototipo se basa en un perfilamiento de un usuario diagnosticado con Trastorno del Espectro Autista, mediante el cual se identifican detalles de su comportamiento, necesidades, aficiones y disgustos; éstas características permiten encontrar los requerimientos necesarios para la construcción de un robot asistencial y terapéutico personalizado para el paciente. Una vez se encuentren dichos requerimientos se analizan las mejores soluciones para cumplir con los mismos, se realiza un análisis cinemático para el movimiento del robot y por último se analizan los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este capítulo se presenta el concepto del Trastorno del Espectro Autista, sus afecciones, sintomatología y tratamientos. También se explora, a través de una revisión bibliográfica, el *hardware* y *software* que contribuya con el diseño y construcción del robot terapéutico y asistencial para un individuo adolescente con trastorno del espectro autista perfilado.

1.1. Trastorno del Espectro Autista

Denominado también como autismo y de aquí en adelante TEA, es un tipo de discapacidad social, es decir, las personas que lo sufren ven afectadas sus capacidades sociales-emocionales y además por lo general desarrollan hábitos repetitivos; lo que dificulta la forma de interpretar y expresar emociones, así como también problematizar la interacción con otros individuos al presentar conductas atípicas derivadas de esta problemática (Reynoso, Rangel y Melgar, 2017, p.215).

1.1.1. Afecciones del Trastorno del Espectro Autista

Este tipo de discapacidad afecta las habilidades socio-emocionales y puede llegar a generar conductas de carácter monótono, cabe recalcar que el TEA es un espectro, razón por la cual, existe un grupo de síndromes dentro del mismo, al hacer que cada paciente presenta una parte de estos síntomas, sin embargo no los mismos, por esto, ningún caso de diagnóstico de TEA se parece a otro, y por consiguiente, cada individuo debe tener un tratamiento personalizado para su sintomatología específica.

Las principales afecciones que presentan los pacientes diagnosticados con TEA son las siguientes (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2017a, pp.19-21):

- Desarrollo atípico o déficit del lenguaje oral.
- Falta de desarrollo o déficit del lenguaje expresivo.
- Desinterés o dificultad en la interacción con niños de su misma edad.
- Hipersensibilidad a estímulos sensoriales.
- Poca o nula sensibilidad al dolor.
- Déficit de atención.
- Falta de contacto visual al momento de interactuar.
- Muestra de interés personal intenso por temas específicos.
- Conducta y hábitos repetitivos de tipo motor o del habla.
- Tendencia a tomar posturas corporales extrañas.

Es importante mencionar que el autismo se encuentra asociado con distintos problemas de aprendizaje en un porcentaje notable, siendo que entre el 25% y 40% de los casos diagnosticados, se manifiesta una discapacidad del intelecto, donde los pacientes con TEA presentan un coeficiente intelectual o CI menor a 70 puntos, por lo cual, es común observar a menores con autismo con capacidades bajas en relación a otros de su misma edad (Pérez y Pérez, 2011, pp.S150-S151).

1.1.2. Clasificación del Trastorno del Espectro Autista

El Trastorno del Espectro Autista abarca una extensa sintomatología, cada caso particular presenta una combinación diferente de síntomas que se encuentran en mayor o menor grado. Por estas razones, el TEA se clasifica en los siguientes trastornos específicos: autismo típico, síndrome de Asperger, Trastorno Desintegrativo de la Infancia (TDI), síndrome de Rett, Trastorno generalizado del desarrollo (TGD), autismo atípico (Hervás Zúñiga, 2016, p.S11).

El diseño y construcción de un robot terapéutico y asistencial se centrará en el autismo típico, el cual es la forma más común del trastorno, cuyos síntomas a grandes rasgos son la disminución de habilidades sociales, déficit de destrezas comunicativas, manifestación de actividades y conductas repetitivas (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2017, p.10).

1.1.3. Perfilamiento del usuario

Emilio Ricaurte, un menor de 13 años diagnosticado con Trastorno del Espectro Autista (TEA), posee limitadas capacidades comunicativas y sociales, no habla y no expresa sus emociones con facilidad. Para poder comunicarse con sus seres queridos recurre al uso de pictogramas, tarjetas que representan de manera gráfica lo que Emilio desea expresar, ya sea su deseo de comer, jugar, descansar o de realizar cualquier actividad en su vida cotidiana. Para sobrellevar su trastorno, Emilio acude a la Unidad Educativa Especializada “Carlos Garbay”, en donde recibe una educación y atención adecuada por profesionales preparados para llevar su caso; sin embargo, debido a la pandemia del covid-19 que atravesamos en la actualidad, no puede acudir a sus clases, privándose de la educación y tratamientos que necesita (Ministerio de Educación, 2020, p.3), mientras se queda en casa en compañía de su madre, quien es la persona con la que más convive.

De acuerdo al diagnóstico de la MSc. Eliana Guevara, psicóloga y profesora de Emilio, y la MSc. Mónica Moreno, terapeuta de lenguaje; Emilio presenta las siguientes características específicas en su comportamiento:

- Nula capacidad del habla.
- Déficit de atención.

- Discapacidad intelectual y aprendizaje poco significativo.
- Fascinación por los animales.
- Fascinación por la comida.
- Gusto por el uso de teléfonos celulares.
- Apego a sus mascotas, de manera especial a su perro labrador.

Para comprender la manera de captar la atención o recompensar a Emilio, es necesario detallar sus gustos: prefiere realizar actividades con temática de animales y/o comida, le gusta utilizar su teléfono celular y disfruta pasar tiempo con su perro labrador; cuando juega con su mascota, le emociona cuando alza sus patas, pero también se asusta cuando llega o sale de manera precipitada, por lo que debe mantenerse quieto y sus familiares le acercan de manera pausada cuando quiere verle.

Cuando Emilio sufre una crisis tiende a apartarse y cubrirse hasta sentirse tranquilo, pero también llega a lanzar objetos cercanos. Es importante mencionar este aspecto, pues es indispensable que el prototipo construido sea resistente a golpes.

1.1.4. El Trastorno del Espectro Autista en el mundo

Según la Organización Mundial de la Salud, por sus siglas OMS, se estima que uno de cada 160 niños en el mundo sufre de autismo, además en la mayoría de casos el TEA es detectado dentro de los primeros 5 años de edad; según la gravedad del trastorno, es posible que persista hasta la adolescencia e incluso a lo largo de la vida del paciente, quien necesitará atención y cuidados permanentes. La cifra estimada por la OMS puede ser mayor, sin embargo, no se la conoce con real exactitud, debido a que en la actualidad, en varios países no registran los datos sobre TEA con la minuciosidad que se requiere (Organización Mundial de la Salud, 2021).

1.1.5. El Trastorno del Espectro Autista en Ecuador

Según datos oficiales del Ministerio de Salud Pública, por sus siglas MSP, en Ecuador se encontraban registradas 1266 personas diagnosticadas con TEA (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2017, p.12), sin embargo un estudio reciente contabiliza 1581 personas con el trastorno (Ecuador Chequea, 2020); este número no concuerda con las cifras de la OMS, “en el mundo, 1 de cada 160 niños padece de autismo” (Organización Mundial de la Salud, 2021), si se tiene en cuenta esta información, la cantidad de casos en el país debería ser muchísimo mayor, la principal razón del problema es la poca eficacia en la detección del TEA en Ecuador, además del poco conocimiento y atención de las políticas públicas en torno a

dicha dificultad, así como también del conflicto en general que representa diagnosticar el autismo al ser un trastorno diferente en cada sujeto (Ecuador Chequea, 2020).

En un análisis realizado en 2017 por la Universidad Andina Simón Bolívar (López y Larrea, 2017, pp.203-214), las cifras relevantes para el presente trabajo de titulación, concluyen que en Ecuador, como se puede observar en el gráfico 1-1, un 73,43% de los casos de Trastorno del Espectro Autista se descubrieron hasta los 36 meses de edad, por lo cual, es notorio el hecho de que los casos de autismo se detectan a temprana edad la mayor parte de las veces, esto se da porque el TEA se manifiesta incluso cuando los menores están en sus primeros meses de vida, con bebés que no responden a estímulos sociales como sonreír, llorar o hasta la ausencia del habla (López y Larrea, 2017, p.206).

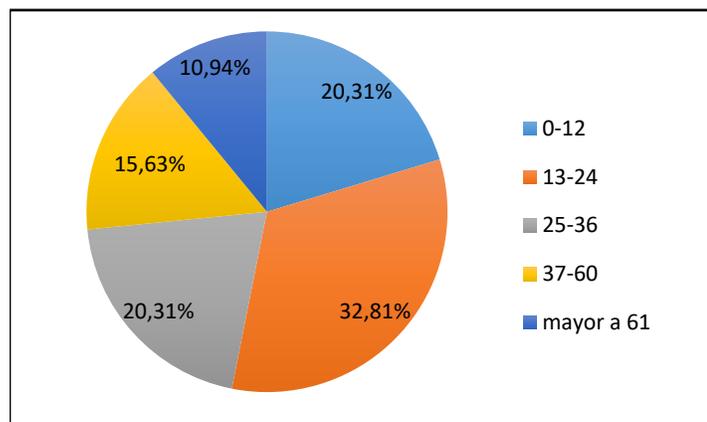


Gráfico 1-1: Edad en meses del paciente con TEA en la que sus padres detectaron que era diferente.

Fuente: López y Larrea, 2017, p.206.

1.2. Terapias y tratamientos tradicionales para el Trastorno del Espectro Autista

Existen diversos tratamientos desarrollados con el objetivo de disminuir los problemas sociales, comunicativos y comportamientos repetitivos presentados en los pacientes; sumado al apoyo psicológico profesional a familiares y allegados del paciente, para de esta manera guiarles hacia una mejor convivencia entre ellos y el individuo con TEA (Fuentes-Biggi et al., 2006, p.428).

Los tratamientos que más se aplican en Ecuador, como se pueden ver en el gráfico 2-1 son la terapia del lenguaje, terapia ocupacional y tratamiento psicológico, esto debido a que el problema de comunicación se encuentra en todos los casos detectados, así como también es necesario dar apoyo psicológico al paciente y a sus familiares; sin embargo, las terapias varían para cada caso de acuerdo con los gustos y necesidades de cada paciente (López y Larrea, 2017, p.209).

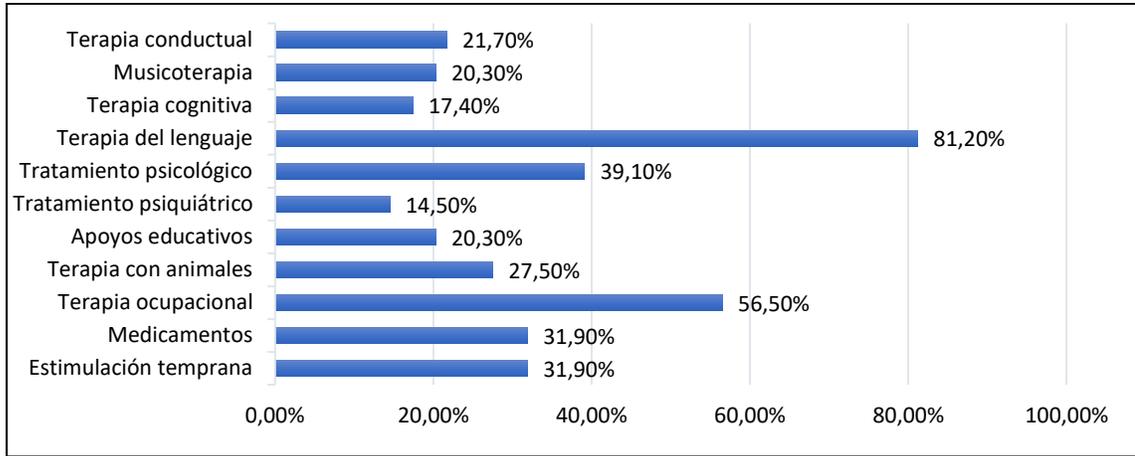


Gráfico 2-1: Efectividad de los tratamientos recibidos por los niños con TEA en Ecuador.

Fuente: López y Larrea, 2017, p.209.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Debido a la necesidad comunicativa de Emilio se revisará la terapia del habla, además por el tema objeto de esta investigación también se estudia la terapia con robots.

1.2.1. Terapia del habla

En todos los casos de autismo se presentan problemas de comunicación, por lo cual, es indispensable acudir a este tipo de terapia, personalizándola en cada caso, pues existen pacientes con un dialecto muy desarrollado acorde a su edad, otros en cambio, tienen pocas o nulas habilidades del habla.

Cuando se habla de terapia del habla, no solo se hace referencia al lenguaje oral, sino a toda forma de comunicación posible como gestos, posturas, señales y demás; es aquí donde un terapeuta capacitado, ayuda al paciente a desarrollar cualesquiera de estos modos de comunicación, de acuerdo con sus dificultades específicas (Healthy Children, 2018).

En este caso de estudio, debido a que Emilio procesa mucho mejor las imágenes, la terapeuta del habla determinó el uso de pictogramas como un medio inicial de comunicación con las personas que convive y se relaciona, a la vez que le permite trabajar rutinas, anticipación, orientación temporal y orientación espacial para la estimulación y desarrollo verbal.

1.2.2. Pictogramas

Son elementos visuales que transmiten un significado claro y simple, en la mayoría de los casos tienen un mensaje universal, aunque también se pueden considerar los significados sociales y culturales propios (Morral Subirà et al., 2012, p.150). La RAE, describe el pictograma como “un signo de la escritura de figuras o símbolos” (RAE, 2020). Se puede definir al pictograma como un lenguaje universal, como se observa en la figura 1-1, fundamentado en gráficos, signos o símbolos que no solo se basa en enviar

un mensaje, sino que buscan ser un recurso gráfico, sencillo de ser percibido y comprendido por la mayoría de la población sin importar las capacidades de cada individuo (Morral Subirà et al., 2012, p.150).



Figura 1-1: Ejemplos de pictogramas
Fuente: Díaz, 2018, p.22.

El uso de estructuras visuales puede ser de gran ayuda para las personas que sufren de autismo, puesto que al no comprender en parte o del todo las reglas sociales, las interacciones o el lenguaje verbal; para ellos esta opción es más estable y confiable, por lo cual, es muy utilizado por pacientes con autismo. Sin embargo, no todos los pacientes les otorgan el mismo significado a los pictogramas, por lo que muchas veces se recomienda utilizar dibujos más cercanos a la realidad o incluso fotografías, con el objetivo de que puedan expresar lo que desean comunicar de manera precisa. Además, el uso de esta herramienta es recomendable, debido a que el área del cerebro destinada al procesamiento visual, tiende a ser utilizada por individuos con TEA para representar o identificar alguna actividad (Sevilla et al., 2012, p.41). En la tabla 1-1, se presentan las principales ventajas y desventajas que conlleva el uso de pictogramas en menores con Trastorno del Espectro Autista.

Tabla 1-1: Ventajas y desventajas del uso de pictogramas en menores con TEA.

Ventajas	Desventajas
Facilitar la comunicación para una persona analfabeta.	Todas las personas en contacto con el paciente deben conocer el sistema.
Representar cualquier objeto, palabra o acción de forma gráfica.	Muchas representaciones son complicadas para un niño con autismo, limitando su vocabulario.
Las personas con autismo tienen un alto grado de sentido visual, por lo que es fácil acostumbrarse a este método de comunicación.	Su uso extensivo, puede representar un retroceso en la comunicación del lenguaje en pacientes que presentan todavía capacidades fonéticas.

Fuente: Andersen, 2010, pp.73-79.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En este caso de estudio, se tiene que Emilio utiliza 30 pictogramas para comunicarse con las personas que conviven con él, esto limita mucho las actividades que realiza y debido a que la mayoría de las tarjetas son comprendidas solo por su círculo social, también imposibilita la comunicación con

nuevos individuos. Se propone implementar un método para detectar cada uno de los pictogramas que utiliza Emilio y de esta manera ayudarlo a comunicarse.

1.2.3. Modos para detección de pictogramas

Para que Emilio pueda comunicarse y que los pictogramas sean interpretados y comprendidos con facilidad, se propone implementar un sistema de detección capaz de reconocer cada uno de los pictogramas y reproducir su significado de forma audible; para ello, se analizan tres posibles soluciones: el uso de un sensor de color, un sistema de comunicación RFID/NFC o la implementación de visión artificial.

1.2.3.1. Sensor de color

Está compuesto por un LED RGB y fotodiodos, en donde el LED emite luz blanca hacia una superficie y refleja el color de la misma para que sea captada por los fotodiodos que perciben el color según la intensidad de la luz receptada para emitir una señal de acuerdo a la misma (Filoteo et al., 2016, p.24). Los sensores de color son utilizados en sistemas de control de calidad, como por ejemplo la detección del nivel de maduración de frutas o la correcta coloración de pinturas, pigmentos, maquillaje, entre otros (Filoteo et al., 2016, p.29).

1.2.3.2. Módulo de radio frecuencia RFID/NFC

Se denomina RFID, a los módulos de identificación por radiofrecuencia, es decir reconocimiento a través de ondas de radio a una frecuencia determinada. Como se observa en la figura 2-1, está compuesto por un lector o receptor de radio frecuencia, el cual detecta o lee la señal del emisor e identifica su etiqueta o código (Correa, 2019, p.22). Dentro de la tecnología de identificación por radio frecuencia, se encuentra la denominada NFC, siglas de “*Near Field Communication*”, o en español “Comunicación de Campo Cercano”; la cual a diferencia de la RFID tradicional de largo alcance, necesita tener una cercanía de pocos centímetros entre el lector y el dispositivo a identificar (Vargas, 2017, p.26).



Figura 2-1: Sensor y tarjeta RFID/NFC.

Fuente: Santamaría, 2012.

1.2.3.3. Sistema de visión artificial

Se trata de un sistema capaz de detectar imágenes por medio de una cámara, las mismas luego son tratadas y procesadas con el objetivo de detectar los elementos presentes en ellas y sus propiedades, tales como forma, color, tamaño, distancia e inclusive el material del cual está compuesto (Vasco Orozco y Ocampo Tamayo, 2016, p.2). Por lo general, un sistema de visión artificial está compuesto de tres etapas: captación, por medio de una cámara de fotografía o video; tratamiento, en la cual se adecúa la imagen, se elimina el ruido existente y se corrigen imperfecciones existentes; e interpretación, en la cual, el sistema identifica los elementos presentes en la misma (González et al., 2006, p.11).

1.2.3.4. Análisis comparativo de modos para detección de pictogramas

Un análisis comparativo de los modos mencionados, permite determinar cuál es la opción más viable para la detección de los pictogramas de Emilio. En la tabla 2-1 se describen aquellos aspectos que se consideran relevantes para el desarrollo del proyecto.

Tabla 2-1: Comparación de posibles modos para detección de pictogramas.

Características	Sensor de color	Sensor RFID/NFC	Visión artificial
Costo estimado	\$5	\$8	\$200
Necesidad de condiciones específicas de iluminación	✓	X	✓
Tipo de reconocimiento	color	código	imagen
Rango de distancia estimado para la detección	0-10mm	0-100mm	Límite máximo no determinado
Recursos de memoria RAM necesaria	1Kb	1Kb	1Gb
Consumo de corriente estimado	30mA	120mA	700mA
Uso de algoritmos sencillos y pocas líneas de código	✓	✓	X

Fuente: Filoteo et al., 2016, p.29; Vasco Orozco y Ocampo Tamayo, 2016, p.3; Caicedo Muñoz y Maldonado Jaramillo 2019; Vargas, 2017, p.26.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Como parámetros de diseño se considera que tanto el uso como el reconocimiento de los pictogramas sea lo más sencillo posible, de esta manera evitar complejos procesos y el cumplimiento de múltiples condiciones; además de minimizarse en lo posible las fallas y errores de lectura, el uso excesivo de recursos y el consumo de corriente; por último debe ser un método simple de implementar y de bajo costo.

Bajo estos parámetros y de acuerdo con la información expuesta en la tabla 2-1 se concluye que el método de detección a través de un sensor RFID/NFC es el adecuado para el desarrollo del prototipo, puesto que la detección de pictogramas será mucho más sencilla al poder identificar un código único existente en cada tarjeta sin tener la necesidad de reconocer cada una de las imágenes, para el proceso de reconocimiento basta con realizar un movimiento frente al sensor a una distancia máxima de 10 cm lo que evitaría errores de lectura y mal interpretaciones (Vargas, 2017, p.26). También cabe destacar el hecho de que ofrece la posibilidad de incrementar múltiples tarjetas sin necesidad de utilizar excesivos recursos de memoria ni extensos códigos de programación; si bien, no es la opción de menor precio, los beneficios que posee en contraste con el valor de inversión que implica para su implementación, dando la mejor relación costo-beneficio en comparación de las demás opciones comparadas.

1.3. Terapia para el Trastorno del Espectro Autista con robots

Un robot, es una máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado (RAE, 2021). El desarrollo de la robótica al servicio de menores con TEA es una tendencia creciente debido a sus excelentes resultados, pues los robots, al no presentar emociones complejas como los seres humanos y tener un comportamiento predecible, resultan ser fáciles de interpretar para los niños con este

trastorno, quienes por lo general se ven atraídos a este tipo de tecnología, razones por las cuales, la robótica es cada vez más utilizada para el tratamiento del TEA (Cruz y Salazar, 2014, pp.2-3); esto se debe a que para un individuo con autismo, es más sencillo relacionarse con un robot, pues éste carece de emociones, gestos complejos y posee un comportamiento predecible; lo que facilita la interacción con el paciente al momento de realizar actividades terapéuticas, y por consiguiente, logra mejores resultados en el desempeño de dichas tareas encomendadas (Martins, 2017).

1.3.1. Robots sociales o interactivos

Este tipo de robots pertenece a la robótica asistencial social, que es una subárea de la robótica destinada a diseñar robots que cubren las necesidades especiales de los pacientes con dificultades sociales, físicas o de interacción (Kim et al., 2013, p.1039), están enfocados en generar un ambiente social mientras se estimula la participación de los usuarios en actividades recreativas, educativas y terapéuticas, además cuentan con la capacidad de desarrollarse en cualquier espacio que lo rodee (Nejat y Ficocelli, 2008, p.3564); por tanto, están diseñados con la intención de comunicarse e interactuar con los seres humanos (Pinel Cardona, 2016, p.14-17). Una ventaja de este tipo de robots, es que pueden ser programados para responder a cualquier situación mientras aprenden de ello, cambian la forma en la que responden al mundo, con respuestas más sofisticadas que llaman la atención del individuo y lo motiva a estar en constante crecimiento (Cruz Ardila y Salazar, 2014, pp.5-10).

Sin embargo, la disponibilidad de estos dispositivos es muy limitado debido a los altos costos y la escasez en el mercado. Por esta razón los desarrolladores han centrado su atención en diseñar y comercializar robots a un coste en lo posible asequible para extender su uso a cualquier tipo de terapia como es el caso de los pacientes con Trastorno del Espectro Autista (Kim et al., 2013, p.1039).

1.3.2. Robots asistenciales para el tratamiento del TEA

Paola Pennisi (Pennisi et al., 2016, pp.174-175), analizó diversos trabajos realizados hasta el año 2015, en donde se utilizan robots sociales para el tratamiento del TEA; se destaca que en 13 de ellos, los sujetos de estudio mostraron una mejora en la manera de proceder con el robot, al contrario de que con el ser humano, se presenta un mayor contacto visual y táctil del paciente sobre el dispositivo, al mismo tiempo que corrigieron su postura y elevaron la producción verbal, por ejemplo, en la figura 3-1 se observa como un menor interactúa de manera natural y espontánea con el robot Zeno.



Figura 3-1: Robot Zeno interactuando con un menor con TEA.

Fuente: Snow, 2019.

En 13 estudios, existe un progreso en el modo de actuar frente a un robot, a diferencia que con otro individuo, al verse un incremento en el contacto visual y táctil durante juegos, a la vez una mayor manipulación de objetos del medio. En 16 investigaciones con respecto al comportamiento social se encontró que en 8 de ellas se demostró que los robots son excelentes estímulos y mejoran la conducta; en 14 se demuestra que los niños con TEA demuestran tener una interrelación con el robot; en 9 se determinaron que con los robots presentan un beneficio superior siendo mediadores entre el niño y el terapeuta. De igual forma, se muestra que en 3 de 4 análisis investigados, se encuentra una mejoría del idioma; así también, se evidencia el hecho de que en los menores con TEA se puede mejorar la imitación cuando se emplean robots (Pennisi et al., 2016, p.174). Todo esto gracias a que la robótica logra atraer la atención de los más jóvenes en las tareas programadas.

En la tabla 3-1 se nombran algunas de las ventajas del uso de robots en el tratamiento de pacientes con TEA, en donde los robots tienen un buen potencial para desencadenar algunas habilidades y servir como un eslabón de las habilidades comunicativas de los niños (Pinel Cardona, 2016, pp.14-17).

Tabla 3-1: Ventajas del tratamiento con robots en pacientes con TEA

En interacción Social	En comunicación
<ul style="list-style-type: none"> - Se estimula la generación de respuestas emocionales e imitan y mantienen el contacto visual con mayor frecuencia con robots - Los niños reconocen mejor la expresión faciales con los robots, dada la motivación intrínseca, permite avanzar más en la teoría de la mente y facilitar la comprensión de señales sociales complejas - Ayuda a romper el aislamiento y facilitar la interacción con otras personas - Pueden ser utilizados no solo como compañeros de juego o mediadores sino también como juguetes que pueden ser programados y adaptados de acuerdo a sus necesidades asegurando que los niños puedan sentirse a gusto en la interacción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los robots desencadenan respuestas sociales en niños con TEA dado que las habilidades sociales de los robots son muy simples. - El niño ve recompensado su esfuerzo y se anima a iniciar interacciones, no solo con el robot si no también con el terapeuta. - Es más fácil que los niños sigan instrucciones y no se dejen intimidar por las complejidades de la comunicación verbal y no verbal, el proceso de comunicación es más fácil. - Los robots pueden ser útiles para enseñarles a esperar una respuesta del interlocutor o a esperar el turno durante un juego

Fuente: Pinel Cardona, 2016, pp.14-17.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Para el diseño de robots se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debido a que los robots son utilizados como mediadores, deberían ser humanoides. Sin embargo, los robots del tipo animal, ayudan a centrar la atención en señales sociales necesarias al limitar los estímulos distractores, además, los niños tienden a mostrar mayor afinidad hacia los robots no humanoides (Pinel Cardona, 2016, pp.14-17).
- Su apariencia debe ser atractiva para captar la atención de los niños y deben tener un tamaño que le permita una fácil interacción. Las expresiones faciales deben ser simples (Cabibihan et al., 2013, p.593).
- La funcionalidad debe ofrecer una retroalimentación positiva a través de respuestas o estímulos. Los robots con movimiento provocan más comportamientos positivos por parte de estos niños mientras el robot permite al niño tomar decisiones durante la interacción, mediante algún botón manual (Kozima et al., 2005, pp.341-346).
- Como requisito de seguridad, deben ser robustos y no tener bordes afilados (Cabibihan et al., 2013, p.593).
- Debe permitir el control de secuencia de movimientos por parte del terapeuta. La presencia de un ser humano en el bucle es vital (Pinel Cardona, 2016, pp.14-17).

A partir de este tipo de estudios se empezaron a diseñar y construir dispositivos robóticos que ayuden en el tratamiento del TEA, al mismo tiempo que se recoge información para aprender y mejorar en la terapia ofrecida a cada uno de los pacientes.

1.3.2.1. Robota

Es un robot humanoide diseñado como parte del proyecto Aurora, el cual es creado para desarrollar tratamientos de robótica para menores con autismo. Robota, como se observa en la figura 4-1, toma posturas corporales tales como alzar un brazo, girar la cabeza o levantar una pierna; los cuales deben ser imitados por los pacientes con Trastorno del Espectro Autista (Robins et al. 2004, pp.5-8).



Figura 4-1: Sesión de imitación entre menor con TEA y Robota.

Fuente: Robins et al., 2004, p.6.

Como se evidencia en el gráfico 3-1, las sesiones entre Robota y menores con TEA que poseen pocas o nulas capacidades de comunicación verbal, mejoraron en los participantes habilidades sociales como imitación, acercamiento, fijación de los ojos en el robot y un mayor contacto con el dispositivo de forma significativa, de manera especial a partir de los 90 días de tratamiento (Robins et al., 2004, p-7).

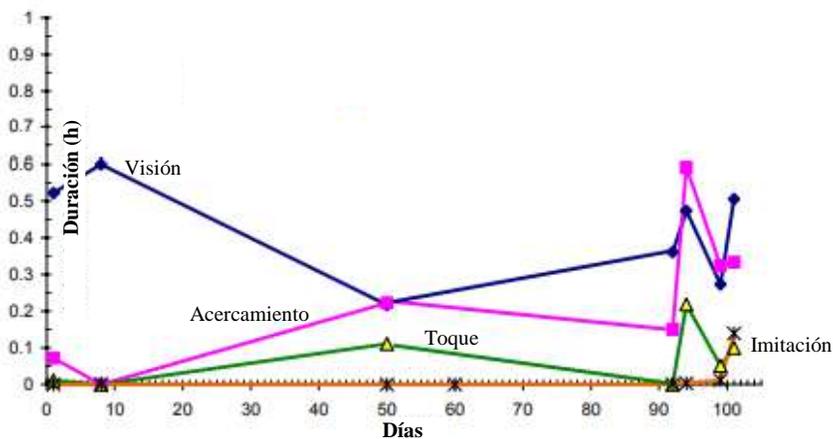


Gráfico 3-1: Tiempo en minutos en los que los participantes fijaron su vista, se acercaron, tocaron o imitaron a Robota.

Fuente: Robins et al., 2004, p.7.

1.3.2.2. Kit LEGO MindStorms EV3

Se trata de un set de la empresa LEGO, el cual incluye piezas para armar robots sencillos y personalizados, además de poder programarlos en un lenguaje simple e intuitivo como Scratch, es

decir, por medio de bloques. En el estudio realizado por J. Cruz y Y. Salazar, se realizaron 4 sesiones para niños con autismo, los cuales debían imitar una secuencia de colores realizadas por el robot construido para el proyecto como se ve en la figura 5-1, se obtiene en cada sesión más aciertos en esta actividad, estos resultados se muestran en el gráfico 4-1, lo que evidencia una clara mejoría en la interacción, comportamiento y atención prestada por los participantes (Cruz Ardila y Salazar, 2014, pp.5-10).

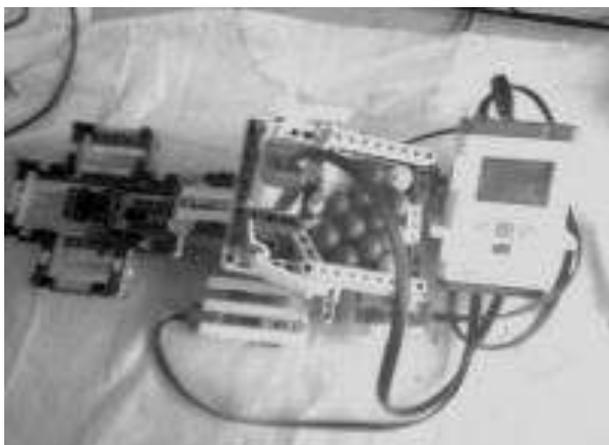


Figura 5-1: Robot secuenciador de colores construido con LEGO MINDSTORMS

Fuente: Cruz Ardila y Salazar, 2014, p-6.



Gráfico 4-1: Porcentaje de aciertos de 3 niños con TEA en 4 sesiones con el robot secuenciador de colores.

Fuente: Cruz Ardila y Salazar, 2014, p-8.

1.4. Actuadores

Un robot, luego de percibir estímulos de su entorno por medio de los sensores, debe responder a los mismos, para esto, está dotado de “actuadores”, se denomina actuadores a todo aquel elemento que acciona un movimiento, por lo general, sirven para dotar al robot de movilidad, y de esta manera cumplir con una acción en específico de acuerdo con la finalidad para la que haya sido construido (Corona Ramírez, Abarca Jiménez y Mares Carreño, 2014, pp.25-26).

