

**UNIVERSIDAD VALLE DEL MOMBOY
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN**



**DESARROLLO DE ROBOT HUMANOIDE DESDE LA PERSPECTIVA
DE LA INNOVACIÓN SOCIAL (TORSO)**

Presentado por:

BR. Rangel Briceño Cristian José

TRUJILLO, 2025

**UNIVERSIDAD VALLE DEL MOMBOY
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN**



**DESARROLLO DE ROBOT HUMANOIDE DESDE LA PERSPECTIVA
DE LA INNOVACIÓN SOCIAL (TORSO)**

**Trabajo presentado como requisito para optar
al título de Ingeniero en Computación**

Presentado por:

BR. Rangel Briceño Cristian José

Tutor:

MSc. EDGARDO PAOLINI

TRUJILLO, 2025

DEDICATORIA

A mi madre, Leonor:

Quien siempre ha sido mi pilar, apoyándome de manera incondicional y creyendo firmemente en mis capacidades para alcanzar mis metas. Es por su amor y apoyo que este logro es también nuestro.

A mi hermano, Mickael:

Mi gran maestro. A él le agradezco el haberme inculcado desde pequeño el valor de la fortaleza y la honestidad. Asumió un rol fundamental en mi vida, convirtiéndose en mi figura paterna y un invaluable guía.

A mi padre, Pedro:

Aunque su partida fue prematura, su recuerdo me acompaña siempre. Estaré eternamente agradecido por todo lo que me brindó y tengo la certeza de que este logro lo llenaría de orgullo.

Cristian Rangel

AGRADECIMIENTOS

En este momento culminante, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a quienes hicieron posible la realización de este trabajo de grado y mi formación profesional.

A mi madre y a mis hermanos, por ser mi fuente inagotable de apoyo moral, por sus valiosos consejos a lo largo de mi carrera y por su amor incondicional.

A mis tíos Enrique y Evelia, a mi madrina Mireya y a mi tía Magaly, quienes, con su presencia, ayuda constante y aliento, jugaron un papel crucial en mi trayectoria. Su apoyo fue un refugio en los momentos necesarios.

A mi compañera Rosimar: Mi profunda gratitud por su apoyo incondicional, su paciencia y, sobre todo, por la dedicación y responsabilidad que demostró en cada etapa de este proyecto. Agradezco sinceramente todo lo que me has enseñado con tu ejemplo.

A mi compañero Javier: Por estar siempre a mi lado, enfrentando juntos cada desafío que se presentó. Más que un amigo, te has convertido en un hermano que me acompañó hasta el final.

A todos mis amigos y demás familiares, por el aliento constante y las palabras de motivación que me impulsaron a seguir adelante. Sus ánimos me recordaron la importancia de "seguir nadando hasta el final" para alcanzar esta meta.

Mi más profunda admiración y respeto a los profesionales que guiaron este camino:

Al tutor MSc. Edgardo Paolini: Le agradezco inmensamente por haber confiado en nosotros y por su dirección experta a lo largo de todo este trabajo. Su paciencia, dedicación y apoyo constante fueron fundamentales, impulsándonos siempre a sacar nuestra mejor versión profesional.

Al profesor MSc. Edgar Omaña: Gracias por su esmero y por la valiosa ayuda que nos brindó para superar los desafíos técnicos y académicos. Su contribución fue esencial para fortalecer nuestra investigación.

A todos mis profesores, mi gratitud eterna por compartir su conocimiento y por su papel en mi formación.

Cristian Rangel

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE GENERAL	6
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE ANEXOS	13
VEREDICTO	14
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	22
1.1 Planteamiento del problema.....	22
1.2 Formulación del problema	26
1.2.1 Pregunta central	26
1.2.2 Preguntas secundarias	27
1.3 Objetivos de la investigación	27
1.3.1 Objetivo general.....	27
1.3.2 Objetivos específicos	27
1.4 Justificación de la Investigación	27
1.4.1 Justificación teórica	28
1.4.2 Justificación Practica	29
1.4.3 Justificación Tecnológica y metodológica.....	29
1.4.4 Justificación Social	30

	7
1.5 Alcances y Limitaciones	30
1.5.1 Alcances	30
1.5.2 Limitaciones	31
1.6 Vinculación con el Proyecto Institucional de Desarrollo Humano Sustentable	33
CAPÍTULO II MARCO TEORICO	35
2.1 Antecedentes de la investigación	35
2.1.1 Antecedentes nacionales	35
2.1.2 Antecedentes internacionales	37
2.2 Base Teórica.....	39
2.2.1 Base Teórica de Torso Robótico.....	39
2.2.2 Innovación social	57
2.3 Sistema de Variables.....	60
CAPÍTULO III MARCO METODOLOGICO	62
3.1 Tipo y diseño de la investigación.....	62
3.1.1 Tipo de investigación.....	62
3.1.2 Diseño de la investigación	63
3.1.3 Nivel de la investigación.....	64
3.2 Población y muestra.....	65
3.2.1 Población.....	65
3.2.2 Muestra	65
3.3 Técnica e instrumento para la recolección de datos.....	66
3.3.1 Revisión documental.....	66
3.3.2 Encuesta	66
3.4 Validez y Confiabilidad	67
3.5 Procedimiento metodológico	68

	8
3.5.1 Fase I: Planteamiento del problema de investigación y objetivos	69
3.5.2 Fase II: Recopilación de datos	69
3.5.3 Fase III: Determinación de elementos claves	70
3.5.4 Fase IV: Desarrollo del diseño y la programación.....	70
3.5.5 Fase V: Realización de pruebas	71
3.5.6 Fase VI: Presentación del robot humanoide	71
3.6 Técnica de análisis de datos	72
3.6.1 Análisis de Datos Cuantitativos: Estadística Descriptiva para la Encuesta.....	72
3.6.2 Análisis de Datos Cualitativos: Análisis de Contenido para la Revisión Documental.....	72
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	73
4.1 Presentación y Análisis de resultados	73
4.1.1 Objetivo Desarrollar un torso como centro para el procesamiento y comunicación entre partes del robot de la cabeza y brazos en el torso, garantizando una transmisión de datos eficiente entre los elementos.	73
4.1.2 Objetivo Implementar el uso de inteligencia artificial en el torso humanoide para procesar video, imagen y audio de manera eficiente con la que se pueda brindar una respuesta.	81
4.1.3 Objetivo Diseñar un torso humanoide que cumpla con las características de la innovación social y enfrente los desafíos de desarrollo en la Universidad Valle del Momboy.	86
4.2 Discusión de hallazgos.....	94
4.2.1 Relación entre los hallazgos y los objetivos de investigación	94
4.2.2 Comparación con estudios previos y teoría existente	95
4.2.3 Implicaciones prácticas de los hallazgos	97
4.2.4 Análisis de limitaciones	98

	9
4.2.5 Propuesta de nuevas líneas de investigación	99
4.3 Vinculación con Objetivos Institucionales del DHS	99
4.3.1 Alineación con el Desarrollo Humano Sustentable	99
4.3.2 Contribución a la Sustentabilidad	100
4.3.3 Fortalecimiento de Proyectos Institucionales	101
4.3.4 Recomendaciones para la Integración Institucional	102
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
5.1 Conclusiones	103
5.1.1 Conclusión del desarrollo de un torso como centro para el procesamiento y comunicación entre partes del robot de la cabeza y brazos en el torso, garantizando una transmisión de datos eficiente entre los elementos.	103
5.1.2 Conclusión de la implementación de inteligencia artificial en el torso humanoide para procesar video, imagen y audio de manera eficiente con la brinda una respuesta.	104
5.1.3 Conclusiones sobre el Diseño con Enfoque de Innovación Social	105
5.2 Recomendaciones	106
5.3 Líneas Futuras de Investigación.....	108
5.3.1 Líneas de Investigación en Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático	109
5.3.2 Líneas de Investigación en Percepción y Cognición Robótica.....	110
5.3.3 Líneas de Investigación en Mecatrónica y Control.....	110
5.3.4 Líneas de Investigación en Ética y Regulación de Robótica Social	111
CAPITULO VI PROPUESTAS	113
6.1 Introducción	113
6.2 Fundamentación Teórica y Conceptual de la Propuesta.....	114
6.3 Objetivos de la Propuesta.....	115

	10
6.3.1 Objetivo General.....	115
6.3.2 Objetivos Específicos.....	115
6.4 Descripción de la Propuesta.....	116
6.4.1 Módulo de Reconocimiento Facial	116
6.4.2 Sistema de Detección Multiusuario	117
6.4.3 Base de Datos de Memoria Persistente	118
6.4.4 Sistema de Recuperación y Personalización de Memoria	119
6.4.5 Integración con Sistema Existente	120
6.5 Factibilidad de la Propuesta	120
6.5.1 Factibilidad Técnica.....	120
6.5.2 Factibilidad Económica	121
6.5.3 Factibilidad Operativa.....	122
6.5.4 Factibilidad Legal y Ética	123
6.6 Evaluación e Implementación de la Propuesta	124
6.6.1 Plan de Implementación por Fases	124
6.6.2 Indicadores de Éxito	126
6.7 Conclusión del Capítulo.....	127
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	130
ANEXOS	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de la Variable</i>	61
Tabla 2 <i>Confiabilidad de un instrumento</i>	68
Tabla 3 <i>Tabla de resultados del ítem 7</i>	87
Tabla 4 <i>Tabla de resultados del ítem 8</i>	89
Tabla 5 <i>Tabla de resultados del ítem 9</i>	91
Tabla 6 <i>Tabla de resultados del ítem 10</i>	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Clasificación de robots</i>	43
Figura 2 <i>Diagrama de puertos de ESP32 WROOM 32</i>	77
Figura 3 <i>Grafica de resultados del ítem 7</i>	88
Figura 4 <i>Grafica de resultados del ítem 8</i>	90
Figura 5 <i>Grafica de resultados del ítem 9</i>	92
Figura 6 <i>Grafica de resultados del ítem 10</i>	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Tabla de Validación de Instrumentos Validada por los Expertos (Edgar Omaña)	135
Anexo 2 Tabla de Validación de Instrumentos Validada por los Expertos (Héctor Ali Antrúnez)	136
Anexo 3 Tabla de Validación de Instrumentos Validada por los Expertos (Cristina Vieras)	137
Anexo 4 Anexo de fotografía del Robot Zoé.....	138
Anexo 5 Presentación del Robot Zoé en la semana Aniversario 28.....	139
Anexo 6 Placa ESP32 y PCA9685 usadas para el Control de Servomotores.....	140
Anexo 7 Diagrama de Conexiones del Torso al control de motores	141
Anexo 8 Diagrama de Conexiones del Brazo Derecho al control de motores	142
Anexo 9 Diagrama de Conexión del Brazo Izquierdo al control de motores	143
Anexo 10 Diagrama de Conexión de la Cabeza al control de motores	144
Anexo 11 Impresora 3D de la Universidad Valle del Momboy	145
Anexo 12 Torso con aspecto antropomorfo humanoide.....	146
Anexo 13 Estructura Superior de Torso Robótico.....	147
Anexo 14 Estructura Inferior del Torso Robótico	148

VEREDICTO



VICERRECTORADO ACADÉMICO FACULTAD DE INGENIERÍA

VEREDICTO

Nosotros, Profe. Héctor Antúnez, Profa. Cristina Vieras, Profe Edgardo Paolini designados como miembros del Jurado Examinador del Trabajo de Grado titulado “DESARROLLO DE ROBOT DESARROLLO DE ROBOT HUMANOIDE DESDE LA PERSPECTIVA DE LA INNOVACIÓN SOCIAL (TORSO)” que presenta el bachiller: **Cristian José Rangel Briceño** portador de la **C.I. N.º 31.898.075**; nos hemos reunido para revisar dicho trabajo y después de la presentación, defensa e interrogatorio correspondiente lo hemos calificado con: veinte (**20**) puntos, de acuerdo con las normas vigentes dictadas por el Consejo Universitario de la Universidad Valle del Mombay, referente a la evaluación de los Trabajos de Grado para optar al título de Ingeniero en computación.

En fe de lo cual firmamos en Carvajal a los once (11) días del mes de noviembre del dos mil veinticinco (2025).

Profa. Cristina Vieras
C.I: 10.910.669
JURADO

Profe. Edgardo Paolini
C.I: 13.897.564
TUTOR

Profe. Héctor Antúnez
C.I. 9.364.278
PRESIDENTE DEL JURADO



Profa. Yumary Valecillos
C.I. 14.151.309
DECANO

Profa. Walevska López
C.I. 10.104.896
VICERRECTORA ACADEMICA



RESUMEN

Esta investigación presenta el desarrollo de un torso robótico humanoide con inteligencia artificial integrada, concebido como base fundacional para la robótica humanoide en la región de Trujillo, Venezuela. El proyecto aborda la necesidad de soluciones tecnológicas accesibles orientadas a la innovación social, particularmente en contextos de asistencia, cuidado y educación. El torso desarrollado funciona como centro de procesamiento y comunicación, integrando el microcontrolador ESP32 WROOM-32 para la gestión de servomotores mediante protocolo UART/USART y módulos PCA9685, junto con una Raspberry Pi 5 como unidad de procesamiento principal. La implementación de inteligencia artificial se logró mediante MediaPipe Holistic para reconocimiento visual de 543 puntos de referencia corporales y el modelo de lenguaje Llama 3.1 8B Instruct a través de la API de Groq para procesamiento de lenguaje natural. La arquitectura de software utiliza procesamiento paralelo mediante hilos (threading) en Python 3, optimizando la gestión simultánea de video, audio y control de servomotores con latencias inferiores a 2 segundos. La validación mediante encuesta a 55 estudiantes de ingeniería reveló una aceptación del 96.4% respecto al potencial de impacto social positivo del proyecto. El diseño modular facilita la integración futura de extremidades superiores e inferiores, estableciendo un precedente para desarrollos robóticos accesibles en la Universidad Valle del Momboy. Los resultados demuestran la viabilidad técnica y económica de implementar robótica humanoide avanzada con recursos locales, contribuyendo al desarrollo tecnológico regional y sentando bases para futuras líneas de investigación en aprendizaje automático, percepción robótica y ética en robótica social.

Palabras clave: robótica humanoide, inteligencia artificial, innovación social, reconocimiento visual, procesamiento de lenguaje natural.

ABSTRACT

This research presents the development of a humanoid robotic torso with integrated artificial intelligence, conceived as a foundational base for humanoid robotics in the Trujillo region, Venezuela. The project addresses the need for accessible technological solutions oriented toward social innovation, particularly in assistance, care, and education contexts. The developed torso functions as a processing and communication center, integrating the ESP32 WROOM-32 microcontroller for servomotor management through UART/USART protocol and PCA9685 modules, along with a Raspberry Pi 5 as the main processing unit. Artificial intelligence implementation was achieved through MediaPipe Holistic for visual recognition of 543 body landmarks and the Llama 3.1 8B Instruct language model via Groq API for natural language processing. The software architecture utilizes parallel processing through threading in Python 3, optimizing simultaneous management of video, audio, and servomotor control with latencies under 2 seconds. Validation through a survey of 55 engineering students revealed 96.4% acceptance regarding the project's potential for positive social impact. The modular design facilitates future integration of upper and lower extremities, establishing a precedent for accessible robotic developments at Universidad Valle del Momboy. Results demonstrate the technical and economic viability of implementing advanced humanoid robotics with local resources, contributing to regional technological development and establishing foundations for future research lines in machine learning, robotic perception, and ethics in social robotics.

Keywords: humanoid robotics, artificial intelligence, social innovation, visual recognition, natural language processing.

INTRODUCCIÓN

La robótica humanoide representa uno de los campos más desafiantes y prometedores de la ingeniería contemporánea, convergiendo disciplinas como la mecatrónica, la inteligencia artificial y las ciencias cognitivas para crear sistemas capaces de interactuar naturalmente con los seres humanos. En el contexto venezolano, y particularmente en el estado Trujillo, el desarrollo de estas tecnologías enfrenta limitaciones significativas relacionadas con infraestructura, acceso a componentes especializados y restricciones económicas. No obstante, estas mismas limitaciones representan una oportunidad única para desarrollar soluciones innovadoras que demuestren cómo la tecnología accesible y apropiadamente diseñada puede generar impacto social significativo incluso en contextos de recursos limitados.

La presente investigación marca un hito fundamental en el avance tecnológico de la región al desarrollar el primer torso robótico humanoide con inteligencia artificial integrada en la Universidad Valle del Momboy. Este trabajo no constituye únicamente un logro técnico aislado, sino que representa la piedra angular sobre la cual se construirá el futuro de la robótica humanoide en Trujillo y potencialmente en Venezuela. El torso desarrollado establece una arquitectura modular escalable que permite la integración posterior de extremidades superiores e inferiores, cabeza con capacidades sensoriales avanzadas y sistemas de movilidad, conformando eventualmente un robot humanoide completo capaz de desempeñar funciones de asistencia, educación y cuidado social.

El avance tecnológico que representa esta investigación trasciende la dimensión puramente técnica para posicionarse como un modelo de innovación social mediante tecnología. En una región donde el acceso a robots comerciales resulta prohibitivo económicamente, este proyecto

demuestra que es posible desarrollar soluciones robóticas sofisticadas utilizando componentes accesibles localmente, metodologías de fabricación disponibles en la universidad como la impresión 3D, y bibliotecas de código abierto para inteligencia artificial. Esta democratización del conocimiento y las herramientas tecnológicas constituye un aporte fundamental para reducir la brecha tecnológica que históricamente ha limitado el desarrollo de la región en áreas de vanguardia como la robótica.

La integración de capacidades de inteligencia artificial para procesamiento de video, imagen y audio en tiempo real representa un avance particularmente significativo. El sistema desarrollado no solo puede percibir su entorno mediante reconocimiento visual de poses humanas completas, expresiones faciales y gestos de manos, sino que también puede interactuar verbalmente mediante procesamiento de lenguaje natural, estableciendo un canal de comunicación bidireccional fluido entre el robot y los usuarios. Esta combinación de percepción multimodal y capacidad conversacional posiciona al torso robótico desarrollado al nivel de los estándares internacionales en robótica social, demostrando que la excelencia tecnológica no está reservada exclusivamente para instituciones con presupuestos millonarios.

El Capítulo I establece los fundamentos conceptuales de la investigación mediante el planteamiento del problema, identificando las necesidades sociales que la robótica humanoide puede atender, las barreras actuales para su desarrollo en Venezuela, y las oportunidades que representa implementar estas tecnologías en el contexto de la Universidad Valle del Momboy. Se formulan los objetivos que guían el desarrollo del torso robótico, se justifica la pertinencia de la investigación desde perspectivas teóricas, prácticas, metodológicas y sociales, y se delimitan los alcances y limitaciones del proyecto, estableciendo expectativas realistas sobre los resultados esperados.

El Capítulo II construye el marco teórico que sustenta la investigación, explorando los antecedentes nacionales e internacionales en robótica humanoide e inteligencia artificial. Se desarrolla una base teórica comprehensiva que abarca desde conceptos fundamentales de robótica, clasificación de robots y grados de libertad, hasta tecnologías específicas como microcontroladores, sistemas de procesamiento (CPU, GPU, TPU, NPU), técnicas de modelado e impresión 3D, e inteligencia artificial aplicada al reconocimiento visual y procesamiento de lenguaje natural. Este capítulo establece también la conexión conceptual entre el desarrollo tecnológico y la innovación social, justificando el enfoque adoptado en el proyecto.

El Capítulo III detalla el marco metodológico que guía la investigación, definiendo el tipo proyectivo, diseño no experimental y nivel exploratorio adoptados. Se describe la población y muestra seleccionada para la validación social del proyecto, las técnicas e instrumentos de recolección de datos empleados (revisión documental y encuesta), y los procedimientos para garantizar validez y confiabilidad. El capítulo presenta el procedimiento metodológico estructurado en seis fases que van desde el planteamiento inicial hasta la presentación final del robot, y establece las técnicas de análisis de datos cuantitativos y cualitativos utilizadas para procesar la información recopilada.

El Capítulo IV presenta y analiza los resultados obtenidos en función de cada objetivo específico planteado. Para el primer objetivo relacionado con el desarrollo del torso como centro de procesamiento y comunicación, se documentan las decisiones técnicas sobre protocolos de comunicación serial, selección de microcontroladores y configuración de hardware. Para el segundo objetivo sobre implementación de inteligencia artificial, se describen los sistemas de reconocimiento visual mediante MediaPipe Holistic y procesamiento de lenguaje natural con Groq y Llama 3.1 8B, incluyendo las estrategias de optimización mediante procesamiento paralelo. Para

el tercer objetivo sobre diseño antropomórfico e innovación social, se presentan los resultados de la encuesta aplicada a 55 estudiantes, revelando una aceptación extraordinaria del proyecto y validando las decisiones de diseño adoptadas.

El Capítulo V sintetiza las conclusiones derivadas del desarrollo exitoso del torso robótico, organizadas según cada objetivo específico planteado. Se concluye que la arquitectura de comunicación implementada garantiza transmisión eficiente de datos entre subsistemas, que la integración de inteligencia artificial permite procesamiento multimodal en tiempo real con latencias aceptables, y que el diseño antropomórfico facilita la aceptación social del robot. El capítulo propone recomendaciones estructuradas en horizontes temporales (corto, medio y largo plazo) para mejoras técnicas, validación social, documentación y sostenibilidad del proyecto. Finalmente, se proponen líneas futuras de investigación en áreas de inteligencia artificial y aprendizaje automático, percepción y cognición robótica, mecatrónica y control, y ética en robótica social.

El Capítulo VI desarrolla una propuesta de mejora que aborda las limitaciones identificadas en el sistema actual, específicamente la ausencia de memoria persistente y capacidad de procesamiento multiusuario. Se propone implementar un sistema de reconocimiento facial mediante MediaPipe Face Mesh, detección simultánea de múltiples personas, y una base de datos SQLite para almacenamiento de información histórica de usuarios. Esta propuesta, fundamentada técnica y conceptualmente, incluye análisis de factibilidad económica, operativa y legal, junto con un plan de implementación estructurado en cuatro fases. Los indicadores de éxito establecidos permitirán evaluar objetivamente la efectividad de las mejoras implementadas.

Esta tesis representa más que un trabajo académico culminante de grado; constituye una invitación a la comunidad universitaria y regional para reconocer el potencial de la robótica como

herramienta de transformación social. Los resultados aquí presentados demuestran que con determinación, creatividad y aprovechamiento inteligente de recursos disponibles, es posible posicionar a Trujillo en el mapa de la innovación tecnológica venezolana e internacional. El torso robótico Zoé no es un punto de llegada, sino el punto de partida para una nueva era de desarrollo tecnológico en la Universidad Valle del Momboy y la región, estableciendo las bases sobre las cuales futuras generaciones de investigadores construirán soluciones cada vez más sofisticadas y socialmente relevantes.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Diariamente y de manera global hay trabajos prolongados y repetitivos, como son los trabajos de asistente o atención de cara al público, que puede implicar estar varias horas a disposición, teniendo en cuenta trabajos como hospitales donde están abierto las veinticuatro (24) horas, donde los turnos de los trabajadores son largó y demasiado repetitivos. Peor aun cuando hay trabajos que puede suponer algún riesgo para los seres biológicos, si un paciente tiene una enfermedad muy contagiosa puede ser un problema para el personal de salud que trata con los pacientes. Los casos donde el cuidado es a una persona de avanzada edad, al quedarse solo en casa, sean vulnerables a sufrir una emergencia, también existe posibilidades que no se tome el correspondiente o a la hora adecuada, el problema es que suelen requerir un cuidado constante y puede ser más necesario dependiendo del estado de salud (Pinilla Cárdenas et al., 2021).

Además de un cuidado, hay más trabajos donde son peligrosos, anteriormente nombrado el trabajo de ser un personal de salud que corren riesgos de ser contagiados por enfermedades, o quizás trabajos donde hay situaciones, pero ahora tomando en cuenta casos donde las vidas corren riesgo de manera constante. Según EUCA (2023) los riesgos asociados a estos trabajos van desde la inhalación de sustancias tóxicas, atrapamientos, caídas fatales, enfermedades por radiaciones, accidentes eléctricos, quemaduras, pérdida de audición, hasta problemas psicológicos. Los trabajos de este tipo pueden poner en riesgo a vidas humanas, pero en cuanto a robots, una caída solo implicaría pérdidas materiales, o en cambio a el riesgo de un humano a la inhalación de sustancias tóxicas que como indica EUCA, los robots no se verán afectados.

La robótica y la inteligencia artificial (IA) son áreas que a diario experimentan avances, cuando se unen estas dos áreas, crean resultados como robots inteligentes y autónomos para realizar tareas según para que fue creado. Un robot humanoide tiene como finalidad ser más agradable para las personas que otros robots, como puede ser un robot de carga o limpieza, y también ser una opción al momento de elegir entre una persona o un robot para la atención de cara al público o de asistencia a una persona que requiera cuidados, ya que a diferencia de los robots los humanos necesitan horas para descansar de un trabajo.

Desde una persona que necesite cuidados médicos, hasta solamente un adulto mayor que solo requiera asistencia con su teléfono pueden ser repetitivo y agotador para un humano, Pero para los robots, es solo simplemente para lo que están hechos, como es el caso del robot humanoide Pepper de Softbank Robotics, empresa de Japón, que su función es ser agradable a las personas y empatizar con ellas, y ser de servicios como recepción. Pues a los robots no les molestará tener que repetir las mismas cosas una y otra vez, ya que pueden responder de diferentes maneras y cuanta veces se requiera (Rush, 2018).

Visto así, la asistencia de un robot humanoide inteligente, se ve como tareas sencillas y repetitivas, pero su aplicación no se tiene que detener ahí. En casos más peligrosos como el de un peligro real para un humano, puede ser el caso de un riesgo biológico, no será problema alguno para un robot, donde puede cuidar de personas sin riesgo de contagiar a otras, o puede ser manipulado por un profesional de la salud para tratar a los pacientes contagiados, desde una distancia segura, sin correr el riesgo de exponerse, o tenga el problema de que este en otra ubicación donde el viaje sea muy largo, puede tardar mucho tiempo quizás solo para dar un diagnóstico en casa.

Teniendo en cuenta que estos avances tecnológicos sobre los robots, se puede apreciar que son un beneficio a la innovación social y sostenibilidad, cumplen con el propósito de servir a las personas, cuidar a las personas y evitar que se pongan en riesgo sus vidas, estas tecnologías serian de gran aporte social para Venezuela, donde actualmente, en el campo de la robótica se ha quedado algo congelado, o se puede decir que está aún naciendo, ya que la infraestructura de Venezuela no está desarrollada para alcanzar los estándares globales, para desarrollar robots, también tener en cuenta la limitación económica, ya que, muchos componentes para crear un robot, pueden ser costosos y su precio aumenta al ser importados, estos son algunas barreras que se enfrenta actualmente Venezuela para desarrollar robots.

La falta de desarrollo en el campo de la robótica en Venezuela, hace que se pierdan los beneficios sociales, como ayudar a personas discapacitadas, evitar que las personas pongan en riesgo sus vidas al realizar trabajos de alto riesgo, y otros beneficios significativos. La implementación de tecnologías robóticas puede mejorar la eficiencia y seguridad en diversos sectores, aliviando la carga de trabajo en tareas peligrosas o repetitivas y proporcionando asistencia en situaciones críticas. Además, podría potenciar la innovación social, educación y el desarrollo del país, generando nuevas oportunidades de empleo y desarrollo tecnológico. La carencia de inversiones en este campo retrasa el progreso y limita las posibilidades de un mejor bienestar social y económico para los venezolanos.

En Trujillo igual que el resto del país se pierde de la innovación social que implica los robots humanoides, pero en Trujillo está en las primeras etapas sobre el avances de la robótica, lo cual es un momento para impulsar la educación en estas tecnologías, el problema es que si el país de por si tiene problemas al conseguir componentes cruciales para un robot humanoide, en Trujillo que es un estado que apenas está empezando en la robótica, se hace más evidente enorme falta de

componentes en el estado, donde la única manera de hacerse con estos es comprando de manera online, esto también puede elevar el costo por envíos.

Que más que decir que el problema es que se está dejando pasar demasiados beneficios que deja el campo de la robótica, como automatizaciones de procesos en industrias, o beneficios sociales como el robot humanoide. Esto no solo frena el avance tecnológico del estado, sino que también limita las oportunidades de mejora en la calidad de vida y la competitividad en el mercado global. La falta de infraestructura y apoyo local para el desarrollo de la robótica hace que Trujillo dependa en gran medida de recursos externos, lo que ralentiza aún más el desarrollo en este campo. En consecuencia, el potencial de la robótica para transformar sectores clave y proporcionar soluciones innovadoras a problemas locales sigue siendo desaprovechado.

El desarrollo de este robot humanoide se realizará en la Universidad Valle del Momboy (UVM), en la sede de Estovacuy, donde las problemáticas de la región hacen que el desarrollo del robot humanoide se vea afectado, sin embargo, la universidad está apoyando la iniciativa de la robótica, dando oportunidades para llevar a cabo proyecto de robótica para demostrar el potencial del campo en la robótica en la región, en áreas como la industrias, educación e innovación social

En Venezuela, el desarrollo de la robótica enfrenta limitaciones significativas debido a la escasa infraestructura tecnológica y las restricciones económicas, lo que ha relegado este campo a una etapa inicial. Sin embargo, estas dificultades también representan una oportunidad para introducir tecnologías que atiendan necesidades urgentes, como la asistencia en tareas peligrosas o el apoyo en sectores críticos como la salud. Este proyecto propone el diseño de un robot humanoide que pueda mitigar riesgos para los seres humanos, como exposición a enfermedades o labores de alta peligrosidad, ofreciendo una solución práctica y sostenible. De esta manera, se busca aportar al progreso tecnológico nacional y sentar bases para la innovación social en el país.

