



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta tecnológica, previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

“Implementación de un prototipo de semaforización inteligente orientado a dar soluciones de movilidad en espacios públicos a personas en silla de ruedas usando hardware y software de sistemas de código abierto”

AUTOR

JESÚS ALBERTO ESCALANTE FIGUEROA

TUTOR

ING. CARLOS ALBERTO SALDAÑA ENDERICA

LA LIBERTAD – ECUADOR 2025

AGRADECIMIENTO

Con profunda gratitud, agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de cursar una carrera universitaria, por darme la fortaleza para superar los desafíos que este camino conlleva, y por otorgarme el discernimiento necesario para comprender las materias impartidas, permitiéndome así enriquecerme con conocimientos técnicos.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres, cuyo esfuerzo y dedicación han hecho posible que continúe con mis estudios. Su apoyo incondicional y sabios consejos han sido fundamentales para tomar decisiones acertadas y seguir el camino correcto en mi vida.

Asimismo, extiendo mi gratitud a los docentes de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones por compartir su conocimiento a lo largo de esta etapa académica. De manera especial, agradezco al Ing. Carlos Saldaña, cuya orientación y enseñanzas han sido clave en el desarrollo de esta investigación.

Jesús Alberto Escalante Figueroa

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo agradecimiento a mi madre, por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios y por su apoyo inquebrantable en los momentos más desafiantes de mi carrera universitaria.

A mi padre, cuyo legado de perseverancia y determinación sembró en mí el deseo de seguir adelante y alcanzar mis metas profesionales.

A mis hermanas, quienes con su ejemplo de constancia y esfuerzo me inspiran a seguir luchando por mis objetivos. A todos los familiares que han estado presentes en mi camino académico, brindándome su apoyo en cada etapa de esta trayectoria.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor de la propuesta tecnológica con título “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE ORIENTADO A DAR SOLUCIONES DE MOVILIDAD EN ESPACIOS PÚBLICOS A PERSONAS EN SILLA DE RUEDAS USANDO HARDWARE Y SOFTWARE DE SISTEMAS DE CÓDIGO ABIERTO”, presentado por el señor egresado Jesús Alberto Escalante Figueroa, estudiante de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado, es aprobado en todas sus partes.

Particular que informo para los fines consiguientes.



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS ALBERTO
SALDANA ENDERICA**

Ing. Carlos Alberto Saldaña Enderica, MSc.
Docente tutor

TRIBUNAL DE GRADO



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON DANIEL
TORRES GUIN**

Ing. Washington Torres Guin, Mgtr.
DECANO DE FACULTAD



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**JOSE MIGUEL SANCHEZ
AQUINO**

Ing. José Aquino Sánchez, Mgtr.
DIRECTOR DE CARRERA



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**EDISSON STALIN
CORAL SALINAS**

Ing. Edison Coral Salinas, Mgtr.
DOCENTE DE ÁREA



Firmado electrónicamente por:
**CARLOS ALBERTO
SALDANA ENDERICA**

Ing. Carlos Saldaña Enderica, Mgtr.
DOCENTE TUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**MARIA MARGARITA
RIVERA GONZALEZ**

Ing. María Rivera González Mgtr.
SECRETARIA GENERAL

DECLARACIÓN DEL AUTOR

Jesús Alberto Escalante Figueroa, egresado de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, la responsabilidad del contenido recae exclusivamente en mí y el patrimonio intelectual de la misma le corresponde a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Jesús Alberto Escalante Figueroa

RESUMEN

La accesibilidad en el tránsito peatonal es un aspecto fundamental para garantizar la inclusión de personas con discapacidad motriz, especialmente aquellas que utilizan sillas de ruedas. En este estudio, se propone implementar un sistema inteligente de semaforización basado en visión artificial y aprendizaje profundo, utilizando hardware y software de código abierto. El objetivo principal es desarrollar un mecanismo autónomo que identifique en tiempo real a los peatones con movilidad reducida y les otorgue prioridad de paso en intersecciones viales.