1.4.1. Motores

Se trata de máquinas eléctricas, las cuales utilizan la electricidad para producir movimiento rotacional, es decir, transforman la energía eléctrica en energía mecánica, para lograr este resultado, los motores conducen el flujo eléctrico por medio de un hilo conductor en forma de inducido, para generar un campo magnético, el cual, se opone a la fuerza magnética de los imanes presentes en la parte fija o estator; esto obliga a que los imanes se desplacen a su polo opuesto y generen el movimiento rotacional de la parte móvil o rotor (Guarella et al., 2011, pp.21-22).

1.4.1.1. Micromotores

Los micromotores, como su nombre lo indica, son motores de tamaño reducido, y suele poseer caja reductora, por lo que también se denominan “micromotores reductores” o “micro motorreductores”, debido a su tamaño reducido y a la gran velocidad que puede llegar a poseer de acuerdo a la reducción que posea, se utilizan por lo general en robótica (Maiquiza, 2020, pp.11-12).

1.4.1.2. Motores a paso

Los motores a paso son motores de corriente directa que se caracterizan por actuar de acuerdo a impulsos eléctricos, es decir que de acuerdo a los impulsos que recibe gira una cierta cantidad de grados. Al funcionar por medio de señales eléctricas, son muy utilizados en aplicaciones computarizadas, las cuales utilizan señales digitales para determinar los grados exactos que el motor debe girar, esto hace que los motores a pasos se utilicen en aplicaciones donde se requiera una alta precisión en cuanto a posición se refiere (Aguiar, 1996, p.9).

1.4.1.3. Servomotores

Utilizados cuando es necesario realizar movimientos de precisión, es decir, si se requiere que el motor gire a posiciones determinadas; poseen la ventaja de ofrecer un gran torque debido a la caja reductora integrada en su interior; además de brindar mejor control sobre la posición y ofrecer la posibilidad de controlar su velocidad y aceleración; razones por las cuales son muy utilizados en control, automatización y robótica (Contreras et al., 2018, pp.1549-1552). La figura 6-1 muestra un servomotor SG-90.



Figura 6-1: Servomotor SG90

Fuente: Grupo Electrostore, 2021a.

1.4.2. Análisis comparativo de motores

Tabla 4-1: Comparación de motores

Características	Micromotor 	Motor a pasos 	Servomotor 
Número de terminales	2 (positivo, negativo)	6 (2 de alimentación y 2 por cada bobina)	3 (positivo, negativo, señal)
Tipo de control	PWM	Por posición	Por posición
Retroalimentación	No	No	Sí
Ventaja principal	Rotación rápida y alto torque	Rotación y control precisos	Alto torque, rotación rápida y precisa
Desventaja principal	Control impreciso de posición	Velocidad lenta y bajo torque	Ángulo de rotación limitado

Fuente: Grupo Electrostore, 2020; Pololu, 2021; SanDoRobotics, 2019.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En la tabla 4-1 se realiza una comparación entre un motor de cada tipo, por las características descritas, se elige el servomotor permite determinar con precisión las posición de giro, además de poseer un alto torque y alta velocidad de rotación, si bien su ángulo de rotación es limitado, además de la ventaja de poseer retroalimentación, lo que permite un mayor control para aplicaciones robóticas.

1.5. Cinemática Inversa

El objetivo de este análisis es, para el caso de una cadena articulada, encontrar los ángulos necesarios que necesita tomar cada articulación de la cadena para que el extremo de la misma, también llamado efector final, alcance un punto en el espacio dentro de su rango de alcance (Giraldo et al., 2006, pp.29-34).

Para el caso de robots con varias extremidades como el de la figura 7-1, es necesario tomar cada extremidad como una cadena cinemática independiente y analizarse por separado, pues a pesar de ser un solo dispositivo, no suelen utilizar todas sus extremidades para alcanzar el mismo punto, cada una

puede moverse de manera diferente, en este caso los movimientos deben coordinarse de acuerdo al resultado deseado (Vele, 2005, pp.1-5).

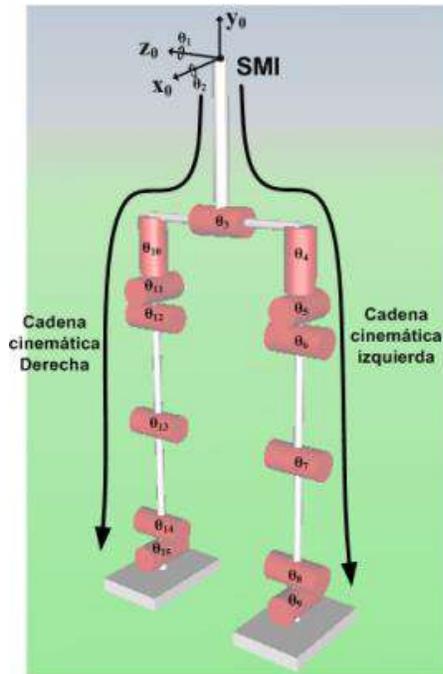


Figura 7-1: Estructura de un robot con dos cadenas cinemáticas.

Fuente: Vele, 2005, pp.1-5.

1.6. Análisis de esfuerzo

Para realizar una correcta selección de los motores de acuerdo al torque requerido por las piezas diseñadas, se emplea un análisis de esfuerzos. Se utiliza el Software Inventor se realiza una simulación de los modelos, las tensiones y deformaciones tridimensionales desarrolladas en varias direcciones. La forma en la que expresan estas tensiones multidireccionales consiste en resumirlas en una tensión equivalente denominada también Tensión de Von Mises, los desplazamientos físicos y las tensiones se calculan respecto al sistema de coordenadas globales de la pieza o el ensamblaje (Autodesk, 2021).

En el resultado de este tipo de simulaciones se puede observar:

- Malla superpuesta sobre los resultados
- Valores máximos y mínimos de carga con su ubicación
- Ajuste de deformación para mejorar los efectos de las cargas de forma visual para que se pueda evaluar el impacto
- Volumen de trazados, tanto sombreado suave como contorno

- Animar el desplazamiento

Con el análisis de tensión estático se determina:

- La deformación que incluye el tensor de deformación y las deformaciones principal y equivalente.
- Presión de contacto
- Desplazamiento
- Tensión
- Coeficiente de Seguridad

Los resultados obtenidos se visualizan en la manera que se muestran en la figura 8-1.

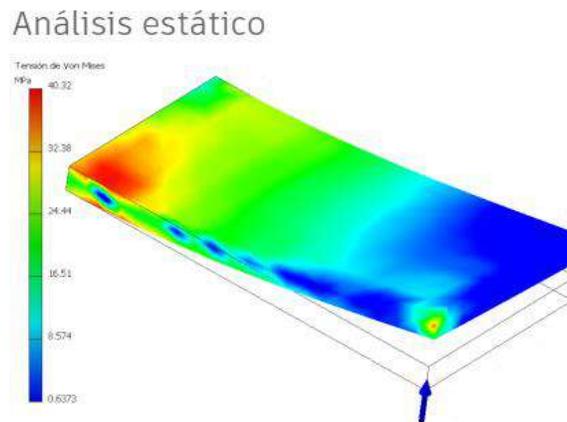


Figura 8-1: Análisis Estático de Tensión de Von Mises

Fuente: Autodesk, 2011.

Para obtener un correcto resultado se deben especificar todas las propiedades de materiales; además, es necesario utilizar el editor de estilos y normas para agregar la propiedad del material empleado en la fabricación de las piezas.

1.7. Indicadores

Además de percibir y reaccionar a un estímulo, los robots muchas veces requieren comunicar un mensaje, para lo cual, necesitan estar dotados de “indicadores”, un indicador es un elemento que permite a la máquina comunicarse con el usuario, para transmitir un mensaje, datos o para informar el estado del sistema; con este objetivo, utiliza medios visuales, auditivos, o cualquier medio por el cual, a través de los sentidos, el ser humano pueda captar de manera más natural y sencilla lo que el dispositivo en cuestión necesita comunicar (Chavarría y Saldaño, 2010, p.8).

1.7.1. Indicadores sonoros

Se denomina indicadores sonoros, a los que utilizan el sonido con el fin de llamar la atención del usuario o para comunicarse con el mismo, ya sea por medio de sonidos de alerta como, por ejemplo, a través de una sirena; o con palabras, frases o música al utilizar bocinas o parlantes. Los indicadores sonoros son muy efectivos y fáciles de comprender al actuar sobre uno de los sentidos más utilizados en la vida cotidiana del ser humano (Astesana y Medina, 2016, p.20).

1.7.2. Indicadores lumínicos

Los focos o lámparas sirven como indicadores luminosos para representar mensajes llamativos y fáciles de entender, son muy utilizados para informar según su estado de encendido o color sobre el funcionamiento de una máquina, la situación de un sistema, la presencia de un error, es decir, el momento en el cual se presenta un evento determinado (Déleg, 2015, pp.1-2).



Figura 9-1: Diodo LED
Fuente: CEFIRE, 2018.

Un diodo emisor de luz o LED por sus siglas en inglés, como se muestra en la figura 9-1, son dispositivos electrónicos compuestos por dos elementos metálicos semiconductores de tipo P y N unidos en algún punto, los cuales al recibir energía eléctrica a un cierto nivel transfieren los electrones del material P al N o viceversa, es decir el diodo se abre o se cierra frente a un estímulo o impulso eléctrico (CEFIRE, 2018). Los LEDs se activan al ser estimulados con electricidad, al hacerlo emiten fotones, y al arrojar estas partículas en una determinada frecuencia son capaces de irradiar distintos tipos de luz, desde la luz visible en todos los colores, hasta incluso la luz infrarroja o ultravioleta. Los LEDs además de emitir una gran variedad de variaciones de luz, también son eficientes al consumir muy poca energía y poseen de muy larga duración con respecto a otras variedades de focos (Herranz, Ollé y Jáuregui, 2011, p.38).

1.8. Tarjetas de desarrollo

Las tarjetas de desarrollo son dispositivos electrónicos contruidos en base a un microcontrolador o un microprocesador, sumándole a éstos, dispositivos de regulación de voltaje, módulos de comunicación y energía, puertos para periféricos de entrada y salida, es decir, dispositivos que potencien o agreguen más funciones al microcontrolador. Estos dispositivos son programables, por lo cual, son muy versátiles y de acuerdo a la creatividad e ingenio del usuario pueden ser utilizados en proyectos de toda índole (Sanz et al., 2002, p-137).

1.8.1. Análisis comparativo de familias tarjetas de desarrollo

Se realiza una comparación de tres familias tarjetas de desarrollo, dichos dispositivos se eligen debido a sus dimensiones reducidas, en comparación a otros similares de su misma marca o línea, su bajo precio, y además, de la capacidad de realizar tareas como el manejo de servomotores, integrar módulos y sensores, o la capacidad de comunicación inalámbrica; aspectos fundamentales para la operación del robot producto del presente proyecto. Las tarjetas seleccionadas para la comparativa son: tarjetas ESP (Naylamp Mechatronics, 2019b), Arduino (Electrostore, 2020) y Raspberry (Raspberry Pi, 2020).

Tabla 5-1: Comparación de familias de tarjetas de desarrollo.

Características	Tarjetas ESP	Arduino	Raspberry
Rango de precios	\$8 - \$20	\$5 - \$25	\$70 - \$150
Tipo de controlador	Microcontrolador	Microcontrolador	Microprocesador
Software de programación	Arduino IDE	Arduino IDE	Raspberry Pi OS (Raspbian)
Consumo de corriente	255mA	46mA	350mA
Memoria	520 KByte SRAM	2 Kbyte SRAM	2GB
Lenguaje de programación	LUA	Lenguaje Arduino, C++	Python
Tipo de software	Libre	Libre	Comercial
Comunicación inalámbrica	WiFi y Bluetooth incorporado	WiFi y Bluetooth por módulo externo	WiFi y Bluetooth incorporado

Fuente: Electrostore, 2020; Naylamp Mechatronics, 2019b; Raspberry Pi, 2020.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En la tabla 5-1, se realiza una comparación de las familias de tarjetas de desarrollo seleccionadas, en la misma se puede apreciar que por su bajo costo, el tipo de programación, sumado a la ventaja de poseer *software* libre y una gran comunidad de usuarios, lo que implica una vasta cantidad de información como blogs, tutoriales, videos, papers, entre otros; razones por las cuales, se prefiere el uso de un dispositivo Arduino. Como desventaja en Arduino, se puede mencionar que no incorpora una tecnología de comunicación inalámbrica como el caso de las tarjetas ESP o Raspberry, sin embargo, esta falencia se puede solucionar con facilidad al integrar un módulo de comunicación.

1.9. Baterías

En la actualidad, se cuenta con dispositivos portables de muy poco tamaño, capaces de proveer de energía eléctrica mediante un proceso químico, conocidos como baterías o pilas, los cuales son instrumentos elaborados con dos elementos metálicos principales, uno de características de oxidación y otro de reducción, también llamados ánodo y cátodo respectivamente (Ortiz López, 2009, p.10). Las pilas o baterías producen electricidad por medio de una reacción química al momento de existir un contacto entre sus materiales ánodo y cátodo, esto genera un traslado de los electrones almacenados en el material de oxidación hacia el de reducción, produciéndose de esta forma una corriente con una

determinada diferencia de potencial, la misma que es utilizada para alimentar diferentes circuitos portátiles como reproductores de música, relojes, juguetes, y muchos otros utilizados en nuestro día a día (Arrieta Patton y Luján Pérez, 2007, pp.627-628).

- **Baterías NiMH:** Conocidas como “pilas recargables”, están construidas a base de níquel y un compuesto metal-hidruro. Por lo general, son utilizadas a nivel doméstico y en dispositivos comerciales de uso no intensivo y que no requieren una alta demanda de corriente (Diez et al., 2018, p.2).
- **Baterías de Li-ion:** Las baterías de ion de litio son muy utilizadas en dispositivos que requieren una larga duración, por ejemplo en teléfonos celulares, esto debido a su baja descarga de corriente, además de poseer una larga vida útil. Su principal inconveniente es su baja resistencia a altas temperaturas, por lo cual suelen sufrir daños significativos (Morales, 2017, p.2944).
- **Baterías Li-Po:** Las baterías de polímero de litio o Li-Po, son muy utilizadas en aplicaciones donde se requiere un alto consumo de corriente, voltajes altos y una buena potencia; esto debido a las altas tasas de descarga que poseen, así como también al voltaje que ofrecen a pesar de su reducido tamaño, lo que las convierte en dispositivos de alimentación ideales para robots, drones, autos y aviones de radio frecuencia, entre otros (Roncal Romero, 2014, pp.7-8).

1.9.1. Análisis comparativo de baterías

Tabla 6-1: Comparación de baterías comerciales

Características	NiMH	Litio	Li-Po
Voltaje	1,5V	3,7V	3,7V por celda
Capacidad	400 - 2700mAh	5000-8800mAh	100-12000mAh
Capacidad de descarga promedio	260mA (0,1C)	25A (3C)	150-200A (30-40C)
Vida útil estimada	1000 ciclos	1000 ciclos	300 ciclos
Precio cargador	\$12	\$7	\$16

Fuente: Electrostore, 2020

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Como se observa en la tabla 6-1, las baterías LiPo, poseen una alta tasa de descarga, lo cual no poseen sus competidoras, siendo esto un aspecto fundamental para la alimentación de los motores del robot en desarrollo, además de presentar mayor potencia, pues además de entregar mayor corriente, para

lograr el mismo nivel de voltaje de una batería LiPo de 11,1V se necesitarían 3 baterías Li-ion u 8 baterías NiMH, lo que indica una mayor relación costo-beneficio para las baterías Li-Po.

1.10. Aplicación móvil

El creciente uso de teléfonos celulares inteligentes o “*smartphones*” ha contribuido la creación de aplicaciones móviles o apps, las cuales son programas destinados a realizar tareas específicas y utilizan los recursos proporcionados por el mismo dispositivo en donde se instala (Delía et al., 2013, p.766), las aplicaciones móviles permiten adaptar el smartphone al usuario, quien puede obtener apps a su gusto y/o necesidad, siendo una de las razones principales por la cual los teléfonos inteligentes se han convertido en parte indispensable de nuestra vida (Ramírez Vique, 2013, pp.15-19).

1.10.1. Softwares para desarrollo de una aplicación móvil

Las aplicaciones móviles permiten aumentar las herramientas del teléfono inteligente y adecuar el mismo al usuario, siendo indispensable su uso en todo smartphone al ofrecer todo tipo de utilidades, lo que permite personalizar cada dispositivo a nuestro gusto, se crea un nuevo mercado potencial aprovechado por un cada vez mayor número de empresas, las cuales, alrededor del mundo perfeccionan la creación y diseño de aplicaciones con los años. En la actualidad existen diversas formas para crear apps ya se a través de páginas web, programas informáticos para ordenadores, o incluso las mismas apps (Arroyo Vázquez, 2012, p.98). A continuación se detallan tres opciones disponibles para el desarrollo de una app en un teléfono inteligente con sistema operativo Android, sistema presente en el 73,06% de smartphones en el mercado (Fernández, 2021).

- **Android Studio:** Se trata de un potente programa para desarrollo de apps, el mismo posee todas las herramientas para crear el entorno de la aplicación, sumado a la capacidad de controlar todas las funciones de cada elemento presente en la misma. La programación se realiza mediante el uso de códigos estructurados, mediante los cuales, el programador define la funcionalidad de cada elemento de la app, además de sus propiedades visuales como por ejemplo su ubicación, tamaño, color y demás características (Android Developers, 2021).
- **MIT App Inventor:** Es un entorno de desarrollo en línea, en el cual se expone una pantalla similar a la de un teléfono inteligente en donde se pueden ubicar los elementos que sea desean implementar en la app, las características de los mismos se editan en una pestaña. La app desarrollada se configura en un entorno sencillo de programación basado en bloques de colores, tal como se muestra en la figura 10-1, los cuales definen cuál es la acción que realiza cada objeto presente en el entorno creado (MIT App Inventor, 2021).



Figura 10-1: Entorno de desarrollo MIT App Inventor

Fuente: MIT App Inventor, 2021.

1.10.2. Análisis comparativo de softwares para desarrollo de aplicaciones móviles

En la tabla 7-1 se realiza una comparación entre Android Studio y MIT App Inventor, como se puede observar en la misma, si bien ofrecen características similares para el desarrollo de la aplicación requerida, un factor fundamental es que el *software* MIT App Inventor, no utiliza un lenguaje de programación codificado; basándose en el uso de bloques de programación, lo que brinda al usuario una experiencia de programación más intuitiva, esto es una ventaja al ahorrar al desarrollador el tiempo que toma el aprender un lenguaje de programación; otra ventaja considerable es que no es necesario instalar un programa en la PC, pues utiliza un navegador web y solo requiere de una cuenta de Google para ingresar al servicio, esto también permite continuar con el desarrollo en cualquier computador con acceso a internet (MIT App Inventor, 2021).

Tabla 7-1: Comparación de *softwares* de desarrollo de aplicaciones móviles

Características	Android Studio	MIT APP Inventor
Las aplicaciones generadas permiten conexión Bluetooth en sus aplicaciones	✓	✓
Programación con lenguaje estructurado	✓	X
Programación en entorno intuitivo	X	✓
Lenguaje de programación	Java, Kotlin, C++	Blockly (entorno visual)
Tipo de licencia de <i>software</i>	<i>Software</i> de propietario	<i>Software</i> libre
Ejecución	Instalación en PC	Ejecución en navegador
Capacidad de uso del asistente de voz	✓	✓
Emulador	✓	✓

Fuente: Android Developers, 2021; MIT App Inventor, 2021.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

1.11. Dispositivos de comunicación inalámbrica robot-app

El uso de la tecnología inalámbrica posee entre sus ventajas: menor costo cuando la comunicación es necesaria en distancias largas, pues no se necesita adquirir grandes longitudes de cables; al no poseer

un medio físico de transmisión, no interviene mucho las infraestructuras en donde se instale; además, una red inalámbrica es más segura y compleja de poder intervenir (Muñoz Rodríguez, 2002, p.1). Si bien, la gran mayoría de smartphones cuentan con tecnología NFC, Bluetooth y Wi-Fi para transmisión de datos de manera inalámbrica entre dos dispositivos (Andruskevicius y Plavan. 2017, p.16), se analizan solo las dos últimas, al ya estar presente la tecnología RFID/NFC para la función de detección de pictogramas.

1.11.1. Bluetooth

La tecnología Bluetooth permite la conexión inalámbrica entre dispositivos a corta distancia, es ideal para transferencia de datos e incluso de audio de una manera rápida y segura al poseer protocolos de identificación de errores y elusión interferencias, funcionan por medio de módulos los cuales poseen antenas de radio, pues dicha tecnología inalámbrica funciona a través de bajas frecuencias dentro del espectro radioeléctrico (Linares, Quijano y Holguín, 2004, p.32). Uno de los requisitos fundamentales para la comunicación es la integración de un módulo Bluetooth en cada uno de los equipos a comunicarse, es necesario recalcar sobre su corto alcance, el cual suele ser de 10 metros, aunque algunas versiones permiten una comunicación de máximo 100 metros de distancia. Una de las principales ventajas del uso de Bluetooth es su bajo costo, lo que ha incentivado que sea un medio de transmisión de datos muy difundido en el mercado al estar presente en diversas aplicaciones de uso frecuente (Loreface Sparacino, 2003, p.40).



Figura 11-1: Módulo Bluetooth
Fuente: RobotShop. 2019.

1.11.2. Wi-Fi

La conexión Wi-Fi funciona a través de un punto de acceso fijo denominado router, al cual por medio de ondas de radio se conectan dispositivos móviles inalámbricos para lograr ingresar a la información administrada por el router; el punto de acceso por lo general no tiene un alcance muy largo pero existen repetidores de señal capaces de amplificar el rango de la red, lo cual permite llegar a equipos más lejanos; los dispositivos para conectarse necesitan una tarjeta de red o adaptador para poder captar la señal emitida por el router. Una de las ventajas del uso de Wi-Fi es su gran difusión en el mercado, siendo posible encontrar módulos de todo tipo y precio, además permite enlace a internet y por ende subir datos a la red y monitorear los mismos de forma remota (Carballar Falcón, 2010, pp.1-3).

1.11.3. Análisis comparativo de dispositivos de comunicación inalámbrica

Para la comparativa de la tabla 8-1, se toman en cuenta solo las tecnologías de comunicación Bluetooth y Wi-Fi (Pérez Roque, Valdés Zadívar y Arias de Fuentes, 2013, p.65), al ser un aspecto necesario para la comunicación con una aplicación móvil al instante, por esta razón se descarta el analizar tecnologías como por ejemplo el uso de radio frecuencia o redes de telefonía móvil.

Tabla 8-1: Comparación de las tecnologías de comunicación inalámbrica Bluetooth y Wi-Fi.

Características	Bluetooth	Wi-Fi
Estándar	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11 a/b/g
Frecuencia	2.4 GHz	2.4GHz; 5GHz
Corriente de consumo	65/170mA	350mA
Velocidad	1000 - 3000Kbps	5400Kbps
Potencia	1 - 100mW	40 - 200mW
Alcance	1 - 100m	30 -150m

Fuente: Pérez Roque, Valdés Zadívar y Arias de Fuentes, 2013, p.65

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Como se observa en la tabla 8-1, la tecnología Wi-Fi es muy superior en cuanto a velocidad y alcance se refiere, sin embargo, el uso de un dispositivo Bluetooth demandará menor potencia para su operación, la aplicación móvil no requiere ser usada a una gran distancia al ser el robot un dispositivo de interacción en conjunto con la misma, y además, no se requiere enviar una cantidad de información elevada, por lo que el uso de la tecnología Bluetooth es más que suficiente para establecer la comunicación necesaria.

CAPÍTULO II

2. PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO

En este capítulo se exponen los requerimientos a considerar para el desarrollo del robot terapéutico y asistencial para un individuo adolescente con trastorno del espectro autista perfilado, de aquí en adelante “TEO”. Luego, se detallan las etapas de diseño y construcción del prototipo, así como los elementos utilizados en las mismas; por último, se explica la programación utilizada para el correcto funcionamiento del robot implementado.

2.1. Requerimientos del sistema

Una correcta definición de los requerimientos, permite diseñar un robot cuyos atributos sean los necesarios para cumplir los objetivos planteados en esta investigación. Los requerimientos planteados han sido elaborados gracias a la colaboración de la MSc. Eliana Guevara, psicóloga y profesora de Emilio, y la MSc. Mónica Moreno, terapeuta de lenguaje, quienes poseen experiencia en el tratamiento de niños con el trastorno del espectro autista y son las profesionales que tratan a Emilio; dicho esto, el robot TEO debe cumplir con los siguientes puntos:

- Capacidad de leer pictogramas y reproducir su significado de forma audible.
- Realizar movimientos de aprobación y/o negación para indicarle al menor cuando se realiza bien o mal una actividad determinada.
- Tener un aspecto amigable para generar confianza con el menor.
- Peso menor o igual al 10% del peso del usuario para ser fácil de cargar sin esfuerzo (SchoolNurses, 2020).
- Altura no mayor a 40cm, tamaño de un cachorro labrador de 6 meses (Costa Artabra, 2019).
- Autonomía mínima de 45 minutos, de acuerdo a lo que dura una sesión terapéutica.
- El paciente debe contar con una aplicación móvil para Android, diseñada en MIT App Inventor, que permita realizar actividades complementarias con el uso del robot.
- El robot TEO debe tener la capacidad de interactuar con la aplicación móvil.
- El robot TEO debe poseer 11 grados de libertad, de acuerdo con las articulaciones de un perro real para dotarle de un movimiento natural.
- Operación sencilla.
- Bajo costo.

2.2. Consolidación del sistema

Se propone construir el prototipo de un robot asistencial y terapéutico, enfocado en asistir a Emilio, un menor con Trastorno del Espectro Autista. Además, el robot también cuenta con una aplicación móvil propia para el uso del menor, en donde se encuentran actividades y utilidades diseñadas para su beneficio. Esta comunicación entre el robot y los dispositivos móviles se logra a través de tecnología Bluetooth.

Debido a que el principal problema presentado por el adolescente con Trastorno del Espectro Autista, es su falta de comunicación verbal, el robot tiene la capacidad, por medio de sensores (Sánchez et al., 1999, pp.80-81), de detectar los pictogramas físicos que utiliza el individuo para comunicarse y comunicar el significado de los mismos a las personas cercanas por medio de altavoces (Salichs et al., 2014, p.1). Otro problema también frecuente es que el individuo tiende a arrojar los objetos cuando se encuentra de mal humor, por lo que el diseño debe ser resistente a golpes y caídas; la opción que mejor se adapta a estas condiciones es la de construir el robot cubierto en su exterior por peluche, haciéndolo más resistente y acolchonado, y a la vez se tiene un aspecto mucho más amigable y familiar para el usuario (Shibata, 2010, p.351).

Por sugerencia de sus padres, el aspecto del robot es el de un perro labrador, ya que es el animal favorito del menor, lo que logra una familiarización más rápida y una mejor interacción (Cabibihan et al., 2013, p.593). El diseño del robot, las actividades diseñadas y desarrolladas, se realizan gracias a un trabajo en conjunto de profesores, psicólogos y terapeutas especializados que tratan el caso de Emilio desde hace varios años. En la figura 1-2 se aprecia la arquitectura del sistema.



Figura 1-2: Arquitectura del sistema

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.3. Arquitectura de hardware del robot TEO

Como se puede observar en la figura 2-2, la arquitectura de *hardware* consta de varias etapas: la etapa de alimentación es la encargada de suministrar y regular la energía necesaria para el prototipo; la etapa de adquisición de datos es en la cual se detectan los pictogramas; en la etapa de comunicación se encuentra el desarrollo de la aplicación móvil así como su conectividad con el prototipo; la etapa de procesamiento es la principal, en donde se reciben todas las señales, se interpretan las mismas por medio de la tarjeta de desarrollo y se ejecutan las órdenes necesarias para que el robot actúe de manera correspondiente; por último, la *etapa de actuación* es en donde se encuentran los dispositivos mediante los cuales el robot TEO genera una respuesta.

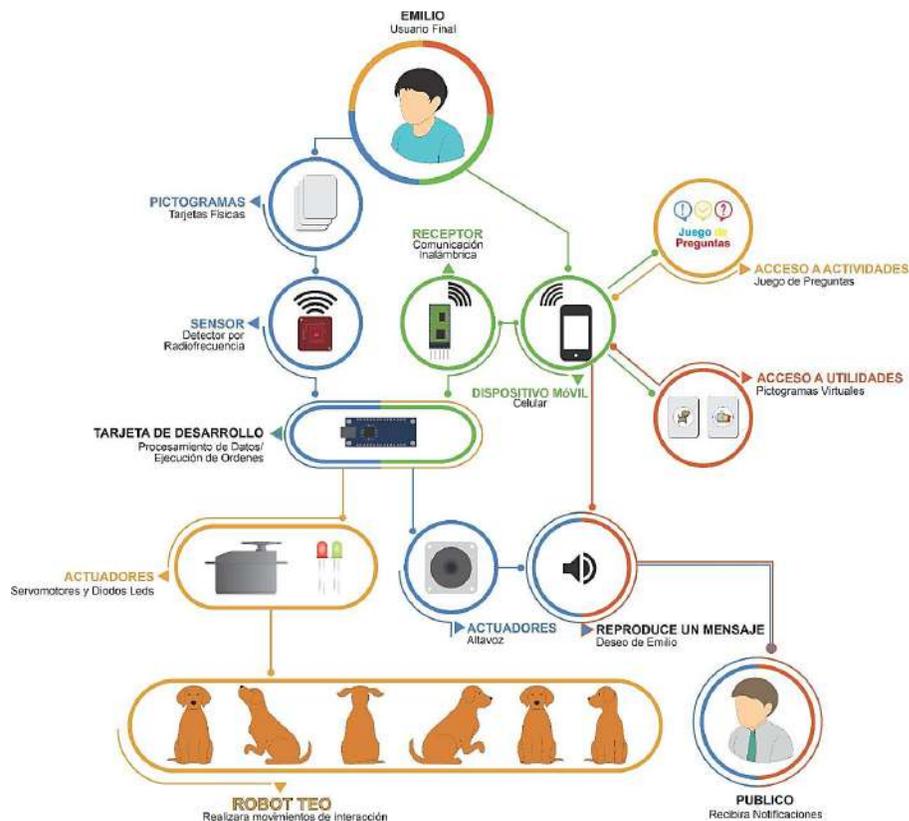


Figura 2-2: Arquitectura de *hardware* del robot TEO
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.4. Estructura del robot

En este apartado se presenta el diseño de cada parte que conforma la estructura del robot, el análisis cinemática de dichas partes y los materiales utilizados en su construcción. Para el diseño de la estructura se utiliza el *software* Autodesk Inventor 2011.

2.4.1. Materiales para la estructura del robot TEO

a) Filamento PLA

El cuerpo del robot se ha construido con PLA, mostrado en la figura 3-2, se escoge el uso de este material por su dureza, al ser necesario que la estructura sea resistente a golpes; pero en especial, debido a que gracias al uso de una impresora 3D, es sencillo obtener las piezas necesarias para el funcionamiento del robot TEO, además de darle una forma y aspecto exclusivo al robot (Prusa3D, 2020).