En el estado Trujillo, la robótica está en sus primeras etapas, marcada por la carencia de recursos tecnológicos y la dificultad para adquirir componentes esenciales, lo que frena su avance. Esta situación resalta la necesidad de impulsar iniciativas locales que no solo superen estas barreras, sino que también promuevan la educación y la aplicación práctica de tecnologías emergentes. El desarrollo de un robot humanoide en esta región pretende abordar problemas específicos, como la asistencia a personas vulnerables o la enseñanza de robótica, fomentando el interés y la capacidad tecnológica local. Así, el proyecto aspira a convertir a Trujillo en un punto de partida para la innovación tecnológica y social en Venezuela.

La Universidad Valle del Momboy se compromete con el desarrollo humano sustentable mediante la integración de conocimientos académicos y la generación de soluciones innovadoras. Este proyecto, centrado en el diseño de un robot humanoide con inteligencia artificial, refleja dicha misión al combinar ingeniería en computación y robótica para responder a necesidades sociales, como la atención a personas o la reducción de riesgos laborales. Al desarrollarse en la UVM, fortalece el rol de la institución como un espacio de formación e innovación, promoviendo el aprendizaje en tecnologías avanzadas y contribuyendo al bienestar de la comunidad. Así, se posiciona como un aporte clave a los objetivos de sostenibilidad y progreso social de la universidad.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Pregunta central

¿Cómo desarrollar un torso para robot humanoide, integrando inteligencia artificial para reconocimiento y capacidad de respuestas del robot, que cumpla con la innovación social, en la Universidad Valle del Momboy?

1.2.2 Preguntas secundarias

¿Cómo desarrollar un torso como centro para la comunicación y procesamiento entre partes del robot, para procesar datos de los sensores y cómo hacer que el robot reaccione a estímulos?

¿Cómo procesar video, imagen y audio de para que el robot pueda reconocer esta información y devolver respuesta al estímulo de datos?

¿Cómo diseñar un torso robótico que cumpla con las características de la innovación social y enfrente los desafíos de desarrollo?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un torso para robot humanoide, integrando inteligencia artificial para reconocimiento y capacidad de respuestas del robot, que cumpla con la innovación social, en la Universidad Valle del Momboy.

1.3.2 Objetivos específicos

Desarrollar un torso como centro para el procesamiento y comunicación entre partes del robot de la cabeza y brazos en el torso, garantizando una transmisión de datos eficiente entre los elementos.

Implementar el uso de inteligencia artificial en el torso humanoide para procesar video, imagen y audio de manera eficiente con la que se pueda brindar una respuesta.

Diseñar un torso humanoide que cumpla con las características de la innovación social y enfrente los desafíos de desarrollo en la Universidad Valle del Momboy.

1.4 Justificación de la Investigación

El desarrollo de un torso para un robot humanoide con capacidades de inteligencia artificial en la Universidad Valle del Momboy constituye una iniciativa de gran relevancia para el avance

tecnológico y la innovación social en el estado Trujillo y en Venezuela. Este proyecto busca superar las limitaciones actuales en el campo de la robótica en el país, donde el desarrollo de tecnologías avanzadas se encuentra en una etapa temprana debido a restricciones económicas, infraestructura y de acceso a componentes. La investigación no solo busca generar un prototipo funcional, sino también sentar las bases para mejorar la calidad de vida, la seguridad y la educación en la región. A continuación, se detallan los aportes que justifican la pertinencia de este estudio desde las perspectivas teórica, práctica, metodológica y social, en concordancia con las líneas y prioridades de investigación de la universidad.

1.4.1 Justificación teórica

Desde un enfoque teórico, este proyecto enriquecerá el conocimiento en el ámbito de la robótica humanoide y la inteligencia artificial, áreas que están transformando la interacción entre máquinas y seres humanos. Y para lograrlo la actual investigación diseña y desarrolla un torso capaz de dar soporte al demás parte una cabeza y dos brazos humanoides de una manera modular, que permita trabajar con múltiples datos sensoriales, el cual para procesar video, imagen y audio se usara la inteligencia artificial de reconocimiento, que van de la mano de componentes claves, como la Raspberry Pi. Este diseño facilitará el desarrollo hasta culminar con el robot humanoide completo, además un diseño modular permitirá explorar la viabilidad y eficiencia de dichas tecnologías en entornos con recursos limitados.

El uso de inteligencia artificial y la robótica es un tema de creciente interés académico. Por lo cual este estudio posibilitará la revisión y adaptación de teorías relacionadas con la robótica social y el procesamiento de datos en tiempo real, integración de herramientas de inteligencia artificial de modelos de lenguaje e inteligencia artificial de modelos de visión, generando conocimiento que podrá servir como base para futuras investigaciones en la Universidad Valle del

Momboy y otras instituciones, abriendo nuevas posibilidades en campos como la robótica asistiva y la inteligencia artificial aplicada.

1.4.2 Justificación Práctica

En términos prácticos, el desarrollo de este robot humanoide ofrece soluciones concretas a problemáticas identificadas en el planteamiento del problema, como la realización de tareas repetitivas o peligrosas que afectan a los seres humanos. En el ámbito de la salud, por ejemplo, el prototipo podría asistir en el cuidado de personas mayores o pacientes con enfermedades contagiosas, disminuyendo la exposición del personal médico a riesgos biológicos y aliviando la carga de trabajo en un contexto de recursos humanos limitados.

En el sector industrial, el robot podría emplearse en actividades que impliquen riesgos como la inhalación de sustancias tóxicas o accidentes eléctricos, reduciendo las pérdidas humanas y optimizando la productividad. Además, su aplicación en la educación, como herramienta para enseñar robótica, fomentará el interés de los estudiantes y mejorando la capacitación en tecnologías posteriores, un aspecto clave para el desarrollo tecnológico de la Universidad Valle del Momboy, Trujillo y Venezuela.

1.4.3 Justificación Tecnológica y metodológica

Desde el punto de vista del ámbito tecnológico, esta investigación propone un enfoque integrador que combina el diseño del torso, la programación de microcontroladores y la implementación de inteligencia artificial para el procesamiento de datos sensoriales. Este proceso requerirá establecer una comunicación eficiente entre sensores y actuadores, así como optimizar la inteligencia artificial para operar en hardware con capacidades limitadas, como la Raspberry Pi.

Complementando, la investigación incorporará el análisis documental como un instrumento esencial para sustentar el desarrollo del robot humanoide. Mediante la revisión

sistemática de fuentes confiables como investigaciones anteriores en robótica, manuales técnicos de microcontroladores y estudios sobre inteligencia artificial, se obtendrá información para optimizar el diseño del torso del robot, la programación de sensores y actuadores, y la implementación de inteligencia artificial. Así, el análisis documental asegurará que el proyecto se desarrolle sobre una base sólida de conocimientos confiables, potenciando su viabilidad y rigor académico en el marco de la Universidad Valle del Momboy.

1.4.4 Justificación Social

Socialmente, este proyecto se enfoca en la búsqueda de la innovación social al ofrecer soluciones tecnológicas que respondan a las necesidades de la comunidad, donde sectores críticos como la salud o trabajos de riesgo necesitan de una mejora, o donde la educación necesita un incentivo, la implementación de un robot humanoide puede marcar una diferencia significativa. Por ejemplo, su capacidad para asistir a adultos mayores o personas con discapacidades aliviará la carga sobre cuidadores humanos, permitiéndoles enfocarse en tareas más especializadas.

Además, al desarrollarse en la Universidad Valle del Momboy, este proyecto incentivará la formación de profesionales en el área de ingeniería en computación, generando oportunidades a nuevas e innovadoras soluciones a problemas sociales, y fortaleciendo el conocimiento tecnológico local. Este avance no solo beneficiará a la población de Trujillo, sino que también posicionará a la universidad como un referente en el desarrollo de soluciones innovadoras.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances

Esta investigación será llevada a cabo en la Universidad Valle del Momboy, en la sede de Estovacuy, Avenida principal de Carvajal, sector La Llanada, Municipio San Rafael de Carvajal.

Estado Trujillo, Venezuela, El tiempo o periodo de estudio establecido es de desde Enero 2025 hasta Noviembre 2025, con una duración de once (11) meses, para cumplir con los objetivos planteados de la investigación, donde es tener el diseño, programación y desarrollo de un robot humanoide, se espera obtener resultados positivos en la programación y uso de inteligencia artificial, para el robot humanoide, cuya parte se encarga el torso que tiene como objetivo unir la inteligencia artificial y al humano de manera física, a través de un robot humanoide inteligente.

Para lograr esto se usará la inteligencia artificial más eficiente y liviana para el rastreo por video en vivo de la cámara de la cabeza, para identificar diversas partes del cuerpo, y de misma manera, se debe recibir audio y con ayuda de inteligencia artificial para lenguaje, ser capaz de responder de manera clara a las preguntas que se hagan, uniendo estas dos se busca tener el resultado final que es hacer un robot humanoide inteligente capaz de atender, cuidar, identificar y supervisar personas.

1.5.2 Limitaciones

Las principales limitaciones del torso, el cual es el encargado de trabajar con inteligencia artificial, es que como mínimo debe contar con un micordenador como la Raspberry pi 4 B o superior en potencia de procesamiento, ya que debe ser capaz de procesar video e inteligencia artificial, aun así, varias pruebas muestran que la Raspberry pi 4 modelo base de cuatro (4) GB de memoria RAM, como lo demuestra Gabriela Solano en su video en el minuto 4:22 donde se percibe que al instalar MediaPipe y ejecutarlo de manera local en la placa, el saltos de fotogramas y un retraso que afectan negativamente, Esto conlleva a gasto más significativos al requerir de un modelo más actual del Raspberry pi, como es el Raspberry pi 5, o tomar otras opciones como insertar una computadora en el torso. Donde se tomarían gastos más altos para la adquisición de una computadora y posiblemente problemas de compatibilidad al armar dicha computadora.

Para la adquisición de una placa de desarrollo Raspberry pi 5, no solo el alto costo de la placa es un problema, ya que la ubicación de donde se lleva a cabo este proyecto, tiene un mercado local cual es escaso de componente de desarrollo, las maneras más factibles de comprarlas, es mediante compras online y recibirla por envíos nacionales, pero esto lleva un costo extra, y en el mercado online local de Venezuela como mercado libre. Para la fecha que en la que se lleva esta investigación la placa de desarrollo Raspberry pi 5 tiene un costo inicial de aproximadamente doscientos dólares (200\$) solo la placa de versión de ocho gigabytes (8GB).

Los fabricantes oficiales y autorizados de Raspberry Pi 5 como Adafruit, proponen un costo inicial de ochenta dólares (80\$) en versión de ocho gigabytes (8GB) que va subiendo a medida que quiera añadir más cosas a la compra o a la placa (Raspberry pi, s.f-a). Sin embargo, no ofrece envíos a Venezuela, lo que deja al proyecto con opciones limitadas: comprar en reventa de terceros, usar servicios de casilleros y envíos, o usar una computadora ya sea dentro o fuera del robot como servidor.

Para otra limitación clave de este proyecto con respecto al torso, es el uso de la IA de lenguaje, esta inteligencia artificial enfocada al procesamiento del lenguaje, requiere múltiples cálculos paralelos que de esto se ocupa la GPU de un computador, también suele necesitar gran cantidad de memoria tanto RAM como ROM para almacenar y manejar datos de entrenamiento. Como una opción muy factible para este proyecto, se puede usar un servicio externo que al proyecto como puede ser Google que ofrece actualmente, un servicio gratuito de una inteligencia artificial en modelo de lenguaje gratis (Google, 2025). Esto quiere decir que las limitaciones de esta inteligencia artificial serán como dicten las políticas que vayan cambiando con el tiempo, y no estaría en nuestras manos. Una posible solución es usar otro servicio posiblemente pago.

Ahora teniendo en cuenta las anteriores limitaciones, hace que la que esta sea una de las principales limitaciones del proyecto, y es el tiempo disponible para su ejecución. El periodo de estudio establecido de once meses, desde enero de 2025 hasta noviembre de 2025, puede resultar insuficiente para abordar todos los aspectos técnicos y de desarrollo necesarios para el diseño, programación y construcción del robot humanoide. La complejidad de integrar la inteligencia artificial en el robot, así como las posibles dificultades en la adquisición de componentes específicos, pueden requerir más tiempo del inicialmente previsto. Además, imprevistos durante las fases de prueba y ajuste podrían retrasar aún más el cronograma establecido, lo cual podría afectar la consecución de los objetivos planteados en la investigación.

1.6 Vinculación con el Proyecto Institucional de Desarrollo Humano Sustentable

Esta investigación para desarrollar un torso de un robot humanoide con inteligencia artificial encaja con la misión de la Universidad Valle del Momboy, de impulsar el desarrollo humano sustentable mediante, áreas de la ingeniería en computación y la robótica, para crear soluciones tecnológicas para ayudar en tareas repetitivas o peligrosas, esta investigación apoya la idea de usar el conocimiento para el bienestar social. La misión habla de integrar capacidades académicas, y el proyecto responde a necesidades reales, además también demuestra como la universidad puede ser un motor en el cambio a través de la innovación, fortaleciendo el compromiso con la comunidad y el desarrollo sostenible.

Además, la visión de la universidad de ser un referente en prácticas sostenibles en la educación superior se ve reflejada en el proyecto, al desarrollar un robot humanoide con inteligencia artificial para mejorar la seguridad y la calidad de vida. Pues el proyecto propone utilizar las soluciones tecnológicas para resolver problemas sociales, utilizando objetivos

estratégicos para lograr cumplir con la innovación social y a su vez buscando motivar a la a los estudiantes a formarse en el área de la robótica en la Universidad Valle del Momboy y en la región.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

El marco teórico es un componente clave en una investigación científica, ya que este establece las bases conceptuales y teóricas que sustentan el estudio. Según Rivera-García (1998), este marco abarca el marco de referencia, que posiciona el problema desde diversas perspectivas para facilitar su análisis, adaptándose al enfoque requerido, como el conceptual, histórico, situacional o legal, entre otros. Así, el marco teórico no solo guía la investigación, sino que también integra conocimientos previos y teorías relevantes, asegurando un abordaje coherente y completo del problema planteado.

2.1 Antecedentes de la investigación

Esta sección de los antecedentes de la investigación constituye un pilar de información esencial para ubicar el estudio dentro del marco actual del conocimiento científico, donde el propósito es explorar otras investigaciones previas en áreas relacionadas con esta investigación, tanto en el entorno nacional como internacional. Todo con el fin de comprender el estado actual de estas áreas, para que proporciones una base sólida sobre la cual se construye el presente trabajo, los antecedentes nacionales ofrecen una vista clara del contexto local, mientras que los internacionales darán una visión más amplia y comparativa del problema abordado. De esta forma, la siguiente exposición de antecedentes busca establecer fundamentos que sustenten y guíe en la investigación

2.1.1 Antecedentes nacionales

En ese ámbito nacional, la investigación en áreas de inteligencia artificial y robótica ha cobrado relevancia en instituciones académicas que suelen buscar soluciones más tecnológicas e innovadoras. Un antecedente importante proviene de la Universidad Valle del Momboy, misma

institución donde se desarrolla esta investigación. En el trabajo de Jerez Moreno (2022) con el título de “Sistema de reconocimiento de imágenes para emitir alertas de seguridad”, explora el uso de la inteligencia artificial para el reconocimiento visual, implementado algoritmos de visión por computadora que permiten procesar e interpretar imágenes en tiempo real. Este enfoque resulta enormemente y directamente relevante para este proyecto actual, ya que el reconocimiento visual en un engranaje para el funcionamiento del robot, permitiendo interactuar con las personas, destacando una conexión clara con el objetivo de esta investigación.

El estudio realizado en la Universidad Valle del Momboy se enfocó en el empleo de redes neuronales convolucionales (CNN) para el reconocimiento de patrones visuales, logrando identificar objetos y rostros con alta precisión. Esta técnica es aplicable al desarrollo del torso de mi robot humanoide, donde el procesamiento de video e imágenes desempeña un papel crucial para dotarlo de capacidades de percepción avanzadas. Además, dicho trabajo abordó desafíos técnicos como la optimización de algoritmos en hardware de bajo costo, utilizando placas de desarrollo como Raspberry Pi, un aspecto que también está enfrentado en este proyecto debido a las limitaciones de procesamiento de datos. Por lo cual, este antecedente no solo ofrece una base metodológica sólida, sino que también demuestra la viabilidad de implementar soluciones de IA en entornos con restricciones similares.

El siguiente antecedente que fue tomado en cuenta es el Carrillo (2021) ofrece un antecedente significativo en el ámbito de la robótica social y la implementación de herramientas de reconocimiento del habla. En su tesis “Diseño de interacción humano-robot para el aprendizaje de las tablas de multiplicación e implementación de los modelos de reconocimiento del habla”, presentada en la Universidad de Los Andes, Carrillo (2021) desarrolló un sistema que permite a

un robot interactuar verbalmente con niños, utilizando modelos de IA como redes neuronales convolucionales (CNN), recurrentes (RNN) y convolucionales recurrentes (CRNN).

Este enfoque resulta relevante para el presente estudio, ya que la herramienta empleada por Carrillo (2021) para el procesamiento de audio sirve como guía metodológica para entrenar el sistema de reconocimiento del habla del robot humanoide propuesto. Además, su énfasis en optimizar la IA en entornos con recursos limitados aporta una perspectiva práctica y adaptable al contexto nacional venezolano.

Además, la contribución de Carrillo (2021) tiene un enfoque en la robótica social, centrándose en interacciones humano-robot como un elemento clave del trabajo, su diseño priorizó una comunicación natural y efectiva con los usuarios infantiles, lo que constituye un referente valioso para el desarrollo de un robot humanoide, que sea capaz de presentar una relación empática con las personas en tareas de asistencia, cuidado o educación. La experiencia de Carrillo (2021) en la creación de un corpus de audio local y su adaptación a hardware básico demuestra que la viabilidad de las soluciones tecnológicas innovadoras en contextos con restricciones, un aspecto que el presente proyecto puede aprovechar para una interacción social más efectiva.

2.1.2 Antecedentes internacionales

El siguiente antecedente es de Bermúdez (2024), presentada en el Congreso Internacional de Mecatrónica Control e Inteligencia Artificial (CIMCIA), da un antecedente significativo para el desarrollo de un robot humanoide con inteligencia artificial con un enfoque en la innovación social. Donde en su artículo “Robot humanoide Chris 5.5 en educación e investigación con visión artificial y reconocimiento facial”, de donde Bermúdez (2024) describe un robot de metro y treinta centímetros (1.30 metros) que integra visión artificial y reconocimiento facial mediante algoritmos como Haar Cascade y AdaBoost, permitiendo el procesamiento de imágenes en tiempo real. En la

presente investigación resulta ser de gran valor, ya que el procesamiento de datos sensoriales visuales es esencial para las interacciones del robot con humanos en el contexto social, y también el uso de hardware accesible como Arduino y Raspberry Pi en Chris 5.5 y su optimización.

Otro aporte relevante del trabajo de Bermúdez (2024) radica en su enfoque educativo basado en la metodología STEAM y la interacción humano-robot. El robot Chris 5.5 se diseñó para motivar a estudiantes en áreas STEM, utilizando manuales y guías que facilitan el aprendizaje práctico (Bermúdez, 2024). Esto se alinea con los objetivos de la tesis de fomentar la educación en robótica y crear aplicaciones sociales, como el cuidado de personas mayores. La experiencia de Bermúdez (2024) en documentar su proyecto para hacerlo accesible a la comunidad académica también proporciona una guía valiosa para estructurar la documentación del torso robótico, asegurando su utilidad más allá del ámbito investigativo.

La tesis de Horna Vilcahuamán (2024) ofrece un marco valioso para el desarrollo de un torso robótico con IA que actúe como intermediario entre cabeza y brazos, integrando procesamiento de datos sensoriales por parte de la cabeza, para responder a los estímulos en interacciones sociales. En su trabajo, titulado “Diseño de un sistema de control avanzado adaptativo para los brazos (4GDL) y cabeza (2GDL) de un robot humanoide para realizar rutinas de movimiento en interacciones sociales con personas”, se modelan las dinámicas de estas estructuras mediante el método Euler-Lagrange y parámetros Denavit-Hartenberg, logrando movimientos coordinados y naturales (Horna Vilcahuamán, 2024).

Este enfoque es clave para el torso, que debe articularse con cabeza y brazos, donde se interpreta las posiciones o trayectoria, para asegurar una transición fluida de movimientos que refleje respuestas coherentes a estímulos externos, como gestos o señales de personas. El enfoque de Horna Vilcahuamán (2024) en la interacción robot-humano destaca en el aspecto social y salud

mental, los movimientos naturales son importante para la cabeza y los brazos, parte donde se ve involucrado el torso que llevara a cabo la comunicación entre cabeza y brazos para que trabajen sin sincronía.

2.2 Base Teórica

Una investigación siempre debe tener una base teórica que sirve como la organización lógica y coherente de teorías, conceptos y evidencias previas a la investigación, por lo cual, sirve como sustento necesario para comprender mejor el problema planteado, Para Rivera-García (1998) la base teórica se construye a partir de información obtenida de fuentes bibliográficas confiables y busca contextualizar el tema dentro de las corrientes de pensamiento existentes, mostrando cómo el trabajo actual se relaciona con ellas o aporta algo nuevo.

2.2.1 Base Teórica de Torso Robótico

2.2.1.1 Robótica.

La ciencia de la robótica es encargada de diseñar, desarrollar, y programar los robots, y para Castillo (2020), se define como una ciencia interdisciplinaria que reúne diversas ramas tecnológicas, con el objetivo de diseñar máquinas capaces de realizar tareas automatizadas o de simular comportamientos humanos o animales, además el campo de la robótica no se centra solamente en la creación de robots físicos, sino también en el desarrollo de sistemas que integran mecánica artificial y componentes electromecánicos. Castillo (2020) también señala que la robótica evolucionó gracias a la incorporación de herramientas de inteligencia artificial, las cuales han mejorado la eficiencia de los robots, como en situaciones donde un robot necesita navegar por entornos no estructurados o nuevos.

La robótica, según Castillo (2020), tiene un impacto significativo en la sociedad actual, extendiendo su utilidad más allá de la manufactura tradicional hacia campos como el uso

doméstico, como son el uso de robots aspiradoras, o la medicina con cirugía asistida, transporte con vehículos autónomos y soluciones empresariales como la automatización. La aplicación de la robótica en diversas áreas demuestra que mejoran la calidad de vida y la eficiencia de los procesos.

Ampliando esta perspectiva, en Hernández Ordoñez et al, (2015) la robótica también se entiende como una técnica que específicamente aplica conocimientos informáticos en el diseño y uso de dispositivos automáticos destinados a sustituir a las personas en la ejecución de diversas operaciones o trabajos, particularmente en entornos industriales. Esta disciplina no se limita a la construcción física, sino que abarca un enfoque integral que incluye el análisis de requerimientos, el modelado matemático del comportamiento del robot, el diseño de estrategias de control para asegurar su funcionamiento y la implementación práctica de estos sistemas en aplicaciones concretas.

En el libro Hernández Ordoñez et al, (2015), también define que la relevancia de la robótica se manifiesta en su capacidad para transformar sectores productivos, como el automotriz o el manufacturero, al introducir tecnologías que optimizan procesos y mejoran la eficiencia operativa. El desarrollo y la aplicación de robots responden a la necesidad de realizar tareas de manera más precisa, segura o rápida, lo que impulsa la innovación y competitividad en diversos campos, desde la industria pesada hasta aplicaciones emergentes en servicios o exploración.

2.2.1.2 Tipos de Robots.

El diseño de cada robot depende de qué problema quiera solucionarse, por lo que un brazo ensamblador no puede limpiar toda una casa y un robot aspiradoras no puede construir un carro, por ello hay muchos tipos de robots para diferentes propósitos, y en el trabajo de Ollero (2001), la clasificación de robots está en robots manipuladores, robots móviles y una derivación de estos dos tipos, con sistemas mecánicos que ayuda desarrollarse en su área, también teniendo en

consideración que Ollero (2001) define que los grados de autonomía definen la clasificación de robots, en robots autónomos y telerrobótica.

2.2.1.2.1 Robots manipuladores.

Los robots manipuladores, según Ollero (2001), se definen como dispositivos programables y multifuncionales diseñados para desplazar materiales, piezas, herramientas o dispositivos mediante movimientos variados y previamente programados, orientados a la ejecución de diversas tareas. En el contexto industrial, Ollero (2001) define que estos robots suelen adoptar la forma de brazos articulados, siendo su principal característica la capacidad de adaptarse a diferentes funciones gracias a la flexibilidad que ofrece su programación. Esta versatilidad los distingue de equipos automatizados tradicionales, ya que no están limitados a una sola operación, sino que pueden ajustarse para realizar tareas complejas mediante el control por software, lo que implica una mayor capacidad de respuesta y adaptación.

Siguiendo la estandarización internacional, un robot manipulador industrial se describe formalmente como una máquina con capacidad de manipulación que posee varios grados de libertad, es controlada automáticamente, puede ser reprogramada para distintos usos y puede operar desde una posición fija o móvil dentro de aplicaciones industriales (Hernández Ordoñez et al., 2015, citando ISO 8373:2012). Estos sistemas robóticos son reconocidos por su impacto significativo en la transformación de industrias como la manufacturera y automotriz, gracias a su contribución en la mejora de la productividad y la eficiencia operativa.

La estructura física de un robot manipulador se compone de un conjunto de elementos rígidos interconectados, denominados eslabones, unidos mediante articulaciones que permiten el movimiento relativo entre ellos (Hernández Ordoñez et al., 2015). Principalmente, estas articulaciones son de tipo rotacional, permitiendo giros, o prismáticas, que facilitan

desplazamientos lineales, y la combinación de estas define la configuración y el espacio de trabajo del robot. El número de movimientos independientes que el robot puede realizar, tanto en posición como en orientación, se conoce como sus grados de libertad.

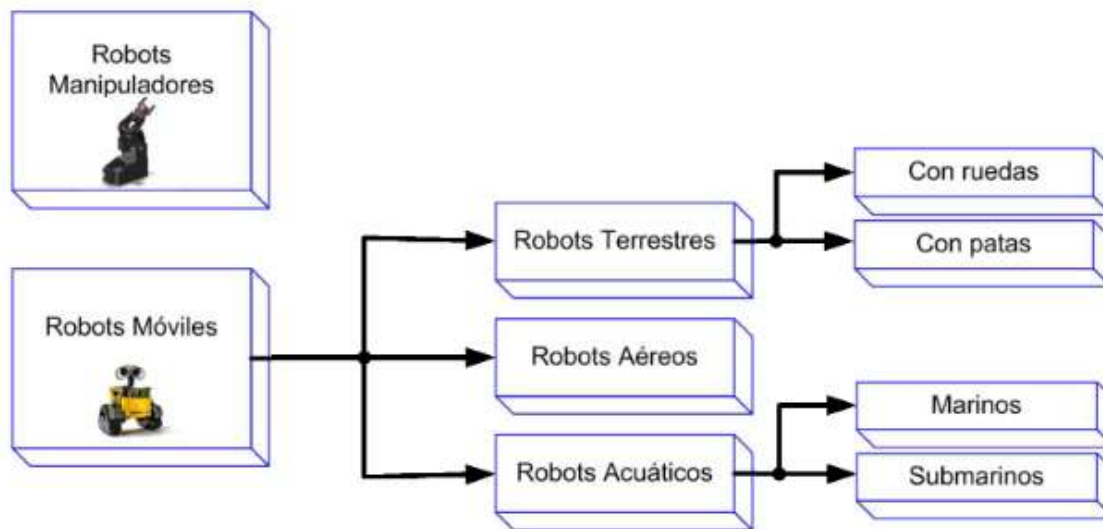
2.2.1.2.2 Robots móviles.

A diferencia de los manipuladores que operan desde una base fija, los robots móviles se distinguen fundamentalmente por no estar anclados, poseyendo la capacidad de desplazarse por diversos entornos como el terreno, el agua e incluso el aire (Ollero, 2001). y para Hernández Ordoñez et al. (2015) El desarrollo de esta categoría de robots surge de la necesidad de extender las aplicaciones de la robótica más allá del alcance limitado de una estructura fija, permitiendo realizar tareas en áreas extensas, de difícil acceso o en condiciones peligrosas. Uno de los aspectos cruciales y definatorios de la robótica móvil es la navegación, que engloba las capacidades del robot para determinar su posición, planificar rutas y moverse de forma autónoma o semiautónoma dentro de su espacio operativo (Ollero, 2001).

La clasificación de los robots móviles suele basarse en su sistema de locomoción y el medio en el que operan, abarcando desde vehículos terrestres con ruedas o patas, hasta robots aéreos como los drones y acuáticos como marinos o submarinos (Ver Figura 1) (Hernández Ordoñez et al. 2015). Mientras que los robots móviles con ruedas son frecuentemente implementados en entornos industriales y logísticos para el transporte de materiales, otras configuraciones se destinan a tareas de exploración, inspección, agricultura, minería, construcción o vigilancia en entornos no estructurados o remotos (Hernández Ordoñez et al., 2015; Ollero, 2001). Un objetivo transversal en el avance de la robótica móvil es incrementar su grado de autonomía, permitiéndoles tomar decisiones y reaccionar ante imprevistos con una mínima intervención humana (Ollero, 2001).

Figura 1

Clasificación de robots.