Figura 3-2: Rollo de filamento PLA

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

El filamento PLA es el material más utilizado en impresiones 3D y el escogido para realizar la estructura del robot TEO al ser seguro, maleable y resistente; además de poseer las siguientes características (ABAX 3D Tech, 2019):

- Es permanente, inodoro, claro y brillante.
- Es elástico y extensible.
- Fácil de manipular.
- Baja inflamabilidad.
- Resistencia a la humedad y a la grasa.
- Resistencia a los rayos UV.
- Temperatura de impresión está entre 190 y 220°C.
- Se obtiene a partir de recursos naturales y renovables.

b) Espuma aislante de poliuretano

Se realiza un recubrimiento de poliuretano para que tenga una textura suave al tacto y evitar algún tipo de accidente con Emilio, esto a la vez sirve como una protección externa para la estructura y los diferentes elementos que lo integran. El poliuretano es una resina sintética obtenida por condensación de poliésteres con isocianatos (QuimiNet, 2013). En la figura 4-2 se puede ver el molde de poliuretano hecho en base a la estructura de un perro labrador.



Figura 4-2: Molde de poliuretano del robot TEO
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Se determina que el uso de este material ayuda a obtener volumen y de esta manera crear un aspecto más fiel a un perro labrador sobre la estructura de PLA, gracias a sus características (QuimiNet, 2013):

- Resistencia al desgarre.
- Soporta altas cargas.
- Resistencia química.
- Alta resistencia a la abrasión.
- Es más ligero que el metal.
- Resistente a la corrosión.
- Posee memoria elastomérica.
- Alto rango de dureza.

c) Fielto

Para finalizar, se cubre con fieltro para darle un aspecto de pelaje y que sea más suave al tacto del paciente, también se le agregan elementos estéticos para generar un aspecto amigable en TEO. El fieltro es un elemento hecho de lana o fibras animales, este material brinda resistencia, durabilidad, además de una composición ligera que permite obtener tejidos versátiles. Como se observa en la figura 5-2, la cubierta de pelo del robot TEO es de fieltro seco, utilizado para poder tejer la fibra con presión, se crean varias capas mientras se adhieren y moldean a la base de poliuretano que cubre la estructura de PLA.



Figura 5-2: Fielto utilizado para crear el pelaje del robot TEO
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.4.2. Diseño de la estructura del robot

Al considerar las sugerencias de los padres y terapeutas, se decide realizar un robot zoomórfico con la forma de un perro labrador como se muestra en la figura 6-2. Se busca que el mismo realice movimientos de afirmación o negación según se requiera; para afirmar, es ideal que el robot TEO mueva sus orejas, cola, levante mínimo una de sus patas y mueva su cabeza de arriba hacia abajo; para el movimiento de negación, solo se necesita que mueva la cabeza de derecha a izquierda, puesto que mover sus extremidades sería un estímulo positivo para Emilio, lo que puede provocar confusión.



Figura 6-2: Vista frontal y lateral de un cachorro labrador
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Debido a que no debe ser muy grande, se toma muy en cuenta las dimensiones de un cachorro. En la figura 7-2 se muestran las dimensiones establecidas para el diseño.

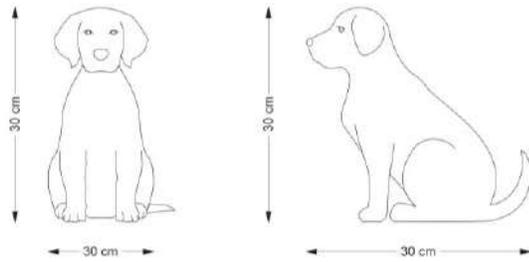


Figura 7-2: Dimensiones establecidas en base al diseño propuesto.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

De igual manera, en la figura 8-2 se muestra el zoomorfismo del perro labrador con la pata levantada, para mostrar las posiciones que debe tomar el robot TEO.

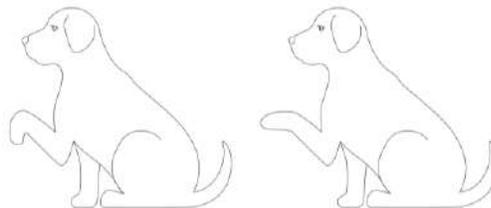


Figura 8-2: Zoomorfismo de un labrador con la pata levantada.

Realizado por: Álvarez Josué. Sánchez Sebastián. 2022.

Las dimensiones de la cabeza, orejas, patas y cola se muestran en la figura 9-2.

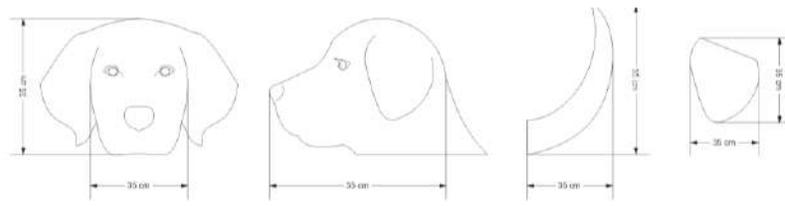


Figura 9-2: Dimensiones establecidas para cabeza, orejas y cola del robot TEO

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Para dotar al robot TEO de un movimiento natural, en el diseño se colocan los servomotores en el lugar en donde se presentan las articulaciones de un perro labrador real, mismas que se presentan en la figura 10-2. La ubicación de los servomotores para generar los movimientos son: uno en cada oreja, uno para generar el movimiento del cuello en eje x y otro para el eje y, uno para la cola; y por cada pata 3 servomotores para emular los movimientos de las articulaciones del hombro, codo y carpo.

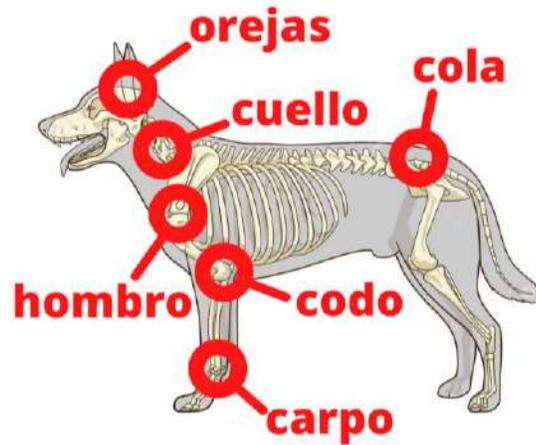


Figura 10-2: Articulaciones tomadas en cuenta para el movimiento en el robot TEO.
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En la figura 11-2 se muestra la captura del diseño final del robot TEO, los planos completos se adjuntan en los ANEXOS A, B, C, D, y E.

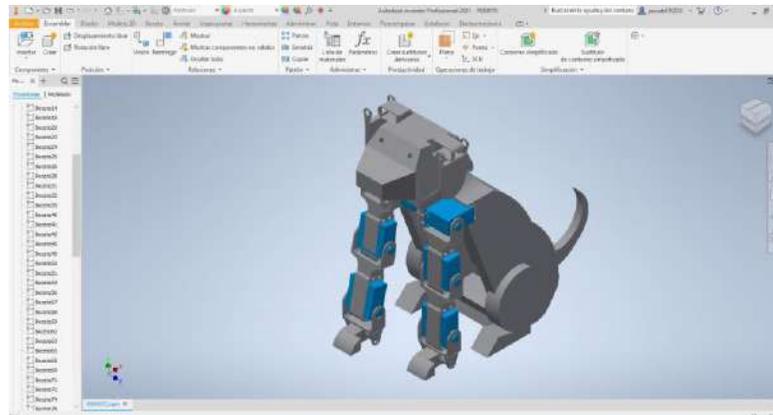


Figura 11-2: Captura de pantalla del diseño mecánico en Inventor
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.4.2.1. Diseño del cuerpo

El cuerpo es la base y la parte fija del robot, se compone por el pecho y las patas traseras, el interior de la estructura es hueco para poder almacenar los elementos de alimentación y control. En la figura 12-2 se puede apreciar el detalle de diseño y en el ANEXO A se presentan los planos completos del diseño del cuerpo del robot TEO.

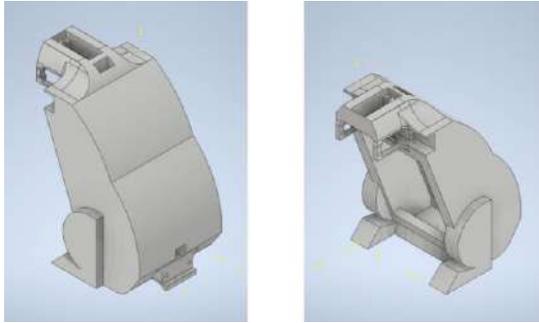


Figura 12-2: Diseño del cuerpo del robot TEO.
Realizado por: Álvarez Josué, Sanchez Sebastián. 2022.

2.4.2.2. *Diseño de la cabeza*

La cabeza posee dos grados de libertad para poder moverse de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. El diseño realizado se muestra en la figura 13-2, en él se puede apreciar los eslabones, la base, los porta servomotores y los mismos servomotores; así mismo, en el ANEXO B se presentan los planos completos del diseño de la cabeza del robot TEO.

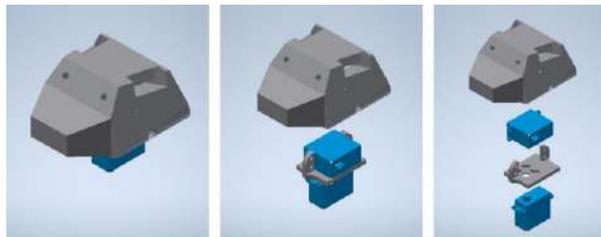


Figura 13-2: Diseño de la cabeza del robot TEO.
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.4.2.3. *Diseño de las extremidades delanteras*

Con la finalidad de que el robot pueda levantar sus patas delanteras, una a la vez, se provee de 3 grados de libertad por cada extremidad, ubicadas en el codo, carpo y metacarpo, esto se muestra en la figura 14-2, donde se aprecian los eslabones, las bases, los porta servos y los servomotores que ayudan a realizar estos movimientos, de igual manera, en el ANEXO C se presentan los planos completos del diseño de las extremidades del robot TEO.

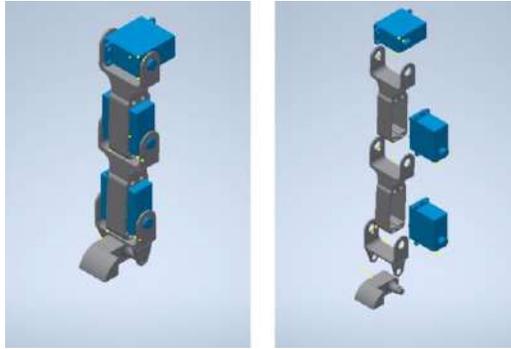


Figura 14-2: Diseño de las extremidades delanteras del robot TEO
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.4.2.4. *Diseño de las orejas y la cola*

Cada una de las orejas al igual que la cola tienen una articulación circular que les permite moverse de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha respectivamente. En la figura 15-2 se muestra el diseño de los eslabones, las bases, los porta servos y los servomotores, también y en el ANEXO D se presentan los planos completos del diseño de las orejas y en el ANEXO E el diseño de la cola del robot.



Figura 15-2: Diseño de orejas y cola del robot TEO
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.4.3. *Análisis cinemático de la estructura*

Por medio de cinemática directa se determina la posición y orientación de la cabeza, las patas delanteras, las orejas y la cola del robot TEO, se toma como sistema base cada punto de anclaje al cuerpo del robot. Se utiliza el algoritmo de Denavit-Hartenberg, se encuentran cada una de las

matrices de transformación homogénea que relacionan las posiciones y orientaciones del extremos final del robot.

Para el movimiento por medio de cinemática se toman en cuenta solo las patas delanteras, pues el movimiento de la cabeza no se realiza con el objetivo de alcanzar un punto en específico al no ser una cadena articular, mientras que el movimiento de las orejas y cola sirven para animar y complementar el movimiento en general. Se realiza un solo análisis al ser dos patas idénticas, del cual se tiene el sistema de coordenadas de la figura 16-2.

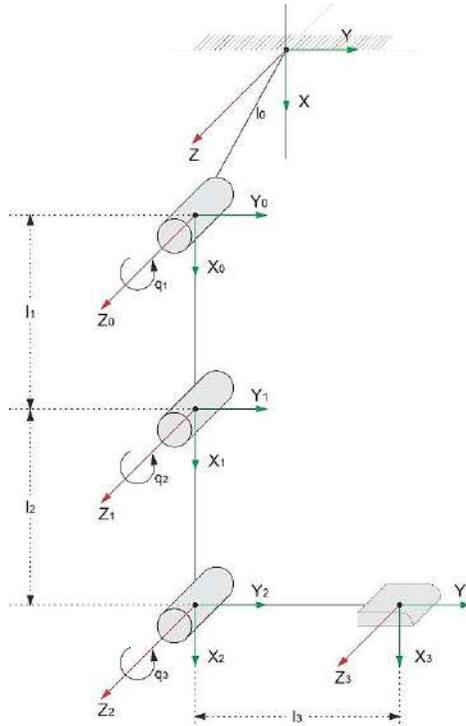


Figura 16-2: Sistema de coordenadas de las patas delanteras

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Los parámetros obtenidos de Denavit-Hartenberg para una de las patas delanteras se muestran en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Parámetros D-H de las patas delanteras

Articulación	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	q_1	-	l_1	-
2	q_2	-	l_2	-
3	q_3	-	l_3	-

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

De acuerdo con los parámetros obtenidos, se determinan las matrices de cada eslabón:

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} \cos(q1) & -\sin(q1) & 0 & l1 \cos(q1) \\ \sin(q1) & \cos(q1) & 0 & l1 \sin(q1) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1_2T = \begin{bmatrix} \cos(q2) & -\sin(q2) & 0 & l2 \cos(q2) \\ \sin(q2) & \cos(q2) & 0 & l2 \sin(q2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} \cos(q3) & -\sin(q3) & 0 & l3 \cos(q3) \\ \sin(q3) & \cos(q3) & 0 & l3 \sin(q3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Siendo la matriz de transformación homogénea determinada por la ecuación (1).

$${}^1_3T = {}^0_1T * {}^1_2T * {}^2_3T \quad \text{Ecuación (1)}$$

$${}^0_3T = \begin{bmatrix} \cos(q1 + q2 + q3) & -\sin(q1 + q2 + q3) & 0 & l1 \cos(q1) + l2 \cos(q1 + q2) + l3 \cos(q1 + q2 + q3) \\ \sin(q1 + q2 + q3) & \cos(q1 + q2 + q3) & 0 & l1 \sin(q1) + l2 \sin(q1 + q2) + l3 \sin(q1 + q2 + q3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

De la cual se desprenden las ecuaciones que determinan los puntos x, y, y z en el espacio del efector final.

$$px = x = l1 \cos(q1) + l2 \cos(q1 + q2) + l3 \cos(q1 + q2 + q3) \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$py = y = l1 \sin(q1) + l2 \sin(q1 + q2) + l3 \sin(q1 + q2 + q3) \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$pz = z = 0$$

Se puede apreciar que $pz=0$, esto se da porque el brazo solo contiene articulaciones rotatorias en un plano bidimensional, por lo que cada extremidad puede moverse en el eje xy, pero no en el z.

El objetivo es encontrar los ángulos de cada articulación según un punto, por lo que se realiza un análisis geométrico para despejar los ángulos, se obtienen las Ecuaciones (4) y (5):

$$(x - l3c(\theta))^2 = l_1^2 c_1^2 + l_2^2 c_{12}^2 + 2l_1 l_2 c_1 c_{12} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$(y - l3s(\theta))^2 = l_1^2 s_1^2 + l_2^2 s_{12}^2 + 2l_1 l_2 s_1 s_{12} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Siendo,

$$\theta = q1 + q2 + q3 \quad \text{Ecuación (6)}$$

Por último, al sumar y resolver las ecuaciones 4 y 5, se obtienen las ecuaciones finales para cada articulación:

$$q1 = \text{atan2}(s1, c1) \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$q2 = \text{atan2}(s2, c2) \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$q3 = \theta - q1 - q2 \quad \text{Ecuación (9)}$$

2.5. Componentes de hardware del robot TEO

En el presente apartado se detallan los componentes utilizados en la construcción del robot TEO, así como las principales características de los mismos.

2.5.1. Hardware de procesamiento de datos

Los datos adquiridos son procesados en una tarjeta de desarrollo Arduino, misma que también ejecuta las instrucciones correspondientes de respuesta de acuerdo al caso. En la tabla 2-2 se realiza una comparación de tres tarjetas de desarrollo de la marca, dichos dispositivos se eligen debido a sus dimensiones reducidas, en comparación a otros similares de su misma marca o línea, su bajo precio, y además, de la capacidad de realizar tareas como el manejo de servomotores, integrar módulos y sensores, o la capacidad de comunicación inalámbrica; aspectos fundamentales para la operación del robot producto del presente proyecto. Las tarjetas seleccionadas para la comparativa son: Arduino UNO R3 (Grupo Electrostore, 2021), Arduino Nano CH340 (Grupo Electrostore, 2020) y Arduino Pro Mini (Naylamp Mechatronics, 2019b).

Tabla 2-2: Comparación de tarjetas de desarrollo.

Características	Arduino UNO R3	Arduino Nano CH340	Arduino Pro Mini
Tamaño	75mm x 53mm	43,18mm x 18,54mm	33mm x 18mm
Pines	27 pines (14 digitales, 6PWM y 6 analógicos)	22 pines (14 digitales y 8 analógicos)	22 pines (14 digitales y 8 analógicos)
Voltaje de Alimentación	7V-12V	7V-12V	3,3V
Voltaje de operación	5V	5V	3,3V
Frecuencia de reloj	16MHz	16MHz	8MHz
Memoria	Memoria SRAM: 2KB Memoria EEPROM: 1KB Memoria FLASH: 32KB	Memoria SRAM: 2KB Memoria EEPROM: 1KB Memoria FLASH: 32KB	Memoria SRAM: 2KB Memoria EEPROM: 1KB Memoria FLASH: 32KB
Precio (USD)	\$15	\$6	\$8

Fuente: Grupo Electrostore, 2020; Grupo Electrostore, 2021; Naylamp Mechatronics, 2019b.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En la tabla 2-1, se realiza una comparación de tres modelos de tarjetas de desarrollo Arduino, como se puede apreciar, la memoria SRAM, EEPROM y FLASH es la misma en las 3 tarjetas al estar basadas en el mismo microcontrolador ATmega328 (Grupo Electrostore, 2021); uno de los factores determinantes para el proyecto presente es el tamaño de la tarjeta, ya que el circuito debe ir dentro del cuerpo del robot, lo que descarta el uso del Arduino UNO, la misma que posee un precio elevado en comparación de las opciones comparadas. Se observa entre el Arduino Nano CH340 y el Arduino Pro Mini, las características son muy similares, sin embargo, el voltaje de operación del Arduino Nano es ideal para trabajar con la gran mayoría de módulos existentes, lo que permite tener una mayor cantidad de opciones para el diseño del circuito, además de tener una frecuencia de reloj mayor, que permite trabajar con el doble de velocidad; razones por las cuales, es conveniente utilizar esta tarjeta de desarrollo mostrada en la figura 17-2. En el ANEXO F se adjunta la hoja de datos del Arduino Nano.

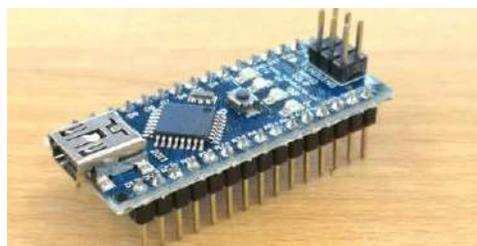


Figura 17-2: Arduino Nano CH340

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.5.2. Hardware de adquisición de datos

En esta etapa, se analiza el hardware necesario para la lectura de los pictogramas utilizados, cada uno representado en una tarjeta RFID, gracias a esto se requiere un movimiento sencillo por parte del usuario para detectar las tarjetas. Se analizan dos opciones compatibles con Arduino, la comparación se expone en la tabla 3-1.

Tabla 3-2: Comparación de módulos RFID/NFC.

Características	Módulo PN532	Módulo RC522
Tamaño	41mm x 43mm	75mm x 53mm
Velocidad	10Mbit/s	8kb/s
Voltaje de operación	3,3V-5V	3,3V
Frecuencia de operación	13,56MHz	13,56MHz
Comunicación	SPI / I2C / UART	SPI
Distancia de lectura	2,5 – 10cm	5 – 7cm
Precio (USD)	\$14	\$8

Fuente: Naylamp Mechatronics, 2021.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En la tabla 3-2 se muestran las características del módulo, se escoge el sensor PN532 mostrado en la figura 18-2, al poseer una velocidad muy superior, además de un voltaje de operación de 5V, mismo de la tarjeta de desarrollo; también permite comunicación I2C y un de distancia para lectura de 2,5cm a 10cm, lo que permite un rango más amplio de detección, pero lo suficiente como para evitar errores de lectura (Naylamp Mechatronics, 2021). En el ANEXO G se adjunta la hoja de datos del módulo seleccionado.



Figura 18-2: Módulo RFID/NFC PN532.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

El empleo del módulo RFID/NFC PN532 en conjunto con las tarjetas, ofrecen una solución sencilla, práctica y durable, por lo que se considera como la mejor opción para la implementación del robot TEO. En la figura 19-2 se muestran las tarjetas requeridas para el presente proyecto, las cuales reemplazan a los pictogramas tradicionales utilizadas por el menor con TEA, estas tarjetas poseen un código único en cada una de ellas, para luego ser leído por el lector RFID/NFC (Grupo Electrostore, 2021b).



Figura 19-2: Tarjetas RFID/NFC
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.5.3. Hardware de comunicación

Para que el robot pueda cumplir con algunas actividades en conjunto con la app desarrollada, es necesario establecer una comunicación inalámbrica entre el robot y un teléfono móvil, para lo cual se utiliza tecnología Bluetooth. En la tabla 4-2 se realiza una comparación entre los módulos compatibles con la tarjeta de desarrollo y el sistema operativo Android (Naylamp Mechatronics, 2020).

Tabla 4-2: Comparación de módulos Bluetooth

Características	Módulo HC-05	Módulo HC-06
Voltaje de alimentación	3,6V – 6V	3,6V – 6V
Voltaje de operación	3,3V	3,3V
Modo de operación	Maestro, esclavo, maestro/esclavo	Esclavo
Número de terminales	6	4
Precio (USD)	\$6,50	\$6,50

Fuente: Naylamp Mechatronics, 2021.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En base a las características descritas en la tabla 4-2, se elige módulo HC-05 mostrado en la figura 20-2, al poseer una mejor relación de características y precio, pues tiene más opciones de configuración; cabe resaltar que el módulo seleccionado es fácil de implementar al utilizar solo la comunicación serial del Arduino, sin ser necesaria alguna librería o sentencias de configuración adicionales (AV Electronics, 2018a).

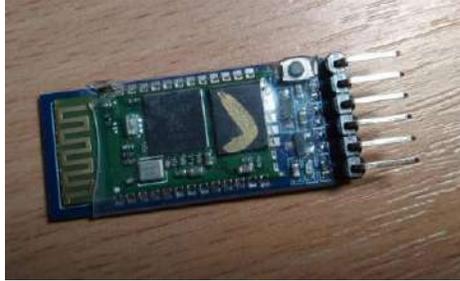


Figura 20-2: Módulo Bluetooth HC-05
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.5.4. Hardware de actuación

En esta etapa se presentan los dispositivos utilizados para generar la respuesta visual, auditiva y/o motriz de acuerdo con las señales de recibidas en la etapa de adquisición y comunicación.

2.5.4.1. Selección de Servomotores

Para determinar el torque comercial de servomotores es necesario tomar en cuenta las siguientes propiedades físicas de cada pieza:

- W, es el centro de masa de la pieza o el ensamble.
- X, es la distancia hacia el centro en el plano X.
- Y, es la distancia hacia el centro en el plano Y.
- Z, es la distancia hacia el centro en el plano Z.
- d, distancia del centro de masa al eje de movimiento.

Una vez obtenidos los mismos se recurre a la Ecuación (10),

$$T = \frac{FOS}{\eta(Pr)} Tt \quad \text{Ecuación (10)}$$

Donde:

- FOS: Factor de seguridad para el mecanismo.
- Tt: Torque teórico necesario.
- η : Rendimiento del motor.
- Pr: Perdidas por transmisión.

Al considerar que FOS=3, $\eta=0,8$ y Pr=0,5; se tiene que el torque comercial expuesto en la Ecuación(11):

$$T = (1,87)Tt \quad \text{Ecuación (11)}$$

El torque teórico se determina a partir del peso de la pieza o el ensamblaje que se encuentra en movimiento y de la distancia del centro de masa respecto al eje del movimiento, como se muestra en la Ecuación (12), los valores son determinados al realizar el diseño en el software Inventor.

$$Tt = \text{Peso} * \text{Distancia de giro} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Para anticipar fuerzas o pesos adicionales que puedan ser aplicados, se suma un adicional de 0,2kg al centro de masa de la pieza, se obtiene un torque de fuerzas adicionales.

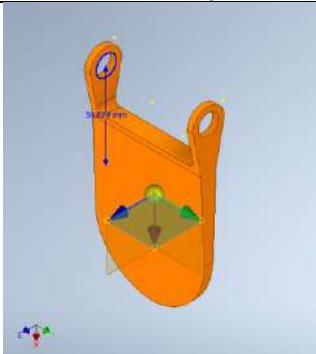
$$Tj = (1,87)(Tt_j) \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde,

$$Tt_j = (\text{Peso} + 0,2 \text{ Kg}) * \text{Distancia de giro} \quad \text{Ecuación (14)}$$

En la tabla 5-2 se exponen las características físicas presentes en el diseño de las orejas, así como los torques obtenidos al aplicar las ecuaciones (11), (12), (13) y (14).

Tabla 5-2: Propiedades físicas y torque de las orejas.

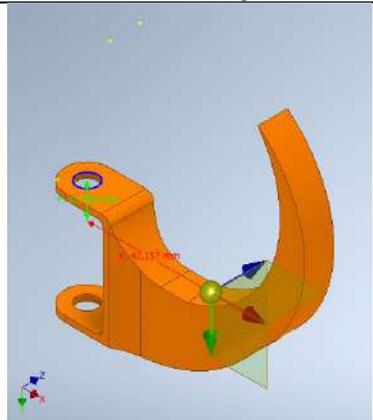
Pieza	Propiedades Físicas	Ensamblaje	Torque
Oreja	<p>Masa W = 0,009 Kg</p> <p>Centro de Gravedad X = 35,629 mm Y = -4,994 mm Z = 5,000 mm</p> <p>Distancia d = 3,0629 cm</p>		<p>Torque teórico Tt = 0,02757 Kg.cm</p> <p>Torque comercial T = 0,05155Kg.cm</p> <p>Torque para fuerzas adicionales Tj = 1,1971 Kg.cm</p>

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En base al valor obtenido, se considera como mejor opción el Servomotor SG-90 que tienen un torque de 2,5 Kg.cm, capacidad suficiente para realizar el movimiento de la oreja y soportar el sobredimensionamiento que cubre cualquier fuerza adicional aplicada.

En la tabla 6-2 se exponen las características físicas presentes en el diseño de la cola, así como los torques obtenidos al aplicar las Ecuaciones (11), (12), (13) y (14).

Tabla 6-2: Propiedades físicas de la cola.

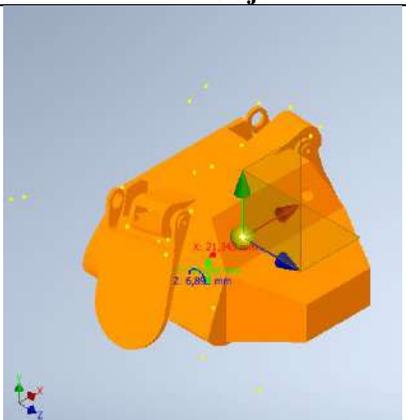
Pieza	Propiedades Físicas	Ensamblaje	Torque
Cola	<p>Masa W = 0,022 Kg</p> <p>Centro de Gravedad X = 47,157 mm Y = -12,046 mm Z = 5,000 mm</p> <p>Distancia d = 4,2157 cm</p>		<p>Torque teórico Tt = 0,09275 Kg.cm</p> <p>Torque comercial T = 0,1734 Kg.cm</p> <p>Torque para fuerzas adicionales Tj = 1,7501 Kg.cm</p>

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En base al valor obtenido, se considera como mejor opción el Servomotor SG-90 que tienen un torque de 2,5 Kg.cm, capacidad suficiente para realizar el movimiento de la cola y soportar el sobredimensionamiento que cubre cualquier fuerza adicional aplicada.

En la tabla 7-2 se exponen las características físicas presentes en el diseño de la cabeza del robot TEO para el primer movimiento, así como los torques obtenidos al aplicar las Ecuaciones (11), (12), (13) y (14).

Tabla 7-2: Propiedades físicas de la cabeza para el primer movimiento.

Pieza	Propiedades Físicas	Ensamblaje	Torque
Cabeza Oreja (x2) Porta Servos (x2)	<p>Masa W = 0,312 Kg</p> <p>Centro de Gravedad X = -133,563 mm Y = -72,159 mm Z = 141,986 mm</p> <p>Distancia d = 1,4684 cm</p>		<p>Torque teórico Tt = 0,4581 Kg.cm</p> <p>Torque comercial T = 0,8567 Kg.cm</p> <p>Torque para fuerzas adicionales Tj = 1,4059 Kg.cm</p>

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En base al valor obtenido, se puede considerar el uso de servomotor SG-90 que tiene un torque de 2,5 Kg.cm, por lo que llega a utilizar así el 56,24 % de capacidad. Sin embargo, por condiciones de espacio en el diseño y reducir la cantidad de material en la fabricación de la pieza, se considera utilizar un servomotor más grande en dimensión que se adapte al espacio de diseño, sin ampliar mucho valor

del torque y que siga siendo capaz de cubrir el valor calculado y requerido. De esta manera se decide emplear el servomotor HiTEC HS-311 que tienen un torque de 4,5 Kg.cm para realizar el primer movimiento de la cabeza del robot y soportar el sobredimensionamiento que cubre cualquier fuerza adicional aplicada.

En la tabla 8-2 se presentan las características físicas presentes en el diseño de la cabeza del robot TEO para el segundo movimiento, así como los torques obtenidos al aplicar las Ecuaciones (11), (12), (13) y (14).

Tabla 8-2: Propiedades físicas de la cabeza para el segundo movimiento.

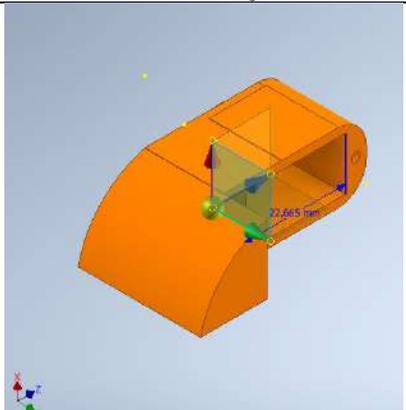
Pieza	Propiedades Físicas	Ensamblaje	Torque
Cabeza Oreja (x2) Porta Servos (x2) Eslabón Cabeza	<p>Masa w = 0,326 Kg</p> <p>Centro de Gravedad X = -133,730 mm Y = -73,249 mm Z = 141,201 mm</p> <p>Distancia d = 0,5838 cm</p>		<p>Torque teórico Tt = 0,1903 Kg.cm</p> <p>Torque comercial T = 0,3559 Kg.cm</p> <p>Torque para fuerzas adicionales Tj = 0,5742 Kg.cm</p>

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

La selección de este servomotor se realiza bajo las mismas condiciones del caso anterior por estar vinculado al mismo ensamblaje de piezas. Por esta razón se selecciona el servomotor HiTEC HS-311 con la capacidad de realizar el segundo movimiento de la cabeza del robot y soportar el sobredimensionamiento que cubre cualquier fuerza adicional aplicada.

En la tabla 9-2 se presentan las propiedades físicas presentes en el diseño del pie del robot TEO, así como los torques obtenidos al aplicar las Ecuaciones (11), (12), (13) y (14).

Tabla 9-2: Propiedades físicas del pie.

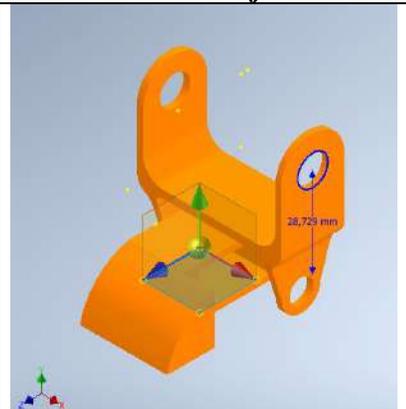
Pieza	Propiedades Físicas	Ensamblaje	Torque
Pie	<p>Masa W = 0,011 Kg</p> <p>Centro de Gravedad X = 5,472 mm Y = -7,160 mm Z = -27,365 mm</p> <p>Distancia d = 2,2665 cm</p>		<p>Torque teórico Tt = 0,02493 Kg.cm</p> <p>Torque comercial T = 0,04662 Kg.cm</p> <p>Torque para fuerzas adicionales Tj = 0,8943 Kg.cm</p>

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En base al valor obtenido, se considera como mejor opción el Servomotor SG-90 que tienen un torque de 2,5 Kg.cm, capacidad suficiente para realizar el movimiento del pie del robot y soportar el sobredimensionamiento que cubre cualquier fuerza adicional aplicada. Además de adaptarse al espacio dispuesto de diseño.

En la tabla 10-2 se presentan las propiedades físicas presentes en el diseño del pie y eslabón inferior del robot TEO, así como los torques obtenidos al aplicar las Ecuaciones (11), (12), (13) y (14).

Tabla 10-2: Propiedades físicas del pie y eslabón inferior.

Pieza	Propiedades Físicas	Ensamblaje	Torque
Pie Eslabón inferior	<p>Masa w = 0,018 Kg</p> <p>Centro de Gravedad X = -43,874 mm Y = 63,267 mm Z = 250,380 mm</p> <p>Distancia d = 2,8729 cm</p>		<p>Torque teórico Tt = 0,05171 Kg.cm</p> <p>Torque comercial T = 0,09670 Kg.cm</p> <p>Torque para fuerzas adicionales Tj = 1,1712 Kg.cm</p>

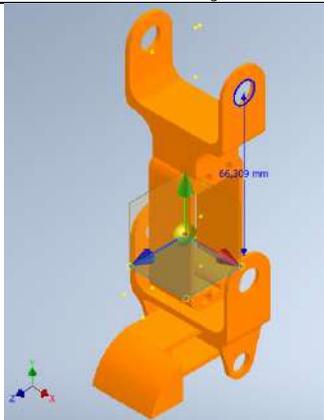
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En base al valor obtenido, se considera como opción el servomotor SG-90 con torque de 2,5 Kg.cm, capacidad suficiente para realizar el movimiento del pie y el eslabón inferior del robot y soportar el sobredimensionamiento que cubre cualquier fuerza adicional aplicada. Sin embargo, por el espacio

dispuesto en el diseño para reducir la cantidad de materia en fabricación, se decide emplear el servomotor HiTEC HS-311 con torque de 4,5 Kg.cm.

En la tabla 11-2 se presentan las propiedades físicas presentes en el diseño del pie y eslabones inferior y medio del robot TEO, así como los torques obtenidos al aplicar las Ecuaciones (11), (12), (13) y (14).

Tabla 11-2: Propiedades físicas del pie y eslabones inferior y medio.

Pieza	Propiedades Físicas	Ensamblaje	Torque
Pie Eslabón inferior Eslabón medio	<p>Masa w = 0,041 Kg</p> <p>Centro de Gravedad X = -44,460 mm Y = 99,340 mm Z = 243,843 mm</p> <p>Distancia d = 6,6309 cm</p>		<p>Torque teórico Tt = 0,2719 Kg.cm</p> <p>Torque comercial T = 0,5084 Kg.cm</p> <p>Torque para fuerzas adicionales Tj = 2,9883 Kg.cm</p>

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En base al valor obtenido, obtenido se considera como mejor opción el HiTEC HS-311 que tienen un torque de 4,5 Kg.cm, capacidad suficiente para realizar el movimiento de la extremidad completa del robot y soportar el sobredimensionamiento que cubre cualquier fuerza adicional aplicada.

En la Tabla 12-2, se muestra la selección del servomotor necesario para cada articulación de acuerdo al análisis de fuerzas realizado.

Tabla 12-2: Selección de servomotor según el torque requerido por cada pieza.

Cantidad	Movimiento	Torque requerido	Torque diseñado	Torque servomotor
2	Oreja	0,05155 Kg.cm	1,1971 Kg.cm	2,5 Kg.cm
1	Cola	0,1734 Kg.cm	1,7501 Kg.cm	2,5 Kg.cm
1	Cabeza (Movimiento 1)	0,8567 Kg.cm	1,4059 Kg.cm	4,5 Kg.cm
1	Cabeza (Movimiento 2)	0,3559 Kg.cm	0,5742 Kg.cm	4,5 Kg.cm
2	Pies	0,04662 Kg.cm	0,8943 Kg.cm	2,5 Kg.cm
2	Eslabón Inferior	0,09670 Kg.cm	1,1712 Kg.cm	4,5 Kg.cm
2	Eslabón Medio	0,5084 Kg.cm	2,9883 Kg.cm	4,5 Kg.cm

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.5.4.2. Servomotor Hitech HS-311

El servomotor Hitech HS-311, el cual se muestra en la figura 21-2, es seleccionado para las articulaciones del robot TEO en donde se necesita más fuerza, y en las que muchas veces descansará una buena parte del peso del robot. Se escoge la marca Hitech, al proporcionar motores mucho más precisos, con un mejor control y de mejor calidad que los servomotores genéricos, y además, a pesar de tener un costo más elevado, su precio no deja de ser accesible (DynamoElectronics, 2021).



Figura 21-2: Servomotor Hitech HS-311
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

El modelo HS-311 es escogido porque, a pesar de su tamaño y peso reducido, posee un torque 3,53kg.cm que pueden soportar, lo cual es suficiente para levantar las extremidades del robot TEO y soportar el peso del mismo (ServoDatabase, 2009). En el ANEXO J se presenta la hoja de datos del servomotor.

2.5.4.3. Servomotor Tower Pro SG-90

La figura 22-2 muestra al servomotor SG90 (Grupo Electrostore, 2021a), el cual, como se describe en la tabla 19-2, es un servomotor con apenas 9 gramos, por lo que no significa un aumento de peso importante para el robot TEO; sin embargo, no posee una fuerza mayor a 1,8Kg, por lo cual, el microservomotor SG-90 será implementado para movimientos en donde este factor no sea decisivo, como el de orejas y cola. En el ANEXO I se adjunta la hoja de datos correspondiente a este microservomotor.



Figura 22-2: Servomotor Tower Pro SG-90
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.5.4.4. Módulo MP3 DFPlayer Mini

En dicho módulo, mostrado en la figura 23-2, se graban clips de audio pregrabados para reproducirlos cuando el pictograma correcto sea detectado. Es un módulo compatible con Arduino, muy pequeño, con capacidad de alojar una memoria externa en formato micro SD (MakerElectronico, 2017). En el ANEXO H se adjuntan las principales características técnicas de este módulo, de las cuales se puede destacar la capacidad de almacenar hasta 25500 archivos de audio.



Figura 23-2: Módulo MP3 DFPlayer Mini
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.5.4.5. Módulo amplificador de audio PAM8403

Para elevar el nivel de reproducción de los clips de audio almacenados en el módulo MP3, de acuerdo a las características de salida del mismo, se recurre al amplificador de sonido estéreo PAM8403 que se muestra en la figura 24-2, debido a su bajo costo, pequeño tamaño y excelente calidad de sonido (Radio Nakama, 2020).

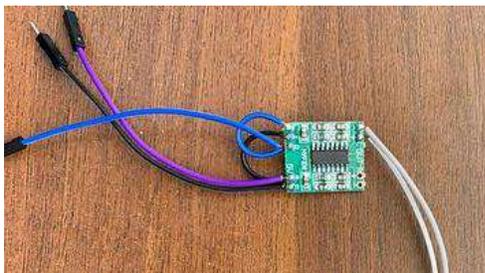


Figura 24-2: Módulo amplificador de audio
PAM8403

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

El modulo se alimenta con 5V, entrega sonido con una potencia de hasta 3W, y es compatible con parlantes de la misma potencia de 4Ω u 8Ω. Los parlantes utilizados para la salida de audio (Interactive Dynamics, 2018), mostrados en la figura 25-2, son de 8Ω y 3W.



Figura 25-2: Parlante $8\Omega/3W$ 30x70mm
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.5.4.6. Diodo LED RGB

Se utilizan diodos LED para interactuar con Emilio de forma visual. El objetivo es utilizar varios colores para demostrar la ejecución correcta o incorrecta de las actividades que realizará a través de la aplicación móvil, de igual manera se podrá indicar la condición de descarga de la batería (BricoGeek, 2019). El uso de los diodos LED RGB como el de la figura 26-2, permiten representar varios colores en un solo semiconductor, por lo que es ideal la aplicación de este dispositivo.

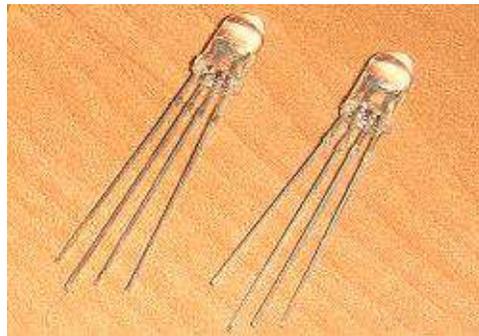


Figura 26-2: Diodo LED RGB
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.5.5. Hardware de alimentación

De acuerdo al consumo de corriente de los dispositivos que componen el robot TEO, se presenta en esta etapa la batería requerida, así como los módulos para regular la tensión proporcionada por la misma y poder así alimentar los diferentes dispositivos presentes en el circuito.

2.5.5.1. Batería Li-Po 7,4V Turnigy Nano Tech 3000mAh 20-40C

La batería Turnigy Nano-Tech de 2s y 3000mAh que se puede observar en la figura 27-2, se selecciona acorde con el consumo de todos los elementos que integran el robot TEO, el cual cuenta con dos modos de uso, uno para leer pictogramas y otro para actuar de acuerdo a las respuestas que se den en una aplicación móvil; es por esto que se divide el circuito en dos partes, de esta manera se

puede estimar el tiempo de consumo de acuerdo a la actividad que desarrolle el robot en un momento determinado.



Figura 27-2: Batería Turnigy Nano-Tech
7,4V 3000mAh 20-40C
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En la tabla 13-2, se observa el consumo en miliamperios mA de cada componente del circuito que funciona cuando el robot TEO lee los pictogramas. Como se puede apreciar en la misma, el circuito consume un total de 1538mA, por lo que al utilizar una batería de 3000mAh, se garantiza en teoría el funcionamiento del circuito por 1 hora y 57 minutos.

Tabla 13-2: Corriente de consumo de los elementos del circuito lector de pictogramas

Nombre	Consumo	Cantidad	C. Total
Módulo lector PN532 RFID/NFC V3 con tarjeta lector y llavero	120mA	1	120mA
Módulo AMS1117 Regulador 3,3V	10mA	1	10mA
Módulo AMS1117 Regulador 5V	10mA	1	10mA
Módulo Reductor De Voltaje 3A De (24V-5V) A 5V Fijo Usb Buck Step Down	50mA	1	50mA
Arduino Nano V3.0 CH340g terminales sin soldar + cable USB	18mA	1	18mA
Módulo Arduino MP3 Player	150mA	1	150mA
Módulo Amplificador De Audio 5V 3W PAM8403	600mA	1	600mA
Parlante 8Ohm 3W 40*70mm	625mA	1	625mA
	TOTAL		1583mA

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En la tabla 14-2, se muestra el consumo de corriente de los dispositivos del circuito que logran la comunicación con la app móvil e interactúan con la misma por medio de movimientos y luces. Como se puede apreciar en la tabla, el circuito consume un total de 4368mA, por lo que al utilizar una batería de 3000mAh, el robot puede utilizar todos sus componentes al mismo tiempo hasta por un tiempo de 41,12 minutos.

Tabla 14-2: Corriente de consumo de los elementos del circuito encargado de la comunicación y parte motriz

Nombre	Consumo	Cantidad	C. Total
Servomotor tower pro SG90 1,8 kg.cm 180°	550mA	5	2750mA
Módulo AMS1117 Regulador 3,3V	10mA	1	10mA
Módulo AMS1117 Regulador 5V	10mA	1	10mA
Módulo Reductor De Voltaje 3A De (24V-5V) A 5V Fijo Usb Buck Step Down	50mA	1	50mA
Servomotor Hitec HS-311 3,7 kg.cm nylon	160mA	8	1280mA
Arduino Nano V3.0 CH340g terminales sin soldar + cable USB	18mA	1	18mA
Led 5mm RGB 4 terminales ánodo común	20mA	3	60mA
Resistencia 1/2w 220ohm	50mA	3	150mA
Módulo Bluetooth HC-05	40mA	1	40mA
TOTAL			4368mA

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.5.5.2. Módulos reguladores de voltaje AMS1117 y LM2596 mini

Para adecuar el voltaje suministrado por la batería, es necesario utilizar dos módulos reguladores de voltaje, el primer en ser descrito es el módulo AMS117, el mismo se muestra en la figura 28-2, utilizado para aquellos componentes o dispositivos que requieren de un nivel de voltaje no superior al de 3,3V (Naylamp Mechatronics, 2019a).

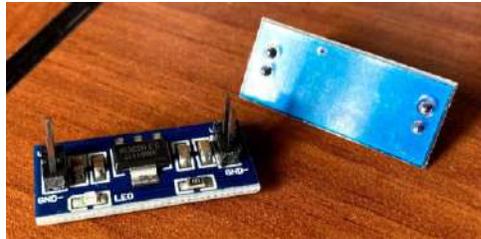


Figura 28-2: Módulo regulador de voltaje AMS1117

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Para alimentar a los servomotores que necesitan de una tensión superior, se requiere el uso de un regulador LM2596 mini como el de la figura 29-2, esto además ayuda a reducir el ruido que pueden generar los motores, y así éstos no afecten a los demás dispositivos (Arca Electrónica, 2018).



Figura 29-2: Módulo regulador de voltaje LM2596 mini

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.6. Esquema de conexión y diseño de placa PCB

En este apartado se presentan las conexiones existentes entre los diferentes elementos del *hardware* que conforman el circuito del robot TEO. Para el diseño del circuito se utiliza el *software* Fritzing v0.9.9.

2.6.1. Esquema de conexión

En la figura 30-2 se muestra el diagrama de conexión de los componentes del *hardware* electrónico del robot TEO, como se puede apreciar en dicha figura, los dispositivos utilizados son alimentados por una batería de 7,2V; además, la energía suministrada es regulada por los módulos LM2596 para 5V y AMS117 para 3,3V. El esquema de conexión está detallado de la siguiente manera:

- Del módulo RFID/NFC PN532, se conectan los terminales SDA y SCL a las entradas A5 y A6 respectivamente.
- Se acoplan los terminales CD y CS del módulo MP3 DFPlayer Mini, a las entradas digitales D11 y D12 del Arduino Nano.
- Los terminales de salida del módulo MP3 van al módulo de amplificación de audio y posteriormente al altavoz.
- La comunicación Bluetooth se logra con la conexión de los terminales Tx y Rx con sus contrapartes en el Arduino Nano Rx y Tx.
- Los servomotores son controlados por medio de los terminales de salida digitales.
- Es importante mencionar que se utiliza un divisor de voltaje para proporcionar un tercio del voltaje de la batería en la entrada A0 del Arduino Nano y monitorear el nivel de la misma.

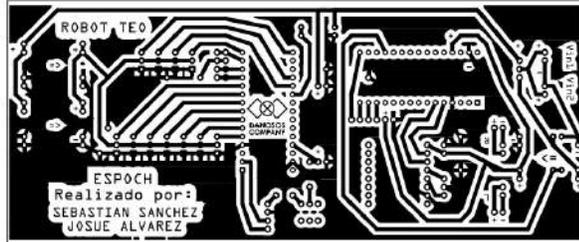


Figura 31-2: Diseño de la placa PCB del robot TEO
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Una vez listo el diseño, se realiza la impresión sobre la PCB de baquelita, en la figura 32-2 se observa el resultado de la misma.

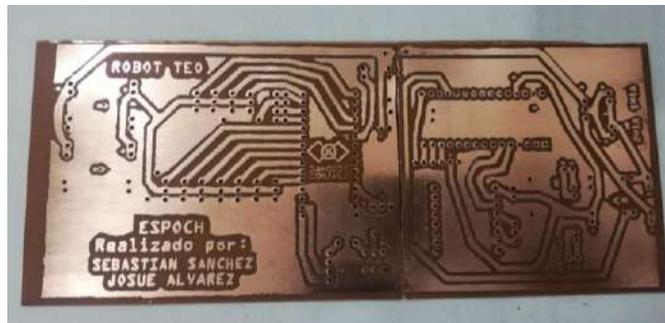


Figura 32-2: Impresión de la PCB del diseño previamente realizado
Realizado por: Álvarez Josué, Sanchez Sebastián. 2022.

En la figura 33-2 se muestra la placa PCB según el esquema de conexión de cada uno de los componentes y dispositivos que se utilizan para el funcionamiento y control del robot TEO.



Figura 33-2: Placa PCB del robot TEO
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.7. Diseño de software del robot TEO.

La programación del robot TEO cuenta con cuatro etapas principales, monitoreo de batería, lector de pictogramas, comunicación con la aplicación móvil y control de movimiento. Al utilizar una tarjeta

de desarrollo Arduino, es necesario recurrir al *software* Arduino IDE v1.8.5.; además para la simulación del control de movimiento por medio de cinemática inversa, se utiliza Matlab 2018b.

2.7.1. Etapa de monitoreo de la batería

Para que exista un buen cuidado de la batería, y de esta manera alargar su vida útil, es necesario indicar al usuario cuando es necesario recargar la misma. Para determinar el nivel de la batería, se ejecuta una sentencia que lee el nivel de la batería, cuando este llega a menos a 6,6V, valor recomendado para baterías de 2 celdas, emite un mensaje para que el usuario sepa que es momento de recargar la batería del robot TEO. Para esto es necesario ingresar el voltaje de la batería en una de las entradas analógicas del Arduino, como estas entradas soportan un máximo de 5V, se realiza un divisor de voltaje como se ve en la figura 34-2, mediante el cual se toma un tercio del voltaje total. Como el Arduino Nano interpreta en sus entradas analógicas de 0 a 5V como una escala de 0 a 1023, es necesario en la programación reconvertir este valor a su escala de voltaje y multiplicarlo por 3 para obtener el voltaje real de la batería.

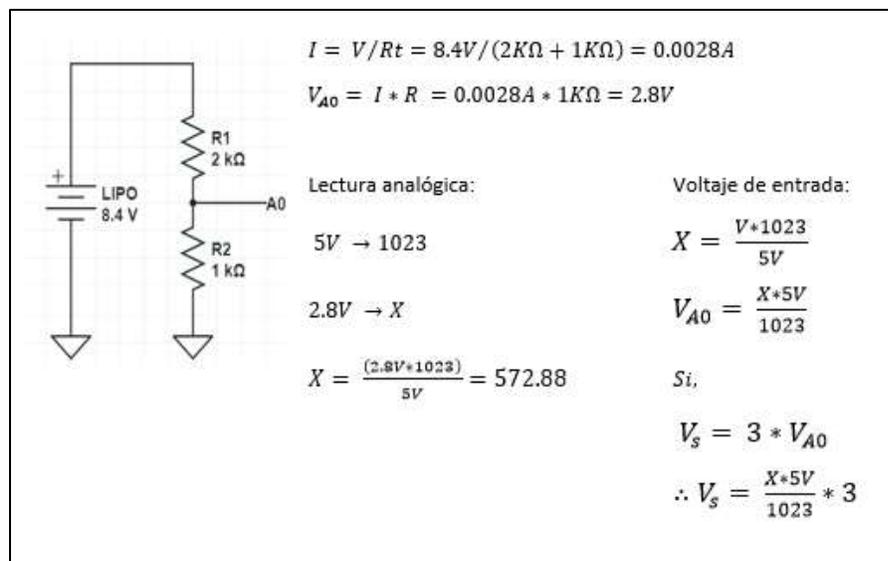


Figura 34-2: Análisis de la fórmula para el monitoreo de la batería, donde X es el valor leído por el puerto A0 y Vs el voltaje de la fuente
 Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.7.2. Etapa de lectura de pictogramas

Para leer los pictogramas por medio de las tarjetas NFC, se utiliza las librerías “softwareserial.h” para establecer la comunicación con el módulo NFC PN532, y "DFRobotDFPlayerMini.h" que permite utilizar los comandos necesarios para seleccionar los clips de audios guardados en una tarjeta

microSD integrada al módulo MP3. El código completo se adjunta en el ANEXO K, y en la figura 35-2 se muestra el diagrama de flujo en donde se aprecia la lógica utilizada:

- Se asigna una variable al código de cada tarjeta
- Una vez que inicia el ciclo principal de la programación se activa el sensor NFC para leer de manera constante.
- Al detectar una tarjeta, por medio de una sentencia CASE, se compara si el código en la tarjeta pertenece a uno de los previamente establecidos.
- Si el código se encuentra registrado, se selecciona del módulo MP3 el audio de la microSD con la palabra correspondiente a su pictograma.

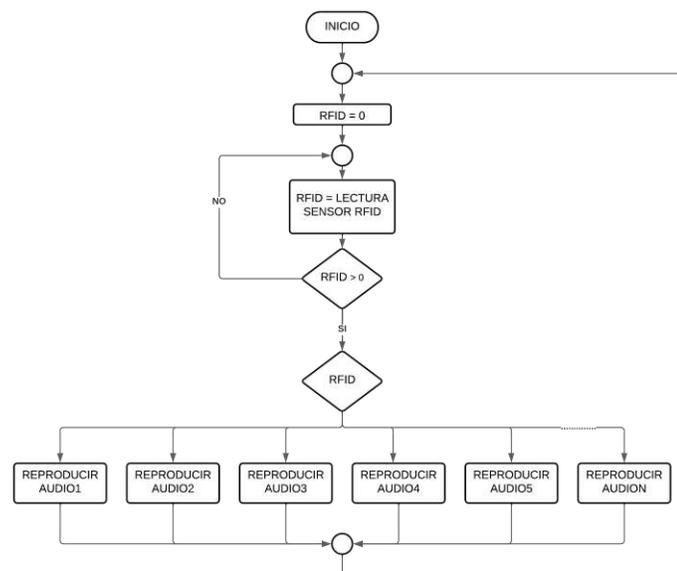


Figura 35-2: Diagrama de flujo lector de pictogramas.
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.7.3. Etapa de comunicación con la aplicación móvil

Como se expone en el ANEXO L, en estas sentencias se establecen los terminales del Arduino que se conectarán a cada servomotor y los que conectan a cada componente de los LED RGB; para la conexión Bluetooth, el módulo no necesita de una librería especial, solo es necesario leer los datos de la comunicación serial y guardarlos en una variable establecida y para el movimiento de los servomotores es necesario incluir la librería “Servo.h”. En la figura 36-2, se presenta la lógica utilizada en la programación realizada para cumplir con la conexión Bluetooth y el movimiento de los servomotores:

- Se detallan los casos existentes en la comunicación Bluetooth por medio del módulo HC-05 con 3 constantes 'a' para una opción correcta, 'c' si es incorrecta, y 'd' para un baile de celebración por haber completado la actividad
- Se asigna una variable al mensaje recibido en la comunicación serial.
- Al detectar recibir una señal, se compara con las variables preestablecidas.
- Si la variable pertenece a uno de los casos, se ejecuta la secuencia de movimientos requerida para el caso.

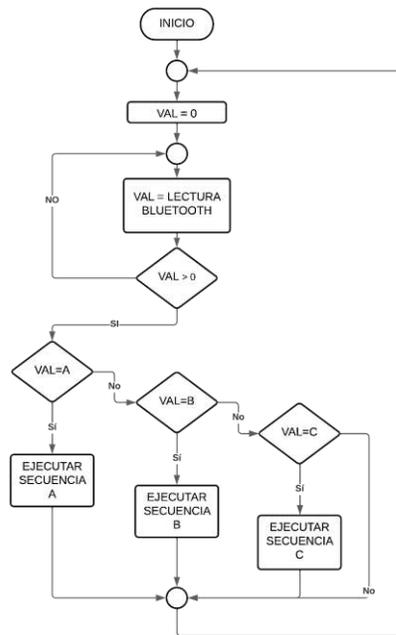


Figura 36-2: Diagrama de flujo comunicación bluetooth y señal para movimiento de servomotores
 Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.7.4. Etapa de control de movimiento

Para lograr un movimiento natural del robot TEO es necesario implementar un algoritmo de cinemática inversa, mediante el cual, se puedan encontrar el grado al que se muevan las articulaciones de las extremidades para que la misma alcance un punto específico en el espacio.

La cinemática inversa se desarrolla en MatLab 2018b, en el cual se genera el modelo en el complemento Simulink y Simmechanics. Como se observa en la figura 37-2, al no ser posible la conexión entre MatLab el *software* de diseño Inventor, se rediseña la extremidad SolidWorks 2021. Esto es necesario para simular de una forma realista el movimiento generado.

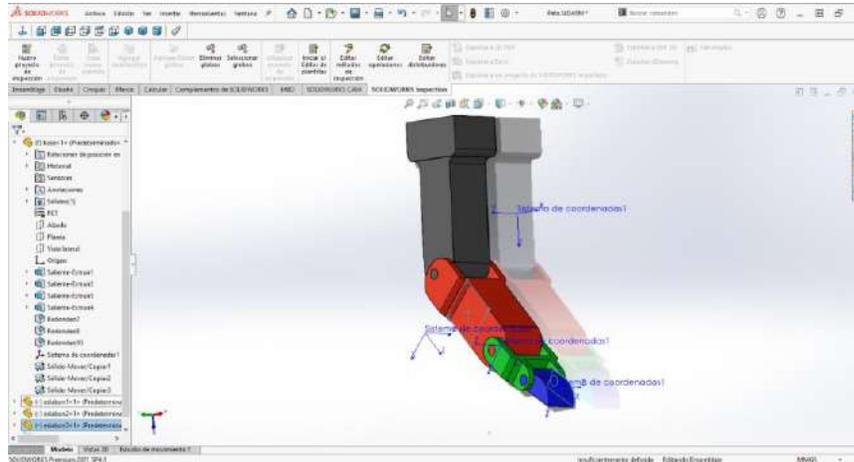


Figura 37-2: Diseño de una pata delantera en Solidworks 2021
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Una vez realizado el diseño, por medio de Simmechanics se exporta de Solidworks y se importa en Matlab para la simulación del modelo cinemático, luego se genera en Simulink el modelo de la cadena articular, mismo que se observa en la figura 38-2.



Figura 38-2: Modelado de una pata delantera en Simulink
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Con el modelado listo, se procede a realizar la función de cinemática inversa en Simulink de acuerdo a las ecuaciones (8), (9) y (10); para el movimiento de la extremidad del robot TEO. En la figura 39-2, se observa la función realizada en Simulink, mientras que en la figura 40-2 se muestra el *scribd* en Matlab para el bloque de cinemática inversa en donde se aprecia el uso de las ecuaciones correspondientes al diseño.

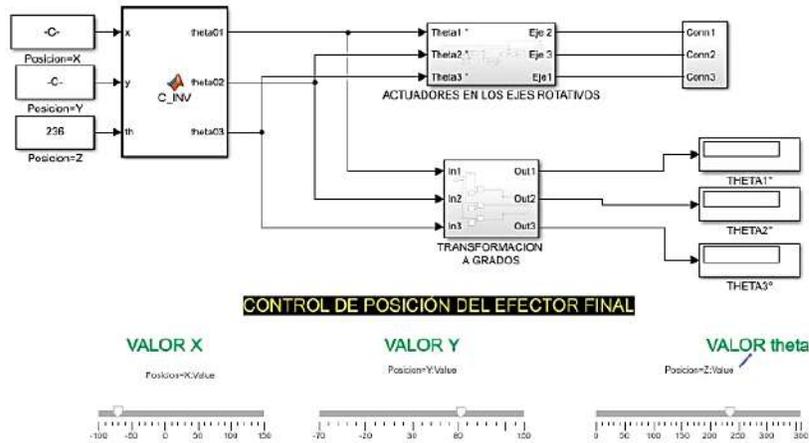


Figura 39-2: Diseño de la función en Simulink
 Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

```

Editor - Block: Pata/MATLAB Function1
Sampling.m  xuy_dao.m  Cinematica_inversa.m  Cinematica_inversa.m  MATLAB Function1  +
1  function [theta01, theta02, theta03]=C_INV(x,y,th)
2  -  l1=90;
3  -  l2=39;
4  -  l3=25;
5  -  %v=0.1;
6  -  %dt=0.01;
7  -  %th=th*180/pi;
8  -  c2=((x-13*cos(th))^2+(y-13*sin(th))^2-11^2-12^2)/(2*11*12);
9  -  s2=-sqrt(1-c2^2);
10 -  theta02=atan2(s2,c2);
11 -  c1=(12*s2*(y-13*sin(th))+(11+12*c2)*(x-13*cos(th)))/(11^2+12^2+2*11*12*c2);
12 -  s1=((11+12*c2)*(y-13*sin(th))-12*s2*(x-13*cos(th)))/(11^2+12^2+2*11*12*c2);
13 -  theta01=atan2(s1,c1);
14 -  theta03=th-theta01-theta02;
  
```

Figura 40-2: Scribd del bloque de cinemática inversa
 Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

En la figura 41-2 se muestra la ejecución de la simulación, en la cual se puede variar los ejes x y y para visualizar el movimiento de toda la cadena.

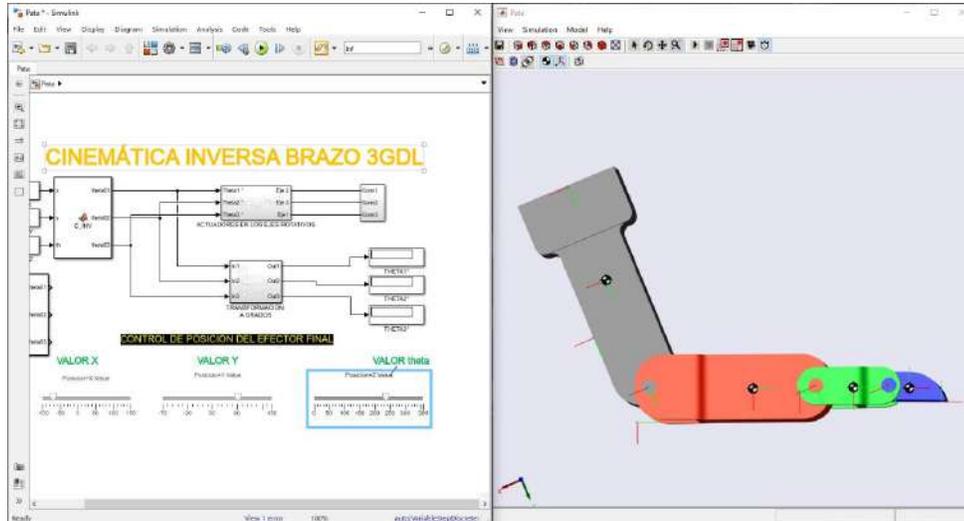


Figura 41-2: Simulación en MatLab del movimiento de una pata delantera del robot TEO con cinemática inversa
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Para finalizar, una vez comprobado el funcionamiento del modelo cinemático en la simulación, se realiza la programación en el robot mediante el IDE de Arduino, en la cual se utilizan las mismas ecuaciones de la cinemática inversa encontradas. En la figura 42-2, se muestra una captura del proceso de programación, los detalles de la misma se encuentran en el ANEXO L.