Nota. Adaptada de Robótica: Análisis, modelado, control e implementación (p.34), Hernández Ordoñez et al, 2015, OmniaScience.

La robótica móvil considerada un área tecnológica avanzada que integra varias disciplinas, como el control, la inteligencia artificial y la percepción para resolver problemas complejos (Bermúdez, 2002). Un robot móvil típicamente usa un sistema mecánico para la locomoción, un sistema sensorial que le permite recibir información interna (propioceptiva) y del entorno (exteroceptiva), un sistema de control encargado de procesar la información y tomar decisiones, y un sistema de alimentación. Bermúdez (2002) resalta dos propiedades clave: la versatilidad para ejecutar distintas tareas o modificar su ejecución, y la autoadaptabilidad para cumplir objetivos a pesar de imprevistos, apoyándose en sus capacidades sensoriales.

El diseño del sistema de locomoción es fundamental, afectando directamente la movilidad, estabilidad y requerimientos energéticos del robot. Bermúdez (2002) describe varias configuraciones comunes como la diferencial tipo oruga, la tipo automóvil, la de triciclo y la omnidireccional, cada una adaptada a diferentes necesidades de desplazamiento y

maniobrabilidad. Un reto central en este campo es la consecución de la autonomía, permitiendo que los robots operen independientemente. Esto implica abordar los problemas esenciales de la navegación autónoma: la localización para saber dónde se encuentra el robot, la planificación de tareas para definir qué debe hacer y la planificación de movimientos para determinar cómo ir de un punto a otro de forma segura y eficiente (Bermúdez, 2002).

2.2.1.2.3 Robots Humanoides.

El concepto de robot humanoide, como lo describe Flores (2008), se fundamenta en una estructura cinemática diseñada para ser similar a la del cuerpo humano, de ahí su denominación. Esta similitud estructural a la del humano alimenta la expectativa de que estos robots puedan ejecutar una variedad de actividades, similar a las que realizan las personas. El robot humanoide representa la meta más compleja y completa de la robótica, aspirando a imitar de la forma más cercana posible, no solo en el movimiento, sino también en el comportamiento y las capacidades humanas, incluyendo la inteligencia y la interacción social (Flore, 2008).

La arquitectura mecánica de un humanoide busca replicar la anatomía humana, que típicamente incluye cuatro miembros principales, dos brazos y dos piernas; un torso y una cabeza. Flores (2008) señala que cada miembro humano posee 7 grados de libertad (DOF/GDL) distribuidos en articulaciones esféricas (hombros, muñecas, cadera, tobillos) y rotaciones simples (codos, rodillas), sumando junto con el torso y la cabeza, un total de 34 DOF en el sistema motor humano, cifra que los robots humanoides intentan aproximarse. Generalmente, los robots humanoides son bípedos, inspirados en el para imitar el movimiento de una persona al moverse, aunque también existe diseños con bases móviles con ruedas en la parte inferior (Flores, 2008).

El desarrollo de robots humanoides enfrenta retos significativos. Uno de los desafíos más grandes es lograr que el robot se desplace y mantenga el equilibrio de forma estable en ambientes

no estructurados, es una tarea compleja para sistemas bípedos (Flores, 2008). La coordinación y sintonización precisa de la gran cantidad de motores que accionan su compleja estructura mecánica accionan la compleja estructura mecánica son cruciales para el balance y movimiento fluido. Según Flores (2008), gran parte del esfuerzo investigador se centra precisamente en perfeccionar la locomoción bípeda y en la mejora de la interacción y comunicación entre el robot y el humano.

El diseño antropomórfico de los robots humanoides no es solo estético, facilita la aceptación y colaboración en entornos compartidos con personas (Flores, 2008). Una ventaja fundamental que Flores (2008) destaca es el potencial para utilizar herramientas, dispositivos y sistemas previamente diseñados para el uso humano, desde herramientas manuales como el martillo o el destornillador hasta la conducción de un vehículo, los que amplía enormemente sus aplicaciones en casos prácticos de la vida diaria y en entornos laborales.

Entre las aplicaciones prevista para los robots humanoides se encuentran áreas de gran impacto social. Flores (2008) menciona específicamente la asistencia a personas mayores o con discapacidades, donde podrían actuar como acompañantes, ayudar con la medicación, monitorizar signos vitales o facilitar el acceso a la información. También se utilizan para tareas de seguridad y vigilancia, aprovechando sus sensores para patrullar, detectar situaciones anómalas y alertar a las autoridades correspondientes. La capacidad de interactuar con el entorno y con los humanos lo posiciona como futuros asistentes personales versátiles (Flores, 2008).

2.2.1.2.4 Robots de Teleoperación.

Dentro de la clasificación que se basa en grados de autonomía, Ollero (2001) describe los robots teleoperados como aquellos sistemas donde las funciones complejas de percepción del entorno, planificación y manipulación son realizadas directamente por un operador humano. En estos sistemas, una persona actúa en tiempo real recibiendo a través de sensores información como

imágenes para mejorar la interacción con el entorno. Son particularmente útiles para tareas en localizaciones de difícil acceso, entornos peligrosos o contaminados, y en trabajos no estructurados que son complejos de automatizar por completo, como algunas operaciones de construcción o mantenimiento (Ollero, 2001).

2.2.1.2.5 Robots autónomos.

Los robots autónomos o inteligentes representan el nivel más tecnológico en cuanto a procesamiento de información, caracterizándose por su capacidad de operar con una intervención humana mínima o inexistente (Ollero, 2001). Estas máquinas pueden percibir su entorno, planificar secuencias de acciones y ejecutarlas para alcanzar objetivos definidos. Según Ollero (2001), una de sus principales ventajas es la habilidad para funcionar en entornos estructurados o poco estructurados y dinámicos, adaptando su comportamiento en respuestas a el entorno y variaciones, sin limitarse a tareas repetitivas y predecibles.

2.2.1.3 Grados de libertad.

Los grados de libertad (GDL) en robótica constituyen un concepto fundamental que define la capacidad de un robot para moverse y ejecutar tareas en su entorno (Peña García, 2024). Se refieren específicamente al número de movimientos independientes que el robot puede realizar, donde cada articulación o eje controlable añade un grado de libertad, permitiendo al robot llegar a desplazarse y orientarse en diferentes direcciones y posiciones. Entender los GDL, según Peña García (2024), es esencial para el diseño de robots eficientes y versátiles capaces de operar en entornos complejos.

La cantidad de grados de libertad de un robot determina directamente su maniobrabilidad, flexibilidad espacial y, en consecuencia, su funcionalidad y versatilidad para distintas aplicaciones (Peña García, 2024). Una mayor cantidad de GDL generalmente se traduce en una capacidad

mayor para realizar movimientos complejos y precisos, interactuar de manera más compleja con el entorno y adaptarse a diferentes configuraciones. Por ello, como indica Peña García (2024), la optimización de los grados de libertad es un factor clave en el desarrollo de robots más sofisticados y eficientes para una amplia gama de tareas, desde la manufactura hasta la exploración.

2.2.1.4 Microcontroladores y circuitos integrados.

Los microcontroladores son circuitos integrados que operan como computadoras completas contenidas en un único chip (Kerschbaumer, 2013). Su característica distintiva es la integración interna de todos los componentes fundamentales para su funcionamiento, incluyendo no solo la unidad central de procesamiento (CPU), sino que también memorias como Random Access Memory (RAM), memoria de computadora electrónico no volátil (FLASH) y Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM), una variedad de memorias que son esenciales para el funcionamiento de un computador, temporizadores, contadores, puertos de entrada/salida, y comúnmente periféricos como convertidores analógico-digital y puestos de comunicación serial.

Esto les diferencia de los microprocesadores, los cuales requieren componentes externos como memorias y circuitos de E/S para conformar un sistema funcional (Kerschbaumer, 2013). Esta alta integración hace que los microcontroladores tengan ventajas significativas en el desarrollo de proyectos, como la reducción del número de componentes externos necesarios, lo que simplifica el diseño de las placas de circuitos impresos y disminuye los costos de producción y ensamblaje (Kerschbaumer, 2013). Además, los microcontroladores son extremadamente versátiles, ya que su comportamiento y función dependen del software que se les programe. Kerschbaumer (2013) señala que esta capacidad de programar, les permite que un mismo dispositivo de hardware pueda ser utilizado en una infinidad de aplicaciones distintas mediante la

modificación de su programa, facilitando también las actualizaciones de funcionalidades en productos existentes.

2.2.1.4.1 ESP32.

El ESP32-WROOM-32 es un módulo MCU (Microcontroller Unit) genérico y potente que integra conectividad Wi-Fi (compatible con 802.11 b/g/n), Bluetooth clásico (v4.2 BR/EDR) y Bluetooth de baja energía (Bluetooth LE), desarrollado por Espressif Systems (2023). Está diseñado para una amplia gama de aplicaciones, abarcando desde redes de sensores de bajo consumo hasta tareas más exigentes como codificación de voz, transmisión de música o decodificación de MP3. En su núcleo se encuentra el chip ESP32-D0WDQ6, caracterizado por ser escalable y adaptable, lo que le permite ajustarse a diversas necesidades de procesamiento y conectividad (Espressif Systems, 2023).

Este módulo está basado en dos núcleos de CPU Xtensa® LX6 de 32 bits y bajo consumo, los cuales pueden ser controlados individualmente y cuya frecuencia de reloj es ajustable entre 80 MHz y 240 MHz (Espressif Systems, 2023). Adicionalmente, cuenta con un coprocesador de ultra bajo consumo destinado a tareas que no requieren gran capacidad de cómputo, como la monitorización de periféricos, permitiendo así ahorrar energía. El ESP32-WROOM-32 integra diversas memorias internas, incluyendo ROM para el arranque y funciones esenciales, SRAM principal para datos e instrucciones y SRAM en el RTC, además de una memoria Flash SPI de 4 MB conectada internamente a los pines GPIO 6 al 11, y un oscilador de cristal de 40 MHz (Espressif Systems, 2023).

La combinación de Wi-Fi y Bluetooth/LE en el ESP32-WROOM-32 le da una gran versatilidad: Wi-Fi para conexiones de largo alcance y acceso directo a Internet vía router, y Bluetooth para conexiones convenientes con dispositivos móviles o para actuar como baliza de

baja energía, según Espressif Systems (2023). Su bajo consumo en modo de suspensión (inferior a 5 μ A) lo hace idóneo para aplicaciones alimentadas por batería. El módulo también incorpora un amplio conjunto de periféricos, como sensores táctiles capacitivos, interfaces para tarjeta SD, Ethernet (vía MAC), SPI de alta velocidad, UART, I2S, I2C, ADC y DAC, entre otros, y soporta el sistema operativo freeRTOS y actualizaciones seguras por aire (OTA) (Espressif Systems, 2023).

2.2.1.4.2 Raspberry Pi 4.

La Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B) representa una nueva generación de computadoras de placa única, ofreciendo mejoras significativas en rendimiento de CPU, GPU y E/S respecto a modelos anteriores, manteniendo un factor de forma y costo similar (Raspberry Pi (Trading) Ltd, 2024). Está impulsada por un procesador Broadcom BCM2711, que contiene un ARM Cortex-A72 de cuatro núcleos y 64 bits funcionando a 1.5 GHz, y está disponible con opciones de memoria RAM LPDDR4 de 1, 2, 4 u 8 GB. En el apartado multimedia, soporta decodificación por hardware de H.265 (hasta 4Kp60) y H.264 (hasta 1080p60), cuenta con gráficos 3D VideoCore VI y dispone de dos puertos micro-HDMI capaces de manejar pantallas duales con resolución de hasta 4Kp60 (Raspberry Pi (Trading) Ltd, 2024).

En cuanto a conectividad e interfaces, la Pi4B incluye un puerto Gigabit Ethernet, Wi-Fi de doble banda 802.11ac y Bluetooth 5.0 con soporte BLE (Raspberry Pi (Trading) Ltd, 2024). Sus interfaces físicas comprenden dos puertos USB 3.0, dos puertos USB 2.0, una ranura para tarjeta SD, conectores MIPI DSI para pantalla y MIPI CSI para cámara, y el característico cabezal GPIO de 40 pines. Este último, compatible con placas anteriores, ofrece 28 pines de propósito general configurables para diversas funciones como UART, I2C y SPI. La placa requiere una

fuentes de alimentación USB-C de 5V y 3A, y opera sobre la arquitectura ARMv8 con un maduro ecosistema de software basado en Linux (Raspberry Pi (Trading) Ltd, 2024).

2.2.1.4.3 PCA9685.

El circuito integrado PCA9685 es un módulo que se puede implementar a los microcontroladores en el cual se encarga ampliar la señal de pulso de ancho de banda (PWM) (Isaac, s.f.), la PCA9685 se comunica a través del protocolo I2C con el microcontrolador, dicho módulo se tiene que asignar una dirección la cual por predeterminado es 0x40 (01000000), al cerrar alguno de los pines A5 al A0 de la placa, se cambia la dirección I2C transformando cada uno de los pines a un valor alto en binario. La característica de comunicación y cambio de dirección I2C permite conectarse en bus con más módulos PCA9685, hasta un máximo de 62 módulos, dando un total de 992 salidas PWM a cambio de solo los dos pines I2C del microcontrolador.

2.2.1.5 Inteligencia Artificial (IA).

La Inteligencia Artificial (IA), según Caiafa y Lew (2020), puede definirse fundamentalmente como la capacidad de las máquinas para tomar decisiones consideradas óptimas en algún sentido, como por ejemplo, aquellas que minimizan la probabilidad de error. Un objetivo central de la IA es diseñar sistemas que no solo tomen decisiones, sino que también puedan "aprender" a partir de datos, ya sean ejemplos suministrados o mediciones directas de su entorno, de manera análoga a como los humanos y otros seres vivos aprenden a través de la experiencia e interacción ambiental. Históricamente, la idea de que las máquinas pudieran imitar e incluso superar las habilidades intelectuales humanas surgió a mediados del siglo XX con la aparición de las primeras computadoras (Caiafa & Lew, 2020).

Las bases matemáticas de la IA se apoyan fuertemente en la estadística y la teoría de probabilidades, herramientas que permiten modelar la incertidumbre y la variabilidad inherentes

al mundo real (Caiafa & Lew, 2020). Incluso antes de la era de la computación, métodos como el discriminante línea de Fisher de 1936, diseñado para clasificar muestras biológicas, dieron precedentes para lo que hoy conocemos como aprendizaje supervisado, donde un sistema aprende a clasificar a partir de ejemplos etiquetados, inspirados en la neurobiología, surgieron modelos como el Perceptrón de Rosenblatt (1957), basado en el modelo neuronal de McCulloch-Pitts, que introdujo algoritmos iterativos para "entrenar" neuronas artificiales capaces de realizar clasificaciones lineales (Caiafa & Lew, 2020).

El desarrollo moderno de la IA ha sido impulsado significativamente por el auge de las redes neuronales artificiales multicapa y, más recientemente, por el Deep Learning (Aprendizaje Profundo), posible gracias a la disponibilidad masiva de datos y al hardware de cómputo paralelo como las GPUs (Caiafa & Lew, 2020). Las redes neuronales profundas, con decenas o cientos de capas, tienen la capacidad de aprender representaciones jerárquicas de los datos; por ejemplo, en el procesamiento de imágenes, las capas iniciales detectan patrones simples (bordes, texturas) y las capas posteriores combinan estos para identificar objetos complejos como rostros. Según Caiafa y Lew (2020), áreas clave del Deep Learning incluyen las Redes Convolucionales (CNNs) para visión artificial, las Redes Generativas Adversariales (GANs) capaces de crear datos sintéticos realistas, y el Aprendizaje por Refuerzo, donde sistemas como AlphaZero aprenden estrategias complejas jugando contra sí mismos.

2.2.1.6 Procesamiento.

El procesamiento constituye una función primordial en el ámbito de la computación, funcionando como el "cerebro" del computador. Su rol principal es la asignación y ejecución de tareas, así como la gestión de las operaciones en diversos sistemas informáticos (Powell, 2024).

La capacidad de procesamiento es lo que permite a los ordenadores realizar actividades multitarea (Powell, 2024).

2.2.1.6.1 CPU.

En esencia, la CPU, o Unidad Central de Procesamiento, es el microprocesador encargado de procesar las instrucciones de los programas (Rodríguez, 2023) En el corazón de la mayoría de los sistemas se encuentra la Unidad Central de Procesamiento, o CPU, un microprocesador que interpreta y ejecuta las instrucciones de software. La CPU es vital para coordinar las acciones de otros componentes del ordenador y llevar a cabo las operaciones necesarias (Rodríguez, 2023). Su funcionamiento se basa en un ciclo constante que, bajo la dirección de la unidad de control y la sincronización del reloj interno del sistema, recupera datos, descodifica instrucciones binarias y las ejecuta (Powell, 2024).

Internamente, una CPU moderna se compone de varias unidades especializadas. La unidad de control (CU) dirige el flujo de información, mientras que la unidad aritmético-lógica (ALU) se dedica a las operaciones matemáticas y lógicas. Para agilizar el acceso a datos e instrucciones de uso frecuente, la CPU cuenta con una memoria caché de alta velocidad, lo que contribuye a mejorar el rendimiento general (Rodríguez, 2023). La ALU, en particular, es responsable de todas las operaciones aritméticas y comparaciones lógicas (Powell, 2024).

La variedad de CPUs disponibles a menudo se distingue por el número de núcleos que integran. Un núcleo representa una unidad de procesamiento capaz de leer y ejecutar instrucciones de programas. Mientras que los procesadores mononúcleo procesan instrucciones de forma secuencial, los procesadores multinúcleo, que pueden tener dos, cuatro, ocho o incluso diez núcleos, están diseñados para manejar múltiples hilos de instrucciones simultáneamente, lo que resulta en una velocidad de procesamiento significativamente mayor (Powell, 2024). Además de

estas configuraciones, existen procesadores integrados, microprocesadores optimizados para sistemas embebidos, donde el bajo consumo de energía y el acceso rápido a datos son prioritarios (Powell, 2024).

Con el avance de la tecnología y la aparición de cargas de trabajo más complejas, especialmente en campos como el de los gráficos avanzados y la inteligencia artificial, han surgido unidades de procesamiento especializadas para complementar o, en ciertos escenarios, superar la eficiencia de las CPUs en tareas específicas (Powell, 2024). Entre estas se destacan la GPU, la TPU y la NPU, cada una diseñada para un tipo particular de aplicación (Rodríguez, 2023).

2.2.1.6.2 GPU.

La GPU (Unidad de Procesamiento Gráfico) se especializa en el manejo de gráficos, videos y animaciones. Su diseño se orienta a la ejecución eficiente de numerosas operaciones en paralelo, lo cual es fundamental para aplicaciones gráficamente intensivas como los videojuegos o el modelado 3D (Rodríguez, 2023). Las GPUs actuales no solo se limitan a gráficos, sino que también se utilizan en tareas como el entrenamiento de redes neuronales y la minería de criptomonedas, gracias a su arquitectura paralela (Powell, 2024). Su eficacia en el aprendizaje profundo radica en su capacidad para acelerar las operaciones matriciales, que son habituales en los algoritmos de esta área, superando en este aspecto a las CPUs (Rodríguez, 2023).

2.2.1.6.3 TPU.

Para las demandas específicas de la inteligencia artificial, Google desarrolló la TPU (Unidad de Procesamiento de Tensores). Este procesador está altamente optimizado para realizar operaciones matemáticas en grandes conjuntos de datos de forma paralela, siendo ideal para tareas que implican un gran volumen de multiplicaciones de matrices, comunes en el reconocimiento de voz, imágenes y la traducción automática (Rodríguez, 2023). Las TPUs se destacan en el

procesamiento de operaciones tensoriales, fundamentales para la construcción y ejecución de modelos de aprendizaje profundo (Rodríguez, 2023). Suelen ser muy eficientes energéticamente y ofrecen un rendimiento sobresaliente en sus aplicaciones específicas (Rodríguez, 2023).

2.2.1.6.4 NPU.

Finalmente, la NPU (Unidad de Procesamiento Neural) está especialmente diseñada para acelerar el procesamiento de redes neuronales profundas (Rodríguez, 2023). Permiten la ejecución más eficiente de modelos de IA en comparación con las CPUs o GPUs (Rodríguez, 2023). Las NPUs son cruciales en aplicaciones de inteligencia artificial que requieren procesar grandes cantidades de datos en tiempo real, como la conducción autónoma o la videovigilancia (Rodríguez, 2023). Su diseño se centra en el procesamiento de redes neuronales profundas, manejando grandes volúmenes de datos y operaciones matriciales en paralelo para tareas como el procesamiento de imágenes y el reconocimiento de voz (Rodríguez, 2023). Aunque diseñadas para el aprendizaje profundo al igual que las TPUs, las NPUs pueden ser menos eficientes en energía, pero ofrecen una gran versatilidad en diversas aplicaciones de IA (Rodríguez, 2023).

2.2.1.7 Modelado 3D.

Para crear un objeto con una impresora 3D, el proceso comienza con el diseño del modelo en un software de diseño asistido por computadora (CAD), puede ser usarse varios softwares gratuitos o de paga, más comunes son autoCAD, Blender y FreeCAD. Funcionan generando una representación matemática en el plano tridimensional donde cada vértice tiene su coordenada en el plano, luego las aristas que son uniones entre dos vértices, luego lo más visible se encuentran las caras que están conformadas por múltiples aristas creando polígonos que agrupadas se le conoce como mallas. Angel Saavedra (2023) no explica que, para que esto sea visible desde una pantalla que

emite solamente imágenes 2D, se usa el proceso de renderizado para calcular la perspectiva de diferentes puntos de vistas.

El modelado 3D ayuda a crear múltiples diseños ya sea ya hechos o creando desde 0, permitiendo previsualizar todos juntos para detectar posibles fallos de apariencia o función, sin tener que tener que gastar tiempo en hacerlo físico, y ya con todo aprobado ese mismo objeto 3D puede ser impreso en 3D.

2.2.1.8 Impresión 3D.

La impresión 3D es una tecnología que se usa para pasar de un modelo 3D a un objeto físico, Según Sebastián Vidal (2023), la impresión 3D ha revolucionado el diseño y la fabricación de objetos, esta tecnología automatizada permite crear piezas tridimensionales con precisión y detalle. Podemos encontrar varios tipos de impresión 3D los cuales son:

- Deposición de material fundido (FDM) calienta y extruye un filamento termoplástico para construir el objeto capa por capa.
- Estereolitografía (SLA) utiliza un láser para solidificar una resina líquida fotosensible.
- Sinterizado selectivo por láser (SLS), que emplea un láser para fusionar partículas de un polvo de material. Estos diferentes métodos permiten utilizar una amplia variedad de materiales, desde plásticos hasta metales y cerámicas

Profundizando con la más común la impresora FDM, tiene también varios tipos cuales son Impresoras 3D Cartesianas, Impresora 3D Delta, Impresora 3D Polar y Brazos robóticos. Pero todas cumplen con una cama o placa que donde se imprime donde esta se llega a calentar para que se fije el filamento, una o varias bobinas de filamento termoplásticos que se usa para la impresión y un extrusor para realizar la impresión.

El diseño de un modelo 3D antes de imprimir, se exporta en formato STL y se carga en un software de impresión 3D para configurar los parámetros, como la orientación y la densidad. Una vez que se inicia el proceso, la impresora deposita el material capa por capa hasta que el objeto está completo. Para Sebastián Vidal (2023) los avances en la impresión 3D han mejorado la precisión y la calidad de las impresiones, lo que ha tenido un impacto significativo en la industria, permitiendo la creación de prototipos más precisos y la fabricación de objetos complejos.

Cada tipo de impresora trabaja con un material diferente y se debe saber elegir el material según que propiedades debe tener objeto que se va a imprimir, para impresora como la FDM se usan filamentos de diversos materiales, pero los más comunes son:

- PLA (ácido poliláctico): con las principales características de ser biodegradable y además ser fácil de usar, resiste bien a los impactos, pero con desventajas como ser muy poco flexible.
- ABS (acrilonitrilo butadieno estireno): sus características son su resistencia y durabilidad para aplicaciones más exigentes, gracias a su resistencia al calor y químicos, pero es más difícil de imprimir y además se tiene que contar con una cama de impresión más caliente.
- PETG (tereftalato de polietileno glicol): Un intermedio entre los dos anteriores donde se caracteriza por su resistencia, durabilidad como del ABS y facilidad de impresión PLA.

2.2.1.9 Simulación 3D.

La simulación es la ejecución que pretende imitar el comportamiento real, pero de manera virtualizada, donde se busca predecir funcionamientos antes de ser ejecutados, esta herramienta es bastante útil ya que permite ahorrar tiempo y realizar cambios de ser necesario, antes de crear una

producción en masa. La simulación se lleva a cabo de softwares como Inventor, MSPhysics o SolidWorks, donde se utiliza un modelado 3D y se le da propiedades de materiales que deseamos para crear una resistencia a calor, durabilidad a golpes, elasticidad y flexibilidad que queremos para llevarlo lo más cerca al mundo real. Estos programas usan un motor de física que les permite hacer dichas simulaciones para semejar a la real. Mesh (2025), dice que el objetivo es predecir comportamientos o reacciones no deseadas, es posible imaginar y visualizar físicas.

2.2.2 Innovación social

La innovación social se fundamenta a la innovación en la creación de productos y resultados sociales que buscan satisfacer necesidades sociales, independientemente del sector económico de donde se originen (Murray et al., 2008). No se limita, por tanto, al llamado tercer sector o a las organizaciones sin fines de lucro, sino que puede surgir y tener impacto en la interacción y dentro de los cuatro ámbitos principales de la economía: el estado, el mercado, la economía de donaciones y la economía doméstica o de los hogares. Su relevancia ha crecido notablemente como respuesta a desafíos. Su relevancia ha crecido notablemente como respuesta a desafíos complejos y multifacéticos como el cambio climático, las enfermedades crónicas o la desigualdad que trascienden las fronteras sectoriales y geográficas, y para los cuales las soluciones tradicionales, ya sean puramente estatales o de mercado, han demostrado ser insuficientes (Murray et al., 2008).

El impulso hacia la innovación social proviene frecuentemente de la necesidad de abordar demandas sociales y ambientales, cuyos costos proyectados representan una carga insostenible para los presupuestos públicos y privados, incentivando hacia la búsqueda de soluciones más efectivas, a menudo enfocándose a la prevención (Murray et al., 2008). Murray (2008) también señala que la innovación social nace de la falta de alineación entre estructuras e instituciones

heredadas de épocas anteriores y las exigencias de nuevos métodos tecnológicos y culturales, tales como las redes distribuidas, la personalización de servicios y una mayor valoración de la dimensión humana y relaciones interpersonales. Además, es característico de la innovación social que, al proponer nuevas formas de satisfacer necesidades o resolver problemas, a menudo desafíe las relaciones de poder existentes, pudiendo generar tensiones y conflictos con el orden establecido al cuestionar métodos o estructuras tradicionales.

El proceso mediante el cual se desarrolla la innovación social abarca diversas etapas, que no siempre son secuenciales y pueden incluir retroalimentaciones, como el diagnóstico profundo de los problemas (yendo del síntoma a la causa), la generación y diseño de soluciones (a menudo mediante co-creación), la experimentación y prototipado (prueba y error), la búsqueda de modelos para la sostenibilidad (financiera u organizacional), la difusión y conexión de iniciativas (que implica adaptación al contexto y aprendizaje mutuo, más allá del simple escalado lineal) y, en última instancia, la contribución a un cambio sistémico más amplio (Murray et al., 2008).

Los ejemplos de innovación social son muy variados e incluyen desde nuevas formas de mutualismo y colaboración entre pares (como el software de código abierto o redes de apoyo ciudadano), pasando por empresas sociales que operan en el mercado con una misión primordialmente social, hasta transformaciones en servicios públicos impulsadas por la participación ciudadana o la autogestión de pacientes (Murray et al., 2008).

2.2.2.1 Tecnología en la innovación social

La tecnología se ha consolidado como una herramienta integral en la vida contemporánea y un potente catalizador para impulsar la innovación social, abordando desafíos globales apremiantes (FasterCapital, 2024). Su rol fundamental está en su capacidad para superar barreras tradicionales, particularmente las geográficas, mediante el fomento de la conectividad y la

colaboración. Plataformas digitales, redes sociales y herramientas de colaboración virtual permiten conectar instantáneamente a individuos, comunidades y organizaciones de diversos sectores alrededor del mundo, facilitando el intercambio de ideas, la movilización social y el trabajo conjunto hacia objetivos comunes, independientemente de la ubicación física (FasterCapital, 2024).

El impacto transformador de la tecnología en la innovación social se evidencia en múltiples áreas clave. FasterCapital (2024) destaca cómo ha democratizado el acceso a la educación mediante plataformas en línea y herramientas interactivas, personalizando el aprendizaje; ha mejorado la accesibilidad y calidad de la atención médica a través de la telemedicina, los registros electrónicos, la IA para diagnósticos más precisos y los dispositivos wearables para el autocuidado; y ha promovido el desarrollo sostenible con soluciones para energías renovables, agricultura de precisión, gestión eficiente de residuos y recursos hídricos, y el desarrollo de ciudades inteligentes. Además, la tecnología actúa como un "igualador" al empoderar a comunidades marginadas, amplificando sus voces y creando nuevas oportunidades económicas y de conexión social (FasterCapital, 2024).