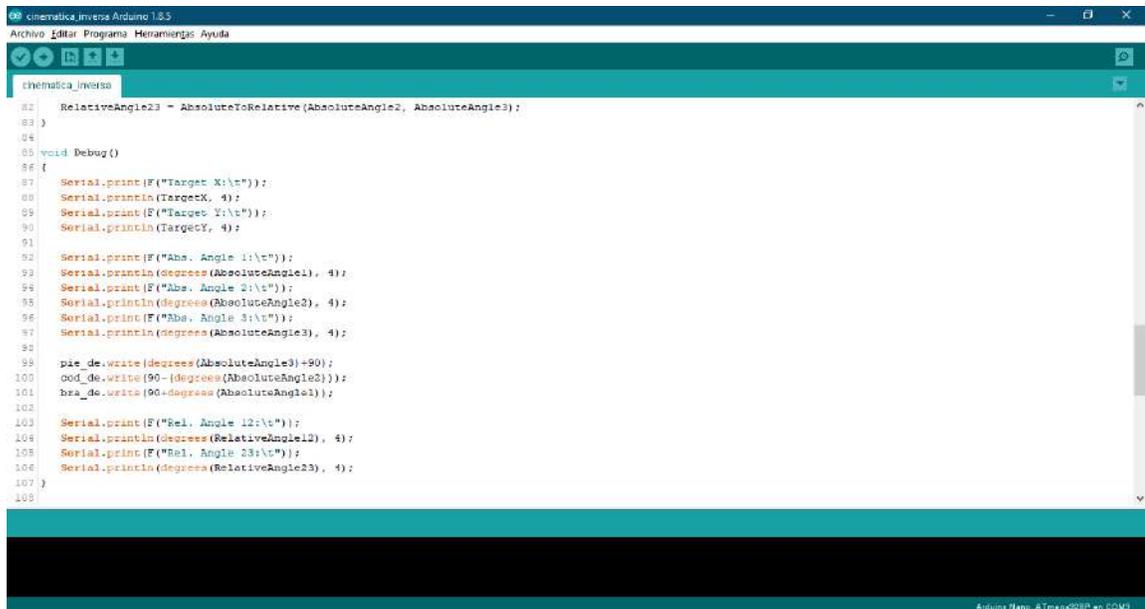


Figura 42-2: Etapa del código de cinemática inversa para control de servomotores
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.8. Diseño de aplicación móvil

TEO APP es una aplicación móvil capaz de interpretar pictogramas virtuales, además, contiene un juego de preguntas con 4 temáticas diferentes, con las cuales el robot TEO interactúa de acuerdo a las respuestas seleccionadas por el paciente. El desarrollo de la aplicación móvil, se realiza mediante el uso del software MIT APP Inventor 2.

2.8.1. Estructura de la aplicación móvil

La aplicación cuenta con una pantalla de bienvenida, la cual de paso a un menú principal apreciada en la figura 43-2, en donde es posible seleccionar la opción “*Talker*”, para servir como ayuda en la comunicación, o la opción “Juegos”, en donde se encontrará un juego de selección con diferentes temáticas acorde con los gustos del individuo beneficiado por el presente proyecto; los temas seleccionados son: animales, medios de transporte, comida y varios; en éste último se seleccionan características como frío/calor, claro/oscuro, formas geométricas, etc.



Figura 43-2: Pantallas de menú, *talker* y juegos de TEO APP
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

2.8.2. Programación de TEO APP

- **Talker**

Para lograr que cada botón exprese su significado, solo es necesario llamar a la función de texto a voz con un mensaje predeterminado para cada botón, tal como se aprecia en la figura 44-2.



Figura 44-2: Programación de un botón de la opción *Talker* de TEO APP

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

- Conexión Bluetooth

La comunicación se logra por medio de la función “Cliente Bluetooth”, mediante la cual, se selecciona de la lista de direcciones disponibles la señal del módulo HC-05, una vez establecida la conexión, la aplicación mostrará en pantalla la frase “conexión estable”, o de lo contrario en el texto aparecerá “no existe conexión”. En la figura 45-2 se aprecian los bloques utilizados para la programación.

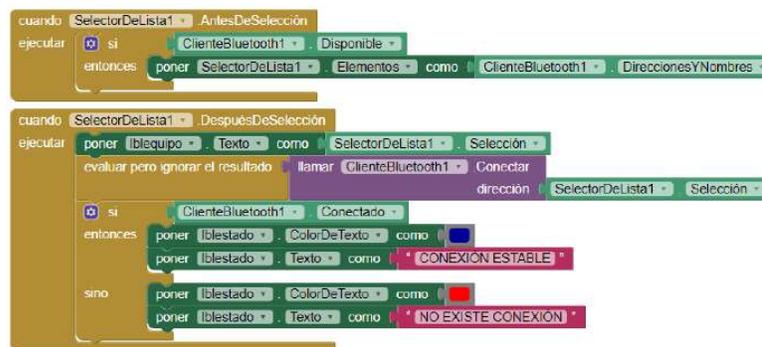


Figura 45-2: Programación de la conexión Bluetooth en TEO APP

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

- Juegos

Se trata de una actividad de preguntas y respuestas con 4 temáticas: comida, medios de transporte, animales y varios. El funcionamiento del juego se da por medio de la lógica de programación representada por medio del diagrama de flujo de la figura 46-2, en el cual se aprecia que el usuario accede a un banco de 20 preguntas, cada una con dos opciones, si se selecciona la respuesta correcta, se presenta la siguiente pregunta, caso contrario se vuelve a repetir la misma; cada pregunta es enunciada por el asistente de voz del teléfono.

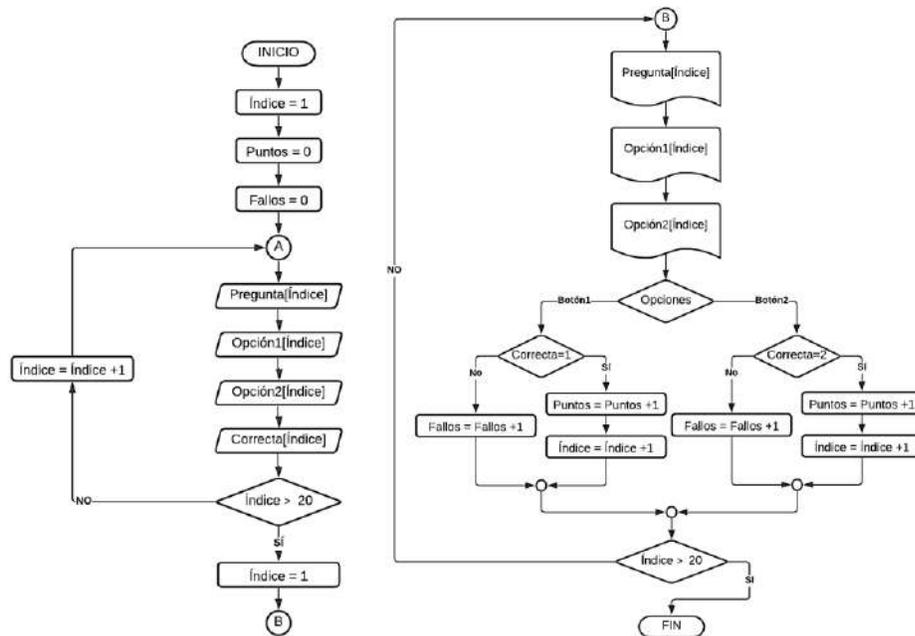


Figura 46-2: Diagrama de flujo de la programación de la sección Juegos de TEO APP
 Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Las preguntas y sus diferentes opciones se registran en la programación de la aplicación dentro de 4 vectores: preguntas, opción 1, opción 2 y respuesta correcta, Una vez inicia el juego, se llama al vector en el ítem correspondiente a un contador inicializado en uno, y mientras se responde correctamente el contador aumentara y se mostrará la información correspondiente al siguiente ítem de cada vector hasta llegar a las 20 preguntas, anotando al mismo tiempo el número de fallos y aciertos. En la figura 47-2 se muestra un captura de pantalla de la actividad ejecutada en la temática de comida.



Figura 47-2: Captura de pantalla del juego con la temática de comida.
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

A continuación, en la figura 48-2, se muestra parte de la programación desarrollada en la sección de bloques de MIT APP Inventor 2. De la misma manera, en el ANEXO M se indica la programación completa de la aplicación móvil.



Figura 48-2: Captura de pantalla de parte de la programación de TEO APP
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

CAPÍTULO III

3. VALIDACIÓN DE PROTOTIPO

En el presente capítulo se exponen las pruebas realizadas con el robot TEO y los resultados obtenidos, con el fin de validar el cumplimiento de los requerimientos planteados al inicio de esta investigación. Se observan las mediciones de peso y dimensiones del robot; luego se realizan pruebas de tiempos de carga y operación, respuesta del sistema y efectividad en su propósito como asistente de comunicación y actividades terapéuticas; por último, se realiza un análisis de costos del prototipo.

3.1. Peso y dimensiones del robot

El objetivo de la prueba es determinar las dimensiones finales obtenidas una vez terminada la construcción del robot TEO; como se observa en la figura 1-3, para las pruebas se utilizan como instrumentos un flexómetro y una balanza digital.

En la tabla 1-3 se muestran las dimensiones y el peso final del robot TEO; la altura se toma de la base a la punta de la cabeza, el ancho existente entre la parte más extensa de sus patas posteriores, y largo desde la punta de la nariz hasta la parte más lejana de la cola. El peso final del robot es de 1,75kg, al tener el paciente un peso aproximado de 81kg, representa apenas el 2,16% de su peso, menor al 10% detallado en los requerimientos del sistema.

Tabla 1-3: Dimensiones y peso del robot TEO

Altura	325mm
Ancho	187mm
Largo	375mm
Peso	1,75kg

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.



Figura 1-3: Toma de medidas del robot TEO

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.2. Carga y duración de la batería

Con el objetivo de determinar el máximo tiempo de carga de la batería y el mínimo de operación continua, se realizaron 5 ciclos en los que el robot realizó actividades de forma ininterrumpida hasta agotar su batería, para luego ser cargada por completo y repetir el ciclo; se utilizan para las pruebas un cargador Imax B6AC, como el que se muestra en la figura 2-3, tanto como para cargar la batería como para medir el tiempo de carga: para el tiempo de descarga se utiliza un cronómetro digital.



Figura 2-3: Pruebas de carga del robot TEO
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.2.1. Tiempo de carga de la batería

El robot cuenta con una batería Li-Po de 7,4V y 3000mAh de capacidad, para su carga se ha seleccionado un cargador con una salida de 1600mA; con este cargador se obtiene un registro de los tiempos de carga, mostrado en la tabla 2-3, lo que muestra la obtención de un tiempo de carga máximo de 1h51:59, tomando el tiempo máximo evidenciado en la prueba.

Tabla 2-3: Registro de tiempos de carga de la batería

MUESTRA	TIEMPO DE CARGA
1	1h50:28
2	1h48:54
3	1h51:13
4	1h51:59
5	1h49:46
TIEMPO MÁXIMO DE CARGA	1h51:59

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.2.2. *Tiempo de operación del robot TEO*

Para medir el tiempo de operación del robot TEO, se ha utilizado el mismo de forma continua hasta llegar a una medición de 6,6V en su batería, de donde se obtiene el registro de tiempos mostrado en la tabla 3-3, por medio de la cual se garantiza el funcionamiento durante mínimo 5h48:22, al tener en cuenta una duración de 45 minutos por sesión, el prototipo funcionará con un ciclo de carga mínimo durante 7,57 sesiones.

Tabla 3-3: Registro de tiempos de operación

Muestra	Tiempo de operación
1	5h48:22
2	6h04:16
3	6h10:05
4	5h55:38
5	5h59:49
TIEMPO MÍNIMO DE OPERACIÓN	5h48:22

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.3. **Distancia máxima de respuesta**

Para medir la distancia máxima a la que el robot detecta los pictogramas, se realizan pruebas de lectura a diferentes distancias, de acuerdo con la hoja de datos del sensor y con la ayuda de un flexómetro como se observa en la figura 3-3, se utiliza un paso de 5mm para cada lectura y se observa si se da una lectura correcta de pictogramas con el sensor RFID/NFC, como resultado se obtiene una distancia máxima de 30mm de lectura, dichos datos se muestran en las tablas 4-3.



Figura 3-3: Medida de distancia máxima
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Tabla 4-3: Datos de prueba de distancia de lectura sensor RFID/NFC PN532

Distancia	0mm	5mm	10mm	15mm	20mm	25mm	30mm	35mm	40mm	45mm
Lectura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Para determinar la distancia de comunicación entre el prototipo y la aplicación de celular, se utiliza una cinta métrica de realiza el envío de señales cada 5 metros, se obtiene como resultado una lectura a una distancia máxima de 125 metros como se observa en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Datos de prueba de distancia de módulo Bluetooth HC-05

Distancia	0m	5m	10m	15m	20m	25m	30m	35m	40m	45m	50m
Lectura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Distancia	55m	60m	65m	70m	75m	80m	85m	90m	95m	100m	105m
Lectura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Distancia	110m	115m	120m	125m	130m	135m	140m	145m	150m	155m	160m
Lectura	✓	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.4. Efectividad de respuesta

En este apartado se busca medir la efectividad para la lectura de pictogramas y respuesta a las señales de la aplicación móvil; así como también los tiempos de respuesta obtenidos en las pruebas; para ambas pruebas se presentan 100 pictogramas durante 5 sesiones, se observan si existe lectura o no, además de si la misma se realiza de manera correcta.

3.4.1. Lectura de pictogramas

Se acerca un pictograma al robot TEO como se muestra en la figura 4-3, y se verifica si se realiza una lectura correcta. En la tabla 6-3 se muestran los datos obtenidos de las pruebas de lectura de pictogramas, en los mismos se puede observar una efectividad del 100% en los pictogramas leídos, cabe destacar que la respuesta del robot es inmediata, por lo que el tiempo de respuesta es casi imperceptible para su medición.

Tabla 6-3: Registro de efectividad de lectura de pictogramas

Muestra	Pictogramas leídos	Pictogramas leídos correctamente	Efectividad
1	100	100	100%
2	100	100	100%
3	100	100	100%
4	100	100	100%
5	100	100	100%

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.



Figura 4-3: Pruebas de lectura de pictogramas
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.4.2. *Respuesta a señales de la aplicación móvil*

Para medir la interacción entre el robot y la aplicación, se envían señales desde la app, como se ve en la figura 5-3, se registra si los movimientos realizados son correctos y el tiempo de respuesta desde el envío de la señal hasta la respuesta obtenida por el robot. Los datos obtenidos se observan en la tabla 7-3, reflejan una efectividad del 100% y un tiempo de respuesta promedio de 0,53 segundos.

Tabla 7-3: Registro de datos de efectividad de respuesta a señales de app

Muestra	Señales enviadas	Señales interpretadas correctamente	Efectividad	Tiempo de respuesta promedio (s)
1	100	100	100%	0,54
2	100	100	100%	0,57
3	100	100	100%	0,48
4	100	100	100%	0,51
5	100	100	100%	0,55

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

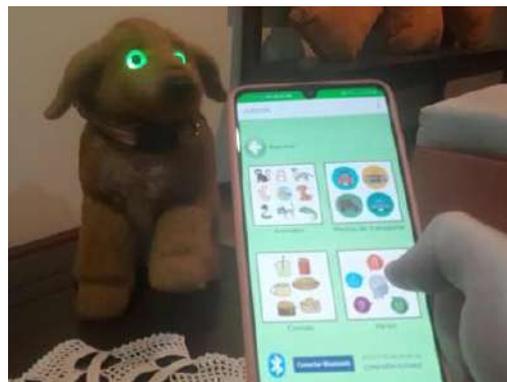


Figura 5-3: Pruebas de respuesta a app
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.5. Comprobación de movimiento

El objetivo de la prueba es verificar que las extremidades se mueven los ángulos deseados, para lo cual se registran los ángulos obtenidos en la programación y se comparan al medir con un graduador el ángulo real generado por el dispositivo. En la tabla 8-3 se detallan los resultados generados, en donde se evidencia que los ángulos medidos son similares a los obtenidos en la programación. En la figura 6-3 se evidencia la medición de los ángulos tomados por el robot TEO para alcanzar un punto determinado en el espacio.

Tabla 8-3: Comparación de ángulos obtenidos en la programación y los medidos en el robot TEO

Muestra	Punto (x,y)	Ángulos obtenidos			Ángulos medidos		
		q1	q2	q3	q1	q2	q3
1	(50,60)	97,9249°	-32.6732°	10°	98°	-32,5°	10°
2	(35,70)	114,8384°	0,8595°	5°	115°	1°	5°
3	(30,60)	118,1966°	5,9159°	-15°	118°	6°	-15°
4	(40,60)	109,6592°	-15,7268°	-0°	109,5°	-15,5°	0°
5	(15,55)	133,9031°	1,5598°	2°	134°	1,5°	2°

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.



Figura 6-3: Medición de los ángulos tomados por el robot TEO para llegar a un punto determinado

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.6. Resultados en actividades terapéuticas

Con el objetivo de conocer los beneficios del robot TEO en el paciente de estudio, se realizan tres pruebas principales durante 10 días, la primera con el uso de tarjetas tradicionales, luego dos pruebas en conjunto con TEO: una mediante el uso de pictogramas físicos y la segunda con la aplicación móvil. Todas las pruebas cuentan con 20 preguntas de selección, este número de ítems es seleccionado para que las actividades no duren más de media hora por recomendación de las terapeutas.

3.6.1. Resultados de actividad con tarjetas tradicionales

Con el objetivo de comparar los resultados, se realiza una prueba en la cual se realizan 20 preguntas, en cada una se presentan 10 opciones de pictogramas y se pregunta por uno en específico. Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 9-3.

Tabla 9-3: Resultados obtenidos en 10 días de actividad con tarjetas

Día	Preguntas	Aciertos	Fallos	% Aciertos
1	20	12	8	60%
2	20	12	8	60%
3	20	13	7	65%
4	20	11	9	55%
5	20	12	8	60%
6	20	14	6	70%
7	20	11	9	55%
8	20	13	7	65%
9	20	12	8	60%
10	20	13	7	65%

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

De acuerdo con los datos obtenidos, se genera el gráfico 1-3 expuesto a continuación, en el cual se evidencia un aumento del 5% en la capacidad de reconocer pictogramas luego de 10 días de actividad:

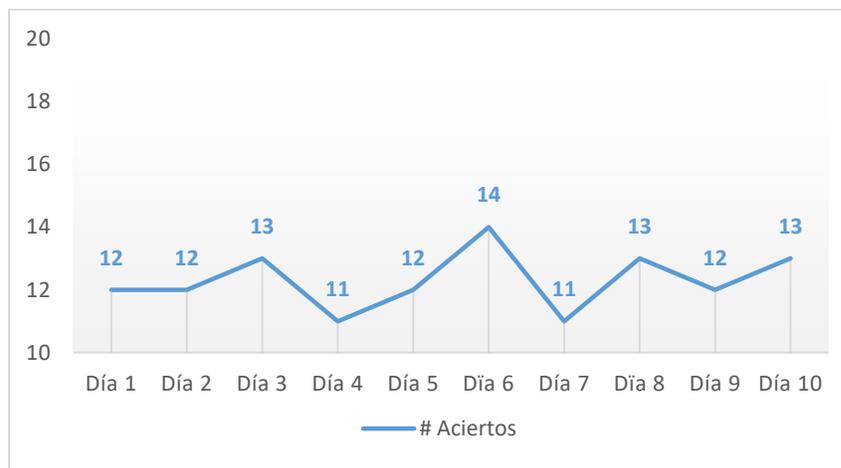


Gráfico 1-3: Número de aciertos obtenidos durante 10 días de actividad con tarjetas

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.6.2. Resultados de actividad con pictogramas

Para esta actividad, se presentan 10 pictogramas al menor y se realiza una pregunta sobre cuál es uno en específico; el paciente debe reconocer el pictograma correcto y acercarlo al pecho del robot para que este lo lea, tal como se muestra la figura 7-3.



Figura 7-3: Actividad con pictogramas
Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Mediante la actividad propuesta, se obtuvieron durante 10 días los resultados mostrados en la tabla 10-3:

Tabla 10-3: Resultados obtenidos en 10 días de actividad con pictogramas

Día	Preguntas	Aciertos	Fallos	% Aciertos
1	20	14	6	70%
2	20	12	8	60%
3	20	15	5	75%
4	20	15	5	75%
5	20	16	4	80%
6	20	15	5	75%
7	20	15	5	75%
8	20	17	3	85%
9	20	16	4	80%
10	20	17	3	85%

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

A partir de los resultados obtenidos, se genera el gráfico 2-3, en el cual se aprecia un mayor número de aciertos obtenidos durante 10 días de actividad con el robot TEO, logrando un aumento del 15% en la capacidad de reconocer pictogramas en relación al primer día de trabajo.



Gráfico 2-3: Número de aciertos obtenidos durante 10 días de actividad de pictogramas

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.6.3. Actividad con aplicación móvil

La aplicación móvil cuenta con su propia actividad en la sección juegos, la misma que consta de 20 preguntas en 4 temáticas diferentes; como se aprecia en la figura 8-3, el usuario contesta las preguntas presentadas, si la respuesta es favorable, el robot realiza una señal de afirmación, caso contrario, una de negación y la pregunta se vuelve a formular.



Figura 8-3: Actividad con aplicación móvil

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Durante 10 días, se obtuvieron de esta actividad los datos que se detallan en la tabla 11-3:

Tabla 11-3: Resultados obtenidos en 10 días de la actividad con la aplicación móvil

Días	Preguntas	Aciertos	Fallos	Intentos	Fallos/Preguntas	Aciertos/Intentos
1	20	20	9	29	45%	68,96%
2	20	20	8	28	40%	71,43%
3	20	20	8	28	40%	71,43%
4	20	20	7	27	35%	74,07%
5	20	20	6	26	30%	76,92%
6	20	20	7	27	35%	74,07%
7	20	20	6	26	30%	76,92%
8	20	20	6	26	30%	76,92%
9	20	20	6	26	30%	76,92%
10	20	20	5	25	25%	80,00%

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

A partir de estos resultados, se obtiene el gráfico 3-3, en la cual se muestra de manera visual como cada día se necesitó un menor número de intentos para completar las 20 preguntas, por lo tanto se logra mejorar un 11,04% en la puntuación de las actividades.

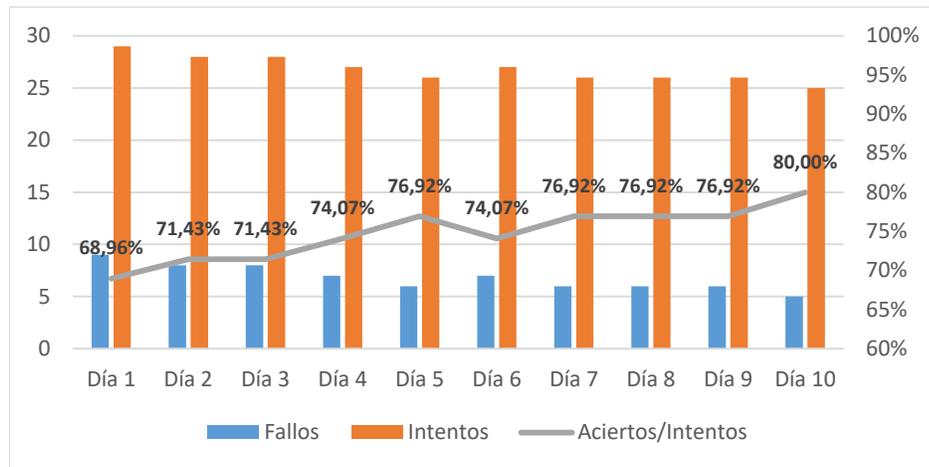


Gráfico 3-3: Cantidad de fallos, intentos y porcentaje de efectividad al completar la actividad durante 10 días.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

3.6.4. Análisis estadístico de los resultados obtenidos en las actividades

El objetivo es evidenciar si existe una diferencia entre las pruebas con las tarjetas tradicionales y las evidenciadas con el uso del robot TEO, al tener un estudio con el mismo número de muestras y del mismo tipo, ordinales y continuos, se utiliza la prueba estadística de análisis de varianza de un factor, o ANOVA.

Se define la hipótesis nula:

H_0 = No existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos en las actividades realizadas con las tarjetas tradicionales y los obtenidos con el robot TEO.

Especificada la hipótesis, se toman los datos obtenidos en las pruebas y se calcula el promedio de cada una, así mismo como el promedio total. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 12-3.

Tabla 12-3: Promedio de los resultados obtenidos en las actividades

Día	Tarjetas tradicionales	Tarjetas RFID/NFC	APP	
1	60	70	68,96	
2	60	60	71,43	
3	65	75	71,43	
4	55	75	74,07	
5	60	80	76,92	
6	70	75	74,07	
7	55	75	76,92	
8	65	85	76,92	
9	60	80	76,92	
10	65	85	80	TOTAL
Promedio	61,5	76	74,764	70,7546667

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Una vez obtenidos los promedios, se procede a calcular la suma de los cuadrados total o SCT, la misma es la suma de la diferencia existente entre el resultado obtenido en cada día de la actividad y el promedio total de todas las actividades, elevada al cuadrado; expresada como:

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

En donde:

- n_i = Número de observaciones por actividad.
- N = Número total de observaciones.
- Y_{ij} = La j-ésima observación de la i-ésimo actividad.
- \bar{Y} = La media de todas las observaciones (media global).

En la tabla 13-3 se muestran los resultados generados para la obtención de la suma de cuadrados total, en donde se verifica la misma con un valor de 2087,76115.

Tabla 13-3: Suma de cuadrados total de la muestra

Día	Tarjetas	NFC	APP	
1	115,6628551	0,569521778	3,220828444	
2	115,6628551	115,6628551	0,456075111	
3	33,11618844	18,02285511	0,456075111	
4	248,2095218	18,02285511	10,99143511	
5	115,6628551	85,47618844	38,01133511	
6	0,569521778	18,02285511	10,99143511	
7	248,2095218	18,02285511	38,01133511	
8	33,11618844	202,9295218	38,01133511	
9	115,6628551	85,47618844	38,01133511	
10	33,11618844	202,9295218	85,47618844	TOTAL
SCT	1058,988551	765,1352178	263,6373778	2087,76115

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Se procede con la obtención de la suma de cuadrados residuales, la cual es la diferencia existente entre el resultado obtenido en cada día de la actividad y el promedio de todos los días de la actividad, elevada al cuadrado; expresada como:

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$$

En donde:

- n_i = Número de observaciones por actividad.
- N = Número total de observaciones.
- Y_{ij} = La j-ésima observación de la i-ésima actividad.
- \bar{Y}_i = La media de la muestra de la i-ésima actividad.

Los datos generados para la obtención de la suma de cuadrados residuales, se exponen a continuación en la tabla 14-3, en donde se verifica un valor de 795,38984.

Tabla 14-3: Suma de cuadrados residual de la muestra

Día	Tarjetas	NFC	APP	
1	2,25	36	33,686416	
2	2,25	256	11,115556	
3	12,25	1	11,115556	
4	42,25	1	0,481636	
5	2,25	16	4,648336	
6	72,25	1	0,481636	
7	42,25	1	4,648336	
8	12,25	81	4,648336	
9	2,25	16	4,648336	
10	12,25	81	27,415696	TOTAL
SCR	202,5	490	102,88984	795,38984

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Se procede a definir los grados de libertad para cada suma de cuadrados, para la total es el número completo de datos de la muestra menos 1, en este caso 29; mientras que para la residual es la cantidad de actividades realizadas menos 1, lo que muestra 2 grados de libertad.

Se define la suma de los cuadrados del factor SCF, el cual es la suma de los cuadrados total y la suma de cuadrados residuales, de la misma manera, los grados de libertad es la diferencia de los dos grados de libertad definidos. Luego, se calcula la media de los cuadrados al dividir el valor de los mismos para el número de grados de libertad correspondiente. Todos los resultados obtenidos, se resumen en la tabla 15-3.

Tabla 15-3: Grados de libertad y media de las sumas de los cuadrados

	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	MEDIA DE LOS CUADRADOS
SCT	2087,76115	29	71,9917638
SCF	1292,371307	2	646,1856533
SCR	795,38984	27	29,45888296

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Para validar la hipótesis, se calcula una razón F, la cual es el resultado de dividir la media de los cuadrados del factor entre la del residual.

$$F = \frac{M_{SCF}}{M_{SCR}} = \frac{646,1856533}{29,45888296} = 21,9351716$$

Esta razón F obtenida, se compara en la tabla de distribución F de Fisher, disponible en el ANEXO N, Si la razón calculada excede el valor esperado de la distribución F correspondiente, se rechaza la hipótesis nula. En este caso, el valor F=21,9351716 es mayor al valor crítico de la tabla 3,3541308285292, lo que indica que sí existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos en las actividades realizadas con las tarjetas tradicionales y los obtenidos con el robot TEO, esto demuestra que no es fruto del azar y evidencia que el uso del robot TEO está directamente

relacionado con la obtención de mejores resultados en las actividades de reconocimiento de pictogramas.

CAPÍTULO IV

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el presente capítulo se detalla el costo de los materiales necesarios para el diseño e implementación del robot TEO, de igual manera se realiza un análisis de los beneficios del mismo frente a una opción comercial.

4.1. Análisis de costos

Tabla 1-4: Costo de los componentes del *hardware* del robot TEO.

Nombre	PVP	Cantidad	P. Total
Servomotor tower pro SG90 1,8 kg.cm 180°	\$ 3,75	5	\$ 18,75
Módulo lector PN532 RFID/NFC V3 con tarjeta lector y llavero	\$ 14,00	1	\$ 14,00
Espadines Rectos Hembra 40 terminales 2,54mm	\$ 0,35	5	\$ 1,75
Espadines Rectos Macho 40 terminales 2,54mm	\$ 0,25	5	\$ 1,25
Módulo AMS1117 Regulador 3,3V	\$ 1,50	2	\$ 3,00
Módulo AMS1117 Regulador 5V	\$ 1,50	2	\$ 3,00
Módulo Reductor De Voltaje 3A De (24V-5V) A 5V Fijo Usb Buck Step Down	\$ 5,00	2	\$ 10,00
Filamento Pla 1,75 Para Impresora 3d Rollo 1kg Anaranjado	\$ 20,00	1	\$ 20,00
PCB 1 Lado 12*18cm Baquelita	\$ 1,35	2	\$ 2,70
Broca De 1mm	\$ 0,50	2	\$ 1,00
Servomotor Hitec HS-311 3,7 kg.cm nylon	\$ 16,00	8	\$ 128,00
Batería Lipo 2S 7,4v 3000mAh Turnigy Nano-Tech 30-40C	\$ 50,00	1	\$ 50,00
Arduino Nano V3.0 CH340g terminales sin soldar + cable USB	\$ 7,00	1	\$ 7,00
Led 5mm RGB 4 terminales ánodo común	\$ 0,25	3	\$ 0,75
Resistencia 1/2w 220ohm	\$ 0,04	3	\$ 0,12
Interruptor Rocker Negro 3 terminales 2 posiciones On/Off 10A 125VAC 20*15*20mm	\$ 0,50	1	\$ 0,50
Cable Dupont 1,27mm Arcoiris 16 terminales 28AWG	\$ 1,75	1	\$ 1,75
Tarjeta De Memoria SD SanDisk 16GB Clase 10	\$ 12,00	1	\$ 12,00
Módulo Arduino MP3 Player	\$ 8,00	1	\$ 8,00
Módulo Amplificador De Audio 5V 3W PAM8403	\$ 2,25	1	\$ 2,25
Parlante 8Ohm 3W 40*70mm	\$ 2,25	1	\$ 2,25
Cargador Lipo 2S-3S B3 20W	\$ 16,00	1	\$ 16,00
Tarjeta RFID 13,56MHz	\$ 1,25	25	\$ 31,25
Módulo Bluetooth HC-05	\$ 6,50	1	\$ 6,50
Espuma de poliuretano	\$ 25,00	1	\$ 25,00
Filtro	\$ 15,00	1	\$ 15,00
Impresión en 3D de piezas mecánicas	\$ 136,65	1	\$ 136,65
TOTAL			\$ 518,47

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Como se puede apreciar en la tabla 1-4, la construcción del robot TEO representa un costo de implementación de \$518,47 dólares americanos, en este valor no se incluye el costo de mano de obra.