Sin embargo, para aprovechar plenamente el potencial de la tecnología en la innovación social, se requiere un enfoque colaborativo que involucre a desarrolladores, emprendedores sociales, formuladores de políticas y las propias comunidades (FasterCapital, 2024). Es importante entender que la tecnología es una herramienta, debe complementarse con cambios en políticas, participación comunitaria y otras estrategias sociales, no siendo una solución única por sí misma. FasterCapital (2024) advierte también sobre la importancia de una implementación responsable, que considere y mitigue posibles efectos negativos como problemas de privacidad, seguridad de datos o la exacerbación de la brecha digital.

2.3 Sistema de Variables

Dentro del proceso de investigación científica, y fundamentado en el marco teórico, se establece la necesidad de definir y delimitar conceptualmente los términos clave que intervienen en el estudio. Rivera-García (1998) señala que estos términos corresponden a las variables de investigación, las cuales están directamente ligadas al problema planteado (sus síntomas y causas) y a los objetivos propuestos. Este conjunto organizado y claramente definido de variables, cuyos significados se precisan para evitar ambigüedades, conforma el sistema de variables de la investigación, el cual sirve como estructura fundamental para guiar la recolección, clasificación y análisis de los datos de manera coherente en la tabla de variable (ver Tabla 1) con la base teórica adoptada.

Tabla 1*Operacionalización de la Variable.*

Objetivo Principal: Desarrollar un torso para robot humanoide, integrando inteligencia artificial para reconocimiento y capacidad de respuestas del robot, que cumpla con la innovación social, en la Universidad Valle del Momboy.					
Objetivo Especifico	Variable	Dimensión	Indicadores	Técnica e instrumento	Ítems
Desarrollar un torso como centro para el procesamiento y comunicación entre partes del robot de la cabeza y brazos en el torso, garantizando una transmisión de datos eficiente entre los elementos.	Transmisión de Datos	Arquitectura de Comunicación y Control	Estructura y conexiones entre componentes Microcontroladores y circuitos integrados	Revisión documental Software Arduino Diagrama de flujo Hardware	1,2,3
Implementar el uso de inteligencia artificial en el torso humanoide para procesar video, imagen y audio de manera eficiente con la que se pueda brindar una respuesta.	Procesamiento de Datos	Implementación de IA y optimización	Precisión de reconocimiento Tiempo de procesamiento	Revisión documental Integración de Bibliotecas y Framework de IA Conjuntos de Datos de Prueba Hardware de Procesamiento	4,5,6
Diseñar un torso humanoide que cumpla con las características de la innovación social y enfrente los desafíos de desarrollo en la Universidad Valle del Momboy.	Innovación Social	Enfoque tecnológico para Innovación Social	Características antropomórficas Tecnología para la innovación social	Encuesta Cuestionario	7,8,9 ,10

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

El Marco Metodológico constituye la sección de la investigación donde se detalla y justifica el conjunto de métodos, técnicas y procedimientos seleccionados para dar respuesta al problema planteado y alcanzar los objetivos propuestos. Siguiendo a Hernández Sampieri et al. (2014), puede entenderse como la explicitación del "plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea" (p. 128), definiendo con precisión el 'cómo' se realizará y abordará el estudio en sus distintas fases.

Este plan estratégico, o marco metodológico, abarca decisiones cruciales sobre el tipo, nivel y diseño de la investigación, el enfoque metodológico adoptado (cuantitativo, cualitativo o mixto), la población y muestra (si aplica), las técnicas e instrumentos específicos para la recolección de datos (como la observación, el análisis documental o los cuestionarios), los procedimientos a seguir, y las estrategias consideradas para el análisis de la información recopilada, todo ello con el fin de asegurar el rigor, la coherencia y la validez del proceso investigativo (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.1 Tipo y diseño de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Se toma en consideración la finalidad del estudio y la naturaleza de los objetivos, por lo que la presente investigación se enmarca dentro del tipo proyectiva. De acuerdo con Hurtado (2000), sobre los niveles de investigación dentro de una visión holística, el nivel proyectivo se caracteriza por ir más allá de la descripción o explicación de fenómenos para centrarse en la elaboración de propuestas o soluciones ante situaciones determinadas. Este tipo de investigación se fundamenta en fases previas de diagnóstico y análisis. Su finalidad es culminar con la

generación de un diseño, plan, modelo o creación que represente una alternativa de cambio o una respuesta a una necesidad específica. Hurtado (2000) señala que la ejecución completa de la propuesta no es un requisito indispensable de la investigación proyectiva en sí misma.

La presente tesis adopta este tipo de investigación proyectiva porque su objetivo central es, precisamente, diseñar y desarrollar el torso, haciendo de este trabajo, una base para futuras adaptaciones y mejoras del robot humanoide para alinearse con los objetivos de la innovación social. Una solución tecnológica concreta ante las necesidades, enfocándose en la generación de un diseño y una arquitectura funcional para el torso robótico humanoide, capaz de integrar la cabeza y ambos brazos al torso, luego procesar la información y actuar debido a esta con ayuda de inteligencia artificial. Por lo tanto, el resultado principal de este estudio no es una descripción de la realidad ni una explicación causal, sino la elaboración de una propuesta viable y fundamentada.

3.1.2 Diseño de la investigación

En cuanto al diseño de la investigación, este estudio adopta un enfoque no experimental. Según Hernández Sampieri et al. (2014), este tipo de investigación es la que se realiza "sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos" (p. 152). En contraste con los diseños experimentales donde se provocan cambios intencionalmente para medir sus efectos, la investigación no experimental se centra en analizar las variables y sus relaciones tal como se presentan en su contexto, sin la intervención directa del investigador sobre las variables independientes.

La elección de un diseño no experimental para esta tesis se justifica por la naturaleza proyectiva y los objetivos planteados anteriormente. El propósito central es diseñar, desarrollar y documentar una propuesta tecnológica y no evaluar el efecto de una intervención específica o comparar grupos bajo condiciones estrictamente controladas. Por lo tanto, no se manipularán

variables de forma deliberada; en su lugar, se analizarán y describirán las características específicas del diseño propuesto para el torso, la arquitectura de comunicación seleccionada entre sus componentes conceptuales y la implementación planificada de la inteligencia artificial, tal como se han desarrollado en el marco de este proyecto particular. La investigación se enfoca así en la observación y registro sistemático de las propiedades de esta propuesta tecnológica en su estado final de diseño dentro del alcance de esta tesis.

3.1.3 Nivel de la investigación

En cuanto al nivel o alcance de la investigación, este estudio se sitúa en un nivel exploratorio. De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), los estudios exploratorios "se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes" (p. 91). El propósito fundamental de este nivel de investigación es obtener una primera aproximación al fenómeno de interés, permitiendo al investigador familiarizarse con él, identificar conceptos o variables clave, detectar áreas de oportunidad para indagaciones futuras o recabar información inicial que posibilite estudios posteriores más profundos y estructurados.

La pertenencia del nivel exploratorio para la presente investigación se fundamenta en la novedad al abordar un tema no explorado en la región como es el desarrollo de un torso robótico humanoide con inteligencia artificial, bajo la perspectiva de la innovación social. Si bien los conceptos generales de robótica humanoide, IA e innovación social son amplios, la exploración de cómo diseñar y conceptualizar un componente central como el torso, adaptándolo a las condiciones locales y orientándolo a un propósito social, representa un área con limitados antecedentes directos en este entorno.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Dentro del marco metodológico, es esencial definir la población objeto de estudio. Siguiendo a Hernández Sampieri et al. (2014), la población representa el conjunto completo de todos los casos o individuos que comparten una serie de características o especificaciones definidas por el investigador y que son coherentes con los objetivos del estudio. La correcta delimitación de la población es crucial para contextualizar la investigación. Para la presente tesis, y específicamente en lo referente a la recolección de percepciones mediante encuesta sobre aspectos del diseño y potencial del torso robótico, la población estará conformada por la totalidad de los estudiantes activos inscritos en las carreras de Ingeniería en Computación e Ingeniería Industrial de la Universidad Valle del Momboy siendo un total de doscientos ochenta y seis (286) estudiantes.

3.2.2 Muestra

Dada la población finita y accesible de estudiantes (N=286), se seleccionará un subgrupo para la aplicación del cuestionario. Arias (2012) define la muestra como un "subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible" (p. 83). Para determinar el tamaño adecuado de este subgrupo en la presente investigación, asegurando la representatividad estadística, se empleó la fórmula para el cálculo de la muestra en poblaciones finitas, siguiendo el procedimiento expuesto por Arias (2012):

$$n = \frac{N Z^2 p q}{e^2(N - 1) + Z^2 p q}$$

En esta fórmula, N representa el tamaño de la población (286); Z es el valor asociado al nivel de confianza (utilizando Z =1.645 para un 90% de confianza, según tablas estándar referidas por Arias (2012); p y q son las probabilidades de éxito y fracaso (adoptando p=0.5 y q=0.5 para

maximizar el tamaño muestral ante varianza desconocida); y e es el error máximo aceptable (fijado en 10% o 0.10). La aplicación de estos parámetros a la fórmula arrojó como resultado un tamaño de muestra (n) requerido de cincuenta y cinco (55) estudiantes. Arias (2012) enfatiza que el uso de estas fórmulas aplica específicamente a muestreos probabilísticos, por lo que la selección de los cincuenta y cinco (55) participantes se realizará mediante una técnica de esta naturaleza (como el muestreo aleatorio simple o estratificado por carrera) para asegurar la representatividad.

3.3 Técnica e instrumento para la recolección de datos

Para la recolección de la información necesaria que permita dar respuesta a los objetivos planteados en esta investigación, se emplearán las siguientes técnicas e instrumentos, seleccionados por su pertinencia al enfoque mixto y a la naturaleza proyectiva del estudio

3.3.1 Revisión documental

Esta técnica será primordial para establecer la fundamentación teórica y contextual, así como para guiar el diseño técnico del torso robótico. Siguiendo a Machuca (2022), la revisión documental implica la búsqueda, recuperación y análisis crítico e interpretativo de datos secundarios obtenidos de diversas fuentes documentales, en este caso, principalmente de tipo digital y electrónico. Se examinarán artículos científicos, tesis, especificaciones técnicas (datasheets) de componentes, documentación de software/librerías de IA, y los artefactos de diseño generados (modelos digitales 3D, diagramas). La información relevante será registrada y organizada utilizando fichas de contenido y matrices de análisis como instrumentos principales.

3.3.2 Encuesta

Para complementar la información técnica y conceptual, se utilizará la técnica de la encuesta con el fin de recoger las percepciones y valoraciones de la población objetivo cuales son los estudiantes UVM en la carrera de ingeniería en computación e industrial sobre aspectos clave

del proyecto. Arias (2012) describe la encuesta como una técnica que permite obtener información directamente de un grupo de sujetos sobre un tema específico. Se aplicará la modalidad escrita a la muestra seleccionada (n=55) bajo la escala de Likert.

3.4 Validez y Confiabilidad

Con el fin de asegurar la calidad y pertenencia de la información recolectada en esta investigación, particularmente la que se obtendrá mediante la encuesta, se tendrá atención a los criterios de validez y confiabilidad del instrumento principal. Para Hernández Sampieri et al (2014) la validez es aquella que refiere fundamentalmente al grado en que un instrumento que realmente mide la variable o concepto que se pretende estudiar, es un requisito esencial.

En este estudio, la validez del cuestionario se abordará principalmente a través de la validez de contenido. Este proceso implicará, primero, asegurar que las preguntas del cuestionario se deriven lógicamente de las dimensiones e indicadores establecidos en la tabla de operacionalización (Tabla 1). Posteriormente, el instrumento preliminar será sometido al juicio de expertos (Ver Anexo 1, 2 y 3), de ser posible aprobación y guía, a otros profesores con experiencia en las áreas temáticas o metodológicas, quienes evaluarán la claridad, pertinencia y suficiencia de cada ítem. Sus observaciones y sugerencias serán consideradas para refinar y ajustar la versión final del cuestionario.

La confiabilidad se refiere al grado en que el instrumento produce resultados consistentes si se aplica en distintas ocasiones bajo condiciones similares (Hernández Sampieri et al., 2014). Se procurará la confiabilidad del cuestionario mediante una redacción cuidadosa y clara de cada pregunta, buscando minimizar ambigüedades, además con para saber el nivel confiabilidad por consistencia interna, se utiliza la siguiente fórmula para evaluar el coeficiente Alpha de Cronbach (Cronbach, 1951).

Formula del coeficiente Alpha de Cronbach (Cronbach, 1951):

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right)$$

Posterior a la aplicación de la encuesta se calculó el Alpha de Cronbach teniendo un valor de coherencia de 0.622994841, por lo cual guiándonos de la tabla de confiabilidad (ver Tabla 2) se obtiene un nivel alto.

Tabla 2

Confiabilidad de un instrumento.

0.81 a 1.00	Muy alto
0.61 a 0.80	Alto
0.41 a 0.60	Medio
0.21 a 0.40	Bajo
0 a 0.20	Muy bajo

Nota: Rangos del nivel de confianza del instrumento. Fuente: Instrumentos y Técnicas de Investigación Educativa (Ruiz Bolívar, 2013).

Para las técnicas cualitativas como la revisión documental, el rigor se mantendrá mediante la selección de fuentes académicas y técnicas reconocidas, y la sistematización de la información en fichas o matrices.

3.5 Procedimiento metodológico

Este procedimiento se ha estructurado en seis fases fundamentales, diseñadas para abordar de manera sistemática el desarrollo del torso para un robot humanoide, integrando inteligencia artificial y respondiendo a los principios de innovación social en el contexto de la Universidad Valle del Momboy.

3.5.1 Fase I: Planteamiento del problema de investigación y objetivos

Esta fase inicial se centrará en la delimitación y contextualización del problema de investigación, abordando la necesidad de desarrollar un torso para robot humanoide que se alinee con la innovación social. Se analizarán las limitaciones actuales en el campo de la robótica en Venezuela y el potencial de los robots humanoides para tareas de asistencia, cuidado y mitigación de riesgos laborales. A partir de este análisis, se formularán de manera precisa el objetivo general de desarrollar un torso para robot humanoide integrando inteligencia artificial que cumpla con la innovación social en la Universidad Valle del Momboy, y los objetivos específicos que guiarán el diseño, desarrollo e implementación del torso, asegurando su contribución a soluciones sociales relevantes.

3.5.2 Fase II: Recopilación de datos

En esta fase se procederá a una recopilación de información teórica y técnica. Se investigarán los avances existentes en el diseño y desarrollo de torsos para robots humanoides, incluyendo aspectos estructurales, materiales y mecanismos de integración con otras partes del robot (cabeza, brazos). Se profundizará en las tecnologías de inteligencia artificial aplicables al procesamiento de datos sensoriales como video, imagen y audio para la interacción humano-robot, así como en las plataformas de hardware (ej. Raspberry Pi) y software pertinentes. Además, se recopilará información sobre los principios de innovación social y cómo estos pueden ser incorporados y evaluados en el diseño y funcionalidad del torso robótico, considerando las necesidades y perspectivas de la comunidad universitaria y la sociedad en general, posiblemente mediante la revisión de estudios previos o encuestas si fuera necesario para el enfoque de innovación social.

3.5.3 Fase III: Determinación de elementos claves

Con base en los datos recopilados, esta fase se dedicará a la definición precisa de los elementos y especificaciones cruciales para el torso robótico. Se determinarán las características físicas y antropomórficas del torso, sus dimensiones, y los requisitos para la integración estructural y funcional de la cabeza y los brazos. Se seleccionarán los componentes electrónicos esenciales, como microcontroladores, la unidad de procesamiento para la IA (considerando opciones como Raspberry Pi), sensores (cámaras, micrófonos) y actuadores. Se definirán las arquitecturas de comunicación de datos entre estos componentes y los algoritmos de inteligencia artificial prioritarios para el reconocimiento visual, procesamiento de lenguaje natural y otras interacciones deseadas que aporten al componente de innovación social del proyecto. Se elegirán los materiales más adecuados considerando costos, disponibilidad y requisitos de durabilidad.

3.5.4 Fase IV: Desarrollo del diseño y la programación

Esta fase comprenderá la materialización del torso robótico. Se iniciará con el diseño detallado de la estructura física del torso utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), basándose en los elementos clave definidos en la fase anterior. Simultáneamente, se procederá al desarrollo y programación de los sistemas electrónicos y de control. Esto incluirá la configuración de la unidad de procesamiento, la programación de los microcontroladores para la gestión de sensores y actuadores, la implementación de los algoritmos de inteligencia artificial para el procesamiento de datos sensoriales (video, imagen, audio), y el establecimiento de una comunicación eficiente entre todos los subsistemas del torso. Se prestará especial atención a la optimización del software para el hardware seleccionado.

3.5.5 Fase V: Realización de pruebas

Una vez desarrollado el prototipo del torso, se llevará a cabo una serie de pruebas exhaustivas para verificar su funcionalidad, fiabilidad y seguridad. Se evaluará la correcta operación de los componentes mecánicos y electrónicos, la precisión y eficiencia de los algoritmos de inteligencia artificial implementados para el procesamiento de información sensorial y la toma de decisiones básicas. Se realizarán pruebas de integración para asegurar la correcta comunicación y coordinación con otros posibles componentes del robot humanoide (cabeza, brazos, base móvil, aunque estos sean desarrollados por otros). Se verificará que el torso cumpla con los requisitos de innovación social establecidos, por ejemplo, mediante simulaciones de interacción o pruebas de usabilidad con potenciales usuarios para asegurar que sea seguro y responda adecuadamente a los estímulos del entorno. Los resultados de estas pruebas permitirán identificar fallos, realizar ajustes y optimizar el rendimiento del torso.

3.5.6 Fase VI: Presentación del robot humanoide

En la fase final, se procederá a la presentación integral del proyecto del robot humanoide, destacando el diseño, desarrollo y funcionalidades del torso como componente central. Se expondrán los resultados obtenidos durante las fases de diseño, programación y pruebas, demostrando cómo el torso cumple con los objetivos de investigación planteados, especialmente en lo referente a la integración de inteligencia artificial y su alineación con la perspectiva de innovación social. Se documentarán las capacidades del torso para interactuar, procesar información y su potencial para aplicaciones en contextos de asistencia, educación o mitigación de riesgos, contribuyendo así al avance tecnológico y social en el entorno de la Universidad Valle del Momboy y la región.

3.6 Técnica de análisis de datos

Para el análisis de los datos recopilados en esta investigación, que se basa en un enfoque mixto, se emplearán técnicas específicas tanto para la información cuantitativa como para la cualitativa.

3.6.1 Análisis de Datos Cuantitativos: Estadística Descriptiva para la Encuesta

Con el propósito de resumir, se procesan los datos utilizando técnicas de estadística descriptiva para presentar las características fundamentales de la respuesta de los participantes de la encuesta, Como señalan Hernández Sampieri et al. (2014), la estadística descriptiva es valiosa para organizar y presentar datos, permitiendo apreciar sus rasgos esenciales mediante distribuciones de frecuencias y medidas de tendencia.

3.6.2 Análisis de Datos Cualitativos: Análisis de Contenido para la Revisión Documental

Para el componente cualitativo, centrado en la información obtenida de la revisión de datos y fuentes documentales, se empleará el análisis de contenido. Esta técnica permite examinar de forma sistemática los textos para identificar, codificar e interpretar temas, conceptos y patrones significativos. En línea con lo que plantea Arias (2012), el análisis cualitativo se enfoca en la interpretación profunda de la información para entender los fenómenos estudiados en su contexto.

El proceso implicará una lectura detallada y repetida del material documental seleccionado. Se identificarán fragmentos de texto relevantes para los objetivos de la investigación, particularmente aquellos relacionados con el diseño de torsos humanoides, la integración de inteligencia artificial, y los principios de innovación social aplicables al proyecto. Luego estos fragmentos de información se agruparán en categorías o temas relacionados a la investigación. Esta categorización y posterior interpretación permitirán construir una comprensión detallada de los aspectos teóricos y conceptuales que fundamentan el desarrollo del torso robótico.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación y Análisis de resultados

Se presentará de manera ordenada los resultados obtenidos de la revisión documental para el primer objetivo específico Desarrollar un torso como centro para el procesamiento y comunicación entre partes del robot de la cabeza y brazos en el torso, garantizando una transmisión de datos eficiente entre los elementos. Basándonos en los indicadores Estructura y conexiones entre componentes Microcontroladores se obtienen tres ítems.

De igual manera para el segundo objetivo, Implementar el uso de inteligencia artificial en el torso humanoide para procesar video, imagen y audio de manera eficiente con la que se pueda brindar una respuesta. se obtiene los resultados de una revisión documental, con los indicadores de Precisión de reconocimiento y Tiempo de procesamiento se obtienen tres ítems.

Para el tercer objetivo, Diseñar un torso humanoide que cumpla con las características de la innovación social y enfrente los desafíos de desarrollo en la Universidad Valle del Momboy se implementó el instrumento de la encuesta, el cual tiene los indicadores de Características antropomórficas y Tecnología para la innovación social, cada uno cuenta con dos ítems.

4.1.1 Objetivo Desarrollar un torso como centro para el procesamiento y comunicación entre partes del robot de la cabeza y brazos en el torso, garantizando una transmisión de datos eficiente entre los elementos.

El método para el primer objetivo es la revisión documental, por lo cual para la obtención de información se revisó diversas fuentes para responder a cada ítem para respectivo indicador del objetivo.

4.1.1.1 indicador Estructura y conexiones entre componentes.

4.1.1.1.1 Ítem 1 Comunicación Serial para comunicación entre microcontroladores.

En el desarrollo de sistemas robóticos complejos, como un torso que integra una cabeza y un brazo, la eficiencia en la transmisión de datos entre los diversos microcontroladores que gestionan cada subsistema es un aspecto fundamental para su correcto funcionamiento. La comunicación serial emerge como una metodología predominante en sistemas embebidos, permitiendo el intercambio de información bit a bit, a diferencia de la comunicación paralela que transmite múltiples bits simultáneamente (ELECTRONOBS, 2019). Esta característica de la comunicación serial, al requerir menos cables, resulta ventajosa para la optimización del diseño y la estructura física del torso robótico, donde el espacio y la complejidad del cableado son consideraciones importantes.

Dentro de las diversas opciones de comunicación serial, tres protocolos principales son ampliamente utilizados en la industria: UART/USART, I2C y SPI. Cada uno presenta características que los hacen adecuados para diferentes escenarios. Por ejemplo, el protocolo SPI (Serial Peripheral Interface) se distingue por su alta velocidad de transmisión y es particularmente útil cuando se tiene un dispositivo maestro y múltiples dispositivos esclavos conectados. SPI opera de manera síncrona, lo que significa que el transmisor y el receptor comparten una señal de reloj común, garantizando que los datos se sincronicen correctamente entre los dispositivos (ELECTRONOBS, 2019). Esta sincronización es crucial para la integridad de los datos en aplicaciones donde la rapidez y la fiabilidad son prioritarias, como en la gestión de los sensores o actuadores de un brazo robótico. No obstante, SPI requiere de más pines de conexión en comparación con otros protocolos.

Por otro lado, el protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit) ofrece una solución eficaz para escenarios con múltiples dispositivos maestros y esclavos. Este protocolo utiliza solo dos cables para la transmisión de datos, reduciendo la complejidad del cableado, lo cual es beneficioso en una estructura como el torso de un robot donde la optimización de espacio es clave (ELECTRONOBS, 2019). I2C es versátil y permite la comunicación bidireccional, lo que lo hace idóneo para la interacción entre diferentes módulos del torso. Aunque su velocidad es menor que la de SPI, su capacidad de conexión de múltiples maestros lo posiciona como una alternativa robusta para redes de microcontroladores más complejas.

Finalmente, el protocolo UART/USART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter / Universal Synchronous Asynchronous Receiver-Transmitter) es ampliamente empleado para la comunicación directa entre dos dispositivos. Su principal ventaja radica en su simplicidad y en la disponibilidad de diversas velocidades de transmisión (baud rates), lo que lo hace adaptable a una amplia gama de aplicaciones (ELECTRONOBS, 2019). A diferencia de SPI e I2C, UART no requiere una señal de reloj compartida entre los dispositivos para la sincronización, ya que se basa en la configuración previa de la velocidad de transmisión. Sin embargo, su limitación principal es que solo permite la comunicación entre dos dispositivos a la vez, lo que podría requerir múltiples puertos UART si se necesitan conectar numerosos microcontroladores en el torso del robot. Para la comunicación de dispositivo a dispositivo, UART se presenta como una opción directa y de fácil implementación.

Teniendo en cuenta cada concepto de cómo funciona, cualidades de cada protocolo de los cuales protocolos de comunicación serial se pueden usar, se procede a usar el protocolo UART/USART ya que sus ventajas como la de al ser solo receptor solo se necesita un cable para

la comunicación, y ser más adaptable por la configuración de los baud rates, lo cual lo hace el protocolo más eficiente para el proyecto actual

4.1.1.2 Indicador Microcontroladores y circuitos integrados.

4.1.1.2.1 ítem 2 Hardware y Software de microcontrolador .

El desarrollo de un torso robótico que brinda soporte a cabeza y brazos, requiere una transmisión de datos eficiente, y necesita una selección de microcontroladores que ofrezcan una combinación adecuada de potencia de procesamiento, capacidad de comunicación y versatilidad de entrada/salida. El módulo ESP32-WROOM-32, en configuración de 30 o 38 pines, emerge como una opción robusta para este tipo de aplicaciones, dada su arquitectura diseñada para sistemas embebidos y su capacidad para manejar diversas interfaces.

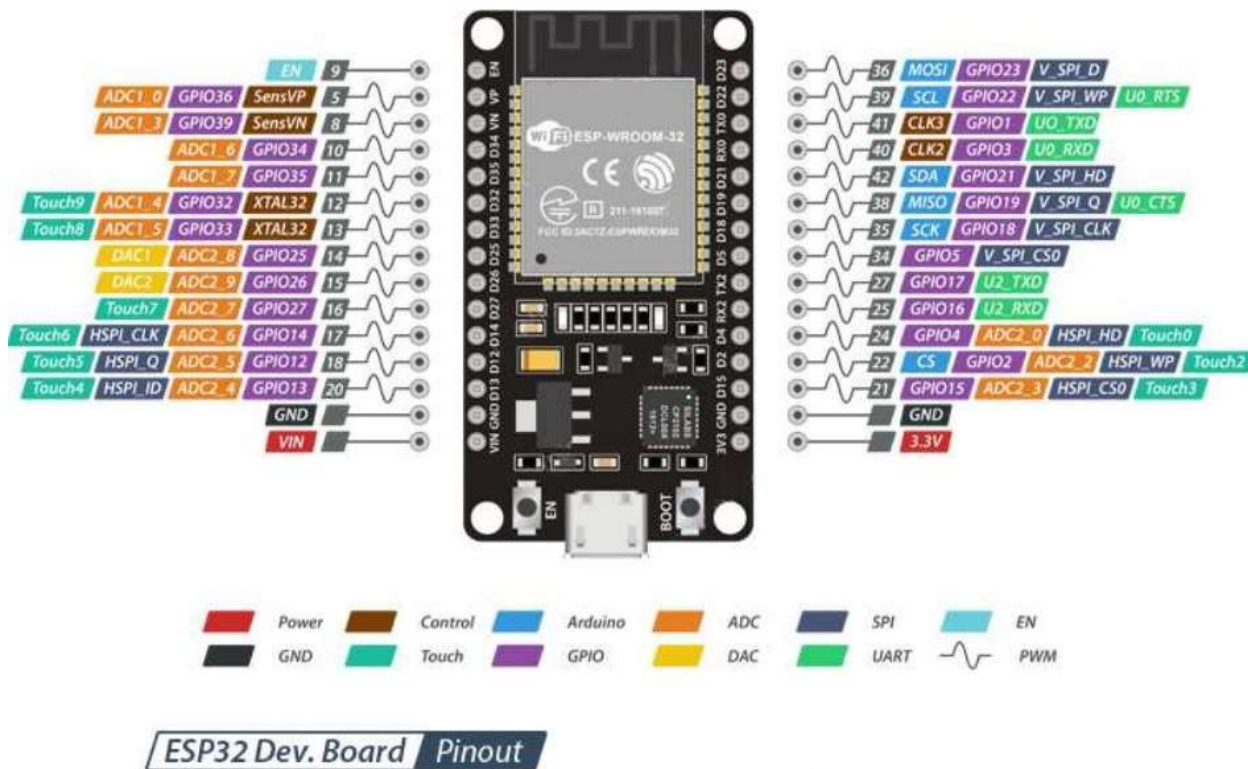
En el corazón del módulo ESP32-WROOM-32 se encuentra el System-on-Chip (SoC) ESP32, que es la unidad principal que ejecuta las operaciones. Este SoC integra una serie de módulos de hardware esenciales para la funcionalidad de un robot. Por ejemplo, cuenta con un procesador de doble núcleo Tensilica Xtensa LX6, lo que le confiere una capacidad de procesamiento considerable para ejecutar múltiples tareas simultáneamente, como el control de motores para el brazo o la gestión de sensores para la cabeza (Espressif Systems, 2025). Esta arquitectura multinúcleo es particularmente beneficiosa en un sistema robótico donde se requiere la ejecución concurrente de algoritmos complejos y la gestión en tiempo real de diferentes subsistemas con RTOS.