Tabla 2-4: Tabla comparativa LEGO MindStorms EV3 y robot TEO.

	Kit LEGO MindStorms EV3	Robot TEO
Precio	\$800	\$518,47
Modelo personalizado para el usuario	X	✓
Diseño amigable y familiar	X	✓
Tacto suave	X	✓
Resistente a golpes	X	✓
Programable (conocimiento de programación necesario)	✓	X
Aplicación móvil integrada	✓	✓

Fuente: Android Developers, 2021; MIT App Inventor, 2021.

Realizado por: Álvarez Josué, Sánchez Sebastián. 2022.

Se realiza una comparativa con los robots analizados en el presente proyecto, el kit LEGO MindStorms EV3 educacional, se puede encontrar en el mercado nacional a un precio de \$800,00 USD en el mercado nacional; siendo el robot TEO un 35,19% más económico, y además presenta las siguientes ventajas analizadas en la tabla 2-4:

- Diseño realizado el gusto y necesidades del paciente en estudio.
- Diseño amigable, el robot TEO no tiene un aspecto de máquina a primera impresión.
- Textura suave y acolchonada.
- De operación sencilla.
- La operación del robot TEO no implica un conocimiento previo de programación o robótica para el usuario.
- Incluye su propia aplicación móvil diseñada para cubrir las necesidades específicas del paciente.

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un robot terapéutico y asistencial, denominado TEO, para un individuo adolescente con Trastorno del Espectro Autista perfilado, similar a un cachorro labrador a gusto del paciente. La estructura está compuesta por PLA, recubierta por espuma de poliuretano para una textura acolchonada y capas de fieltro para dar un aspecto de pelaje, se utilizó un sistema de identificación por radio frecuencia compuesto por el módulo RFID/NFC PN532 y tarjetas codificadas; además, el robot es capaz de interactuar con una aplicación móvil diseñada para el proyecto, en la cual se encuentran utilidades y actividades diseñadas para el caso específico del paciente.
- En base a la prueba de carga de batería realizada se determina que el dispositivo se carga en un tiempo máximo de 1h48:54, mientras que en las pruebas de descarga se evidenció que el robot posee un tiempo de operación mínimo de 5h48:22; lo que garantiza una duración de 7,57 sesiones terapéuticas.
- En las pruebas de lectura realizadas, se evidencia que el robot es capaz de interpretar al 100% de los pictogramas presentados y se observó en la recepción de señales emitidas desde la aplicación móvil un tiempo de respuesta menor a medio segundo con un 100% de aciertos; por lo tanto se asegura que no existirán errores de lectura durante las actividades terapéuticas.
- De acuerdo con los requerimientos planteados, se implementó un algoritmo de cinemática inversa en las patas delanteras del robot TEO, determinando 3 grados de libertad en cada pata para alcanzar una mayor similitud con los movimientos de un perro labrador, logrando de esta manera un movimiento natural y amigable en el robot TEO para generar una mayor empatía con el usuario.
- En los resultados de las actividades terapéuticas realizadas, se comprobó que después de 10 días de trabajo, el paciente mejoró en un 15% la capacidad de reconocer pictogramas de forma física, así como un aumento 11,04% en la misma capacidad mediante el uso de la aplicación móvil.
- En base al análisis económico, se determinó que el robot TEO es un 35,19% más económico que una alternativa comercial, con la ventaja de tener un diseño y funciones personalizadas para el caso específico de estudio.

RECOMENDACIONES

- Dotar al robot de movimientos faciales para lograr expresiones más complejas y realistas.
- Mejorar la apariencia y funcionalidad de la aplicación móvil mediante el uso de un *software* de desarrollo con mejores herramientas de diseño y programación; así como aumentar la posibilidad de editar, y agregar pictogramas propios en la opción *talker*.
- Sustituir el sistema de radio frecuencia para la interpretación de pictogramas por uno de visión artificial, el cual por el momento es muy costoso, esto permitiría utilizar pictogramas más sencillos impresos en papel, además de la posibilidad de implementar técnicas de reconocimiento facial y seguimiento de mirada.
- Aumentar conectividad a internet, para la posibilidad de un registro en línea de los resultados obtenidos de las actividades en una base de datos, así como reflejar una estadística periódica de los mismos.
- Brindar mayor movilidad al robot, para que sea capaz de trasladarse por sí mismo, lo que le permita realizar movimientos más complejos y una mayor cantidad de actividades terapéuticas como por ejemplo juegos de imitación.
- Ampliar el tiempo de prueba para obtener una muestra mayor que determine de una mejor manera los resultados obtenidos con el uso del robot TEO.

BIBLIOGRAFÍA

ABAX 3D TECH. *Filamento PLA: ¿Conoces su historia y características?* [blog]. 2019. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://abax3dtech.com/2020/10/19/filamento-pla-conoces-su-historia-y-caracteristicas/>.

AGUIAR, Byron. Motor de pasos: control de posición y velocidad mediante un microcontrolador Intel 8751 (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 1996. p. 9.

ANDERSEN, Lauren. “Picture Exchange Communication System for Individuals with Autism Spectrum Disorder”. *Journal of the American Academy of Special Education Professionals (JAASEP)* [en línea]. 2010, (Estados Unidos), pp. 73-79. [Consulta: 16 marzo 2021]. Disponible en: <http://aasep.org/aasep-publications/journal-of-the-american-academy-of-special-education-professionals-jaasep/jaasep-fall-2010/picture-exchange-communication-system-for-individuals-with-autism-spectrum-disorder/index.html>.

ANDROID DEVELOPERS. *Introducción a Android Studio* [blog]. 2021. [Consulta: 28 junio 2021]. Disponible en: <https://developer.android.com/studio/intro?hl=es-419>.

ANDRUSKEVICIUS, Andrés; & PLAVAN, Ana. “Estudio y desarrollo de prototipos para la utilización conjunta de NFC, WIFI y Bluetooth, con el objetivo de facilitar la comunicación y el uso de aplicaciones en Smartphones”. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad ORT Uruguay, Montevideo, Uruguay. 2017. p. 16. [Consulta: 17 marzo 2021]. Disponible en: <https://dspace.ort.edu.uy/handle/20.500.11968/3407>.

ARCA ELECTRÓNICA. *Módulo Buck MP1584EN Mini Lm2596 Convertidor Fuente Dc-dc Arduino* [blog]. [Consulta: 27 enero 2021]. Disponible en: <https://www.arcaelectronica.com/products/modulo-mini-lm2596-convertidor-fuente-dc-dc-arduino>.

ARRIETA, Jorge; & LUJÁN, Marcos. “Caracterización de la generación y evaluación de riesgos de las pilas y baterías en desuso en la Ciudad de Cochabamba”. *Acta Nova* [en línea]. 2007, (Bolivia), 3(4), pp. 627-628. [Consulta: 24 enero 2021]. ISSN 1683-0789. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892007000200002&script=sci_arttext.

ARROYO, Natalia. *Desarrollo de aplicaciones móviles en bibliotecas* [blog]. 2012. [Consulta: 29 abril 2019]. Disponible en: http://travesia.mcu.es/portallnb/jspui/bitstream/10421/6722/1/desarrollo_aplicaciones.pdf.

ASTESANA, Iván; & MEDINA, Aníbal. Sistema de control centralizado de edificios B.M.S. (Trabajo de titulación) (Posgrado de ingeniería eléctrica). Universidad Católica de Córdoba, Córdoba, Argentina. 2016. p. 20.

AUTISMO MADRID. *Robots para el tratamiento del autismo* [blog]. 2013. [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://autismomadrid.es/educacion-2/robots-para-el-tratamiento-del-autismo/>.

AUTODESK. *Acerca de los resultados visuales del análisis* [blog]. 2021. [Consulta: 20 junio 2021]. Disponible en: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/Inventor-Help/files/GUID-A88840EF-391B-4987-A77B-5D58F19600CA-htm.html>.

AV ELECTRONICS. *Bluetooth HC-05* [blog]. 2018a. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/bluetooth-hc-05/>.

AV ELECTRONICS. *Mini Amplificador PAM8403 3W* [blog]. 2018b. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/mini-amplificador-pam8403-3w/>.

AV ELECTRONICS. *13.56MHz NFC RFID Tarjeta* [blog]. 2020a. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/13-56mhz-rfid-nfc-tarjeta/>.

AV ELECTRONICS. *Módulo NFC RFID PN532* [blog]. 2020b. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/modulo-nfc-rfid-pn532/>.

BRICOGEEK. *Diodo LED Tricolor RGB 5mm Sparkfun COM-00105* [blog]. 2019. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: <https://tienda.bricogeek.com/componentes/62-diodo-led-tricolor-rgb-5mm.html>.

CABIBIHAN, Jhon-Jhon; et al. “Why Robots? A Survey on the Roles and Benefits of Social Robots in the Therapy of Children with Autism”. *International Journal of Social Robotics* [en línea]. 2013, (Singapur), 5(4), pp. 593-618. [Consulta: 23 octubre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0202-2>.

CÁCERES, Orlando. El uso del pictograma en el proceso de enseñanza-aprendizaje del niño con autismo [en línea] (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España. 2018. pp. 187-188. [Consulta: 14 enero 2021]. Disponible en: https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/54026/2/0750462_00000_0000.pdf.

CAICEDO, Carlos; & MALDONADO, Christian. 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 [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador. 2019. [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/20343>.

CARBALLAR, José. *Wi-fi: lo que se necesita conocer* [en línea]. Madrid, España. RCLibros, 2010. [Consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: https://books.google.es/books?id=rOmH6IKyvigC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

CEFIRE. *Tipos de lámparas* [blog]. 2018. [Consulta: 19 mayo 2019]. Disponible en: http://cefire.edu.gva.es/pluginfile.php/199806/mod_resource/content/0/contenidos/009/luminotecnia/31_tipos_de_lmparas.html.

CHAVARRÍA, Mariela; & SALDAÑO, Antonio. “La robótica educativa como una innovativa interfaz educativa entre el alumno y una situación-problema la robótica educativa como una innovativa interfaz educativa alumno-problema”. *Didasc@lia: Didáctica y Educación* [en línea], 2010, (Chile), 1(2), pp. 1-12. [Consulta: 4 diciembre 2020]. ISSN 2224-2643. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4227111>.

CHRISTPOH, Bartneck; et al. *Una introducción a la interacción Humano-Robot (HRI)* [en línea]. Cambridge-Inglaterra: Cambridge University, 2019. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.human-robot-interaction.org/wp-content/uploads/2019/08/human-robot-interaction-an-introduction-web.pdf/>.

CONTRERAS, Agustín; et al. “Control de torque para servomotores sin escobillas” [en línea]. *Pistas Educativas* [en línea], 2018, (México) 42(138), pp. 1549-1552. [Consulta: 4 diciembre 2020]. ISSN: 2448-847X. Disponible en: <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>.

CORONA, Leonel; et al. *Sensores y Actuadores* [en línea]. Ciudad de México-México: Grupo Editorial Patria S.A. de C.V., 2014. [Consulta: 4 diciembre 2020]. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.

CORREA, César. Diseño de un sistema de control con tecnología Near Field Communication-NFC para la gestión de pagos [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Privada Norbert Wiener, Lima Perú, 2020. p.22. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/3311>.

COSTA, Sandra; et al. “Constraints in the design of activities focusing on emotion recognition for children with ASD using robotic tools”. *Proceedings of the IEEE RAS and EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics* [en línea], 2012, (Italia), p.1884. [Consulta: 3 diciembre 2020]. ISBN 9781457711992. Disponible en: DOI:10.1109/BioRob.2012.6290697.

COSTA ARTABRA. *Tablas de crecimiento del golden retriever* [blog]. 2019. [Consulta: 19 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.costaartabra.es/tablas-de-crecimiento-del-golden-retriever/>.

CRUZ, Juan; & SALAZAR, Yeliza. “Aplicación robótica para realizar terapias en niños con autismo”. *Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology* [en línea], 2014, (Ecuador), pp.2-10. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/RefereedPapers/RP026.pdf>.

DÉLEG, Manuel. “Tecnología LED”. *Universidad Politécnica Salesiana* [en línea], 2015, (Ecuador), pp.1-2. [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/250990196/led>.

DELÍA, Lisandro; et al. “Un Análisis Experimental de Tipo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles”. *XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación* [en línea], 2013, (Argentina), p.766. [Consulta: 29 abril 2019]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/32397>.

DÍAZ, Jonathan. Propuesta metodológica, basada en pictogramas como método inclusivo para niños autistas de básica elemental de la Unidad Educativa “Jatun Kuraka” en la ciudad de Otavalo año 2017 [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2018. p.22. [Consulta: 14 enero 2021]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15693>.

DIEZ, Joaquín; et al. “Desempeño de ánodos tipo AB2 en un prototipo de pila NiMH”. *Universidad de la República* [en línea], 2018, (Uruguay), p.2. [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: https://www.aiqu.org.uy/encuentro2017/src/assets/presentacion/05_Trabajo%20completo_J.%20Diez.pdf.

DYNAMOELECTRONICS. *Servomotor Hitec HS-311* [blog]. 2021. [Consulta: 26 enero 2021]. Disponible en: <https://tienda.bricogeek.com/componentes/62-diodo-led-tricolor-rgb-5mm.html>.

ECUADOR CHEQUEA. *Espinosa: “En Ecuador un total de 1.581 personas han sido diagnosticadas con algún tipo de autismo” - Ecuador Chequea* [blog]. 2020. [Consulta: 29 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.ecuadorchequea.com/autismo-ecuador-veronicaespinosa-cifras-ministeriodesalud/>.

ELECTRONICA PLETT. *Arduino Nano CH340* [blog]. 2019. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <http://www.electronica.com.py/producto/arduino-nano-ch340/>.

FERNÁNDEZ, Rosa. *Sistemas operativos de teléfonos móviles: cuota de mercado mundial 2010-2020* [blog]. Statista, 15 de junio, 2021. [Consulta: 28 junio 2021]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/635202/sistemas-operativos-de-telefonos-moviles-cuota-de-mercado-mundial/>.

FILOTEO, José; et al. “Sensor RGB para detectar cambios de color en piel de frutas”. *Acta Universitaria* [en línea], 2016, (México), 26(1), pp.24-29. [Consulta: 15 junio 2021]. ISSN 0188-6266. Disponible en: https://www.aiqu.org.uy/encuentro2017/src/assets/presentacion/05_Trabajo%20completo_J.%20Diez.pdf.

FUENTES-BIGGI, J. “Guía de buena práctica para el tratamiento de los trastornos del espectro autista”. *Revista de Neurología* [en línea], 2006, (España), 43(7). pp.425-438. [Consulta: 25

noviembre 2020]. Disponible en: https://equipoteabadajoz.es/wp-content/uploads/2016/10/Guia-Carlos-III_buenas-practicas_tratamiento-en-TEA.pdf.

GIRALDO, Luis; et al. “Cinemática Inversa de un Brazo Robot Utilizando Algoritmos Genéticos”. *Revista Avances en Sistemas e Informática* [en línea], 2006, (Colombia), 3(1). pp. 29-34. [Consulta: 20 junio 2021]. ISSN 1657-7663. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1331/133114991005.pdf>.

GONZALEZ, Ana; et al. *Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial* [en línea]. Logroño-España. Universidad de La Rioja, 2006. [Consulta: 22 junio 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=338314>.

GRUPO ELECTROSTORE. *Arduino Nano V3 con CH340 + cable USB* [blog]. 2020. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/arduino/arduino-nano-v3-con-ch340-cable-usb/>.

GRUPO ELECTROSTORE. *Arduino UNO R3 con ATmega328 DIP + cable USB* [blog]. 2021. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/arduino/arduino-uno-r3-con-atmega328p-dip-cable-usb/>.

GRUPO ELECTROSTORE. *Servomotor Hitec HS-311 3,7kg.cm 180°*. [blog]. 2020. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/servomotores/servomotor-hitec-hs-311-37-kg-cm-180/>.

GRUPO ELECTROSTORE. *Servomotor Tower Pro SG90 1,8kg.cm micro 180°* [blog]. 2021a. [Consulta: 26 enero 2021]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/servomotores/servomotor-tower-pro-sg90-18-kg-cm-micro/>.

GRUPO ELECTROSTORE. *Tarjeta RFID 13.56MHz* [blog]. 2021b. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/rf-radio-frecuencia/tarjeta-rfid-1356-mhz/>.

GUARELLA, Juan; et al. “Sensores y actuadores en motores”. *Universidad Nacional de La Plata* [en línea], 2011, (Argentina). pp.21-22. [Consulta: 12 abril 2021]. Disponible en: <https://www.doccity.com/es/sensores-y-actuadores-1/5788649/>.

HEALTHY CHILDREN. *Terapia del habla y lenguaje* [blog]. 2018. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.healthychildren.org/Spanish/health-issues/conditions/developmental-disabilities/Paginas/speech-language-therapy.aspx>.

HERRANZ, Carlos; et al. “La iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica”. *Astronomía* [en línea], 2011, (España). pp.36-42. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>.

HERVAS, Amaia. “Un autismo, varios autismos”. *Revista de Neurología* [en línea], 2016, (España), 62(1). pp. 9-14. [Consulta: 24 noviembre 2020]. ISSN 0210-0010. Disponible en: DOI 10.33588/rn.62s01.2016068.

HOBBYKING. *Turnigy nano-tech 3000mAh 2S2P 20 ~ 40C Lipo Receptor Paquete.* [blog]. 2012. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: https://hobbyking.com/es_es/turnigy-nano-tech-3000mah-2s2p-20-40c-lipo-receiver-pack.html?store=es_es.

IBEROBOTICS. *Micro Servo SG90 1.8Kg/9g/0.12seg* [blog]. 2020. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.iberobotics.com/producto/micro-servo-towerpro-sg90-1-8kg9g0-12seg/>.

INTERACTIVE DYNAMICS. *8 Ohm 3W Stereo Speakers* [blog]. 2018. [Consulta: 26 enero 2021]. Disponible en: <https://www.openhacks.com/page/productos/id/2479/title/8-Ohm-3W-Stereo-Speakers#.YBDZ0uhKjIU>.

KOZIMA, Hideki; et al. . “Interactive robots for communication-care: a case-study in autism therapy”. *Roman 2005. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication* [en línea], 2005, (Japón), pp. 341–346. [Consulta: 12 abril 2021]. ISSN 0-7803-9274-4. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1513802>.

KIM, Elizabeth; et al. . “Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism”. *Journal of Autism and Developmental Disorders* [en línea], 2013, (USA), 43(5), pp. 1038–1049. [Consulta: 23 octubre 2020]. ISSN 01623257. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1645-2>.

LINARES, Ricardo; et al. “Implementación del protocolo bluetooth para la conexión inalámbrica de dispositivos electrónicos programables”. *Scientia Et Technica* [en línea], 2004, (Colombia), X(24), pp.31-36. [Consulta: 20 mayo 2021]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/849/84912053026/>.

LÓPEZ, Catalina; & LARREA, María. “Autismo en Ecuador: un Grupo Social en Espera de Atención”. *Revista Ecuatoriana de Neurología* [en línea], 2017, (Ecuador), 26(3), pp.203-2014. [Consulta: 29 noviembre 2020]. ISSN 2631-2581. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-25812017000200203.

LOREFICE, Gabriela. “Tecnología inalámbrica bluetooth sobre los servicios de comunicaciones en los ámbitos social y empresarial”. *Revista Electrónica de Estudios Telemáticos* [en línea], 2003, (Venezuela), 2(2), pp.36-49. [Consulta: 20 mayo 2019]. ISSN 1856-4194. Disponible en: <http://www.ldc.usb.ve>.

MAQUIZA, Néstor. Diseño y construcción de dos robots escaladores utilizando micromotores (Trabajo de titulación) [en línea]. Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, Quito, Ecuador, 2020.

pp.11-12. [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/handle/123456789/95>.

MAKERELECTRONICO. *DFPlayer mini reproductor mp3 con interfaz serial UART* [blog]. 2017. [Consulta: 26 enero 2021]. Disponible en: <https://www.makelectronico.com/dfplayer-mini-reproductor-mp3-interfaz-serial-uart/>.

MARTINS, Alejandra. *Cómo logra este robot que un niño autista mire a los ojos* [blog]. BBC, 2017. [Consulta: 11 enero 2021]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-41096736>.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN. *ACUERDO Nro. MINEDUC-MINEDUC-2020-00020-A* [en línea]. Quito-Ecuador: Ministerio de Educación, 2020, [Consulta: 28 marzo 2021]. Disponible en: <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/04/MINEDUC-MINEDUC-2020-00020-A.pdf>.

MIT APP INVENTOR. *Sobre nosotros* [blog]. 2021. [Consulta: 28 junio 2021]. Disponible en: <https://appinventor.mit.edu/about-us>.

MORALES, Roberto. “Análisis y Elección de un Motor Brushless para Accionar una Bicicleta Eléctrica”. *Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2017* [en línea], 2017, (México), 9(6), pp.2940-2945. [Consulta: 15 junio 2021]. ISSN 1946-5351. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/323664289>.

MORRAL, Àngels; et al. “Comprensión y abordaje educativo y terapéutico del TEA(trastorno del espectro autista)”. *Revista Catalana de Psicoanàlisi* [en línea], 2012, (España), XXX(2), pp.148-150. [Consulta: 14 enero 2021]. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/RCP/article/download/302550/392237>.

MOSQUERA, Eva. *¿Sueñan los humanos con mascotas eléctricas?* [blog]. El Mundo, 2016. [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://www.elmundo.es/tecnologia/2016/01/29/56aa54e9268e3e75618b4602.html>.

MUÑOZ, David. *Sistemas inalámbricos de comunicación personal* [en línea]. Monterrey-México: Alfaomega Marcombo Boixareu, 2002. [Consulta: 24 abril 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Sistemas%20Inal%C3%A1mbricos%20de%20Comunicaci%C3%B3n.html?id=Gvh1UA0yHJ4C&redir_esc=y.

NAYLAMP MECHATRONICS. *Arduino Pro Mini* [blog]. 2019a. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-tarjetas/145-pro-mini-328-3v8mhz.html>.

NAYLAMP MECHATRONICS. *Módulo Regulador AMS1117 3.3V* [blog]. 2019a. [Consulta: 27 enero 2021]. Disponible en: <https://www.naylampmechatronics.com/fuentes-y-reguladores/166-modulo-regulador-ams1117-33v.html>.

NAYLAMP MECHATRONICS. *Módulo Bluetooth HC05* [blog]. 2020. [Consulta: 26 enero 2021]. Disponible en: <https://www.naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>.

NAYLAMP MECHATRONICS. *Módulo Lector RFID/NFC 13.56MHz PN532* [blog]. 2021. [Consulta: 25 enero 2021]. Disponible en: <https://www.naylampmechatronics.com/rfid-nfc/182-modulo-lector-rfid-nfc-1356mhz-pn532.html>.

NAYLAMP MECHATRONICS. *NodeMCU v2 ESP8266 WiFi* [blog]. 2019a. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>.

NEJAT, Goldie; & FICOCELLI, Maurizio. “Can I be of assistance? The intelligence behind an assistive robot”. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation* [en línea], 2008, (USA), pp. 3564–3569. [Consulta: 03 diciembre 2020]. ISSN 1946-5351. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2008.4543756>.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Trastornos del espectro autista* [blog]. 2021. [Consulta: 29 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/autism-spectrum-disorders>.

ORTIZ, Catalina. Estudio de solidificación de pilas y baterías de uso doméstico mediante la técnica de macroencapsulación [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009. p10. [Consulta: 24 enero 2021]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1743>.

PENNISI, Paola; et al. “Autism and social robotics: A systematic review” [en línea]. *International Society for Autism Research* [en línea], 2016, (Italia), 2(3), pp.165-183. [Consulta: 23 octubre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/aur.1527>.

PÉREZ, Juan; & PÉREZ, Isabel. “Una aproximación a las funciones ejecutivas en el trastorno del espectro autista”. *Rev Neurol* [en línea], 2011, (España), 52(1). pp.s147-153. [Consulta: 24 enero 2021]. Disponible en: <https://www.neurologia.com/articulo/2010816>.

PÉREZ, Felipe; et al. “Sistema de Adquisición de Datos con comunicación inalámbrica”. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones* [en línea], 2013, (Cuba), 34(3), pp. 63–73. [Consulta: 20 mayo 2019]. ISSN: 1815-5928. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282013000300007.

PINEL, Virginia. Robots sociales y Autismo. Propuesta de intervención en el contexto educativo [en línea] (Trabajo de titulación). Universitat de les Illes Balears, Mallorca, España, 2016, p.14. [Consulta: 19 octubre 2020]. Disponible en: https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/3552/Pinel_Cardona_Virginia.pdf?sequence=1.

- PRUSA 3D.** *Orange PLA filament for 3D printing* [blog]. 2020. [Consulta: 1 febrero 2021]. Disponible en: <https://shop.prusa3d.com/es/filamento/44-filamento-pla-naranja-1kg.html>.
- QUIMINET.** *Conozca los tipos de poliuretano y sus aplicaciones* [blog]. 2013. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/conozca-los-tipos-de-poliuretano-y-sus-aplicaciones-3457524.htm>.
- RADIO NAKAMA.** *Modulo amplificador ESTEREO PAM 8403* [blog]. 2020. [Consulta: 26 enero 2021]. Disponible en: <https://nakamaelectronica.com.ar/modulos/2578-modulo-amplificador-estereo-pam-8403.html>.
- RAE.** *Pictograma* [blog]. Real Academia de la Lengua, 2020. [Consulta: 14 enero 2021]. Disponible en: <https://dle.rae.es/pictograma?m=form>
- RAE.** *Robot* [blog]. Real Academia de la Lengua, 2021. [Consulta: 30 marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/robot>
- RAMÍREZ, Robert.** *Métodos para el desarrollo de aplicaciones móviles* [en línea]. Cataluña-España: Universitat Oberta de Catalunya, 2013. [Consulta: 29 abril 2021]. Disponible en: [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_\(Modulo_4\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_(Modulo_4).pdf).
- RASPBERRY PI.** *Buy a Raspberry Pi Zero W – Raspberry Pi* [blog]. 2020. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>.
- REYNOSO, César; et al.** “El trastorno del espectro autista: aspectos etiológicos, diagnósticos y terapéuticos”. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* [en línea], 2017, (México), 55(2), pp.214-236. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4577/457750722015/html/>.
- ROBINS, Ben; et al.** “Effects of Repeated Exposure to a Humanoid Robot on Children with Autism”. *Designing a More Inclusive World* [en línea], 2004, (Inglaterra), pp. 225–236. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-0-85729-372-5_23.
- ROBOTSHOP.** *Módulo Bluetooth 4.0 NRF51822 (con Pines)* [blog]. 2019. [Consulta: 20 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.robotshop.com/es/es/modulo-bluetooth-40-nrf51822-con-pines.html>.
- RONCAL, Luis.** *Diseño del cargador para la batería LiPo Easy Pack S* [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España, 2014, pp.7-8. [Consulta: 24 enero 2021]. Disponible en: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/14249>.
- SALICHS, Miguel; et al.** “Estudio de escenarios de uso para un robot social asistencial para enfermos de Alzheimer”. *Actas de las XXXV Jornadas de Automática* [en línea], 2014, (España).

[Consulta: 23 noviembre 2021]. ISBN 978-84-697-0589-6. Disponible en: http://www.ja2014.upv.es/wp-content/uploads/papers/paper_135.pdf.

SÁNCHEZ, José; et al. “Contribución de la electrónica y fotónica a la tecnología de la rehabilitación”. *Mundo Electrónico* [en línea], 1999, (España), pp. 80–85. [Consulta: 19 julio 2021]. Disponible en: <http://repositoriocdpd.net:8080/handle/123456789/465>.

SANDROBOTICS. *Servomotor Tower Pro MG996R* [blog]. 2019. [Consulta: 19 junio 2021]. Disponible en: <https://sandorobotics.com/producto/mg996r/>.

SANTAMARÍA, Laura. *La tecnología NFC entra de lleno en nuestro móvil* [blog]. 2012. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.e-volucion.es/2012/06/tecnologia-nfc-entra-lle-no-nuestro-movil>.

SANZ, César. “Recursos para la enseñanza de la electrónica digital”. *Universidad Politécnica de Madrid* [en línea], 2002, (España), pp.291-294. [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: <http://62.204.194.45/fez/view/taee:congreso-2002-1101>.

SCHOOLNURSES. *Apunte de Salud: MOCHILAS* [blog]. 2020. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://schoolnurses.es/apunte-de-salud-mochilas/>.

SERVODATABASE. *Hitec HS-311 Servo Specifications and Reviews* [blog]. 2009. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://servodatabase.com/servo/hitec/hs-311>.

SEVILLA, Javier; et al. “Pictogram Room : Aplicación de tecnologías de interacción natural para el desarrollo del niño con autismo”. *Anuario de Psicología Clínica y de la Salud* [en línea], 2012, (España), pp.41-46. [Consulta: 14 enero 2021]. ISSN-e 1699-6410. Disponible en: <http://institucional.us.es/apcs>.

SHIBATA, Takanori. “Innovación para la vida con robots terapéuticos: Paro”. *Innovación. Perspectivas para el siglo XXI* [en línea], 2011, (Madrid), pp.351-363. [Consulta: 23 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.bbvaopenmind.com/articulos/innovacion-para-la-vida-con-robots-terapeuticos-paro/>.

SNOW, Jackie. *Are we ready for robots with emotional intelligence?* [blog]. 2019. [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/robots-emotional-intelligence/>.

VARGAS, César. Diseño e implementación de un sistema de seguridad para moto con aplicación android y comunicación NFC [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, Colombia, 2017, p.26. [Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6373>.

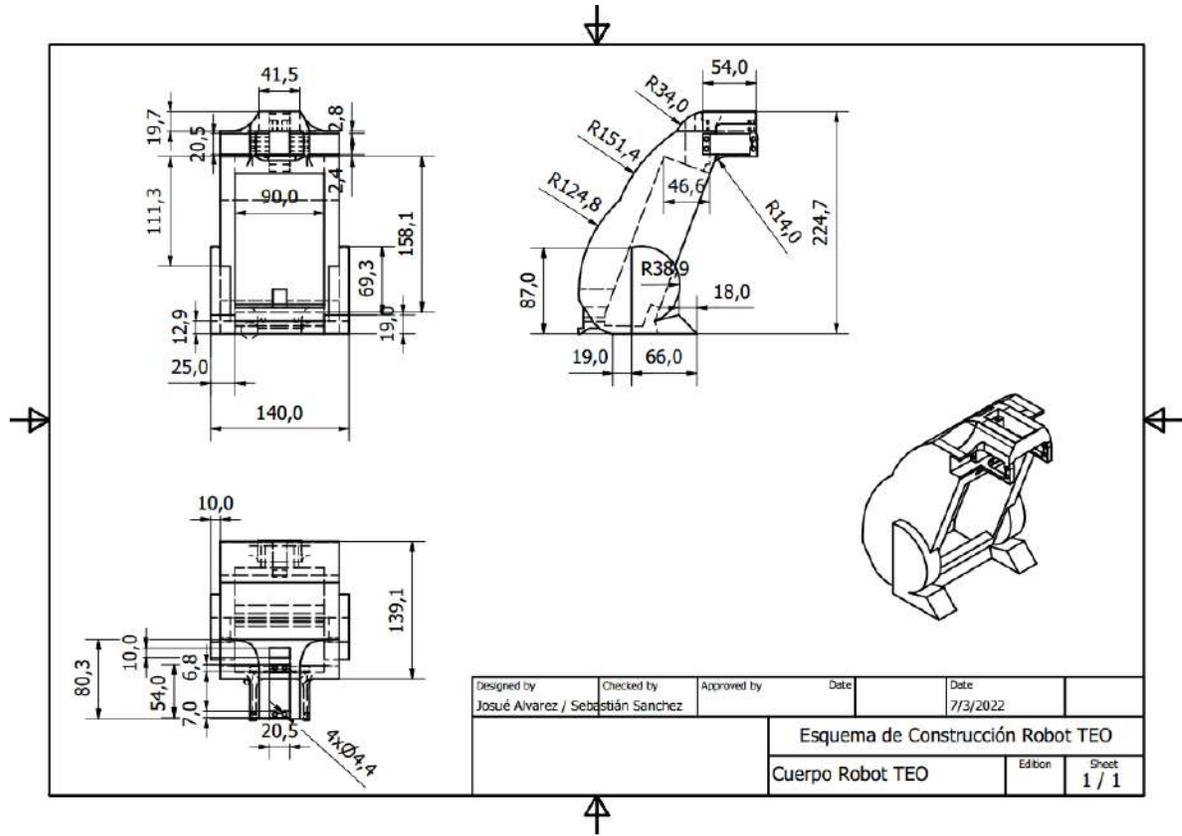
VASCO, Alexander; & Ocampo, Ana. “Visión artificial, una alternativa a la sensorica convencional en la implementación de los sistemas de control”. *Revista IngEam* [en línea] 2016,

(Colombia), 3(1), pp.1-8. [Consulta: 22 junio 2021]. ISSN 2422-1171. Disponible en:
<https://app.eam.edu.co/ojs/index.php/ingeam/article/view/32/178>.

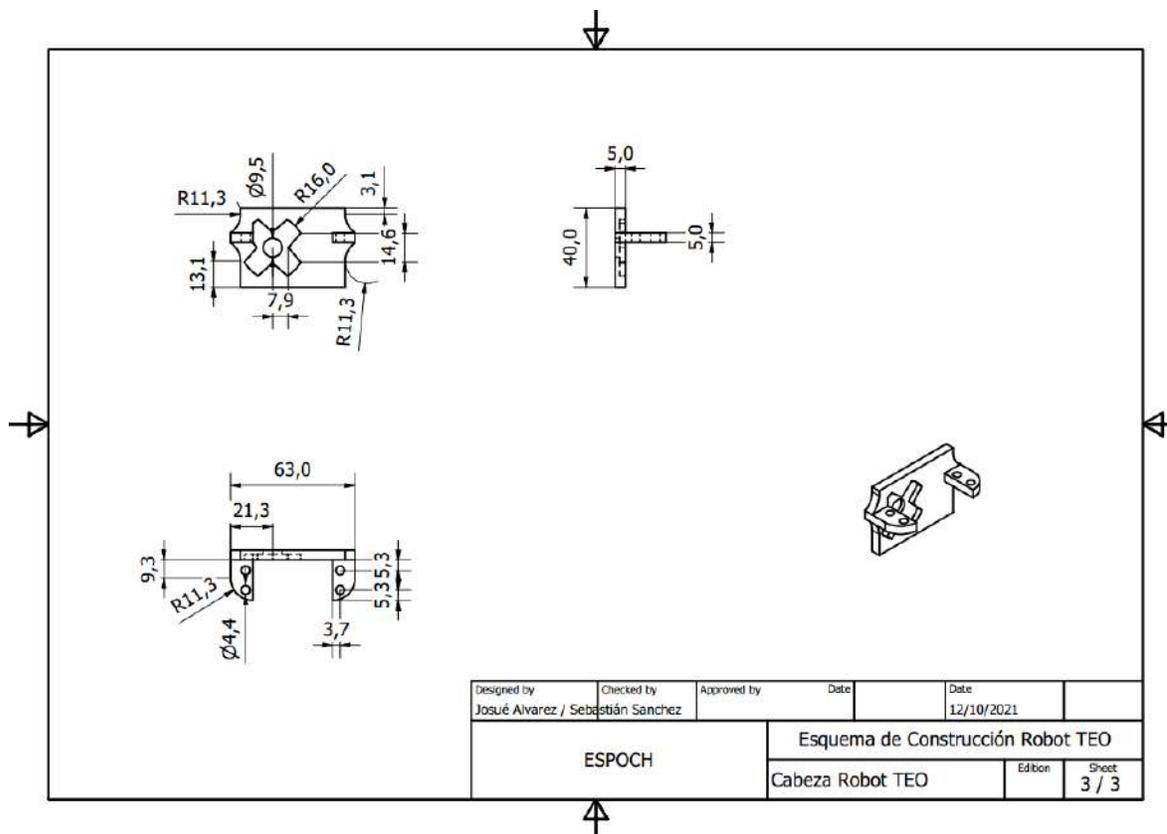
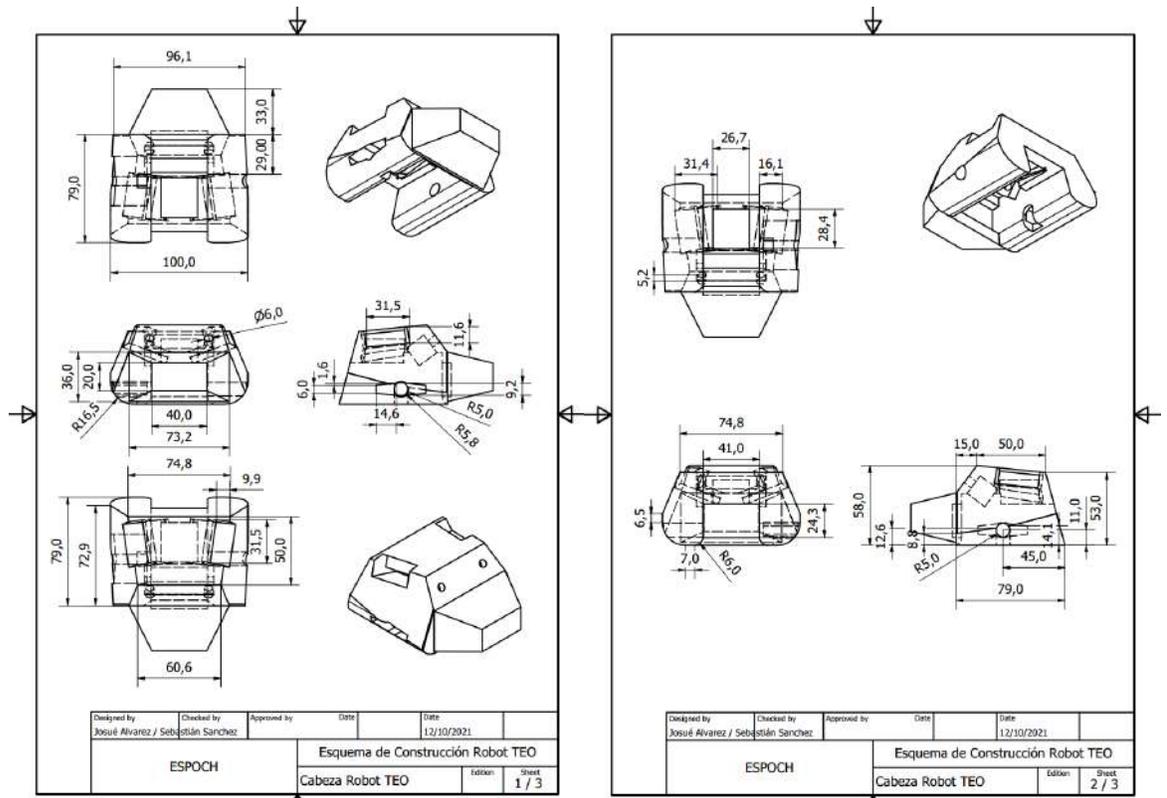
VELE, Óscar. *Cinématica Inversa de un Robot Bípido* [en línea] 2005, (Ecuador), pp.1-5. [Consulta:
20 junio 2021]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/329028019_CINEMATICA_INVERSA_DE_UN_ROBOT_BIPEDO.

ANEXOS

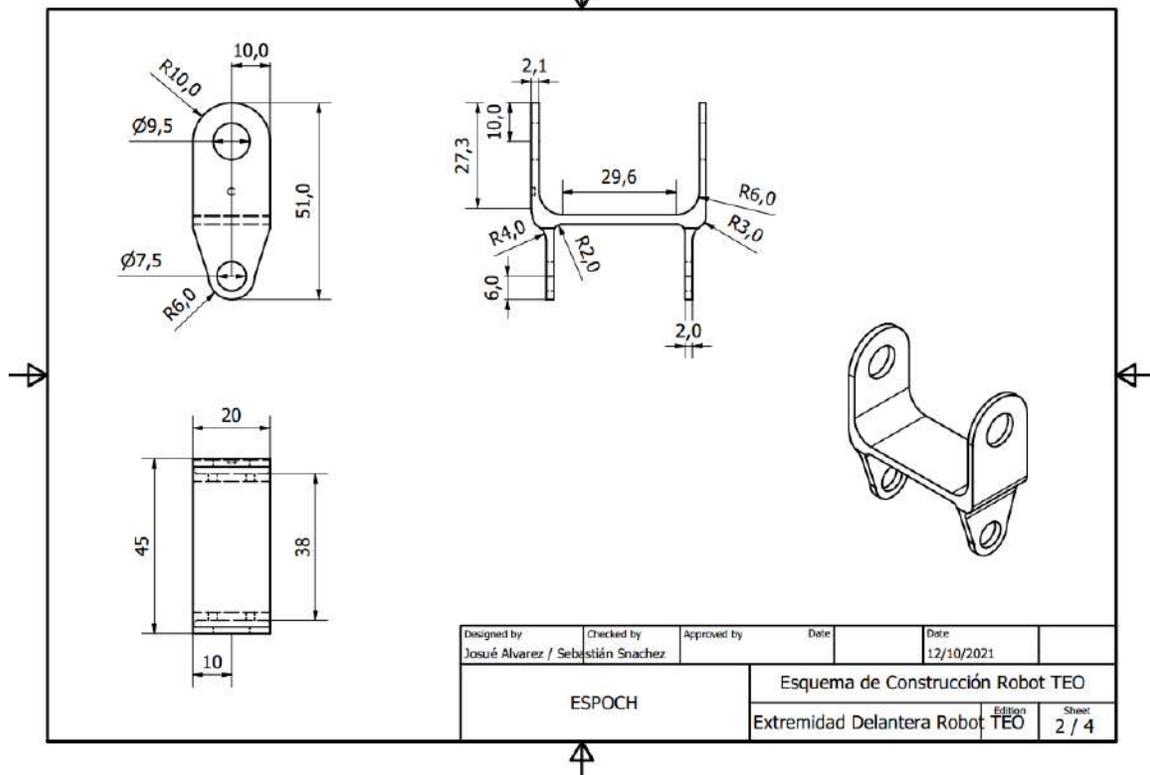
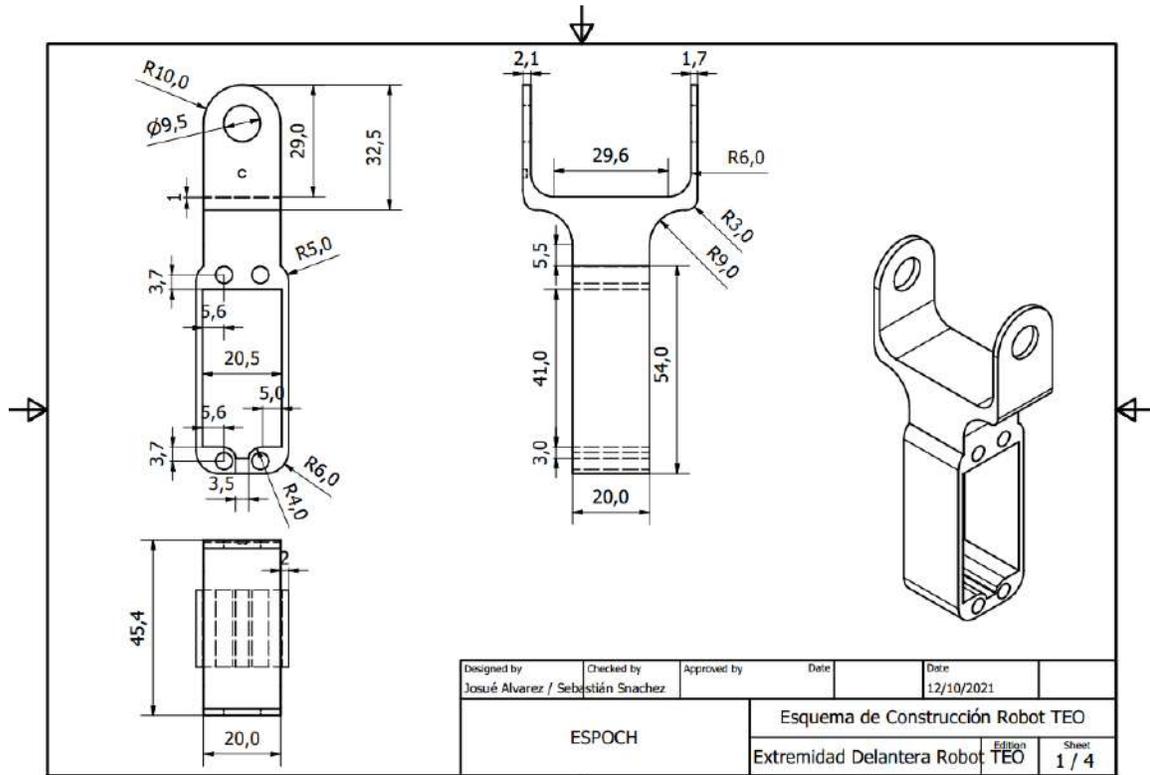
ANEXO A: PLANOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL CUERPO DEL ROBOT TEO.

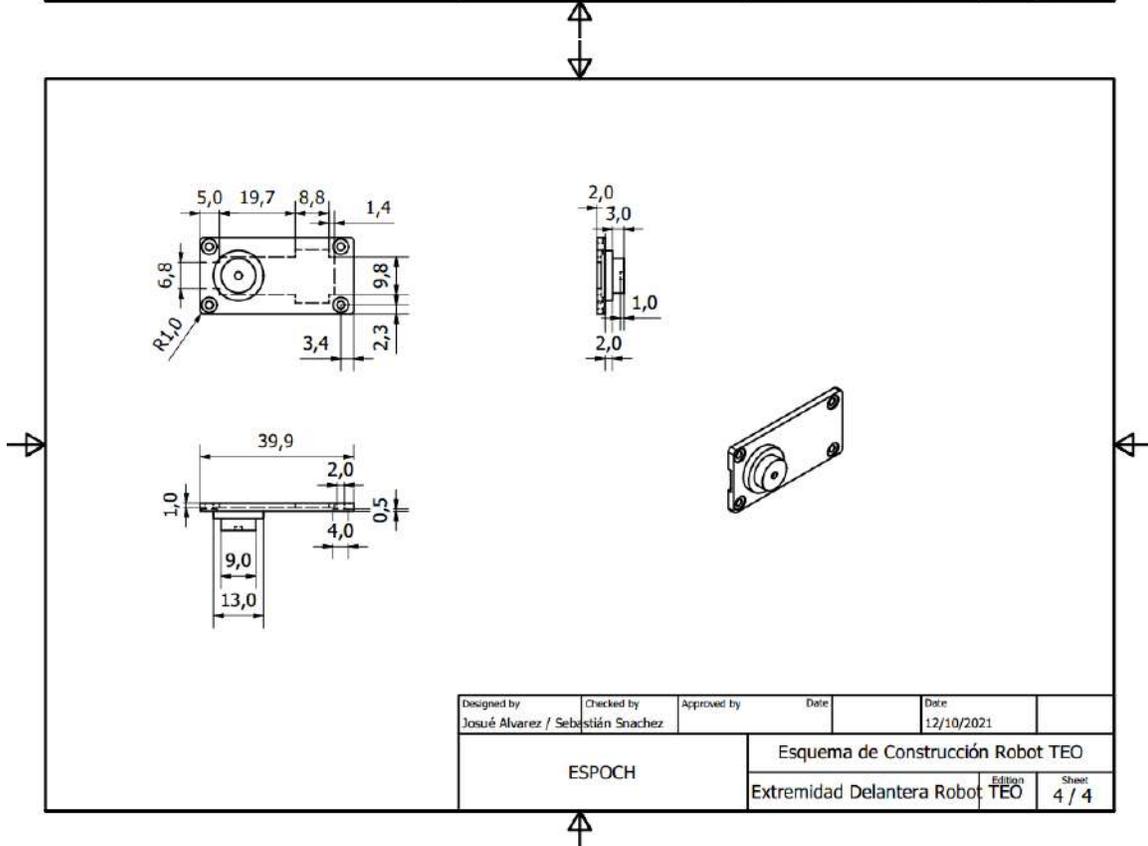
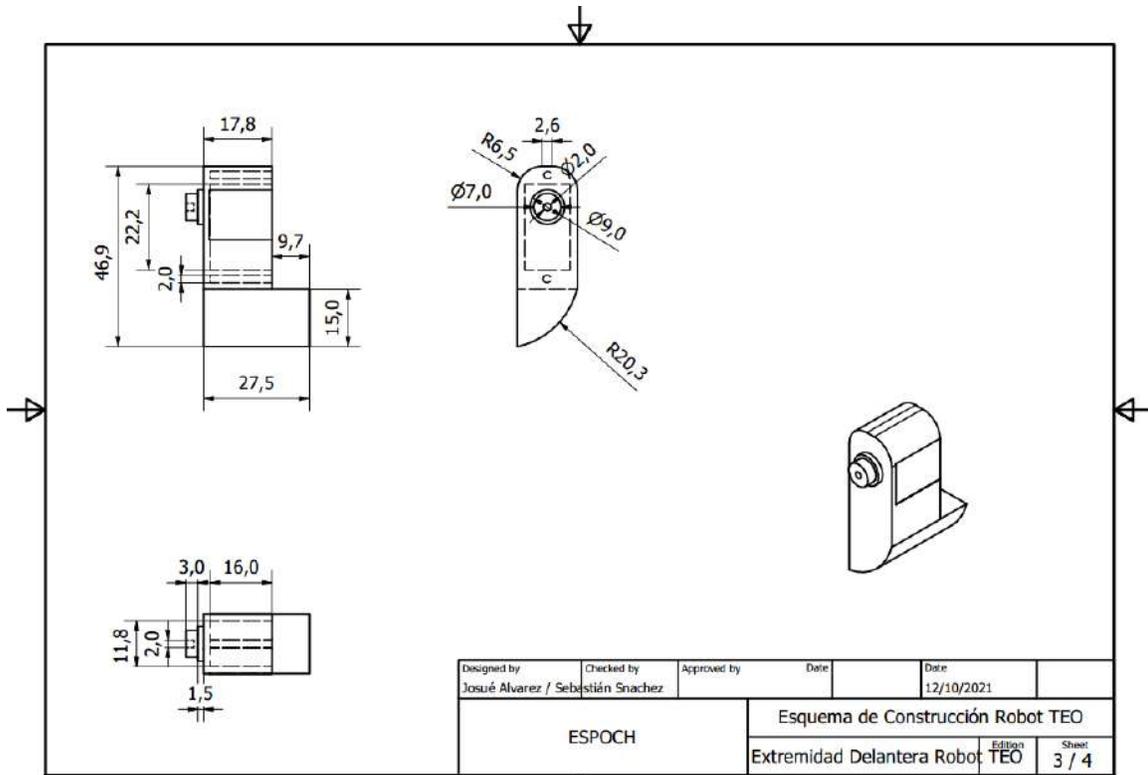


ANEXO B: PLANOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CABEZA DEL ROBOT TEO.

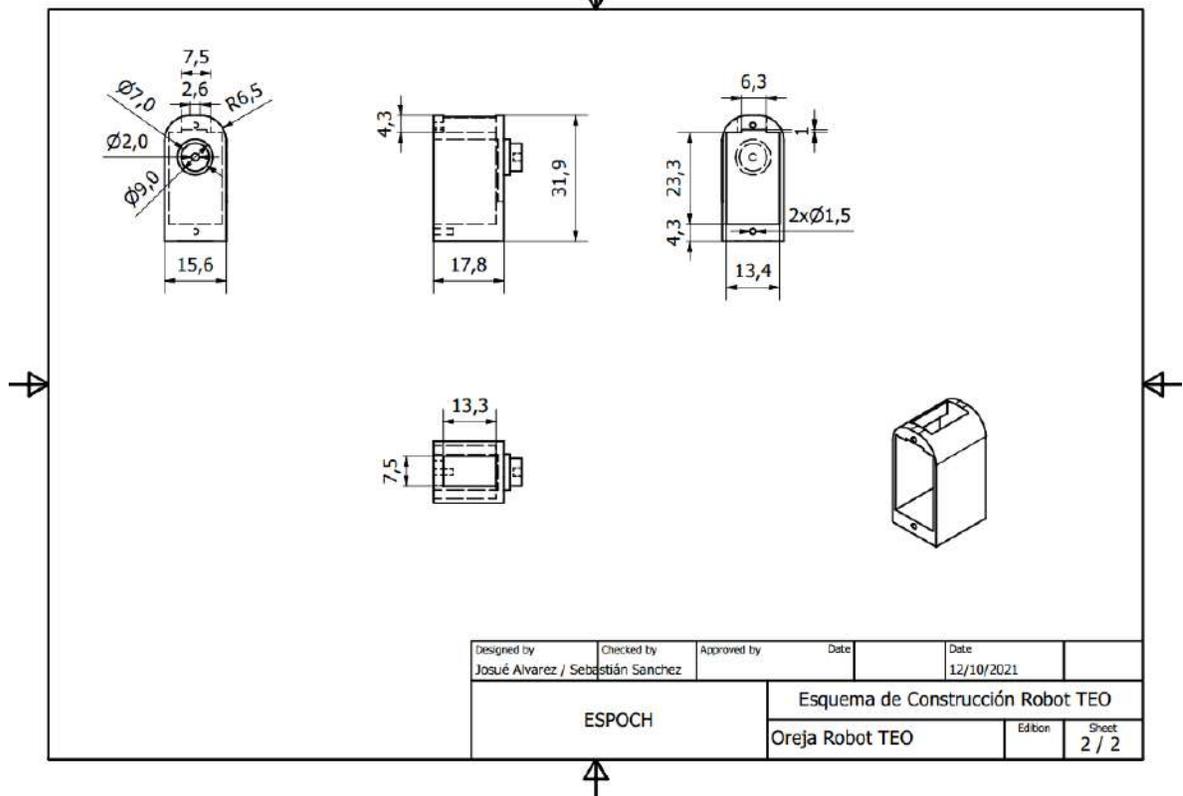
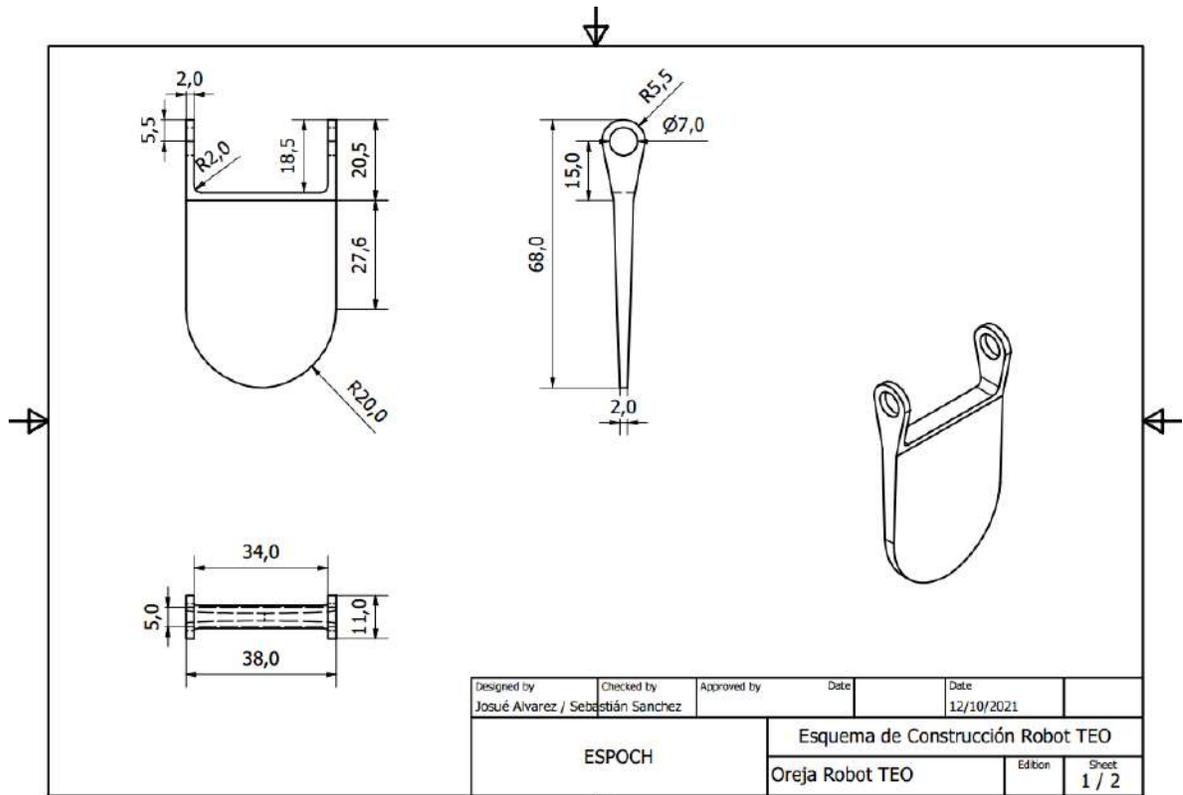


ANEXO C: PLANOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS EXTREMIDADES DELANTERAS DEL ROBOT TEO.

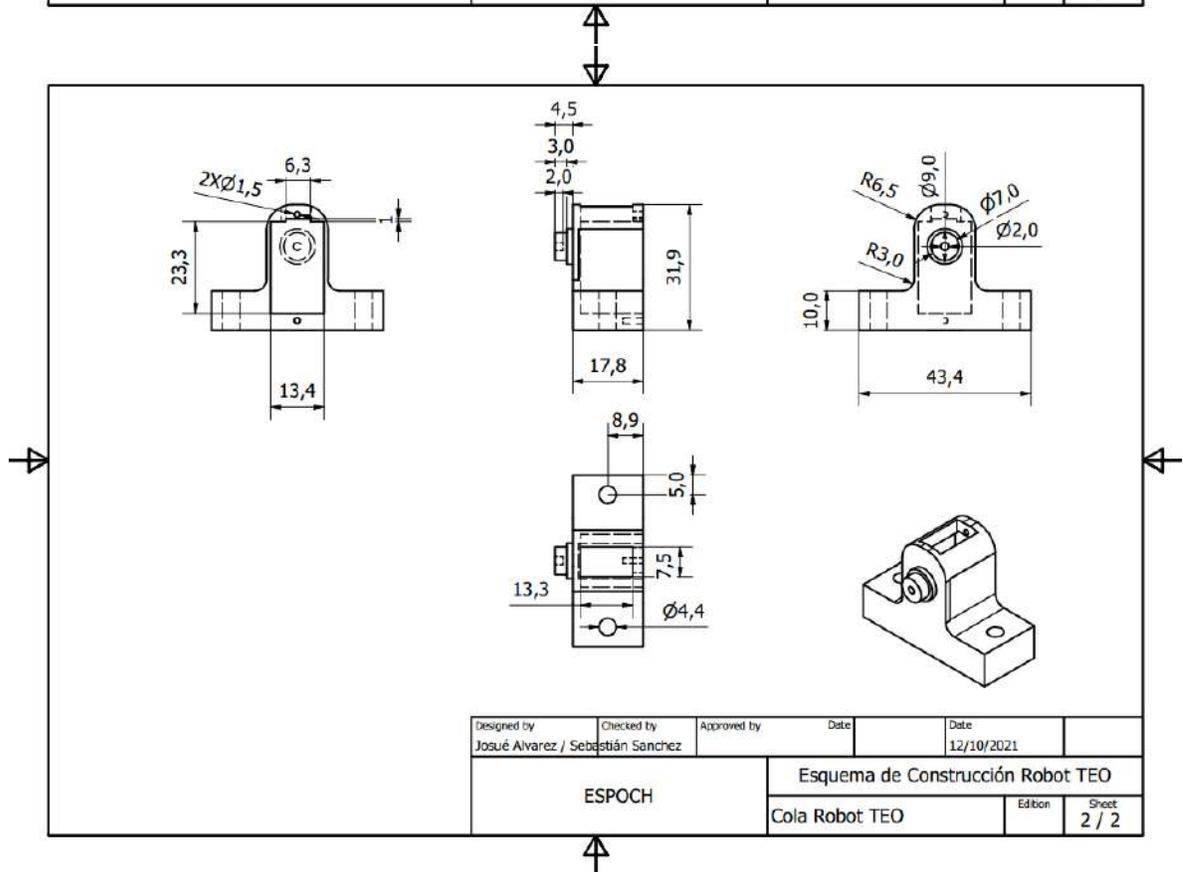
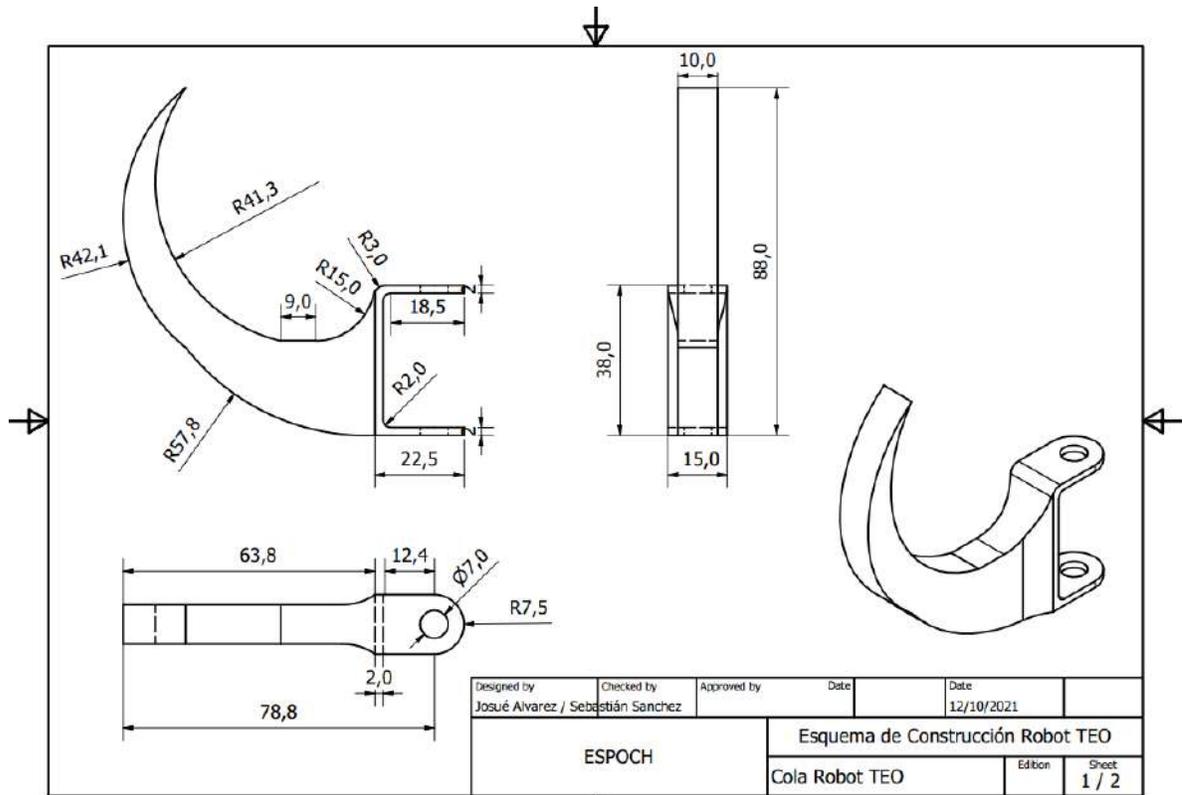




ANEXO D: PLANOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS OREJAS DEL ROBOT TEO.