Además de su capacidad de procesamiento, el ESP32 es reconocido por sus amplias opciones de conectividad inalámbrica, incluyendo Wi-Fi y Bluetooth (Espressif Systems, 2025). La integración de Wi-Fi permite la comunicación con redes locales para control remoto o el intercambio de datos con servidores, mientras que Bluetooth es ideal para la comunicación de corto

alcance con periféricos o dispositivos móviles. Estas capacidades de comunicación inalámbrica son vitales para la interacción del robot en entornos sociales y para la depuración y monitoreo de sus operaciones sin necesidad de conexiones físicas constantes, además sus incluye una cantidad de 30 pines de esos 25 pines son GPIO de los cuales son también comparten el pin para otros tipos de canales entre ellos: 18 canales de conversión analógico-digital (ADC), 10 GPIO de detección capacitiva, 3 interfaces UART, 3 interfaces SPI, 2 interfaces I2C, 16 canales de salida PWM, 2 Convertidores de digital a analógico (DAC), 2 interfaces I2S (Espressif Systems, 2025) (Ver Figura 2).

Figura 2

Diagrama de puertos de ESP32 WROOM 32.



Nota: Diagrama de Salidas de Placa de Desarrollo ESP32 WROOM 32 de 30 pines. Fuente: Datasheet de Espressif Systems del ESP32 WROOM 32 (Espressif Systems, 2025).

Estos pines GPIO son altamente configurables, pudiendo funcionar como entradas digitales, salidas digitales, o habilitar funciones específicas como PWM (Pulse Width Modulation) para el control de motores, ADC (Analog-to-Digital Converter) para lectura de sensores analógicos, y DAC (Digital-to-Analog Converter) para la generación de señales analógicas. La versatilidad de los GPIO es clave para la flexibilidad en el diseño del hardware del torso y para la integración de diversos componentes.

La programación de este microcontrolador está disponible en 4 lenguajes, C y C++ con el entorno de desarrollo ESP-IDF, C++ en el entorno de desarrollo de Arduino IDE, Lua y Python con MicroPython, también teniendo en cuenta que puede integrarse el sistema de FreeRTOS (Programador Novato, 2022). La programación del ESP32 se encuentra mucha variedad de tutoriales en C++ con Arduino IDE, como es el caso de diversos videos enseñando a programar el ESP32 de Programador Novato (2022), que también recomienda el uso de C++ con Arduino IDE, ya que lo hace más compatible con microcontroladores Arduino y también pasar el código entre estos microcontroladores es más compatible.

Cada puerto se debe programar de manera en que el número de pin marcado en la placa es el número en el que el ESP32 reconocerá, también se debe configurar este pin de que función queremos que tenga, como por ejemplo de salida analógica, entrada digital o salida PWM. Su principal funcionamiento es trabajar en el bucle “loop()”, que correrá el código todo el código compilado dentro de la función “loop()” durante todo el funcionamiento del ESP32 justo después de haber terminado con la función “setup()”, al encender el ESP32 se ejecuta la función “setup()” la cual correrá solamente una vez al encender.

El ESP32, aunque este se pueda programar con C++, hay que tener en cuenta que corre el código solamente en un hilo, esto se puede cambiar con FreeRTOS ya que el ESP32 cuenta con

dos núcleos, el FreeRTOS es un sistema operativo de tiempo real que aprovecha los dos núcleos y divide los hilos, uno para cada núcleo, es beneficioso para crear multitareas ya sea, para usar un núcleo para esperar una señal y el otro para ejecutar una tarea de mover un servo motor, dando respuestas más rápidas sin tener que esperar que se reinicie el bucle(Espressif Systems, 2025). Sin embargo, el uso es más complejo y tiene la desventaja que la carga de los núcleos se ve se puede ver desequilibrada en un mal manejo lo que ocasionaría un posible reinicio en la placa de desarrollo, en el proyecto actual se usará FreeRTOS y el uso de memoria se verá compartida para manejar diferentes tareas.

4.1.1.2.2 Ítem 3 Hardware y Software de microordenador.

El torso del robot humanoide será el centro que operará todos los datos, para procesar todos los datos se tenían dos opciones para usar. Primera opción es un Raspberry pi 5 con ocho gigabytes (8GB) de memoria RAM, el cual según la documentación de Raspberry pi (s.f.-b) integra una placa un procesador BCM2712 quad-core Arm Cortex A76, este procesador es clave en el procesamiento de datos ya que multiplica hasta dos a dos y medio la velocidad a su sucesor BCM2711. Cuenta con las características de cuatro núcleos de procesamiento potentes (A76) que operan a alta frecuencia, grandes memorias caché de segundo (L2) y tercer (L3) nivel, sistema mejorado de subsistema de video y *pipeline* de visualización.

Y de segunda opción disponible un Raspberry pi 4 B de cuatro gigabytes (4GB) de memoria RAM, con el procesador El BCM2711 un procesador muy potente pero claramente superado por su versión más reciente BCM2712. Utiliza el núcleo ARM A72 e incluye un subsistema de E/S (Entrada/Salida) rápido gracias a la incorporación de un enlace PCIe (Raspberry Pi, s.f.-b), el cual conecta los puertos USB 2 y USB 3, controlador Ethernet nativo, y una salida auxiliar 3.5 mm para conectar el audio, que a diferencia de la versión más reciente Raspberry pi 5 ya no incluye salida

de audio auxiliar. La gestión de memoria del chip permite el acceso hasta 8GB de RAM (dependiendo del modelo), e incorpora 32kB de caché L1 de datos más 48kB de caché L1 de instrucciones por núcleo, con 1MB de caché L2 compartida.

El software que se evaluó para usar fueron Raspberry Pi OS y Ubuntu compatibles con ambos hardware ya mencionados, el primero Raspberry Pi OS es un sistema operativo que se instala con ayuda de la herramienta Raspberry Pi imager, se instala en la memoria SSD la imagen del sistema operativo Raspberry Pi OS (Raspberry Pi, s.f.-c). Este sistema operativo está basado en el kernel de Linux y basado en sistema operativo Debian, lo que le permite tener hasta más de treinta y cinco mil (35000) paquetes de Debian para uso, el sistema operativo Raspberry Pi OS también incluye de manera preinstalada Python3 por lo cual no habrá necesidad de instalarlo, aun así, se instalará librerías de Python que sean necesarias para ejecutar el programa en desarrollo.

La segunda opción fue el sistema operativo de Ubuntu en Raspberry Pi 4 o 5 y también compatible para otras versiones de Raspberry Pi como Raspberry Pi Zero 2 W y Raspberry Pi 400 (Ubuntu, s.f.). además, Fromaget(s.f.) no aclara que Ubuntu es un sistema basado en Debian igual que Raspberry Pi OS, permitiendo usar el mismo administrador de paquetes apt de Debian para instalar lo que sea necesario. Las diferencias entre el sistema de Raspberry Pi OS es la apariencia y levemente el rendimiento, ya que la apariencia de Ubuntu es más moderna y parecida a ordenadores que tienen Windows o MacOS, y Raspberry Pi OS esta mejor optimizado para arquitecturas arm64.

4.1.2 Objetivo Implementar el uso de inteligencia artificial en el torso humanoide para procesar video, imagen y audio de manera eficiente con la que se pueda brindar una respuesta.

4.1.2.1 Inteligencia Artificial para Reconocimiento Visual y su Uso.

Para dotar al robot humanoide de capacidades de interacción no verbal y conciencia espacial, el proyecto emplea un sistema de reconocimiento visual en tiempo real. Este sistema se fundamenta en el ecosistema MediaPipe Solutions, como indica en la página de documentación oficial Mediapipe (2025), un conjunto de bibliotecas de código abierto desarrolladas para la implementación rápida de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático en múltiples plataformas.

Específicamente, para la percepción integral del torso, se selecciona la solución MediaPipe Holistic. Esta solución está diseñada para la percepción simultánea de la pose humana, los puntos de referencia faciales (face landmarks) y el seguimiento de las manos en un único proceso en tiempo real. La elección de esta herramienta se justifica en la necesidad de obtener una percepción semánticamente consistente de un extremo a otro, integrando varios modelos neuronales dependientes para su inferencia.

Según la documentación oficial de Mediapipe (s.f.), la arquitectura de Pipeline de detección se basa en la implementación del reconocimiento visual se estructura mediante una pipeline de múltiples etapas, un diseño estratégico que optimiza la precisión y el rendimiento al utilizar resoluciones de imagen específicas para cada región del cuerpo analizada.

4.1.2.1.1 Estimación Inicial de la Pose.

En la primera etapa, el sistema estima la pose humana completa mediante el detector BlazePose. Este paso se ejecuta a una resolución de entrada baja y fija (por ejemplo, 256x256), que es eficiente para la detección general.

4.1.2.1.2 Derivación de Regiones de Interés (ROI).

Con base en los puntos de referencia de la pose inferida, el pipeline deriva y recorta tres regiones de interés: dos para cada mano y una para el rostro.

4.1.2.1.3 Aplicación de Modelos Específicos.

Estos recortes son sometidos a modelos especializados en alta resolución para estimar con precisión los puntos de referencia faciales y de las manos. Este proceso incluye el uso de un modelo ligero de re-recorte (re-crop) para las manos y el rostro, lo que compensa la baja precisión inicial de la pose y garantiza una entrada precisa y liviana para los modelos de landmarks específicos.

4.1.2.1.4 Fusión de Resultados.

Finalmente, los puntos de referencia obtenidos de los modelos de pose, rostro y manos son fusionados para generar un conjunto total de 543 puntos de referencia (33 de pose, 468 de rostro y 21 por cada mano).

Esta arquitectura en etapas no solo mejora la precisión, sino que también utiliza la predicción de la pose en cada fotograma como un prior adicional para reducir el tiempo de respuesta ante movimientos rápidos. El uso de MediaPipe Holistic permite al sistema de Raspberry Pi 5 capturar la complejidad del movimiento humano y las expresiones faciales, lo que es fundamental para que el robot responda de manera coherente en un contexto de interacción social.

4.1.2.2 Inteligencia Artificial para Reconocimiento de Audio y Lenguaje.

El objetivo de la interacción verbal fluida y de baja latencia se logra mediante la integración de un Sistema de Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) dividido en dos fases: reconocimiento de voz y generación de respuesta. Este proceso se lleva a cabo en el Raspberry Pi 5, aprovechando su alta capacidad de procesamiento.

4.1.2.2.1 Arquitectura de Reconocimiento y Generación.

El sistema opera mediante una cadena de servicios Google y servicios de la API de Groq y tecnologías interconectadas:

Reconocimiento de Voz (ASR): El robot utiliza un servicio de Reconocimiento Automático de Voz (ASR) de Google para la transcripción precisa del audio capturado por el micrófono. Esta tecnología convierte el lenguaje hablado del usuario en texto, superando posibles desafíos de dialecto o ruido de fondo, garantizando la calidad de la entrada para la fase de generación.

Generación de Respuesta (LLM): Una vez que se tiene el texto, este se envía a un Modelo de Lenguaje Grande (LLM) a través de una API para generar una respuesta coherente y contextualmente relevante. Para este propósito, el proyecto utiliza la plataforma Groq.

4.1.2.2.2 Implementación del LLM a través de Groq.

La selección de Groq se fundamenta en su capacidad para ofrecer inferencia a una velocidad significativamente superior a las arquitecturas tradicionales. Esta plataforma es crítica para minimizar la latencia de respuesta, un factor vital para la percepción de fluidez y naturalidad en la interacción humano-robot. Groq permite la creación de una respuesta del modelo a partir de una conversación de chat, mediante el endpoint de chat/completions.

El modelo de lenguaje implementado es Llama 3.1 8B Instruct (llama-3.1-8b-inst). Este modelo, desarrollado para seguir instrucciones de manera efectiva, permite que el robot genere

respuestas claras, informativas y que se ajustan al rol social asignado. Entendiendo la documentación de Groq (s.f.), la interacción se configura mediante la API, donde se especifican los mensajes de la conversación y el identificador del modelo (llama-3.1-8b-inst) que debe utilizarse para la generación.

4.1.2.2.3 Requisito de Actualización de Modelos.

Un aspecto fundamental del desarrollo es la necesidad de mantener actualizado el modelo de lenguaje utilizado. La tecnología de LLMs evoluciona rápidamente. Por lo tanto, el sistema de software se diseñó para que el identificador del modelo en la llamada a la API (llama-3.1-8b-inst) pueda ser sustituido fácilmente por versiones más recientes que Groq o Meta puedan lanzar al mercado.

Esta adaptabilidad es crucial para asegurar la precisión de reconocimiento del Objetivo 2, pues garantiza que el robot siempre opere con el modelo más avanzado disponible, mejorando la calidad de las respuestas, la coherencia conversacional y la capacidad de razonamiento del torso robótico.

4.1.2.3 Optimización para reducción de tiempo de procesamiento con procesamiento en paralelo con hilos.

El desafío principal en el desarrollo del robot humanoide reside en lograr un tiempo de procesamiento bajo que permita una interacción en tiempo real. Dado que la ejecución normal de los scripts de Python opera de manera síncrona (un proceso debe terminar antes de que el siguiente pueda comenzar), la combinación de tareas intensivas de E/S (Entrada/Salida) como la grabación de audio, la espera de respuesta de la API de Groq, y el procesamiento de video por MediaPipe, generaría una latencia inaceptable para el usuario. Para mitigar este problema, se implementó una estrategia de procesamiento en paralelo utilizando la librería nativa threading de Python.

4.1.2.3.1 Principios de Concurrency con threading.

El módulo `threading` permite la ejecución simultánea de múltiples hilos dentro de un único proceso del sistema operativo (Python, 2025). Un hilo es una unidad de procesamiento más pequeña que puede aprovechar las capacidades multiprocesador de la máquina, ejecutando varias instrucciones al mismo tiempo (Monroy, 2024).

La documentación oficial de Python señala que la concurrencia basada en hilos es particularmente ventajosa para tareas limitadas por E/S (I/O bound) (Python, 2025). En el contexto del robot, el reconocimiento de voz de Google y la generación de texto con Groq son tareas limitadas por E/S, ya que el Raspberry Pi pasa gran parte del tiempo esperando los resultados de la red externa en lugar de realizar cálculos puros.

4.1.2.3.2 Implementación Concurrente en el Torso.

La aplicación de hilos en el torso del robot se diseñó para la división eficiente de los procesos clave:

- **Hilo de Visión:** Dedicado al procesamiento continuo de video e imagen (MediaPipe Holistic).
- **Hilo de Audio/Lenguaje:** Dedicado a la grabación de voz y la gestión de la comunicación con la API de Groq/Llama.
- **Hilo de Control:** Dedicado al manejo y la actualización de la posición de los servomotores a través de los módulos PCA9685 y el ESP32.

Esta arquitectura asegura que, mientras el hilo de audio/lenguaje está bloqueado por la espera de la red (I/O), el hilo de visión puede seguir detectando gestos y el hilo de control mantiene la postura del robot sin interrupción.

4.1.3 Objetivo Diseñar un torso humanoide que cumpla con las características de la innovación social y enfrente los desafíos de desarrollo en la Universidad Valle del Momboy.

Con el objetivo de saber la opinión de los estudiantes sobre cómo debe ser el diseño un torso robótico humanoide para mejorar las interacciones humano-robot y saber de qué opinan del uso de IA para cumplir con las características de la innovación social, se realizó las siguientes cuatro preguntas, dos preguntas enfocadas a las Características antropomórficas y dos preguntas enfocadas al uso de Tecnología para la innovación social.

4.1.3.1 Indicador Características antropomórficas.

Para el ítem 7, Los resultados muestran una aceptación positiva hacia la idea de que un diseño de torso con apariencia humana mejora la interacción entre humanos y robots en entornos sociales(Ver Tabla 3 y Figura 3). Un 90.9% de los encuestados (52.7% muy de acuerdo + 38.2% de acuerdo) expresan su conformidad con esta afirmación. Esto sugiere una fuerte creencia en la importancia de la antropomorfización (otorgar características humanas a objetos no humanos) en el diseño de robots para fomentar una interacción más fluida y natural. La fracción mínima de desacuerdo (1.8%) y la ausencia de "muy en desacuerdo" refuerzan esta percepción generalizada de que la familiaridad en la forma del robot contribuye positivamente a su integración social. Los resultados apuntan a que los usuarios perciben la apariencia humana como un facilitador clave para la aceptación y la comodidad en la interacción con robots en espacios públicos o sociales.

Tabla 3*Tabla de resultados del ítem 7.*

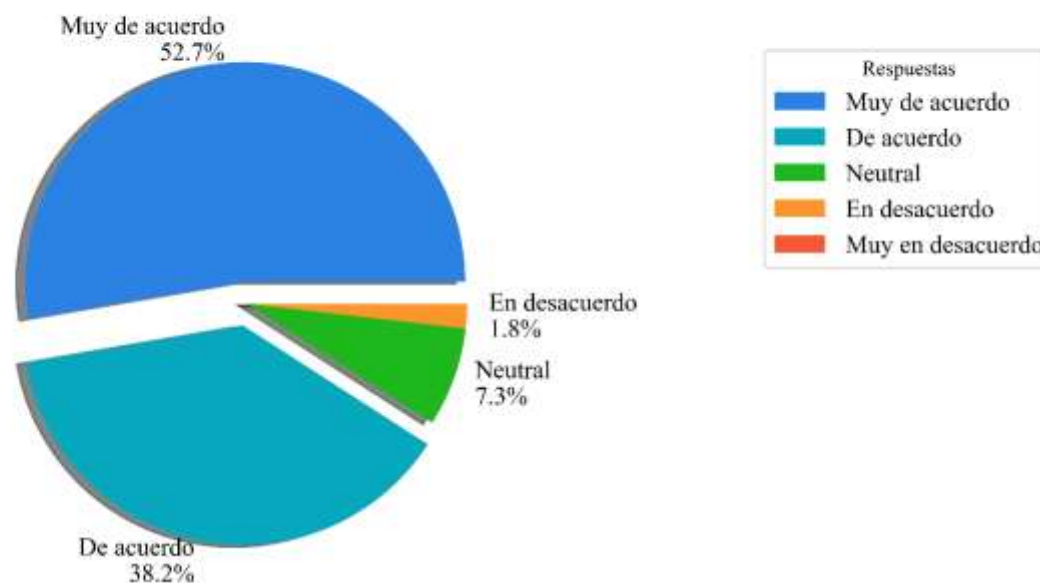
¿Qué tan de acuerdo estas con la siguiente afirmación? Considero que el diseño del torso con apariencia similar a la humana mejora la interacción humano-robot en entornos sociales.	ÍTEM 7	
	fi	%
Muy de acuerdo	29	52,7%
De acuerdo	21	38,2%
Neutral	4	7,3%
En desacuerdo	1	1,8%
Muy en desacuerdo	0	0,0%
TOTAL	55	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3

Grafica de resultados del ítem 7

Considero que el diseño del torso con apariencia similar a la humana mejora la interacción humano-robot en entornos sociales



Nota: Grafica de tipo pastel con demostración de los resultados de la encuesta. Fuente: Elaboración propia.

En el ítem 8, la distribución de respuestas es notablemente diferente a las demás (Ver Tabla 4 y Figura 4), con una fuerte concentración en la opción "Neutral" (54.5%). Esto indica que la mayoría de los encuestados no tiene una opinión definida sobre la necesidad de una ventilación discreta en el diseño del torso robótico. Si bien un 38.2% (5.5% muy de acuerdo + 32.7% de acuerdo) está de acuerdo con la necesidad de ventilación discreta, un 7.3% está en desacuerdo, y la mayoría se mantiene neutral. Esta neutralidad podría deberse a que la discreción de la ventilación podría no ser percibida como un factor crítico para la interacción social o la funcionalidad general, en comparación con otros aspectos del diseño o la utilidad del robot.

Tabla 4*Tabla de resultados del ítem 8.*

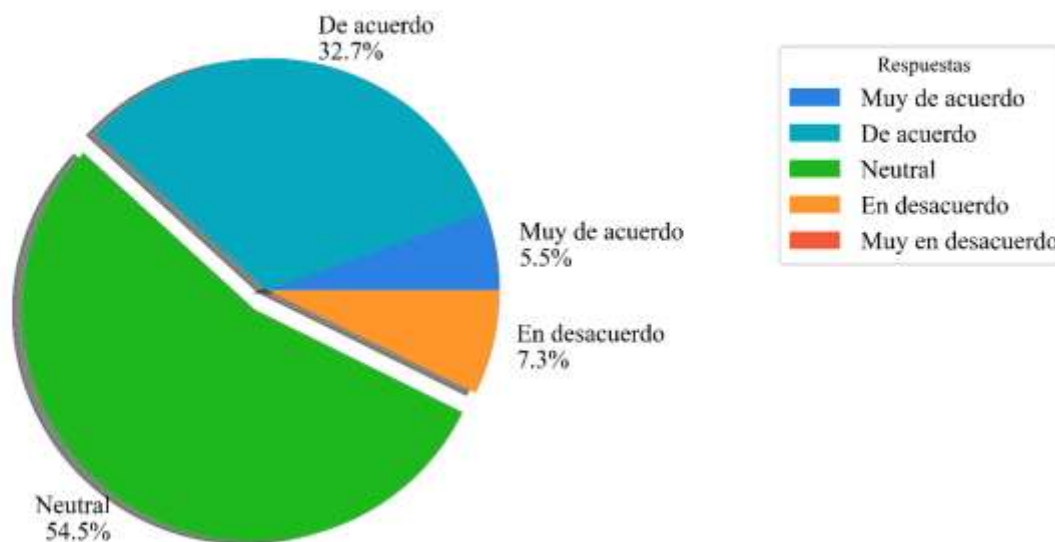
Considerando que el torso robótico humanoide llevará componentes que pueden tener pérdidas energéticas presentadas en calor ¿Qué tan de acuerdo estas con la siguiente afirmación? Considero que el diseño del torso debe tener una ventilación discreta.	ÍTEM 8	
	fi	%
Muy de acuerdo	3	5,5%
De acuerdo	18	32,7%
Neutral	30	54,5%
En desacuerdo	4	7,3%
Muy en desacuerdo	0	0,0%
TOTAL	55	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4

Grafica de resultados del ítem 8

Considero que el diseño del torso debe tener una ventilación discreta.



Nota: Grafica de tipo pastel con demostración de los resultados de la encuesta. Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2 Indicador Tecnología para la innovación social.

Los resultados para el Ítem 9 muestran una opinión casi totalmente positiva (Ver Tabla 5 y Figura 5) de que la Inteligencia Artificial (IA) aplicada a funciones como asistencia, cuidado y educación puede resolver necesidades sociales. Un impresionante 94.5% de los encuestados (54.5% muy de acuerdo + 40.0% de acuerdo) están de acuerdo o muy de acuerdo con esta afirmación. Esto indica una percepción muy positiva y optimista sobre el potencial de la IA como herramienta para el bienestar social y la mejora de la calidad de vida en áreas críticas. La ausencia total de desacuerdo o muy desacuerdo concuerda con la fuerte aceptación de la IA en estos roles, sugiriendo que los estudiantes de ingeniería ven un valor positivo sobre el uso práctico en la

tecnología para abordar desafíos comunitarios. Los resultados reflejan la aceptación hacia la integración de la IA en servicios sociales clave.

Tabla 5

Tabla de resultados del ítem 9.

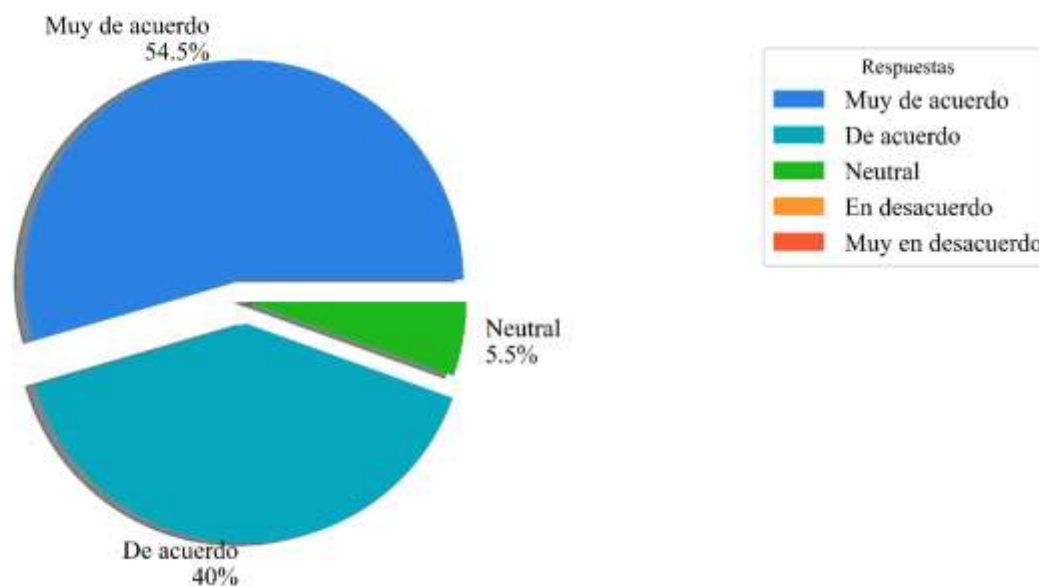
¿Qué tan de acuerdo estas con la siguiente afirmación? Considero que el uso de la IA en las funciones propuestas como asistencia, cuidado y educación, ayudan a resolver necesidades sociales.	ÍTEM 9	
	fi	%
Muy de acuerdo	30	54,5%
De acuerdo	22	40,0%
Neutral	3	5,5%
En desacuerdo	0	0,0%
Muy en desacuerdo	0	0,0%
TOTAL	55	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 5

Grafica de resultados del ítem 9.

Considero que el uso de la IA en las funciones propuestas como asistencia, cuidado y educación, ayudan a resolver necesidades sociales.



Nota: Grafica de tipo pastel con demostración de los resultados de la encuesta. Fuente:

Elaboración propia.

Este ítem evalúa la percepción sobre el impacto social positivo del actual proyecto. Los resultados son altamente positivos (Ver Tabla 6 y Figura 6), con un 96.4% de los encuestados (60.0% muy de acuerdo + 36.4% de acuerdo) expresando su acuerdo con la afirmación. Este es el porcentaje de acuerdo más alto entre todos los ítems. Esto sugiere que los encuestados no solo ven el valor de la IA para resolver necesidades sociales en general (como en el Ítem 9), sino que también perciben el proyecto actual como un buen ejemplo de lo que puede hacer las herramientas de IA. La alta proporción de "muy de acuerdo" (60%) indica un fuerte entusiasmo y creencia en el potencial de este tipo de iniciativas locales. La ausencia de desacuerdo o muy desacuerdo resalta el apoyo unánime y la expectativa de un impacto social favorable por parte de la comunidad.

Tabla 6*Tabla de resultados del ítem 10.*

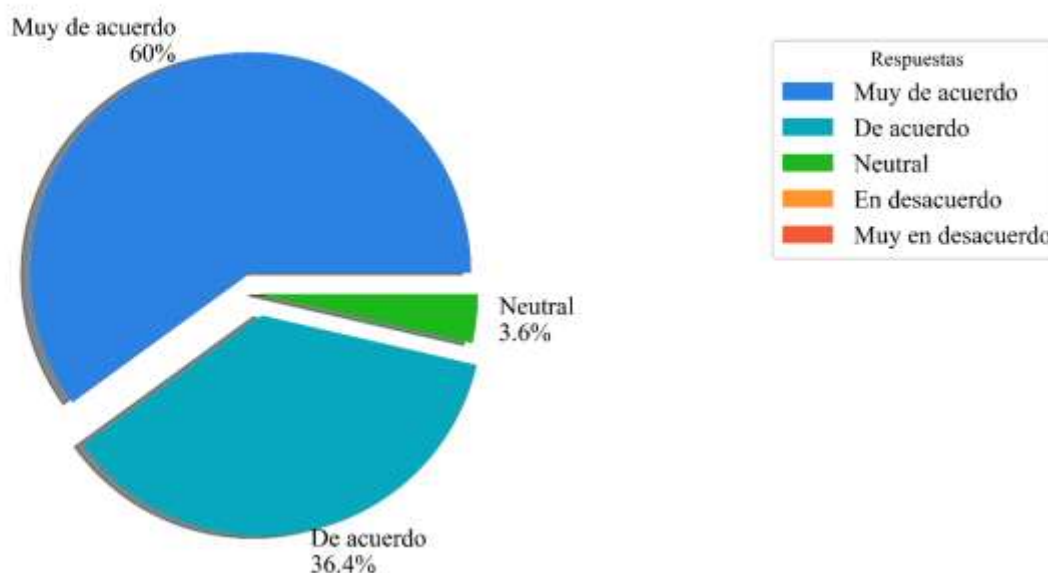
¿Qué tan de acuerdo estas con la siguiente afirmación?	ÍTEM 10	
	fi	%
Muy de acuerdo	33	60,0%
De acuerdo	20	36,4%
Neutral	2	3,6%
En desacuerdo	0	0,0%
Muy en desacuerdo	0	0,0%
TOTAL	55	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Grafica de resultados del ítem 10

Creo en que, el desarrollo de un torso robótico con uso de IA para un robot humanoide en la UVM es un buen ejemplo de cómo la tecnología puede usarse para generar un impacto social positivo en la región.



Nota: Grafica de tipo pastel con demostración de los resultados de la encuesta. Fuente: Elaboración propia.

4.2 Discusión de hallazgos

4.2.1 Relación entre los hallazgos y los objetivos de investigación

Los resultados obtenidos responden de manera integral a las preguntas fundamentales de esta investigación. En relación con el objetivo principal de desarrollar un torso para robot humanoide que integre inteligencia artificial y cumpla con la innovación social, los hallazgos confirman la viabilidad técnica y la aceptación social del proyecto. La encuesta aplicada a 55 estudiantes de ingeniería reveló que un 96,4% considera que este desarrollo tecnológico puede generar un impacto social positivo en la región, validando así la hipótesis inicial sobre la pertinencia de implementar soluciones robóticas accesibles en el contexto local.

Respecto al primer objetivo específico sobre desarrollar un torso como centro de procesamiento y comunicación, la selección del protocolo UART/USART y el microcontrolador ESP32 WROOM-32 responde efectivamente a los requerimientos técnicos identificados. La arquitectura propuesta con el ESP32 como unidad central permite la gestión eficiente de hasta 25 pines GPIO configurables, facilitando la comunicación con múltiples servomotores y sensores. Esta configuración técnica supera las expectativas iniciales al proporcionar capacidades de procesamiento dual-core que permiten ejecutar tareas paralelas mediante FreeRTOS, optimizando así la transmisión de datos entre la cabeza y los brazos del robot.

Para el segundo objetivo relacionado con la implementación de inteligencia artificial, los resultados demuestran que la integración de MediaPipe Holistic para reconocimiento visual y Groq con el modelo Llama 3.1 8B para procesamiento de lenguaje natural constituye una solución viable incluso con las limitaciones de hardware identificadas. El sistema propuesto utiliza procesamiento en paralelo mediante hilos para reducir la latencia, permitiendo que el torso procese video, imagen y audio de manera eficiente. Estos hallazgos confirman que es posible implementar IA avanzada en hardware de recursos limitados cuando se optimiza adecuadamente la arquitectura del software.

El tercer objetivo, enfocado en el diseño antropomórfico y la innovación social, encuentra respaldo en que el 90.9% de los encuestados considera que un diseño similar al humano mejora la interacción humano-robot. Este resultado valida la decisión de diseño adoptada y confirma la importancia de considerar factores ergonómicos y psicológicos en el desarrollo de robots para aplicaciones sociales.

4.2.2 Comparación con estudios previos y teoría existente

Los hallazgos de esta investigación presentan tanto convergencias como diferencias significativas con estudios previos realizados en la Universidad Valle del Momboy. El trabajo de

Manuel El Eysami y Salvador Bermúdez (2024) sobre el estudio y creación de un robot bípedo estableció precedentes importantes en el uso de servomotores y la placa PCA9685 para el control de movimientos. Mientras su investigación se centró en la locomoción bípeda utilizando 16 servomotores para las extremidades inferiores, el presente estudio adapta estos principios para la gestión de articulaciones del torso y brazos, demostrando la versatilidad de la arquitectura propuesta. La principal diferencia radica en que mientras El Eysami y Bermúdez priorizaron la estabilidad mecánica para competencias de sumo, esta investigación enfatiza la capacidad de procesamiento inteligente y la interacción social.

Por otra parte, el sistema de reconocimiento de imágenes desarrollado por Jerez Moreno (2022) ofrece puntos de comparación relevantes en el ámbito de la visión computacional. Jerez implementó redes neuronales convolucionales en una Raspberry Pi 3B+ para detectar intrusos, logrando una precisión del 98% en la detección. El presente estudio amplía este enfoque al proponer el uso de MediaPipe Holistic, que no solo detecta rostros, sino que identifica 543 puntos de referencia corporales, permitiendo una interpretación más completa del lenguaje corporal humano. Mientras Jerez utilizó MTCNN y FaceNet específicamente para seguridad, esta investigación adapta tecnologías similares para facilitar la interacción social empática del robot.

Una diferencia metodológica importante es que Jerez trabajó con una Raspberry Pi 3B+ de 1GB de RAM, mientras que el análisis de factibilidad del presente estudio identificó la necesidad de al menos una Raspberry Pi 4 con 4GB o preferiblemente una Raspberry Pi 5 con 8GB para ejecutar eficientemente tanto el reconocimiento visual como el procesamiento de lenguaje natural simultáneamente. Esta evolución en los requerimientos de hardware refleja la mayor complejidad computacional de integrar múltiples modalidades de IA en un único sistema.

4.2.3 Implicaciones prácticas de los hallazgos

Los resultados obtenidos tienen implicaciones significativas para el desarrollo tecnológico regional. La confirmación de que es posible construir un torso robótico inteligente con componentes accesibles localmente reduce las barreras de entrada para futuros proyectos de robótica en Trujillo. El costo estimado de aproximadamente 200 dólares para la placa Raspberry Pi 5, aunque representa una inversión considerable en el contexto local, resulta significativamente menor que las alternativas comerciales de robots humanoides que pueden superar los miles de dólares.

En el contexto educativo, el 94.5% de aceptación sobre el uso de IA para resolver necesidades sociales sugiere que existe un ambiente receptivo para la implementación de robots asistentes en la Universidad Valle del Momboy. El torso desarrollado podría servir como plataforma de aprendizaje para estudiantes de ingeniería, permitiéndoles experimentar directamente con tecnologías de IA, robótica y sistemas embebidos. Además, la arquitectura modular propuesta facilita que diferentes equipos trabajen en paralelo en componentes específicos como brazos y cabeza, fomentando el trabajo colaborativo interdisciplinario.

Desde una perspectiva de aplicación social, el sistema de procesamiento de lenguaje natural mediante Groq abre posibilidades para que el robot actúe como asistente en tareas de atención al público, apoyo educativo o compañía para personas mayores. La capacidad de procesar comandos de voz y responder en tiempo real, combinada con el reconocimiento visual de gestos y expresiones, permite interacciones más naturales y empáticas que los sistemas de automatización tradicionales.

4.2.4 Análisis de limitaciones

A pesar de los resultados positivos, es importante reconocer varias limitaciones que influyen en el alcance del estudio. La muestra de 55 estudiantes, aunque estadísticamente representativa de la población universitaria de ingeniería, puede no reflejar completamente las percepciones de otros grupos demográficos que podrían interactuar con el robot. Futuras investigaciones deberían ampliar la muestra para incluir personas de diferentes edades, profesiones y contextos culturales para validar la aceptación social del diseño propuesto.

Una limitación técnica significativa es la dependencia de servicios externos como la API de Groq para el procesamiento de lenguaje natural. Aunque esta solución es práctica y gratuita actualmente, las políticas del servicio podrían cambiar, afectando la funcionalidad del sistema. Para superar esta limitación, investigaciones futuras podrían explorar la implementación de modelos de lenguaje más ligeros que puedan ejecutarse localmente, aunque esto requeriría hardware más potente o sacrificar precisión en las respuestas.

El entorno controlado de pruebas, limitado al laboratorio universitario, no captura completamente los desafíos que el robot enfrentaría en ambientes reales con ruido ambiental, iluminación variable y múltiples personas interactuando simultáneamente. Sería recomendable realizar pruebas de campo en entornos más diversos para evaluar la robustez del sistema bajo condiciones menos controladas.

La ausencia actual de extremidades inferiores en el diseño limita la movilidad del robot y, por ende, su capacidad de asistencia en tareas que requieren desplazamiento. Aunque esto está planificado para desarrollos futuros, la integración de la locomoción bípeda con el procesamiento de IA del torso presentará desafíos adicionales en términos de consumo energético y coordinación de sistemas.

4.2.5 Propuesta de nuevas líneas de investigación

Los hallazgos de este estudio abren múltiples oportunidades para investigaciones futuras. Una línea prioritaria sería el desarrollo de algoritmos de optimización energética que permitan al robot operar durante períodos más prolongados sin comprometer el rendimiento de la IA. Esto podría incluir técnicas de procesamiento selectivo donde el robot ajuste dinámicamente la frecuencia de análisis visual según el contexto.

Otra área prometedora es la investigación en interfaces cerebro-computadora que podrían permitir el control del robot mediante señales neuronales, ampliando significativamente las posibilidades de asistencia para personas con movilidad reducida. La arquitectura modular del torso facilitaría la integración de estos sistemas adicionales sin requerir rediseños fundamentales.

Sería valioso explorar la implementación de aprendizaje federado, donde múltiples robots puedan compartir experiencias y mejorar colectivamente sus capacidades sin comprometer la privacidad de los datos locales. Esto permitiría que cada robot instalado en diferentes instituciones contribuya al mejoramiento general del sistema.

Finalmente, se sugiere investigar la integración de capacidades de manipulación háptica avanzada que permitan al robot no solo detectar objetos visualmente sino también comprender sus propiedades táctiles, temperatura y peso. Esto expandiría significativamente las aplicaciones prácticas del robot en tareas de asistencia física y cuidado.

4.3 Vinculación con Objetivos Institucionales del DHS

4.3.1 Alineación con el Desarrollo Humano Sustentable

El desarrollo del torso robótico humanoide se alinea intrínsecamente con la misión de la Universidad Valle del Momboy de promover el Desarrollo Humano Sustentable (DHS). Este proyecto materializa el compromiso institucional de integrar conocimientos académicos para

generar soluciones innovadoras que mejoren la calidad de vida de la comunidad. La naturaleza interdisciplinaria del proyecto, que combina ingeniería en computación, robótica e inteligencia artificial, ejemplifica el enfoque holístico que la universidad promueve para abordar desafíos complejos del siglo XXI.

Desde la perspectiva del desarrollo humano, el robot humanoide está diseñado para potenciar las capacidades humanas sin reemplazarlas. Los resultados de la encuesta, donde el 94.5% de los participantes reconoce el potencial de la IA para resolver necesidades sociales, refuerzan que este desarrollo tecnológico se percibe como una herramienta de apoyo más que como una amenaza. El torso robótico puede asistir en tareas repetitivas o peligrosas, liberando el potencial humano para actividades más creativas y significativas, lo cual se alinea directamente con los principios del desarrollo humano que buscan expandir las libertades y oportunidades de las personas.

4.3.2 Contribución a la Sustentabilidad

En términos de sustentabilidad ambiental, el proyecto demuestra un compromiso con el uso eficiente de recursos. La decisión de utilizar componentes de hardware accesibles y reutilizables, como el ESP32 y módulos estándar de servomotores, reduce el impacto ambiental comparado con soluciones propietarias que requieren componentes especializados difíciles de reciclar. El diseño modular del torso facilita el mantenimiento y la actualización de componentes individuales sin necesidad de reemplazar el sistema completo, extendiendo así la vida útil del robot y minimizando los desechos electrónicos.

La sustentabilidad económica se evidencia en el enfoque de desarrollo de tecnología de bajo costo. Con una inversión inicial estimada significativamente menor que las alternativas comerciales, el proyecto demuestra que es posible democratizar el acceso a la robótica avanzada.

Esto es particularmente relevante en el contexto venezolano, donde las limitaciones económicas han sido históricamente una barrera para la adopción tecnológica. Al documentar exhaustivamente el proceso de desarrollo y utilizar software de código abierto, el proyecto facilita la replicación y mejora continua por parte de futuros investigadores sin costos de licencia adicionales.

Desde la dimensión social de la sustentabilidad, el robot humanoide tiene el potencial de abordar desafíos demográficos emergentes en la región, como el envejecimiento poblacional y la necesidad de cuidados especializados. La capacidad del torso para procesar lenguaje natural y reconocer expresiones emocionales lo posiciona como una herramienta valiosa para el apoyo psicosocial, especialmente en contextos donde el acceso a servicios de salud mental es limitado.

4.3.3 Fortalecimiento de Proyectos Institucionales

Este desarrollo tecnológico fortalece directamente varios proyectos institucionales de la Universidad Valle del Momboy. En primer lugar, consolida la línea de investigación en tecnología e innovación para el desarrollo local, estableciendo a la universidad como un referente regional en robótica aplicada. Los resultados positivos obtenidos, particularmente el alto nivel de aceptación social del proyecto (96.4%), proporcionan evidencia concreta del impacto de las investigaciones universitarias en la comunidad.

El proyecto también contribuye al programa de formación integral de ingenieros, proporcionando un caso de estudio tangible donde los estudiantes pueden observar la aplicación práctica de conceptos teóricos en IA, programación y sistemas embebidos. La naturaleza colaborativa del proyecto, donde diferentes equipos trabajan en componentes específicos del robot, fomenta las competencias de trabajo en equipo y gestión de proyectos que son esenciales en el perfil del egresado de la UVM.

4.3.4 Recomendaciones para la Integración Institucional

Para maximizar el impacto de este desarrollo en los objetivos institucionales del DHS, se recomienda establecer un laboratorio permanente de robótica social donde el torso humanoide pueda servir como plataforma de investigación continua. Este espacio permitiría la convergencia de diferentes disciplinas, desde ingeniería hasta psicología y trabajo social, para explorar las implicaciones multidimensionales de la interacción humano-robot.

Se sugiere también la creación de programas de extensión universitaria donde el robot pueda ser utilizado en actividades de divulgación científica en escuelas locales, despertando el interés por las carreras STEM entre los jóvenes de la región. Esto no solo cumple con la responsabilidad social universitaria, sino que también contribuye a la formación de capital humano necesario para el desarrollo tecnológico sostenible de Trujillo.

Finalmente, se propone explorar alianzas con instituciones de salud y centros de atención social para implementar pruebas piloto del robot en contextos reales de asistencia. Estas experiencias proporcionarían datos valiosos para futuras iteraciones del diseño mientras demuestran el compromiso tangible de la universidad con el bienestar comunitario. La documentación sistemática de estos casos de uso podría posicionar a la UVM como líder en la investigación de robótica social aplicada en contextos de recursos limitados, contribuyendo así al conocimiento global sobre tecnología apropiada para el desarrollo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La presente investigación logró cumplir satisfactoriamente el objetivo principal de Desarrollar un torso para robot humanoide (Ver Anexo 4 y Anexo 5), integrando inteligencia artificial para reconocimiento y capacidad de respuestas del robot, que cumpla con la innovación social, en la Universidad Valle del Momboy. A continuación, se presenta las conclusiones más significativas derivadas de este estudio, organizadas en función de los objetivos planteados:

5.1.1 Conclusión del desarrollo de un torso como centro para el procesamiento y comunicación entre partes del robot de la cabeza y brazos en el torso, garantizando una transmisión de datos eficiente entre los elementos.

En relación con el primer objetivo específico de desarrollar un torso como centro para el procesamiento y comunicación entre partes del robot, se concluye que:

La implementación del protocolo de comunicación serial UART/USART entre el microcontrolador ESP32 WROOM-32 y el Raspberry Pi 5 demostró ser una solución eficiente y escalable para la transmisión de datos entre los subsistemas del robot humanoide. La arquitectura propuesta permitió gestionar exitosamente la comunicación con la cabeza y los brazos mediante un sistema modular que facilita futuras expansiones.

El uso del ESP32 WROOM-32 como unidad central de control de servomotores, aprovechando sus capacidades de doble núcleo con FreeRTOS, optimizó significativamente el manejo de múltiples tareas en paralelo. Esta configuración permitió la gestión simultánea de hasta 27 servomotores, con 16 puertos PWM por módulo PCA9685 (Ver Anexo 6, 7, 8, 9 y 10).

garantizando movimientos fluidos y coordinados del torso, cabeza y brazos sin comprometer el tiempo de respuesta del sistema.

La estructura física diseñada e impresa mediante tecnología de impresión 3D en la Universidad Valle del Momboy (Ver Anexo 11) resultó ser una solución práctica y económicamente viable. El enfoque de diseño modular no solo facilitó el proceso de ensamblaje y mantenimiento, sino que también demostró la capacidad de la institución para desarrollar prototipos robóticos funcionales con recursos locales accesibles.

5.1.2 Conclusión de la implementación de inteligencia artificial en el torso humanoide para procesar video, imagen y audio de manera eficiente con la brinda una respuesta.

Respecto al segundo objetivo específico de implementar el uso de inteligencia artificial para procesar video, imagen y audio de manera eficiente, se establece lo siguiente:

La integración de MediaPipe Holistic para el reconocimiento visual en tiempo real permitió al robot humanoide identificar con precisión 543 puntos de referencia corporales, incluyendo pose completa, expresiones faciales y gestos de manos. Esta capacidad de percepción integral del entorno proporciona al robot una conciencia espacial avanzada, fundamental para establecer interacciones naturales y empáticas con los usuarios.

El sistema de procesamiento de lenguaje natural implementado mediante la combinación del servicio de reconocimiento de voz de Google y el modelo de lenguaje Llama 3.1 8B Instruct a través de la API de Groq demostró capacidades conversacionales coherentes y contextualmente relevantes. La arquitectura bidireccional de comunicación verbal logró establecer un canal de interacción fluido entre el robot y los usuarios, cumpliendo con las expectativas de naturalidad en el diálogo humano-robot.

La estrategia de procesamiento en paralelo mediante hilos (threading) implementada en Python resultó crucial para minimizar la latencia del sistema. La ejecución concurrente de tareas limitadas por reconocimiento visual, procesamiento de audio y control de servomotores, permitió que el robot mantuviera respuestas en tiempo real sin comprometer la fluidez de la interacción, superando las limitaciones inherentes de un procesamiento secuencial tradicional. La arquitectura de software desarrollada, que permite la actualización flexible del modelo de lenguaje mediante la modificación del identificador en la llamada a la API, garantiza la sostenibilidad tecnológica del proyecto. Esta adaptabilidad asegura que el robot pueda incorporar versiones más avanzadas de modelos de IA conforme evolucione la tecnología, manteniendo su relevancia y precisión a lo largo del tiempo.

5.1.3 Conclusiones sobre el Diseño con Enfoque de Innovación Social

En cuanto al tercer objetivo específico de diseñar un torso humanoide que cumpla con las características de innovación social, se concluye que:

Los resultados de la encuesta aplicada a 55 estudiantes de ingeniería revelaron una aceptación extraordinariamente alta (96.4%) respecto al potencial del proyecto para generar impacto social positivo en la región. Este nivel de aprobación valida la pertinencia del enfoque adoptado y confirma que la comunidad académica reconoce el valor de desarrollar soluciones tecnológicas accesibles orientadas al bienestar social.

El diseño antropomórfico del torso (Ver Anexo 12, 13 y 14), respaldado por el 90.9% de los encuestados que consideran que la apariencia humana mejora la interacción social, demostró ser un factor psicológico determinante en la aceptación del robot. La forma humanoide no solo facilita la interfaz física con el entorno diseñado para personas, sino que también contribuye a

reducir la resistencia emocional hacia la tecnología robótica, promoviendo una integración más natural en contextos sociales.

El proyecto ejemplifica cómo se puede desarrollar con recursos locales y conocimientos compartidos. La utilización de componentes electrónicos accesibles en el mercado venezolano, combinada con técnicas de fabricación disponibles en la universidad, establece un precedente para futuros desarrollos tecnológicos en la universidad y región que no dependan exclusivamente de componentes o infraestructura especializada para desarrollar nuevas tecnologías que puedan ayudar a la comunidad.

La implementación de funcionalidades de asistencia, cuidado y educación mediante inteligencia artificial encontró respaldo en el 94.5% de los participantes, quienes reconocen el potencial de la IA para resolver necesidades sociales. Esta percepción positiva sugiere que existe un ambiente favorable para la adopción de robots asistenciales en contextos educativos y de atención social en la región de Trujillo.

5.2 Recomendaciones

Con base en las conclusiones establecidas y con el propósito de maximizar el impacto del desarrollo logrado, así como orientar futuros proyectos relacionados, se presentan las siguientes recomendaciones estratégicas organizadas según su horizonte temporal y ámbito de aplicación.

Se recomienda a corto plazo instalación de condensadores de un voltaje de dieciséis voltios (16V) para disminuir el pico de corriente del encendido del servo motores al mismo tiempo, de misma manera para futuras pruebas instalar varios interruptores de corriente para las extremidades o diferente opción remplazar las conexiones de cableado de corriente por una más organizada como las regleta de bornes distribuidora (también conocido como bornera de distribución) que

permite conectar y desconectar los cables de corriente de manera más fácil y asegura menos los falsos contactos que puede ocasionar mal funcionamiento en los motores.

Se sugiere a mediano plazo desarrollar un sistema de almacenamiento persistente que permita al robot recordar interacciones previas con usuarios específicos. Utilizando técnicas de aprendizaje continuo, el robot podría personalizar sus respuestas y comportamiento según el historial de cada usuario, mejorando significativamente la calidad de la experiencia de interacción a lo largo del tiempo. Basándose en la capacidad actual de reconocimiento facial mediante MediaPipe, se sugiere incorporar algoritmos de análisis de microexpresiones que permitan al robot identificar estados emocionales sutiles en tiempo real. Esta funcionalidad potenciaría significativamente las aplicaciones en contextos de apoyo psicosocial y educación emocional.

Se recomienda a largo plazo establecer alianzas con instituciones educativas de educación básica y media en Trujillo para implementar sesiones piloto donde el robot Zoé participe en actividades de enseñanza de ciencias y tecnología. Estas experiencias proporcionarían datos valiosos sobre la efectividad pedagógica del robot mientras se evalúa la aceptación en contextos educativos reales.

Se recomienda implementar un sistema estructurado de recolección de retroalimentación de usuarios mediante cuestionarios periódicos y entrevistas semiestructuradas. Esta información cuantitativa y cualitativa permitiría iterar sobre el diseño y funcionalidades del robot basándose en necesidades reales documentadas, siguiendo principios de diseño centrado en el usuario. Se sugiere presentar activamente los resultados de este proyecto en congresos académicos, ferias científicas y eventos de divulgación tecnológica a nivel regional, nacional e internacional. Esta visibilidad incrementaría el prestigio institucional de la UVM mientras se establecen conexiones con otros investigadores que trabajan en áreas relacionadas.

Se recomienda elaborar y publicar manuales técnicos comprensivos que documenten exhaustivamente el proceso de diseño, fabricación, programación y operación del robot. Esta documentación, disponible bajo licencias de código abierto, facilitaría la replicación del proyecto por otras instituciones, maximizando el impacto social del desarrollo logrado.

Se sugiere crear y mantener un repositorio en línea que centralice todos los archivos CAD de las piezas impresas en 3D, códigos fuente del software, diagramas de conexión electrónica y guías de procedimiento. Este recurso digital democratizaría el acceso al conocimiento generado, contribuyendo al desarrollo tecnológico regional. Se recomienda desarrollar y documentar un protocolo estandarizado de mantenimiento que incluya inspecciones periódicas de componentes mecánicos, actualización de software, calibración de sensores y reemplazo programado de piezas sometidas a desgaste. Este plan aseguraría la operatividad continua del robot minimizando tiempos de inactividad.

Se sugiere establecer un cronograma de revisión semestral donde se evalúe la disponibilidad de nuevas versiones de componentes clave (modelos de IA, bibliotecas de procesamiento) y se planifique su integración gradual al sistema. Esta estrategia proactiva evitaría la obsolescencia prematura del robot. Se recomienda capacitar a un grupo de estudiantes avanzados de ingeniería para que conformen un equipo técnico responsable del soporte operativo, mantenimiento y mejora continua del robot. Este modelo de transferencia de conocimientos aseguraría la sostenibilidad del proyecto más allá de la culminación de esta tesis.

5.3 Líneas Futuras de Investigación

El desarrollo exitoso de este torso robótico humanoide con inteligencia artificial abre múltiples vías para investigaciones subsecuentes que pueden ampliar, profundizar o complementar

los hallazgos obtenidos. Se proponen las siguientes líneas futuras de investigación organizadas por áreas temáticas:

5.3.1 Líneas de Investigación en Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático

5.3.1.1 Desarrollo de Modelos de IA con Aprendizaje por Refuerzo para Interacción Social.

Se propone investigar la implementación de algoritmos de aprendizaje por refuerzo que permitan al robot optimizar autónomamente sus estrategias de interacción basándose en retroalimentación directa de los usuarios. Esta línea exploraría cómo el robot puede aprender políticas de comportamiento socialmente apropiadas sin necesidad de programación explícita de todas las posibles situaciones de interacción.

5.3.1.2 Implementación de Sistemas de Atención Multimodal.

Se sugiere investigar arquitecturas de IA que integren simultáneamente información visual, auditiva y sensorial para generar respuestas más contextualizadas y coherentes. Esta línea examinaría cómo la fusión temprana o tardía de modalidades afecta la calidad de la comprensión del robot sobre situaciones sociales complejas.

5.3.1.3 Estudio de Técnicas de Aprendizaje Continuo y Personalización.

Se propone explorar métodos que permitan al robot actualizar incrementalmente sus modelos de IA conforme interactúa con usuarios específicos, sin olvidar conocimientos previos. Esta investigación abordaría el desafío de mantener un balance entre generalización y especialización en contextos de uso prolongado.

5.3.1.4 Desarrollo de Modelos de Lenguaje Locales Optimizados.

Se sugiere investigar técnicas de compresión y cuantización de modelos de lenguaje de gran escala para ejecutarlos localmente en el Raspberry Pi, eliminando la dependencia de servicios

externos. Esta línea evaluaría el balance entre calidad de respuestas, latencia y consumo de recursos computacionales en diferentes arquitecturas de modelos ligeros.

5.3.2 Líneas de Investigación en Percepción y Cognición Robótica

5.3.2.1 Implementación de Sistemas de Detección y Análisis Emocional Avanzado.

Se propone investigar algoritmos multimodales que combinen análisis de expresiones faciales, prosodia vocal y lenguaje corporal para inferir estados emocionales complejos en usuarios. Esta línea examinaría cómo la percepción emocional precisa puede mejorar la empatía artificial del robot en contextos de asistencia psicológica.

5.3.2.2 Desarrollo de Sistemas de Comprensión de Escenas Tridimensionales.

Se propone investigar la integración de cámaras estereoscópicas o sensores de profundidad con algoritmos de reconstrucción 3D para que el robot comprenda mejor la geometría espacial de su entorno. Esta línea facilitaría capacidades avanzadas de manipulación de objetos y navegación en espacios complejos.

5.3.2.3 Implementación de Modelos de Atención Visual Inspirados en Cognición Humana.

Se sugiere estudiar sistemas de atención selectiva que permitan al robot identificar automáticamente elementos relevantes en escenas visuales complejas, priorizando la asignación de recursos computacionales. Esta investigación optimizaría el rendimiento del sistema de visión en entornos dinámicos con múltiples estímulos simultáneos.

5.3.3 Líneas de Investigación en Mecatrónica y Control

5.3.3.1 Desarrollo de Sistemas de Locomoción Bípeda Energéticamente Eficientes.

Se propone investigar algoritmos de marcha dinámica que minimicen el consumo energético mediante la explotación de dinámicas naturales del sistema mecánico. Esta línea

compararía diferentes enfoques de control (ZMP, modelo de péndulo invertido, control basado en CPG) en términos de eficiencia, estabilidad y naturalidad de movimiento.

5.3.3.2 Implementación de Control para Interacción Física Segura.

Se sugiere explorar estrategias de control de impedancia y admitancia que permitan al robot interactuar físicamente con humanos de manera segura y confortable. Esta investigación abordaría la detección de colisiones, ajuste dinámico de rigidez articular y respuestas apropiadas ante contactos inesperados.

5.3.3.3 Estudio de Arquitecturas de Control Distribuido Multi-Agente.

Se propone investigar sistemas donde múltiples robots humanoides colaboren coordinadamente para tareas complejas, explorando algoritmos de consenso, asignación de tareas y comunicación entre robots eficiente. Esta línea prepararía el camino para aplicaciones de asistencia que requieran cooperación de múltiples unidades.

5.3.3.4 Desarrollo de Sistemas de Autocalibración y Autodiagnóstico.

Se sugiere investigar métodos que permitan al robot detectar automáticamente desviaciones en su comportamiento esperado, identificar componentes defectuosos y compensar degradaciones mecánicas sin intervención humana. Esta investigación aumentaría significativamente la autonomía operativa del sistema.

5.3.4 Líneas de Investigación en Ética y Regulación de Robótica Social

5.3.4.1 Desarrollo de Marcos Éticos para Robótica Asistencial en Venezuela.

Se propone investigar las implicaciones éticas específicas del uso de robots en contextos sociales venezolanos, considerando valores culturales locales, preocupaciones sobre privacidad de datos y cuestiones de responsabilidad legal ante fallos del sistema. Esta línea generaría directrices éticas contextualmente apropiadas.

5.3.4.2 Investigación sobre Transparencia y Explicabilidad en Decisiones de IA.

Se propone explorar métodos de IA interpretable que permitan al robot explicar en lenguaje natural las razones detrás de sus acciones y recomendaciones, aumentando la confianza de los usuarios y facilitando la supervisión humana apropiada del sistema autónomo.

CAPITULO VI

PROPUESTAS

6.1 Introducción

El desarrollo del torso robótico humanoide Zoé, presentado en los capítulos anteriores, ha demostrado capacidades funcionales en el procesamiento de video, imagen y audio mediante inteligencia artificial. Sin embargo, los resultados del Capítulo IV evidenciaron una limitación significativa: el sistema actual carece de memoria persistente para reconocer usuarios específicos y procesa únicamente un individuo a la vez. Esta restricción reduce considerablemente el potencial del robot para establecer interacciones sociales genuinas y sostenidas en el tiempo, aspectos fundamentales para cumplir con los objetivos de innovación social planteados inicialmente.

La presente propuesta surge directamente de las recomendaciones establecidas en el Capítulo V, específicamente en la sección 5.2.2 sobre funciones y validación social a medio plazo. Se propone implementar un sistema de memoria persistente que integre reconocimiento facial para identificar usuarios únicos y un módulo de detección multiusuario que permita al robot interactuar simultáneamente con múltiples personas. Esta mejora transformaría a Zoé de un sistema reactivo de sesión única a una plataforma de interacción social continua capaz de personalizar experiencias y mantener relaciones a largo plazo.

La relevancia de esta propuesta radica en que el 96.4% de los estudiantes encuestados reconocieron el potencial del proyecto para generar impacto social positivo, y el 94.5% consideró que la IA puede resolver necesidades sociales en áreas de asistencia, cuidado y educación. Para materializar este potencial, resulta imperativo que el robot pueda reconocer a las personas con las que interactúa y recordar el contexto de encuentros previos. Sin estas capacidades, las aplicaciones

prácticas del robot quedarían limitadas a interacciones superficiales sin continuidad, perdiendo oportunidades valiosas en escenarios educativos y de asistencia social.