ANEXO E: PLANOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS OREJAS DEL ROBOT TEO.

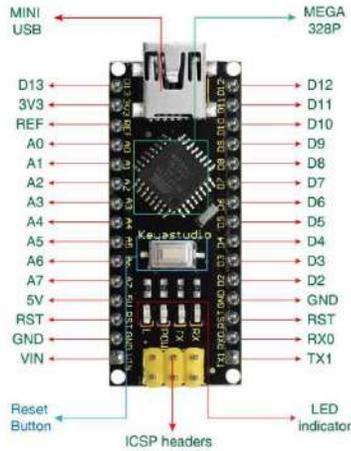


ANEXO F: HOJA DE DATOS DEL ARDUINO CH340

keystudio

Element and Interfaces:

Here is an explanation of what every element and interface of the board does:



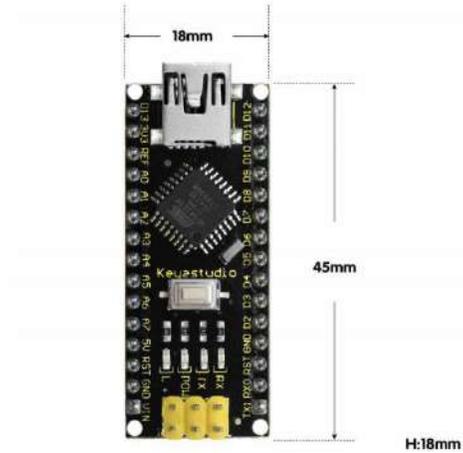
www.keystudio.com

3

keystudio

Details:

- PCB Dimensions: 18mm x 45mm
- Weight: 7g



www.keystudio.com

4

keystudio

TECH SPECS:

Microcontroller	ATmega328P-AU
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	DC7-12V
Digital I/O Pins	14 (D0-D13) (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6 (D3, D5, D6, D9, D10, D11)
Analog Input Pins	8 (A0-A7)
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	D13

www.keystudio.com

3

keystudio

Keystudio NANO CH340



Introduction:

The keystudio Nano CH340 is a small, complete, and breadboard-friendly board based on the ATmega328P-AU. Compared with ARDUINO NANO, the USB-to-serial port chip used in keystudio Nano is CH340G, so that the using method is the same except the driver installation file.

It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 8 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a mini USB port, an ICSP header and a reset button.

Note that ICSP (In-Circuit Serial Programming) header is used to program the firmware to ATMEGA328P-AU, but generally the chip has been preburned before leave the factory. So use it less.

The keystudio Nano can be powered via the Mini-B USB connection, or female headers Vin/GND (DC 7-12V).

www.keystudio.com

2

ANEXO G: HOJA DE DATOS DEL SENSOR RFID/NFC PN532.

www.elecfence.com

We have updated this module to version 3. Compared with V2, V3 has the following improvement:

1. **Smaller**: the size now is as small as 42.7mm*40.4mm*4mm
2. **Easy to change mode**: with a small SMD toggle switch, it becomes very easy to change among IC, SPI and HSU modes
3. **Longer distance**: the reading distance becomes 17cm, compared with 4~8cm of last version
4. **Add software to support NFC with Android Phone**

Features:

1. Support IC, SPI and HSU (High Speed UART)
2. **RFID reader/writer mode support**
 - Mifare 1K, 4k, Ultralight, and DesFire cards
 - ISO15693: 14443-A cards such as C3979K, CD light, DesFire, PSON02 (SMX)
 - Innovision based cards such as M1S202 card
 - NFC-A cards such as RCS_490 and RCS_494
3. Plug and play, Arduino compatible
4. Built in PCB Antenna, with 1cm*7cm communication distance
5. On-board level shifter, Standard 5V TTL for IC and UART, 3.3V TTL SPI
6. Work as RFID reader/writer
7. Work as 1443-A card or a virtual card
8. Support NFC with Android phone
9. Small size: 42mm*40mm*4mm

www.elecfence.com

Interface

- VCC: 3.3V-5V
- I2C/UART: 3.3V-24V TTL
- SPI: 3.3V TTL with 100 ohm resistors in series, it could be connected directly to 5V interface of microcontroller such as Arduino

The IC and HSU shares the same pins. The definition of IIC pins is printed at front and the HSU's is printed at the back. The HSU mode is configured as the default mode. But you could change the interface by setting the toggle switch.

The switch setting is shown as follows:

Working interface	Channel 1	Channel 2
HSU	OFF	OFF
I2C	ON	OFF
SPI	OFF	ON

We break all the pins out. The 1.27mm connector hole contains those pins which might not be used for most users. If some developers need to connect those pins, we could supply connectors.

www.elecfence.com

You could find this product here.

Hardware Installation

Solder the connector

The bundled male pins come with the NFC board.

Some users might need soldering other types of connectors or directly solder wires on it. Anyway, make sure the wires go across the antenna lines at 90 degree.

Antenna is covered under the white paint

Close the antenna at 90°

www.elecfence.com

Connect with Arduino

If without the sensor shield, please connect as following:

Mode	PN532 Module	Arduino Uno	Arduino Leonardo	Arduino Mega (2560)	Arduino Due
Power	VCC	5V	5V	5V	5V
	GND	GND	GND	GND	GND
I2C Mode	SDA	A5/SDA	Pin 2/SDA	Pin 20/SDA	Pin 20/SDA
	SCL	A5/SCL	Pin 3/SCL	Pin 21/SCL	Pin 21/SCL
SPI Mode	TXD	Pin 0	Could not present message in Serial Monitor on PC	Pin 0	Pin 19
	RXD	Pin 1	Pin 1	Pin 18	Pin 18
SPI Mode	SCK	Pin 13 or ICSP-0	ICSP-0	Pin 52 or ICSP-0	ICSP-0
	MISO	Pin 12 or ICSP-1	ICSP-1	Pin 50 or ICSP-1	ICSP-1
	MOSI	Pin 11 or ICSP-4	ICSP-4	Pin 51 or ICSP-4	ICSP-4
	SS	Pin 10	Pin 10	Pin 53	Pin 19

Arduino Uno only has one serial interface which is also connected to USB port to PC. In HSU mode, the serial monitor could not be used as message displaying windows.

Function Test

RFID Reader/Writer

Here we show how to read and write RFID card with this module.

Download the library [PN532](#) on our github page. You could find 4 folders in the library. Unzip the 4 folders at the library folder in Arduino IDE.

Start Arduino IDE and choose the example:

ANEXO H: HOJA DE DATOS DEL MÓDULO MP3 DFPLAYER MINI.

DFPlayer Mini

1. Summary

1.1 .Brief Instruction

DFPlayer Mini module is a serial MP3 module provides the perfect integrated MP3, WMV hardware decoding. While the software supports TF card driver, supports FAT16, FAT32 file system. Through simple serial commands to specify music playing, as well as how to play music and other functions, without the cumbersome underlying operating, easy to use, stable and reliable are the most important features of this module.

1.2 .Features

- Support Mp3 and WMV decoding
- Support sampling rate of 8KHz,11.025KHz,12KHz,16KHz,22.05KHz,24KHz,32KHz,44.1KHz,48KHz
- 24-bit DAC output, dynamic range support 96dB, SNR supports 85dB
- Supports FAT16, FAT32 file system, maximum support 32GB TF card
- A variety of control modes, serial mode, AD key control mode
- The broadcast language spots feature, you can pause the background music being played
- Built-in 3W amplifier
- The audio data is sorted by folder; supports up to 100 folders, each folder can be assigned to 1000 songs
- 30 levels volume adjustable, 10 levels EQ adjustable.

1.3 .Application

- Car navigation voice broadcast
- Road transport inspectors, toll stations voice prompts
- Railway station, bus safety inspection voice prompts
- Electricity, communications, financial business hall voice prompts
- Vehicle into and out of the channel verify that the voice prompts
- The public security border control channel voice prompts
- Multi-channel voice alarm or equipment operating guide voice
- The electric tourist car safe driving voice notices
- Electromechanical equipment failure alarm
- Fire alarm voice prompts
- The automatic broadcast equipment, regular broadcast.

2. Module Application Instruction

2.1. Specification Description

Item	Description
MP3Format	1. Support 11172-3 and ISO13813-3 layer3 audio decoding
	2. Support sampling rate (KHz):R11.025/12/16/22.05/24/32/44.1/48
	3. Support Normal, Jazz, Classic, Pop, Rock etc
UART Port	Standard Serial; TTL Level; Baud rate adjustable/default baud rate is 9600
Working Voltage	DC3.2-5.0V; Type :DC4.2V
Standby Current	20mA
Operating Temperature	-40~+70
Humidity	5%~95%

Table 2.1 Specification Description

DFPlayer Mini

2.2 .Pin Description

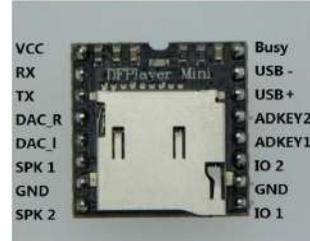


Figure 2.1

No	Pin	Description	Note
1	VCC	Input Voltage	DC3.2-5.0V;Type: DC4.2V
2	RX	UART serial input	
3	TX	UART serial output	
4	DAC_R	Audio output right channel	Drive earphone and amplifier
5	DAC_L	Audio output left channel	Drive earphone and amplifier
6	SPK2	Speaker+	Drive speaker less than 3W
7	GND	Ground	Power GND
8	SPK1	Speaker+	Drive speaker less than 3W
9	IO1	Trigger port 1	Short press to play previous; long press to decrease volume 1
10	GND	Ground	Power GND
11	IO2	Trigger port 2	Short press to play next; long press to increase volume 2
12	ADKEY1	AD Port 1	Trigger play first segment
13	ADKEY2	AD Port 2	Trigger play fifth segment
14	USB+	USB+ DP	USB Port
15	USB-	USB- DM	USB Port
16	BUSY	Playing Status	Low means playing; High means no

Table 2.2 Pin Description

DFPlayer Mini

3. Serial Communication Protocol

Serial port as a common communication in the industrial control field, we conducted an industrial level of optimization, adding frame checksum, retransmission, error handling, and other measures to significantly strengthen the stability and reliability of communication, and can expansion more powerful RS485 for networking functions on this basis, serial communication baud rate can set as your own, the default baud rate is 9600.

3.1. Serial Communication Format

Support for asynchronous serial communication mode via PC serial sending commands
Communication Standard:9600 bps
Data bits: 8
Checksum: none
Flow Control: none

Format	SS	VER	Len	CMD	Feedback	para1	para2	checksum	SO
SS	Start byte 0x7E				Each command feedback begin with 0x7E				that is 0x7E
VER	Version	Version			Version Information				
Len	the number of bytes after "Len"				Checksums are not counted				
CMD	Commands				Indicate the specific operations, such as play / pause, etc.				
Feedback	Command feedback				If need for feedback: 1: feedback, 0: no feedback				
para1	Parameter 1				Query high data byte				
para2	Parameter 2				Query low data byte				
checksum	Checksum				Accumulation and verification (not include start bit SS)				
SO	End bit				End bit: 0x7F				

For example, if we specify play NORMAL, you need to send: 7E FF 06 09 00 00 04 FF D3 EF
Data length is 6, which are 6 bytes (FF 06 09 00 00 04). Not counting the start, end, and verification.

3.2. Serial Communication Commands

1) Directly send commands, no parameters returned

CMD	Function Description	Parameters(16 bit)
0x01	Next	
0x02	Previous	
0x03	Specify tracking(NUM)	0-2999
0x04	Increase volume	
0x05	Decrease volume	
0x06	Specify volume	0-30
0x07	Specify EQ(0/1/2/3/4/5)	Normal/Pop/Rock/Jazz/Classic/Base
0x08	Specify playback mode (0/1/2/3)	Repeat/folder repeat/single repeat/random

DFPlayer Mini

0x09	Specify playback source(0/1/2/3/4)	U/TF/AUX/SLEEP/FLASH
0x0A	Enter into standby = low power loss	
0x0B	Normal working	
0x0C	Reset module	
0x0D	Playback	
0x0E	Pause	
0x0F	Specify folder to playback	1-10(in need to set by user)
0x10	Volume adjust set	{DH=1} Open volume adjust; {DL= set volume gain (0-1)}
0x11	Repeat play	{1: start repeat play} {0: stop play}

2) Query the System Parameters

Commands	Function Description	Parameters(16 bit)
0x3C	STAY	
0x3D	STAY	
0x3E	STAY	
0x3F	Send initialization parameters	0 = 0x0f(each bit represent one device of the low-four bits)
0x40	Returns an error, requests retransmission	
0x41	Reply	
0x42	Query the current status	
0x43	Query the current volume	
0x44	Query the current EQ	
0x45	Query the current playback mode	
0x46	Query the current software version	
0x47	Query the total number of TF card files	
0x48	Query the total number of U-disk files	
0x49	Query the total number of flash files	
0x4A	Keep on	
0x4B	Queries the current track of TF card	
0x4C	Queries the current track of U-Disk	
0x4D	Queries the current track of Flash	

3.3. Returned Data of Module

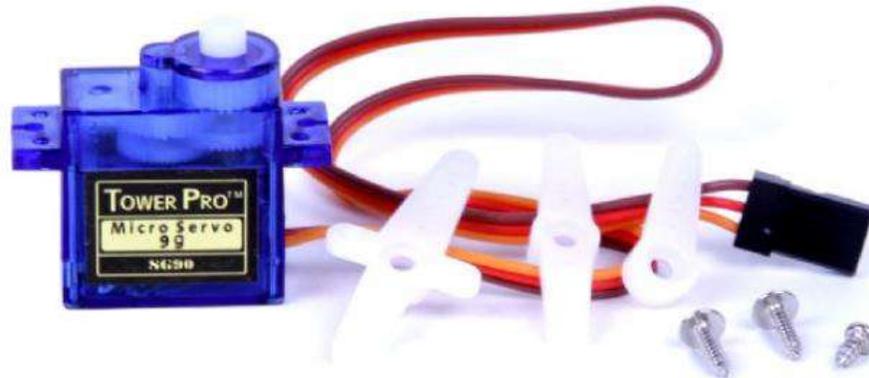
3.3.1. Returned Data of Module Power-on

1) The module power on, require a certain of the time initialization, this time is determined by U-disk, TF card, flash, etc. device's file numbers, general situation is the 1.5 ~ 1.3sec. If module initialization data has not been

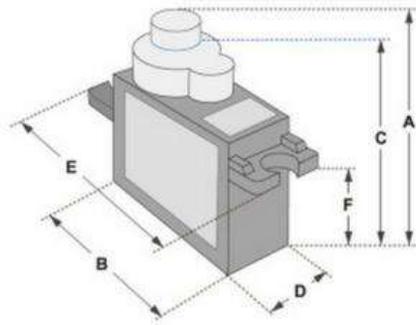
ANEXO I: HOJA DE DATOS DEL SERVOMOTOR SG90.

SERVO MOTOR SG90

DATA SHEET

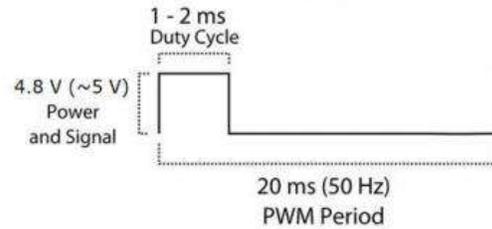
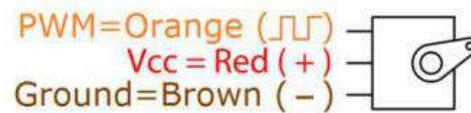


Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but smaller. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.



Dimensions & Specifications	
A (mm) :	32
B (mm) :	23
C (mm) :	28.5
D (mm) :	12
E (mm) :	32
F (mm) :	19.5
Speed (sec) :	0.1
Torque (kg-cm) :	2.5
Weight (g) :	14.7
Voltage :	4.8 - 6

Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2ms pulse) is middle, is all the way to the right, "-90" (~1ms pulse) is all the way to the left.



ANEXO J: HOJA DE DATOS DEL SERVOMOTOR HITECH HS-311.

HS - 311 Standard

Detailed Specifications

Control System: +Pulse Width Control 1500usec Neutral

Required Pulse: 3-5 Volt Peak to Peak Square Wave

Operating Voltage: 4.8-6.0 Volts

Operating Temperature Range: -20 to +60 Degree C

Operating Speed (4.8V): 0.19sec/60° at no load

Operating Speed (6.0V): 0.15sec/60° at no load

Stall Torque (4.8V): 42 oz/in (3.0 kg/cm)

Stall Torque (6.0V): 49 oz/in (4.5 kg/cm)

Current Drain (4.8V): 7.4mA/idle, 160mA no load operating

Current Drain (6.0V): 7.7mA/idle, 180mA no load operating

Dead Band Width: 5usec

Operating Angle: 40° one side pulse traveling 400usec

Direction: Clockwise/Pulse Traveling 1500 to 1900usec

Motor Type: Cored Metal Brush

Potentiometer Drive: 4 Slider/Direct Drive

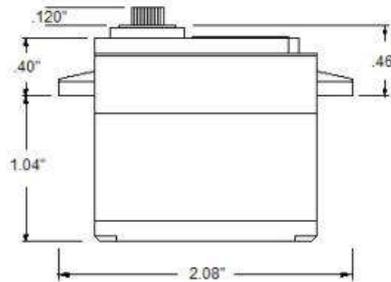
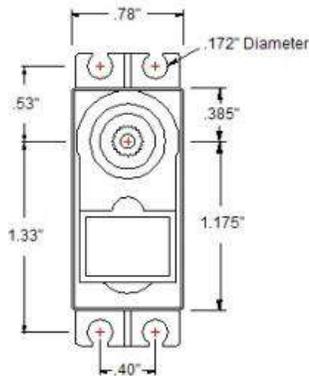
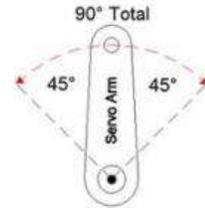
Bearing Type: Top/Resin Bushing

Gear Type: Nylon

360 Modifiable: [Yes](#)

Connector Wire Length: 11.81" (300mm)

Weight: 1.52oz (43g)



ANEXO K: PROGRAMACIÓN EN ARDUINO IDE V1.8.5. DE LECTURA DE PICTOGRAMAS

```
#include <PN532.h>
////////////////////////////////////
#include "Arduino.h"
#include "SoftwareSerial.h"
#include "DFRobotDFPlayerMini.h"
SoftwareSerial mySoftwareSerial(3,2); // RK, TX
DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer;
////////////////////////////////////

////////////////////////////////////
// Shield NFC:
#define SCK      13
#define MOSI     11
#define SS       10
#define MISO     12

// IDs llaveros NFC:
#define t1      1890253481
#define t2      1665924009
#define t3      575929257
#define t4      4053597097
#define t5      2790325161

#define t6      330037929
#define t7      3804224633
#define t8      2790448249
#define t9      2792414329
#define t10     1928978041
#define t11     1501363369
#define t12     3113999481
#define t13     2958089337
#define t14     726195321
#define t15     2067782777

#define t16     1900214953
#define t17     2654731177
#define t18     1627126441
#define t19     159710121
#define t20     1233124265
#define t21     3796433833
#define t22     3012557481
#define t23     2980379305
#define t24     3343449001
```

```
case t1:
  Serial.println("1");
  myDFPlayer.play(1); //ejecucion
  delay(2500);
  break;

case t2:
  Serial.println("2");
  myDFPlayer.play(2); //ejecucion
  delay(1500);
  break;

case t3:
  Serial.println("3");
  myDFPlayer.play(3); //ejecucion
  delay(1500);
  break;

case t4:
  Serial.println("4");
  myDFPlayer.play(4); //ejecucion
  delay(1500);
  break;

case t5:
  Serial.println("5");
  myDFPlayer.play(5); //ejecucion
  delay(1500);
  break;

case t6:
  Serial.println("6");
  myDFPlayer.play(6); //ejecucion
  delay(1500);
  break;

case t7:
  Serial.println("7");
  myDFPlayer.play(7); //ejecucion
  delay(1500);
  break;

case t8:
  Serial.println("8");
```

```
#define t25     2648767401

PN532 nfc(SCK, MISO, MOSI, SS);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  nfc.begin();
  nfc.SAMConfig();
  //////////////////////////////////
  mySoftwareSerial.begin(9600);
  myDFPlayer.begin(mySoftwareSerial);
  Serial.println(F("DFPlayer Mini online."));
  myDFPlayer.volume(30); //Set volume value. From 0 to 30
  delay(2500);
  //////////////////////////////////
}

void loop()
{
  // Monitoreo el Voltaje de la Bateria
  int sensorValue = analogRead(A0);
  float voltage = sensorValue * (5.00 / 1023.00) * 3; // Convierto los
  valores de voltajes leídos desde 5v adaptados a 8.4V - Normal 3
  // Serial.print(sensorValue);
  // Serial.print(" ");
  // Serial.println(voltage);
  if (voltage < 6.6) { // Si el Voltaje es por debajo de 6.6V enciende el LED
    myDFPlayer.play(26); //ejecucion
    delay(2500);
  }
  else {

  //////////////////////////////////////
  //////////////////////////////////////
  uint32_t id = nfc.readPassiveTargetID(PN532_MIFARE_ISO14443A);
  //Serial.println(id);
  if( id > 0 )
  {
    switch(id)
    {
      //////////////////////////////////////
      myDFPlayer.play(8); //ejecucion
      delay(1500);
      break;

      case t9:
        Serial.println("9");
        myDFPlayer.play(9); //ejecucion
        delay(1500);
        break;

      case t10:
        Serial.println("10");
        myDFPlayer.play(10); //ejecucion
        delay(1000);
        break;

      case t11:
        Serial.println("11");
        myDFPlayer.play(11); //ejecucion
        delay(1500);
        break;

      case t12:
        Serial.println("12");
        myDFPlayer.play(12); //ejecucion
        delay(1500);
        break;

      case t13:
        Serial.println("13");
        myDFPlayer.play(13); //ejecucion
        delay(1500);
        break;

      case t14:
        Serial.println("14");
        myDFPlayer.play(14); //ejecucion
        delay(1500);
        break;

      case t15:
        Serial.println("15");
        myDFPlayer.play(15); //ejecucion
        delay(1500);
```

```
break;

case t16:
Serial.println("16");
myDFPlayer.play(16); //ejecucion
delay(1500);
break;

case t17:
Serial.println("17");
myDFPlayer.play(17); //ejecucion
delay(1500);
break;

case t18:
Serial.println("18");
myDFPlayer.play(18); //ejecucion
delay(1500);
break;

case t19:
Serial.println("19");
myDFPlayer.play(19); //ejecucion
delay(1500);
break;

case t20:
Serial.println("20");
myDFPlayer.play(20); //ejecucion
delay(1500);
break;

case t21:
Serial.println("21");
myDFPlayer.play(21); //ejecucion
delay(1500);
break;

case t22:
Serial.println("22");
myDFPlayer.play(22); //ejecucion
delay(1500);
break;
```

```
case t23:
Serial.println("23");
myDFPlayer.play(23); //ejecucion
delay(1500);
break;

case t24:
Serial.println("24");
myDFPlayer.play(24); //ejecucion
delay(1500);
break;

case t25:
Serial.println("25");
myDFPlayer.play(25); //ejecucion
delay(1500);
break;
////////////////////////////////////
}
}
////////////////////////////////////
}
}
```

ANEXO L: PROGRAMACIÓN EN ARDUINO IDE V1.8.5. DE CONEXIÓN BLUETOOTH Y CONTROL DE SERVOMOTORES

```

Servo cab_x;
Servo cab_y;
Servo cola;

Servo pie_de;
Servo pie_iz;
Servo cod_de;
Servo cod_iz;
Servo bra_de;
Servo bra_iz;

#define rojo 11
#define azul 10
#define verde 9
char val;

float L1, L2, L3, D, D1;
float AbsoluteAngle1, AbsoluteAngle2, AbsoluteAngle3;

float AbsoluteAngle11, AbsoluteAngle21, AbsoluteAngle31;
float RelativeAngle12, RelativeAngle23;

float RelativeAngle121, RelativeAngle231;
float TargetX, TargetY;

float TargetX1, TargetY1;

```

```

for(int i=1;i<=4;i++){
  if(i==2){
    cab_x.write(150);
    cola.write(0);
    oreja_de.write(80);//80
    oreja_iz.write(80);//90
  }
  cola.write(70);

  TargetX = -20;
  TargetY = 30;
  TargetX1 = 100;
  TargetY1 = 80;
  SolveReverse(radians(i*15), radians(i*15));
  Debug();
  delay(100);
  TargetX = 0;
  TargetY = 60;
  SolveReverse(radians(0), radians(0));
  Debug();
  if(i==4){
    cola.write(0);
    cab_x.write(30);
    oreja_de.write(120);//80
    oreja_iz.write(30);//90
  }
  delay(100);
}

```

```

for(int i=1;i<=4;i++){
  if(i==2){
    cola.write(0);
    oreja_de.write(80);//80
    oreja_iz.write(80);//90
  }
  cola.write(70);

  TargetX = -20;
  TargetY = 30;
  TargetX1 = -20;
  TargetY1 = 30;
  SolveReverse(radians(i*15), radians(i*15));
  Debug();
  delay(100);
  TargetX = 0;
  TargetY = 60;
  TargetX1 = 0;
  TargetY1 = 60;
  SolveReverse(radians(0), radians(0));
  Debug();
  if(i==4){
    cola.write(0);
    oreja_de.write(120);//80
    oreja_iz.write(30);//90
  }
  casa();
}

```

```

void SolveReverse(float absoluteAngle3, float absoluteAngle31)
{
  AbsoluteAngle3 = absoluteAngle3;
  D = Pythagoras(TargetX, TargetY);

  float P2x = TargetX - L3 * cos(AbsoluteAngle3);
  float P2y = TargetY - L3 * sin(AbsoluteAngle3);

  float D0;
  SolveTriangle(P2x, P2y, L1, L2, D0, AbsoluteAngle1, AbsoluteAngle2, R);

  RelativeAngle23 = AbsoluteToRelative(AbsoluteAngle2, AbsoluteAngle3);

  AbsoluteAngle31 = absoluteAngle31;
  D1 = Pythagoras1(TargetX1, TargetY1);

  float P2x1 = TargetX1 - L3 * cos(AbsoluteAngle31);
  float P2y1 = TargetY1 - L3 * sin(AbsoluteAngle31);

  float D01;
  SolveTriangle(P2x1, P2y1, L1, L2, D01, AbsoluteAngle11, AbsoluteAngle:

  RelativeAngle231 = AbsoluteToRelative(AbsoluteAngle21, AbsoluteAngle:
}

void Debug()
{

```

ANEXO M: PROGRAMACIÓN DE LOS JUEGOS DE LA APLICACIÓN MÓVIL EN MIT APP

INVENTOR 2

```
cuando SelectorDeLista1 . AntesDeSelección
ejecutar
  si ClienteBluetooth1 . Disponible
  entonces poner SelectorDeLista1 . Elementos como ClienteBluetooth1 . DireccionesYNombres

cuando SelectorDeLista1 . DespuésDeSelección
ejecutar
  poner lblequipo . Texto como SelectorDeLista1 . Selección
  evaluar pero ignorar el resultado llamar ClienteBluetooth1 . Conectar
  dirección SelectorDeLista1 . Selección
  si ClienteBluetooth1 . Conectado
  entonces
    poner lblestado . ColorDeTexto como [azul]
    poner lblestado . Texto como "CONEXIÓN ESTABLE"
  sino
    poner lblestado . ColorDeTexto como [rojo]
    poner lblestado . Texto como "NO EXISTE CONEXIÓN"
```

```
inicializar global Preguntas como crear una lista vacía
inicializar global Opción1 como crear una lista vacía
inicializar global Opción2 como crear una lista vacía
inicializar global Correcta como crear una lista vacía
inicializar global Indice como 1
inicializar global Puntos como 0
inicializar global Fallos como 0
```

```
cuando BtnAnimales . Clic
ejecutar
  Llamar cargardatosA
  Llamar cargarpantallaA
```

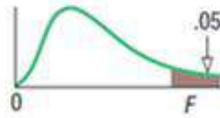
```
como cargardatosA
ejecutar
  poner global Puntos a 0
  poner global Fallos a 0
  poner global Indice a 1
  poner EtqAciertosAnimales . Texto como tomar global Puntos
  poner EtqFallosAnimales . Texto como tomar global Fallos
  insertar elemento en lista lista tomar global Preguntas
  índice 1
  elemento "¿Cuál es el perro?"
  insertar elemento en lista lista tomar global Opción1
  índice 1
  elemento "gato.jpg"
  insertar elemento en lista lista tomar global Opción2
  índice 1
  elemento "perro.jpg"
  insertar elemento en lista lista tomar global Correcta
  índice 1
  elemento 2
  insertar elemento en lista lista tomar global Preguntas
  índice 2
  elemento "¿Cuál es la vaca?"
  insertar elemento en lista lista tomar global Opción1
  índice 2
```

```
como cargarpantallaA
ejecutar
  si
    tomar global Puntos = 20
  entonces
    poner Sonido1 . Origen como ta-da.mp3
    llamar Sonido1 . Reproducir
    llamar ClienteBluetooth1 . EnviarTexto
      texto "d"
  sino
    poner TxtPreguntaAnimales . Texto como seleccionar elemento de la lista
      indice tomar global Preguntas
    poner BtnOp1Animales . Imagen como seleccionar elemento de la lista
      indice tomar global Opcion1
    poner BtnOp2Animales . Imagen como seleccionar elemento de la lista
      indice tomar global Opcion2
    llamar TextoAVoz1 . Hablar
      mensaje TxtPreguntaAnimales . Texto
```

```
cuando BtnOp1Animales . Clic
ejecutar
  si
    seleccionar elemento de la lista
      indice tomar global Correcta = 1
  entonces
    poner global Puntos a tomar global Puntos + 1
    poner global Indice a tomar global Indice + 1
    poner EtqAciertosAnimales . Texto como tomar global Puntos
    llamar ClienteBluetooth1 . EnviarTexto
      texto "a"
    Llamar cargarpantallaA
  sino
    poner global Fallos a tomar global Fallos + 1
    poner EtqFallosAnimales . Texto como tomar global Fallos
    llamar ClienteBluetooth1 . EnviarTexto
      texto "c"
    Llamar cargarpantallaA
```

```
cuando BtnOp2Animales . Clic
ejecutar
  si
    seleccionar elemento de la lista
      indice tomar global Correcta = 2
  entonces
    poner global Puntos a tomar global Puntos + 1
    poner global Indice a tomar global Indice + 1
    poner EtqAciertosAnimales . Texto como tomar global Puntos
    llamar ClienteBluetooth1 . EnviarTexto
      texto "a"
    Llamar cargarpantallaA
  sino
    poner global Fallos a tomar global Fallos + 1
    poner EtqFallosAnimales . Texto como tomar global Fallos
    llamar ClienteBluetooth1 . EnviarTexto
      texto "c"
    Llamar cargarpantallaA
```

ANEXO N: TABLA DE DISTRIBUCIÓN F DE FISHER



		Grados de libertad en el numerador															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40
Grados de libertad en el denominador	1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251
	2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5
	3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83
	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34
	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15
	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06
	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03
	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96
	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94
	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91
	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 07 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: HÉCTOR JOSUÉ ÁLVAREZ BARRERA EDGAR SEBASTIÁN SÁNCHEZ BENALCÁZAR
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

1944-DBRAI-UPT-2021