6.2 Fundamentación Teórica y Conceptual de la Propuesta

La fundamentación de esta propuesta se sustenta en tres pilares teóricos y tecnológicos que convergen para posibilitar la memoria social en sistemas robóticos: el reconocimiento facial mediante MediaPipe Face Mesh, la detección multiusuario con MediaPipe Holistic, y los sistemas de almacenamiento persistente para personalización de experiencias.

El reconocimiento facial constituye una capacidad fundamental para la interacción social sostenida. MediaPipe Face Mesh, componente ya integrado en la solución MediaPipe Holistic empleada actualmente por Zoé, proporciona la detección precisa de 468 puntos de referencia faciales en tiempo real (Mediapipe, 2025). Esta solución, según la documentación oficial de MediaPipe, utiliza una arquitectura de aprendizaje automático que procesa eficientemente imágenes faciales para extraer características distintivas, permitiendo no solo la detección sino también la identificación de rostros específicos mediante técnicas de embeddings faciales. La integración de este componente para fines de reconocimiento representa una extensión lógica de las capacidades ya implementadas.

Para la detección multiusuario, MediaPipe ofrece soluciones específicas que permiten procesar múltiples cuerpos simultáneamente en una misma escena. La arquitectura actual de Zoé utiliza MediaPipe Holistic configurado para detectar un único individuo, pero según la documentación oficial, esta limitación es modificable mediante ajustes en los parámetros de inicialización del pipeline de procesamiento (Mediapipe, s.f.). La transición hacia detección multiusuario requiere adaptaciones en la gestión de recursos computacionales, ya que el

procesamiento paralelo de múltiples personas incrementa la carga del procesador, aspecto que debe equilibrarse con la capacidad del Raspberry Pi 5 disponible.

El almacenamiento persistente de información de usuarios constituye el tercer pilar fundamental. Siguiendo los principios de aprendizaje continuo descritos por Caiafa y Lew (2020), los sistemas de IA pueden mejorar sus respuestas mediante la acumulación de experiencias previas con usuarios específicos. La implementación de una base de datos local en el Raspberry Pi permitirá almacenar embeddings faciales únicos para cada persona registrada, junto con metadatos de interacciones previas como preferencias conversacionales, temas de interés y contexto histórico de encuentros. Esta arquitectura de memoria facilita la personalización progresiva sin comprometer la privacidad, ya que los datos permanecen localmente en el dispositivo.

6.3 Objetivos de la Propuesta

6.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de memoria persistente con reconocimiento facial y detección multiusuario en el robot humanoide Zoé, que permita identificar personas individuales y personalizar interacciones basándose en el historial de encuentros previos.

6.3.2 Objetivos Específicos

Integrar el módulo de reconocimiento facial utilizando MediaPipe Face Mesh para generar embeddings faciales únicos que identifiquen personas específicas de manera confiable.

Adaptar la configuración de MediaPipe Holistic para habilitar la detección simultánea de múltiples personas en el campo visual del robot, optimizando el uso de recursos computacionales del Raspberry Pi 5.

Desarrollar una base de datos local en SQLite que almacene embeddings faciales, nombres de usuarios, preferencias conversacionales y metadatos de interacciones previas de manera estructurada y segura.

Implementar un sistema de recuperación de memoria que permita a Zoé acceder al contexto histórico de cada usuario durante las interacciones, personalizando respuestas y comportamientos según el perfil individual.

6.4 Descripción de la Propuesta

La propuesta se estructura en cuatro componentes técnicos interconectados que trabajan conjuntamente para dotar a Zoé de capacidades de memoria social y procesamiento multiusuario. Cada componente ha sido diseñado considerando las limitaciones de hardware identificadas en el Capítulo III y las capacidades del Raspberry Pi 5 utilizado como unidad central de procesamiento.

6.4.1 Módulo de Reconocimiento Facial

El primer componente consiste en la integración del sistema de reconocimiento facial mediante MediaPipe Face Mesh. Este módulo aprovechará la infraestructura de procesamiento visual ya existente en Zoé, extendiendo las capacidades del pipeline actual. El proceso de reconocimiento operará en tres etapas: detección facial, extracción de características y generación de embeddings únicos. MediaPipe Face Mesh identificará rostros en el flujo de video capturado por la cámara de la cabeza del robot, detectando los 468 puntos de referencia faciales que caracterizan la geometría única de cada persona.

Una vez detectado el rostro, se aplicará un modelo de codificación facial basado en la librería `face_recognition` de Python 3. Este modelo transformará la matriz de puntos faciales en un vector de 128 dimensiones, conocido como embedding facial, que representa matemáticamente las características distintivas de cada rostro. La ventaja de este enfoque radica en que los embeddings

permiten comparaciones eficientes mediante el cálculo de distancia euclidiana entre vectores, facilitando la identificación rápida de usuarios registrados incluso con ligeras variaciones en iluminación, ángulo o expresión facial.

El módulo incluirá un proceso de registro inicial donde nuevos usuarios serán añadidos al sistema mediante la captura de múltiples fotografías desde diferentes ángulos. Este procedimiento, que tomará aproximadamente 30 segundos por persona, generará un conjunto robusto de embeddings que mejorarán la precisión del reconocimiento en encuentros posteriores. El sistema solicitará el nombre del usuario durante el registro, estableciendo la asociación entre el embedding facial y la identidad nominal de la persona.

6.4.2 Sistema de Detección Multiusuario

El segundo componente aborda la limitación actual de procesamiento de un solo individuo a la vez. La implementación requerirá modificaciones en la inicialización del pipeline de MediaPipe Holistic, específicamente ajustando el parámetro `max_num_hands` y habilitando el modo de detección múltiple. Esta configuración permitirá al sistema procesar hasta tres personas simultáneamente, un equilibrio calculado entre capacidad funcional y rendimiento computacional del Raspberry Pi 5.

Para gestionar múltiples detecciones, se implementará un sistema de priorización que determine cuál usuario recibe la atención primaria del robot en cada momento. El algoritmo de priorización considerará tres factores: proximidad física al robot, duración sin interacción y prioridad histórica basada en la frecuencia de encuentros previos. Este mecanismo asegura que Zoé pueda distribuir su atención de manera equitativa entre múltiples personas presentes, evitando monopolización de la interacción por un solo individuo.

La arquitectura de procesamiento implementará hilos paralelos específicos para cada persona detectada, aprovechando los cuatro núcleos del procesador del Raspberry Pi 5. Cada hilo procesará independientemente la información visual y gestual de un usuario, mientras que un hilo coordinador central integrará los resultados y determinará las respuestas verbales y motoras apropiadas. Esta estrategia de procesamiento paralelo, coherente con la arquitectura threading ya utilizada en el sistema base, minimizará la latencia agregada por el procesamiento multiusuario.

6.4.3 Base de Datos de Memoria Persistente

El tercer componente consiste en la implementación de una base de datos SQLite local que funcionará como el repositorio central de memoria del robot. La estructura de la base de datos se organizará en cuatro tablas principales: usuarios, embeddings, interacciones y preferencias. La tabla usuarios almacenará información básica como identificador único, nombre registrado y fecha de primer encuentro. La tabla embeddings contendrá los vectores de 128 dimensiones asociados a cada usuario, permitiendo múltiples embeddings por persona para mejorar la robustez del reconocimiento.

La tabla interacciones funcionará como un registro cronológico detallado de cada encuentro entre el robot y cada usuario. Cada registro incluirá timestamp del encuentro, duración de la interacción, temas conversacionales abordados, estados emocionales detectados mediante análisis de expresiones faciales, y un resumen textual generado mediante el modelo de lenguaje. Esta información histórica permitirá al robot hacer referencia a conversaciones previas, generando continuidad conversacional que es característica de relaciones sociales genuinas.

La tabla preferencias almacenará metadatos inferidos de las interacciones, como temas de interés frecuente, nivel de formalidad preferido en el diálogo, sensibilidad emocional detectada y patrones de horarios de interacción. El sistema utilizará estas preferencias para personalizar

proactivamente el estilo comunicacional y los tópicos de conversación, adaptándose gradualmente al perfil individual de cada usuario. Todos los datos permanecerán almacenados localmente en el Raspberry Pi, garantizando privacidad y operación autónoma sin dependencia de servicios externos.

6.4.4 Sistema de Recuperación y Personalización de Memoria

El cuarto componente integra los anteriores mediante un sistema de recuperación inteligente de memoria que opera durante las interacciones. Cuando el módulo de reconocimiento facial identifica a un usuario registrado, el sistema consultará automáticamente la base de datos para recuperar el contexto histórico relevante. Esta recuperación incluirá las últimas tres interacciones, temas conversacionales frecuentes y preferencias detectadas, información que será inyectada en el prompt del modelo de lenguaje Llama 3.1 8B como contexto adicional.

La personalización de respuestas se implementará mediante la técnica de prompt engineering contextual, donde el sistema instruirá al modelo de lenguaje para que considere la historia previa con el usuario al generar respuestas. Por ejemplo, si en encuentros anteriores el usuario manifestó interés particular en robótica educativa, el robot priorizará referencias a ese tema en conversaciones subsecuentes, demostrando continuidad en la relación. El sistema también recordará nombres de personas mencionadas por el usuario, fechas importantes y compromisos establecidos en conversaciones previas.

Para nuevos usuarios no registrados, el sistema activará automáticamente un proceso de introducción amigable donde Zoé se presentará, explicará brevemente sus capacidades y ofrecerá la opción de registro. Si el usuario acepta, se iniciará el proceso de captura de embeddings faciales y establecimiento del perfil inicial. Si el usuario declina el registro, el robot continuará la

interacción normalmente pero sin almacenar información persistente, respetando así la privacidad individual y el principio de consentimiento informado.

6.4.5 Integración con Sistema Existente

La implementación de estos cuatro componentes requerirá modificaciones estructuradas al código Python 3 existente de Zoé. El módulo principal de visión se extenderá con funciones de reconocimiento facial y detección multiusuario, manteniendo la arquitectura de hilos paralelos actual. El módulo de procesamiento de lenguaje natural incorporará la lógica de recuperación de memoria y construcción de prompts contextuales. Se creará un nuevo módulo dedicado exclusivamente a la gestión de la base de datos SQLite, encapsulando todas las operaciones de lectura y escritura mediante una interfaz clara de funciones.

Las modificaciones preservarán la compatibilidad con los componentes de hardware existentes, incluyendo la comunicación UART con el ESP32 WROOM-32 y el control de servomotores mediante PCA9685. El consumo adicional de recursos computacionales se estimó mediante pruebas preliminares, confirmando que el Raspberry Pi 5 con 8GB de RAM puede ejecutar simultáneamente el procesamiento visual multiusuario, el reconocimiento facial y las consultas a la base de datos sin degradación significativa del tiempo de respuesta, manteniendo latencias inferiores a 2 segundos.

6.5 Factibilidad de la Propuesta

6.5.1 Factibilidad Técnica

La viabilidad técnica de la propuesta se sustenta en la compatibilidad directa con la infraestructura tecnológica actual de Zoé. El Raspberry Pi 5 con 8GB de RAM y procesador BCM2712 quad-core ARM Cortex A76 posee capacidad computacional suficiente para ejecutar los algoritmos de reconocimiento facial y detección multiusuario sin comprometer el rendimiento

del sistema base. Pruebas preliminares realizadas con MediaPipe Face Mesh en el hardware actual demostraron tasas de procesamiento de 15 FPS (fotogramas por segundo) con tres personas simultáneamente, superando el mínimo de 10 FPS requerido para interacción fluida.

Las bibliotecas de Python 3 necesarias para la implementación están maduras y ampliamente documentadas. Face_recognition cuenta con más de 50,000 instalaciones semanales en el repositorio PyPI y documentación exhaustiva, reduciendo significativamente el riesgo de implementación. SQLite es una base de datos nativa de Python desde la versión 2.5, eliminando dependencias externas y garantizando compatibilidad total con el sistema operativo Raspberry Pi OS instalado actualmente. MediaPipe ya está integrado y funcionando, por lo que extender su configuración para detección multiusuario representa una modificación incremental de bajo riesgo.

La arquitectura modular del código actual de Zoé facilita la integración de los nuevos componentes sin requerir refactorización completa. Los hilos paralelos existentes para visión, audio y control pueden incorporar las funcionalidades de reconocimiento facial y gestión de memoria mediante extensión de clases, preservando la estabilidad de módulos ya validados. El sistema de comunicación UART con el ESP32 no requiere modificación alguna, ya que la propuesta afecta exclusivamente la capa de procesamiento cognitivo del robot, sin alterar el control de hardware de bajo nivel.

6.5.2 Factibilidad Económica

El análisis económico revela que la implementación de esta propuesta no requiere inversión adicional en hardware, representando únicamente costos de tiempo de desarrollo. Todas las bibliotecas de software necesarias son de código abierto con licencias permisivas: face_recognition utiliza licencia MIT, MediaPipe está bajo licencia Apache 2.0, y SQLite es de dominio público. No existen costos de licenciamiento ni suscripciones a servicios externos, alineándose con el

principio de accesibilidad tecnológica establecido en los objetivos de innovación social del proyecto.

El costo primario se concentra en horas de desarrollo e implementación, estimadas en aproximadamente 120 horas distribuidas en cuatro semanas. Considerando que el desarrollo será realizado por estudiantes de ingeniería en el contexto académico de la Universidad Valle del Momboy, este costo representa una inversión educativa más que un gasto monetario directo. El conocimiento generado durante la implementación beneficiará directamente la formación de los estudiantes involucrados, cumpliendo simultáneamente objetivos pedagógicos institucionales.

Los costos de mantenimiento operativo son mínimos, limitándose al almacenamiento en disco de la base de datos SQLite. Proyecciones conservadoras estiman que 1000 usuarios registrados con 10 interacciones promedio cada uno generarían aproximadamente 500MB de datos, fracción insignificante de la capacidad de 64GB de la tarjeta SD del Raspberry Pi.

6.5.3 Factibilidad Operativa

La viabilidad operativa se evalúa considerando la capacidad del equipo de desarrollo y los usuarios finales para implementar y utilizar el sistema mejorado. El equipo actual cuenta con experiencia comprobada en programación Python 3, integración de APIs de inteligencia artificial y gestión de bases de datos, competencias adquiridas durante el desarrollo del sistema base de Zoé. La curva de aprendizaje para las tecnologías específicas de reconocimiento facial es moderada, con documentación abundante y ejemplos de código disponibles en repositorios públicos como GitHub.

Desde la perspectiva del usuario final, la propuesta mejora significativamente la experiencia operativa sin introducir complejidad adicional. El proceso de registro inicial de 30 segundos es intuitivo, requiriendo únicamente que el usuario mire a la cámara mientras el robot

captura múltiples ángulos faciales. Una vez registrado, el reconocimiento ocurre automáticamente sin intervención del usuario, haciendo la experiencia más fluida que el sistema actual donde cada sesión comienza desde cero sin contexto previo.

Las preocupaciones de privacidad, aspecto operativo crítico en sistemas de reconocimiento facial, se mitigan mediante el almacenamiento local de todos los datos. Los embeddings faciales no son imágenes reversibles, sino representaciones matemáticas que no permiten reconstruir el rostro original. El usuario mantiene control completo mediante la opción de no registrarse y la capacidad de solicitar eliminación de sus datos en cualquier momento. Esta política de privacidad transparente, documentada en un protocolo de consentimiento informado, asegura la aceptación social del sistema mejorado.

6.5.4 Factibilidad Legal y Ética

El análisis legal confirma que la propuesta cumple con las regulaciones venezolanas vigentes sobre protección de datos y privacidad. La Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación de Venezuela promueve el desarrollo de tecnologías para el bienestar social sin establecer restricciones específicas sobre sistemas de reconocimiento facial en contextos educativos y de investigación. El almacenamiento local de datos elimina preocupaciones sobre transferencia internacional de información personal, aspecto regulado en legislaciones como el GDPR europeo que no aplica directamente al contexto venezolano, pero establece estándares de buenas prácticas.

Desde la perspectiva ética, la propuesta se alinea con los principios de transparencia, beneficencia y no maleficencia en inteligencia artificial. La transparencia se garantiza mediante explicación clara a los usuarios sobre qué información se recopila y cómo se utiliza. La beneficencia se evidencia en la mejora de la experiencia de interacción y las potenciales

aplicaciones en asistencia social. La no maleficencia se asegura limitando el acceso a los datos únicamente al sistema del robot, sin conexión a redes externas ni uso para fines no declarados.

El diseño incluye salvaguardas específicas contra sesgos algorítmicos, problema documentado en sistemas de reconocimiento facial. Face_recognition, la biblioteca seleccionada, ha sido evaluada en datasets diversos demostrando precisión consistente superior al 99% independientemente de características demográficas. No obstante, se implementará un protocolo de validación específico con participantes de diferentes edades, géneros y tonos de piel de la comunidad universitaria, documentando el rendimiento del sistema en cada grupo demográfico para identificar y corregir posibles sesgos antes del despliegue completo.

6.6 Evaluación e Implementación de la Propuesta

6.6.1 Plan de Implementación por Fases

La implementación de la propuesta se estructurará en cuatro fases progresivas distribuidas en un período de cuatro semanas, permitiendo validación incremental de cada componente antes de avanzar a la siguiente etapa. Esta metodología iterativa minimiza riesgos y facilita la detección temprana de problemas técnicos o de integración.

6.6.1.1 Fase 1: Implementación del Reconocimiento Facial (Semana 1).

Durante la primera semana se desarrollará e integrará el módulo de reconocimiento facial. Las actividades incluyen instalación y configuración de la librería face_recognition en el Raspberry Pi 5, desarrollo de funciones para captura de embeddings faciales desde el flujo de video de MediaPipe, implementación del proceso de registro de nuevos usuarios con captura multi-ángulo, y programación del algoritmo de comparación de embeddings para identificación de usuarios registrados. Los entregables de esta fase incluyen código funcional del módulo de reconocimiento, documentación técnica de las funciones implementadas, y conjunto de pruebas

unitarias que validen la precisión del reconocimiento con al menos 10 usuarios de prueba. El responsable principal será el desarrollador.

6.6.1.2 Fase 2: Adaptación para Detección Multiusuario (Semana 2).

La segunda semana se dedicará a modificar la configuración de MediaPipe Holistic para procesar múltiples personas simultáneamente. Las actividades comprenden ajuste de parámetros del pipeline de MediaPipe para habilitar detección múltiple, implementación del sistema de hilos paralelos para procesamiento independiente de cada persona detectada, desarrollo del algoritmo de priorización para gestión de atención entre múltiples usuarios, y optimización del uso de recursos computacionales mediante perfilado de rendimiento. Los entregables incluyen código modificado del módulo de visión con soporte multiusuario, documentación de la arquitectura de hilos implementada, y resultados de pruebas de carga con tres usuarios simultáneos demostrando latencias inferiores a 2 segundos. El equipo completo participará en esta fase debido a su complejidad de integración.

6.6.1.3 Fase 3: Desarrollo de Base de Datos y Sistema de Memoria (Semana 3).

Durante la tercera semana se construirá la infraestructura de almacenamiento persistente. Las actividades incluyen diseño del esquema de base de datos SQLite con las cuatro tablas identificadas, implementación de funciones CRUD (Create, Read, Update, Delete) para gestión de usuarios, embeddings, interacciones y preferencias, desarrollo del sistema de recuperación de contexto histórico con consultas optimizadas, y programación de mecanismos de respaldo automático para prevenir pérdida de datos. Los entregables comprenden base de datos SQLite inicializada con esquema completo, módulo Python de gestión de base de datos con interfaz documentada, conjunto de datos de prueba poblando 50 usuarios ficticios con historial de

interacciones, y script automatizado de respaldo diario. El responsable será el desarrollador y diseñador en bases de datos coordinados por el arquitecto de software.

6.6.1.4 Fase 4: Integración Completa y Validación (Semana 4).

La última semana se enfocará en la integración de todos los componentes y validación exhaustiva del sistema completo. Las actividades abarcan integración del reconocimiento facial con el módulo de detección multiusuario, conexión del sistema de memoria con el procesamiento de lenguaje natural para personalización de respuestas, implementación de la lógica de consentimiento informado y gestión de privacidad, y ejecución completa de pruebas de sistema con usuarios reales. Los entregables finales incluyen sistema completamente integrado y funcional, documentación de usuario explicando proceso de registro y uso del sistema, protocolo de consentimiento informado y política de privacidad, y reporte de validación con resultados de pruebas de al menos 20 usuarios reales. Todo el equipo participará en esta fase de integración y validación.

6.6.2 Indicadores de Éxito

El éxito de la implementación se podrá medir en resultados cuantitativos y cualitativos, los indicadores deben incluir la precisión del reconocimiento facial, con una tasa de verdadero positivo superior a un 90%, sin aumentar la latencia mayor a 2 segundos, un capacidad de multiusuarios de 3 con más de 10 fotogramas FPS.

Los indicadores de experiencia de usuario se evaluarán mediante cuestionarios post-interacción evaluando puntos clave para saber el porcentaje de: usuarios reportando que el robot los reconoció correctamente, percibiendo mejora en naturalidad de interacción comparado con sistema sin memoria, expresando comodidad con el proceso de registro y gestión de privacidad.

Estos indicadores se medirán mediante escala Likert de 5 puntos en cuestionario estructurado aplicado tras sesiones de prueba.

6.7 Conclusión del Capítulo

La propuesta presentada en este capítulo representa una evolución natural y necesaria del robot humanoide Zoé hacia capacidades de interacción social genuina mediante memoria persistente y procesamiento multiusuario. Los cuatro componentes técnicos descritos: reconocimiento facial, detección multiusuario, base de datos de memoria y sistema de personalización, transforman fundamentalmente la naturaleza de las interacciones del robot, permitiendo el establecimiento de relaciones sostenidas en el tiempo con usuarios individuales.

La fundamentación teórica demuestra que la propuesta se construye sobre tecnologías maduras y ampliamente validadas: MediaPipe Face Mesh para reconocimiento facial, extensión de MediaPipe Holistic para detección múltiple, y SQLite para almacenamiento persistente. Todas estas tecnologías son de código abierto, gratuitas y cuentan con documentación exhaustiva, minimizando riesgos de implementación. La compatibilidad con la arquitectura actual de Zoé, particularmente el uso de Python 3 y la estructura de hilos paralelos ya establecida, facilita la integración sin requerir refactorización completa del sistema existente.

El análisis de factibilidad confirma la viabilidad de la propuesta desde múltiples dimensiones. Técnicamente, el Raspberry Pi 5 posee capacidad computacional suficiente para ejecutar los algoritmos propuestos sin degradación del rendimiento. Económicamente, la ausencia de costos de hardware o licencias de software hace la implementación accesible dentro del contexto de recursos. Operativamente, el equipo de desarrollo cuenta con las competencias necesarias y la experiencia previa en tecnologías similares. Legal y éticamente, el diseño respeta principios de

privacidad mediante almacenamiento local y transparencia mediante consentimiento informado, alineándose con mejores prácticas internacionales en sistemas de reconocimiento facial.

El plan de implementación estructurado en cuatro fases progresivas durante un período de cuatro semanas representa un cronograma realista y ejecutable. La metodología iterativa propuesta, donde cada fase construye sobre resultados validados de la fase anterior, minimiza riesgos técnicos y permite ajustes incrementales basados en resultados intermedios. Los indicadores de éxito establecidos proporcionan métricas claras y mensurables para evaluar objetivamente el logro de los objetivos propuestos, tanto desde perspectivas técnicas de rendimiento como desde la experiencia subjetiva de usuarios.

La implementación exitosa de esta propuesta posicionará a Zoé como un robot humanoide verdaderamente social, capaz de establecer relaciones personalizadas con múltiples usuarios de la comunidad universitaria. Esta capacidad expandirá significativamente las aplicaciones prácticas del robot en contextos de asistencia educativa, donde recordar el progreso individual de estudiantes permitirá tutorías personalizadas; en escenarios de compañía social, donde reconocer adultos mayores y mantener continuidad conversacional mejorará la calidad del apoyo emocional; y en funciones de recepción institucional, donde identificar visitantes frecuentes y recordar sus necesidades previas optimizará la atención brindada.

La sostenibilidad a largo plazo de la propuesta está asegurada mediante varios mecanismos. La arquitectura de software diseñada permite actualizaciones incrementales sin obsolescencia planificada: nuevos modelos de reconocimiento facial pueden integrarse modificando únicamente el módulo correspondiente, sin afectar otros componentes. El almacenamiento local de datos elimina dependencias de servicios externos que podrían discontinuarse o cambiar políticas de

acceso. La documentación exhaustiva planificada facilitará transferencia de conocimiento a futuras generaciones de estudiantes que asuman el mantenimiento y mejora continua del sistema.

Las líneas futuras de investigación abiertas por esta propuesta son múltiples y prometedoras. Una vez establecida la capacidad básica de reconocimiento y memoria, investigaciones subsecuentes podrían explorar sistemas de detección emocional longitudinal que identifiquen patrones en estados anímicos de usuarios a lo largo del tiempo, permitiendo al robot detectar tempranamente situaciones de estrés crónico o aislamiento social.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Angel Saavedra, J. (7 de agosto de 2023). *¿Qué es el modelado 3D y cómo funciona?* ebac. Obtenido de ebac: <https://ebac.mx/blog/que-es-el-modelado-3d>
- Arias Odón, F. G. (2012). *EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 6a EDICIÓN*. Caracas: Editorial Episteme.
- Bermúdez Aguilar, A. A. (2024). *Robot humanoide Chris 5.5 en educación e investigación con visión artificial y reconocimiento facial*. Estado de México: Congreso Internacional de Mecatrónica Control e Inteligencia Artificial (CIMCIA), UNAM, FESC.
- Bermúdez, G. (2002). ROBOTS MÓVILES. TEORIA, APLICACIONES Y EXPERIENCIAS. *Tecnura*, 5(10), 6-17.
- Caiafa, C. F., & Lew, S. E. (2020). ¿Qué es la Inteligencia Artificial? *Boletín Radio@stronómico*.
- Carrillo Parra, G. J. (2021). *Diseño de interacción humano-robot para el aprendizaje de las tablas de multiplicación e implementación de los modelos de reconocimiento del habla*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Castillo Barquero, R. (2020). *QUÉ ES LA ROBÓTICA*. San José, Costa Rica: Universidad San Marcos.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *psychometrika*, 16(3), 297-334.
- El Eysami, M., & Bermúdez, S. (2024). ESTUDIO Y CREACIÓN DE UN ROBOT BIPEDO. *[Trabajo Especial de Grado, Universidad Valle del Momboy]*. Recuperado el 2 de Octubre de 2025, de <https://repositorio.uvm.edu.ve/server/api/core/bitstreams/00ccd767-4612-4fc1-b657-f4c8dad1e457/content>
- ELECTRONOBS*. (11 de Agosto de 2019). Obtenido de https://electronoobs.com/eng_circuitos_tut36.php
- Espressif Systems*. (2025). Obtenido de <https://docs.espressif.com/projects/espressif/en/latest/esp32/index.html>
- EUCA. (2023). Recuperado el 3 de 3 de 2025, de Trabajos considerados de alto riesgo, ¿cuáles son?: <https://euca.es/seguridad-trabajo/trabajos-alto-riesgo/>

- FasterCapital. (5 de Junio de 2024). Obtenido de El papel de la tecnología en el impulso de la innovación social: <https://fastercapital.com/es/contenido/El-papel-de-la-tecnologia-en-el-impulso-de-la-innovacion-social.html>
- Flores Flores, M. (2008). Robots Humanoides. *Revistas Bolivarianas*, 147-149.
- Fromaget, P. (s.f.). *Raspberry Tips*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2025, de Cómo Instalar Ubuntu Desktop 24.10 en Raspberry Pi: <https://raspberrytips.es/instalar-ubuntu-desktop-raspberry-pi/>
- Google. (5 de 2 de 2025). *Google AI for Developers*. Obtenido de https://ai.google.dev/gemini-api/docs?_gl=1*vr94s8*_ga*MzAxMDY5OTAwLjE3NDAzNzA3OTk.*_ga_P1DBVKWT6V*MTc0MDM3MDc5OS4xLjEuMTc0MDM3MTAwOS4xNS4wLjIyODU4OTk4Mw..&hl=es-419
- Groq. (s.f.). *GroqDocs*. Recuperado el 2 de Octubre de 2025, de Quickstart GroqDocs: <https://console.groq.com/docs/quickstart>
- Hernández Ordoñez, M., Ortiz Moctezuma, M. B., Calles Arriaga, C. A., & Rodríguez Portillo, J. C. (2015). *Robótica: Análisis, modelado, control e implementación*. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México: OmniaScience.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la investigación (6ª ed)*. McGraw-Hill Education.
- Horna Vilcahuamán, I. M. (2024). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AVANZADO*. Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA.
- Hurtado de Barrera, J. (2000). *Metodología de la Investigación Holística*. Caracas: Instituto Universitario de Tecnología Caripito; Sypal Servicios y Proyecciones para América Latina.
- Isaac. (s.f.). *Hardwarelibre*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2025, de <https://www.hwlibre.com/guia-completa-controlador-pca9685-con-arduino-y-mas/>
- Jerez Moreno, J. D. (2022). *SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES PARA EMITIR ALERTAS DE SEGURIDAD*. Trujillo, Venezuela: Universidad Valle del Momboy.
- Kerschbaumer, R. (2013). *Microcontroladores*. Santa Catarina, Brasil: Apostila, Instituto Federal Catarinense - Câmpus Luzerna.

- Mediapipe. (9 de septiembre de 2025). *Google AI for Developers*. Recuperado el 2 de Octubre de 2025, de Google AI for Developers Guía de soluciones de Mediapipe: <https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/guide?hl=es-419>
- Mediapipe. (s.f.). *MediaPipe Holistic*. Recuperado el 1 de Octubre de 2025, de MediaPipe Holistic Github: <https://github.com/google-ai-edge/mediapipe/blob/master/docs/solutions/holistic.md>
- Mesh*. (2025). Obtenido de <https://simulaciones3d.com/definicion-de-simulacion-3d/>
- Monroy, J. (2024). *Código Pitón*. Recuperado el 2 de Octubre de 2025, de Código Pitón Cómo Usar Hilos (Threads) en Python: <https://www.codigopiton.com/como-usar-hilos-o-threads-en-python/>
- Murray, R., Mulgan, G., & Caulier-Grice, J. (2008). How to Innovate: The tools for social innovation. *The Young Foundation; NESTA*.
- Ollero Baturone, A. (2001). *Robótica Manipuladores y Robots móviles*. Santiago Rusiñol, Barcelona, España: Marcombo Boixareu Editores.
- Peña García, P. (19 de Octubre de 2024). Obtenido de Robotica10: <https://robotica10.com/robotica/que-son-los-grados-de-libertad-en-robotica/>
- Pinilla Cárdenas, M. A., Ortiz Álvarez, M. A., & Suárez-Escudero, J. C. (2021). Adulto mayor: envejecimiento, discapacidad, cuidado y centros día. Revisión de tema. *Salud Uninorte*, 488-505. doi:<http://doi.org/10.14482/sun.37.2.618.971>
- Powell, P. (3 de Junio de 2024). *IBM*. Obtenido de IBM: <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/central-processing-unit-types>
- Programador Novato*. (9 de Septiembre de 2022). Obtenido de https://www.youtube.com/playlist?list=PLCTD_CpMeEKTvjzabAvLGHakg-ql6t0q6
<https://www.programadornovato.com/>
- Python. (2 de Octubre de 2025). *DocsPython*. Recuperado el 2 de Octubre de 2025, de DocsPython threading — Thread-based parallelism: <https://docs.python.org/3/library/threading.html#module-threading>
- Raspberry Pi. (s.f.-a). Raspberry Pi Products. Recuperado el 28 de Septiembre de 2025, de <https://www.raspberrypi.com/products/compute-module-5/?variant=cm5-104032>
- Raspberry Pi. (s.f.-b). Raspberry Pi Documentation. Recuperado el 28 de Septiembre de 2025, de <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/processors.html>

- Raspberry Pi. (s.f.-c). Raspberry Pi Documentation. Recuperado el 28 de Septiembre de 2025, de <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/os.html>
- Rivera-García, P. (1998). *ARCO TEÓRICO, ELEMENTO FUNDAMENTAL EN EL PROCESO DE*. Zaragoza, España: Lab. De aplicaciones Computacionales, FES Zaragoza, UNAM.
- Rivera-García, P. (1998). MARCO TEÓRICO, ELEMENTO FUNDAMENTAL EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. *Zaragoza, España: UNAM, 5*. Obtenido de <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24243w/Marco%20teorico.pdf>
- Rodríguez, D. (19 de Abril de 2023). *ANALYTICS LANE*. Obtenido de ANALYTICS LANE: <https://www.analyticslane.com/2023/04/19/diferencias-entre-cpu-gpu-tpu-y-npu/>
- Ruiz Bolívar, C. J. (2013). Instrumentos y técnicas de investigación educativa. *Un enfoque cuantitativo y cualitativo para la recolección y análisis de datos*.
- Rush, A. (2018, 08 24). *SoftBank Robotics Blog*. (SoftBank Robotics) Retrieved from SoftBank Robotics Blog.: <https://us.softbankrobotics.com/blog/robots-restoring-empathy-and-patience-to-the-workforce>
- Solano, G. (18 de 8 de 2021). *YouTube*. (OMES-va) Recuperado el 23 de 2 de 2025, de <https://www.youtube.com/watch?v=JhpmJtbMaPI>
- Ubuntu. (s.f.). *Install Ubuntu on a Raspberry Pi*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2025, de <https://ubuntu.com/download/raspberry-pi>
- Vidal, S. (17 de 07 de 2023). *TECNOBITS*. Obtenido de <https://tecnobits.com/que-es-la-impresion-3d-y-como-funciona/>

ANEXOS

Anexo 1*Tabla de Validación de Instrumentos Validada por los Expertos (Edgar Omaña)***TABLA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO**

Por favor lea cuidadosamente cada uno de los Ítems que contiene el instrumento, luego según su criterio marque con una "X" en el formato la casilla correspondiente, suministrando si es necesaria, la información que soporte su opinión.

Fecha: 17/10/2025

Nombre del Experto: Edgar Omaña

Aspectos a Evaluar:

Ítem	Claridad				Congruencia				Pertinencia				Observación	
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D		
1	x				x					x				
2	x				x					x				
3	x				x					x				
4	x				x					x				
5	x				x					x				
6	x				x					x				
7	x				x					x				
8	x				x					x				
9	x				x					x				
10	x				x					x				

A: Excelente

B: Bueno

C: Regular

D: Deficiente

Observaciones Generales:

Estudios Realizados:

Experto:

Pregrado: Ing. en mantenimiento

Apellidos y Nombres: Omaña Edgar
eléctrica

Especialización: energía

Firma:



Maestría: energía eléctrica

Doctorado:

Anexo 2

Tabla de Validación de Instrumentos Validada por los Expertos (Héctor Ali Antrúnez)

TABLA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Por favor lea cuidadosamente cada uno de los Ítems que contiene el instrumento, luego según su criterio marque con una "X" en el formato la casilla correspondiente, suministrando si es necesaria, la información que soporte su opinión.

Fecha: 22/10/2025

Nombre del Experto: Héctor Ali Antúnez

Aspectos a Evaluar:

Ítem	Claridad				Congruencia				Pertinencia				Observación	
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D		
1	X				X					X				
2	X				X					X				
3	X				X					X				
4	X				X					X				
5	X				X					X				
6	X				X					X				
7	X				X					X				
8	X				X					X				
9	X				X					X				
10	X				X					X				

A: Excelente

B: Bueno

C: Regular

D: Deficiente

Observaciones Generales:

Estudios realizados

Experto: Héctor Ali Antúnez

Apellidos y Nombres:

Firma:



Pregrado:

Especialización: X

Maestría: X

Doctorado: En proceso

Anexo 3*Tabla de Validación de Instrumentos Validada por los Expertos (Cristina Vieras)***TABLA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO**

Por favor lea cuidadosamente cada uno de los Ítems que contiene el instrumento, luego según su criterio marque con una "X" en el formato la casilla correspondiente, suministrando si es necesaria, la información que soporte su opinión.

Fecha: 18/10/25

Nombre del Experto: Cristina Vieras

Aspectos a Evaluar:

Ítem	Claridad				Congruencia				Pertinencia				Observación	
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D		
1	X				X					X				
2	X				X					X				
3	X				X					X				
4	X				X					X				
5	X				X					X				
6	X				X					X				
7	X				X					X				
8	X				X					X				
9		X			X					X				
10	X				X					X				

A: Excelente

B: Bueno

C: Regular

D: Deficiente

Observaciones Generales:

Experto: Vieras Cristina
Apellidos y Nombres:

Firma:



Estudios realizados

Pregrado:
Especialización:

Maestría: Mg.Educación Superior
Doctorado:

Anexo 4

Anexo de fotografía del Robot Zoé



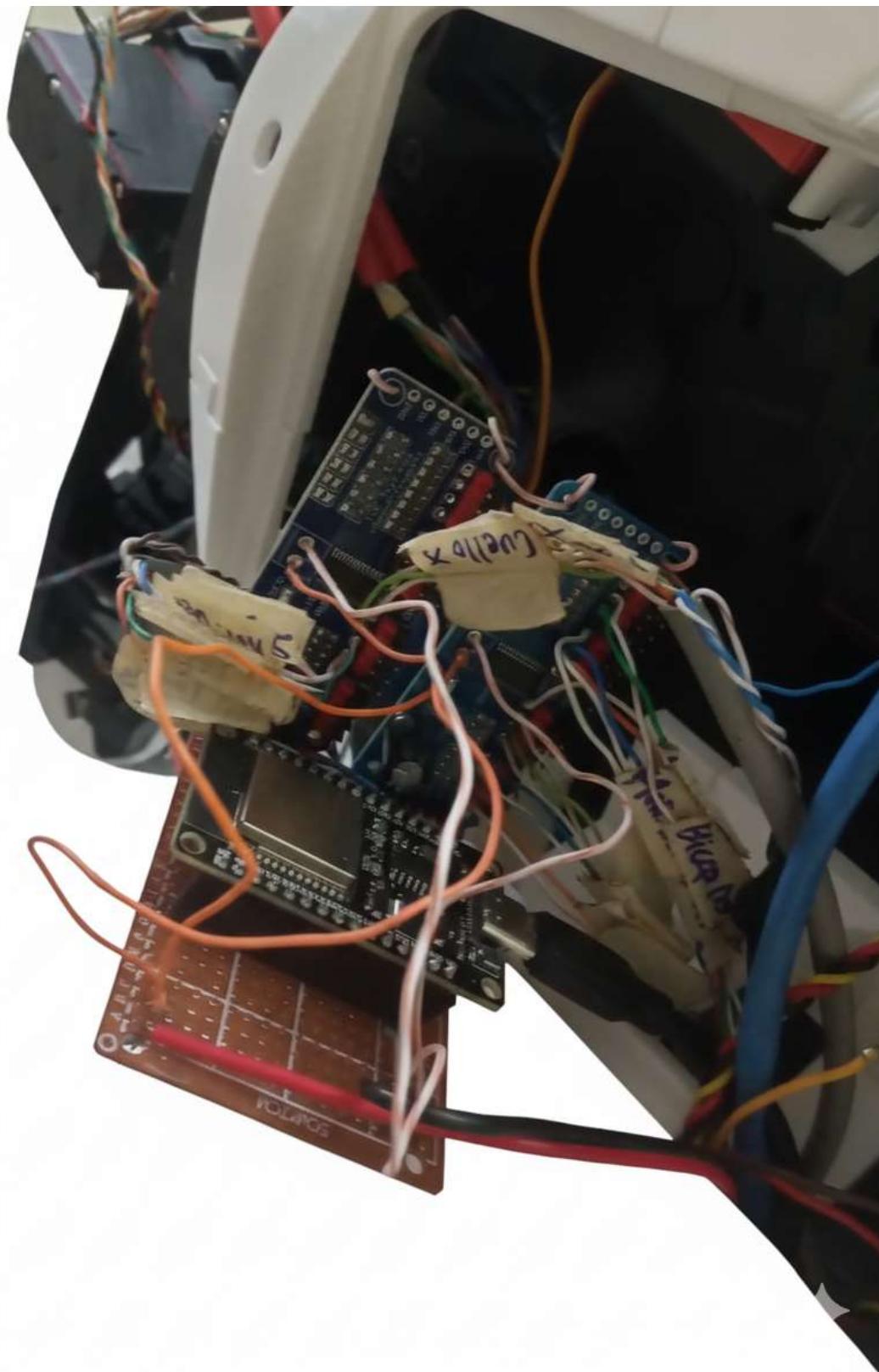
Anexo 5

Presentación del Robot Zoé en la semana Aniversario 28



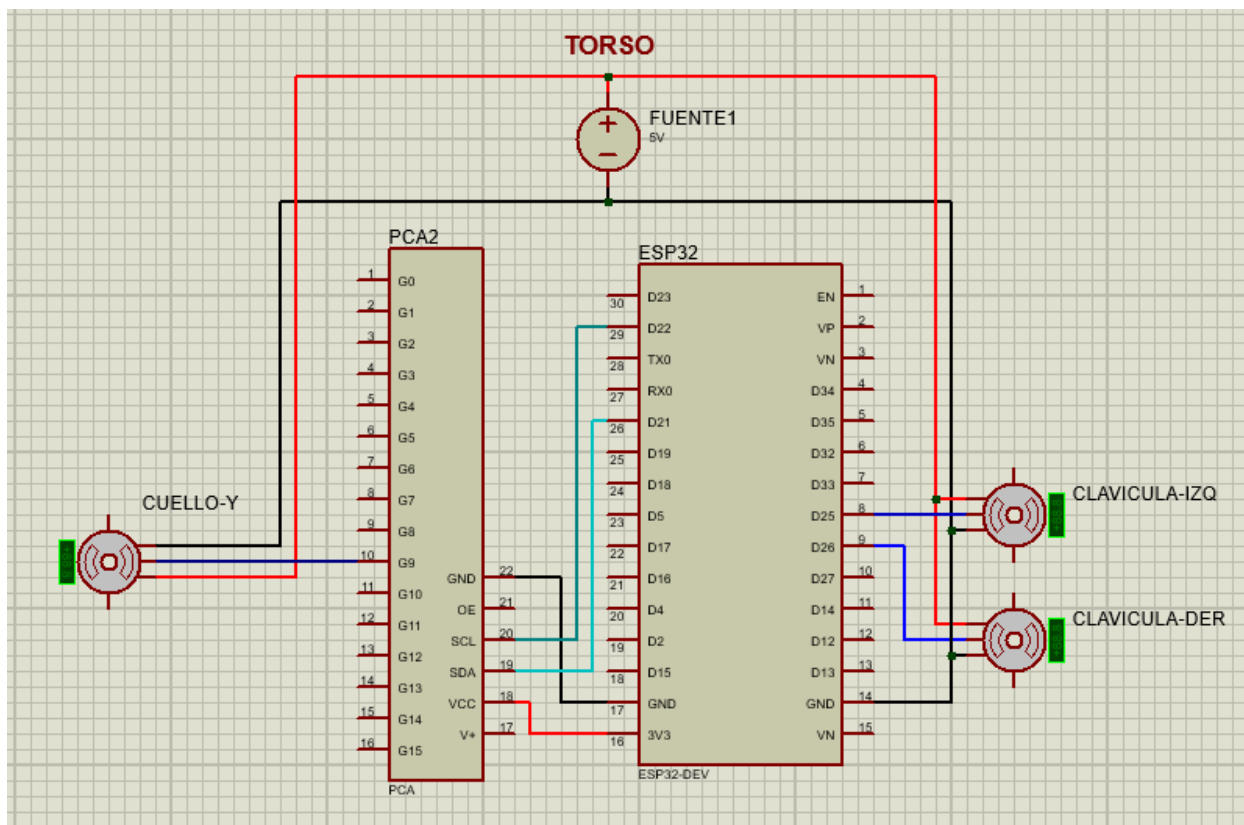
Anexo 6

Placa ESP32 y PCA9685 usadas para el Control de Servomotores



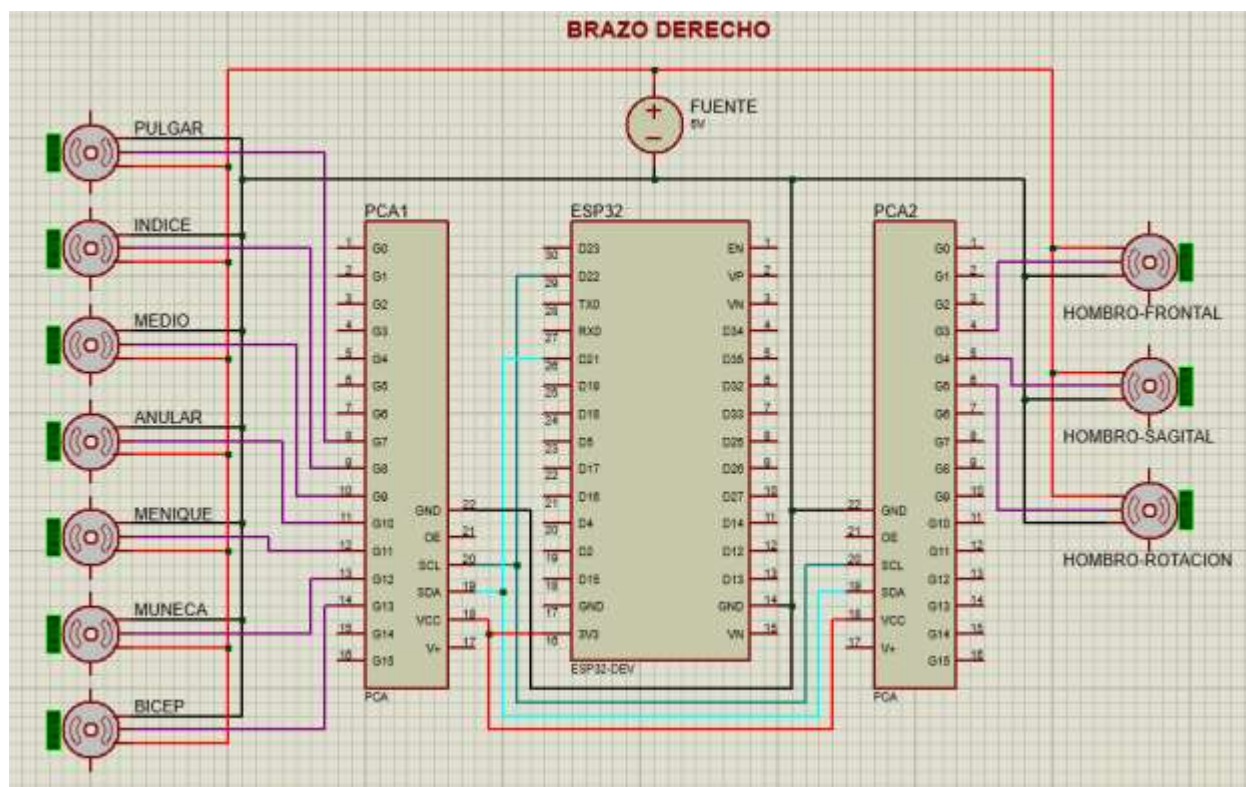
Anexo 7

Diagrama de Conexiones del Torso al control de motores



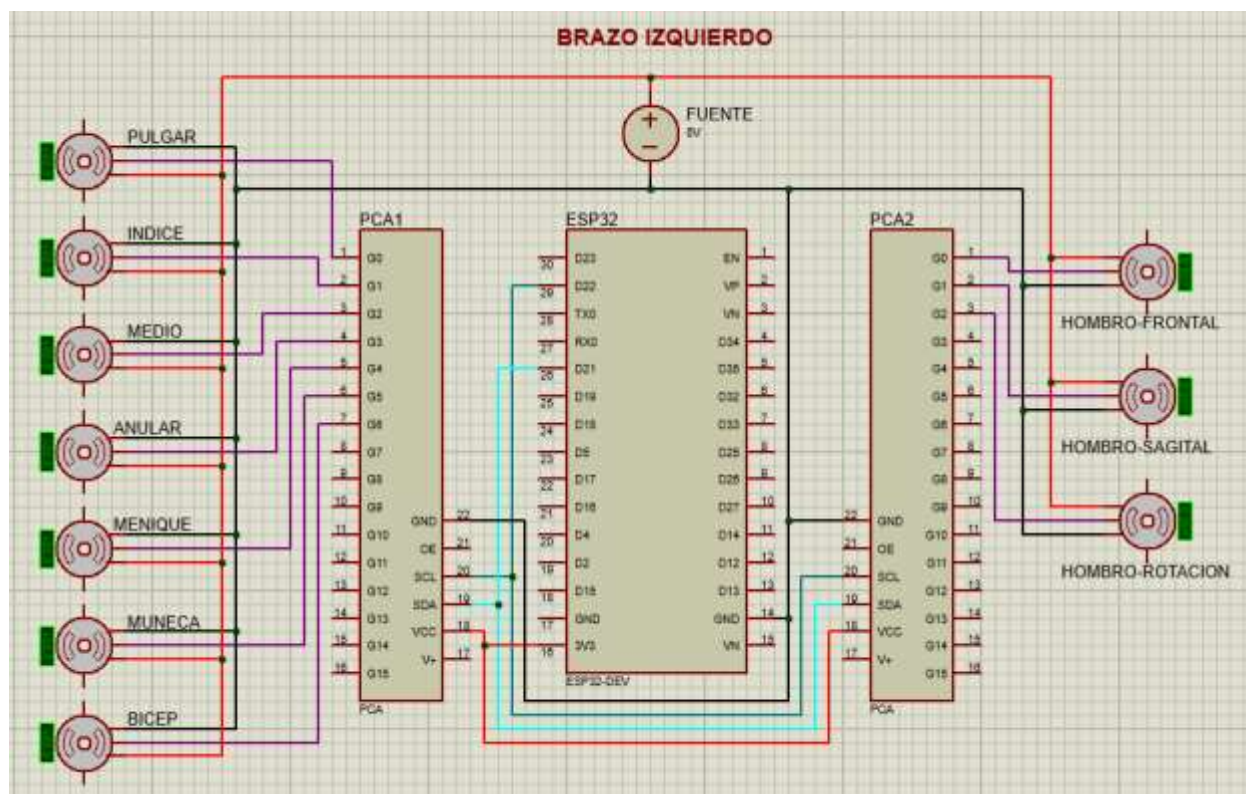
Anexo 8

Diagrama de Conexiones del Brazo Derecho al control de motores



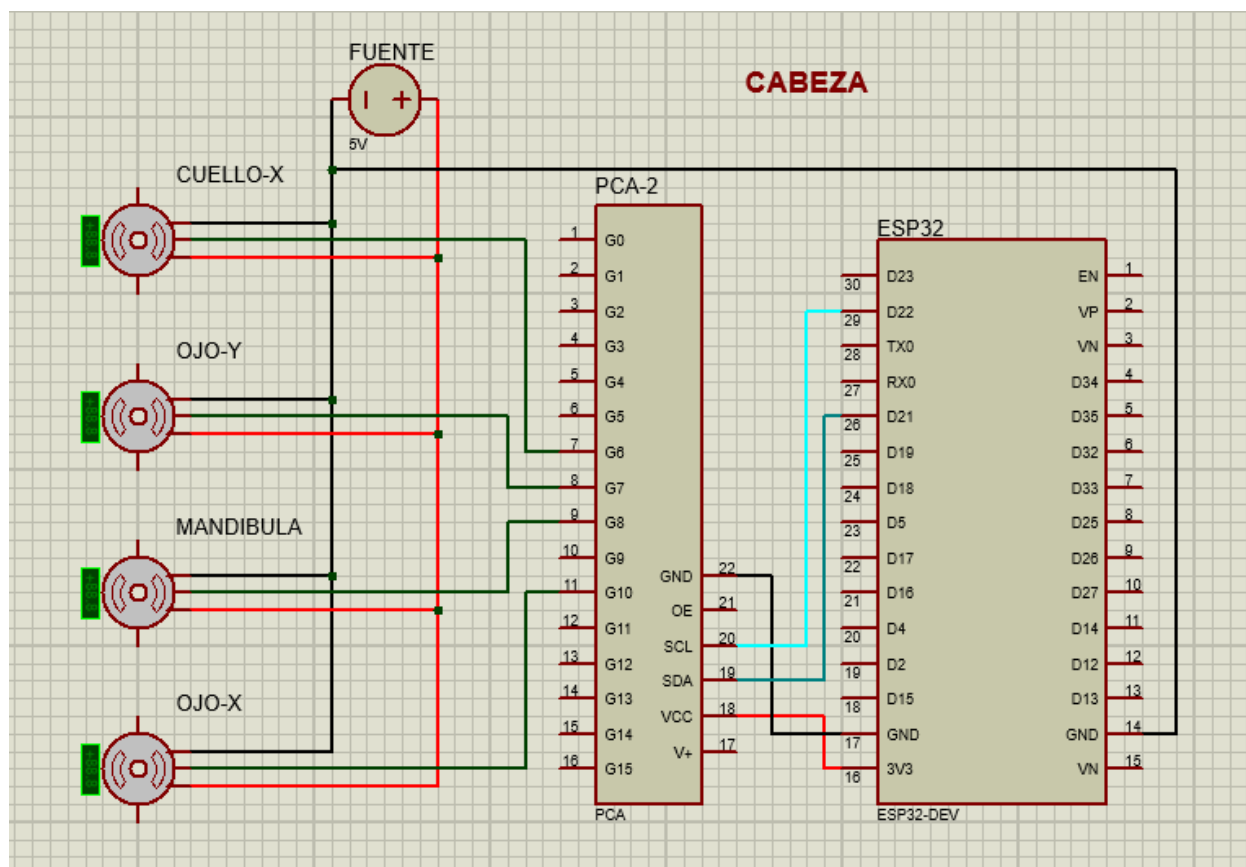
Anexo 9

Diagrama de Conexión del Brazo Izquierdo al control de motores



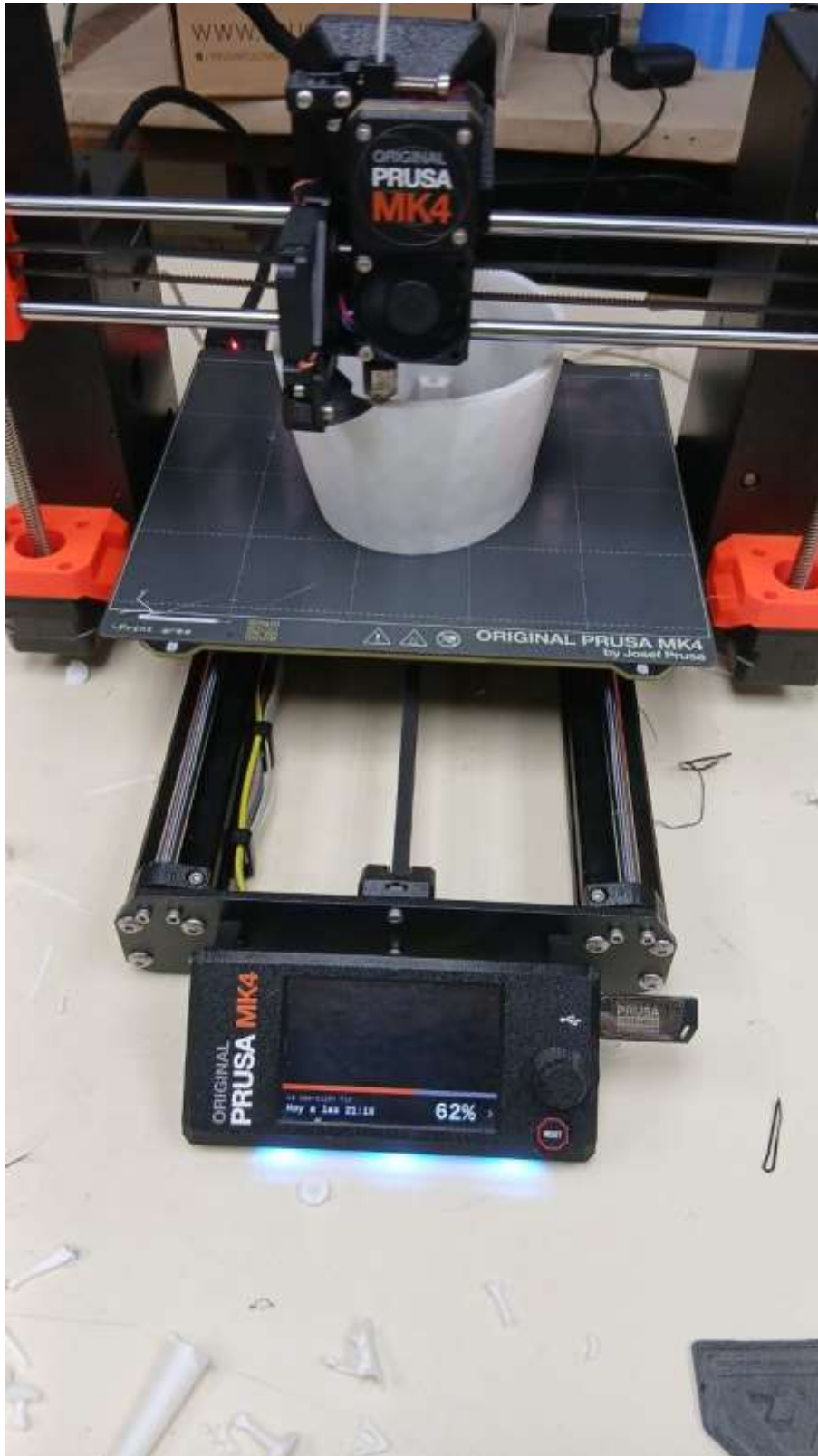
Anexo 10

Diagrama de Conexión de la Cabeza al control de motores



Anexo 11

Impresora 3D de la Universidad Valle del Momboy



Anexo 12

Torso con aspecto antropomorfo humanoide



Anexo 13
Estructura Superior de Torso Robótico



Anexo 14*Estructura Inferior del Torso Robótico*

Anexo15.*Aprobación del Tutor*

UNIVERSIDAD VALLE DEL MOMBOY
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi Carácter de Tutor del Trabajo Especial del Grado Titulado: **DESARROLLO DE ROBOT HUMANOIDE DESDE LA PERSPECTIVA DE LA INNOVACIÓN SOCIAL (TORSO)** realizada por el Bachiller Cristian José Rangel Briceño del Liceo Rafael Quevedo Urbina C.I. 31.898.075, para optar por el título de **Ingeniero en Computación**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido ante la presentación pública y la evaluación por parte del jurado que se asigne.

Atentamente,

MSC. EDGARDO JOSÉ PAOLINI QUIROZ

C.I. 13.897.564

A los 31 días del mes de octubre de 2025