El sistema adquiere datos mediante una cámara que captura imágenes en tiempo real, procesadas por algoritmos de redes neuronales desarrollados en Python. Mediante el uso de técnicas de reconocimiento de poses, la tarjeta de sistema embebido analiza las señales visuales y activa el cambio de señal del semáforo cuando se detecta la presencia de una persona en silla de ruedas. Además, se incorpora una interfaz visual para informar a peatones y conductores sobre el estado del sistema y fomentar el respeto a las normas de tránsito.

El diseño del prototipo incluye el desarrollo del esquema electrónico, mecánico y eléctrico necesario para su funcionamiento, asegurando su operatividad en condiciones urbanas diversas. Se realizaron pruebas experimentales para evaluar la precisión del sistema en la detección de usuarios con movilidad reducida, obteniendo resultados favorables en términos de eficiencia y tiempos de respuesta.

Este proyecto representa un avance significativo en la optimización del tráfico peatonal, promoviendo una movilidad más inclusiva y segura. Su implementación a mayor escala podría contribuir a la modernización de la infraestructura vial mediante el uso de inteligencia artificial, facilitando la integración de soluciones tecnológicas en sistemas de transporte urbano.

Palabras claves: Semaforización inteligente, aprendizaje profundo, movilidad inclusiva, sistema embebido, detección de poses.

ABSTRACT

Accessibility in pedestrian traffic is a fundamental aspect of ensuring the inclusion of individuals with motor disabilities, especially those who use wheelchairs. This study proposes the implementation of an intelligent traffic light system based on computer vision and deep learning, utilizing open-source hardware and software. The primary objective is to develop an autonomous mechanism capable of identifying pedestrians with reduced mobility in real-time and granting them priority at intersections.

The system collects data through a camera that captures real-time images, which are then processed using neural network algorithms developed in Python. By employing pose recognition, the embedded system analyzes visual signals and activates the traffic light change when detecting a wheelchair user. Additionally, a visual interface is incorporated to inform both pedestrians and drivers about the system's status, promoting compliance with traffic regulations.

The prototype design includes the development of the electronic, mechanical, and electrical components required for its operation, ensuring its functionality in diverse urban conditions. Experimental tests were conducted to evaluate the system's accuracy in detecting users with mobility impairments, yielding favorable results in terms of efficiency and response times.

This project represents a significant advancement in optimizing pedestrian traffic, fostering safer and more inclusive mobility. Its large-scale implementation could contribute to the modernization of transportation infrastructure through artificial intelligence, facilitating the integration of technological solutions into urban traffic management systems.

Keywords: Intelligent traffic light, computer vision, deep learning, inclusive mobility, embedded system, pose detection.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iv
TRIBUNAL DE GRADO	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I.....	15
1.FUNDAMENTACIÓN	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Descripción del proyecto.....	16
1.3 Objetivos del Proyecto	17
1.3.1 Objetivo General:	17
1.3.2 Objetivos Específicos:	18
1.4 Justificación.....	18
1.5 Alcance del Proyecto.....	20
1.6 Metodología de la investigación.....	21
1.6.1 Investigación Descriptiva.....	21
1.6.2 Investigación Documental	21
1.6.3 Investigación Aplicada.....	21
1.7 Resultados Esperados.....	21
CAPÍTULO II	23
2.MARCO REFERENCIAL	23

2.1. MARCO CONTEXTUAL.....	23
2.2 MARCO CONCEPTUAL	24
2.2.1 Biometría y Análisis de Pose.....	24
2.2.2 Visión por Computadora	25
2.2.3 Componentes de un Sistema de Detección Basado en IA.....	25
2.2.4 Imagen Digital	25
2.2.5 Algoritmos para el Análisis de Pose	26
2.2.6 Hardware y Software para el Desarrollo de Visión por Computadora.....	26
2.2.7 Comparativa de Herramientas de Visión por Computadora.....	27
2.2.8 Validación de Algoritmos y Métricas de Desempeño	28
2.2.9 Pseudocódigo y Validación del Sistema.....	28
2.2.10 Consideraciones Éticas y Sociales en la Implementación Tecnológica.....	29
2.3 MARCO TEORICO	29
CAPITULO III	31
3. DESARROLLO	31
3.1 Componentes de la propuesta	31
3.1.1 Componentes lógicos	31
3.1.1.1 Software de Procesamiento de Imagen y Detección de Pose	31
3.1.1.2 Herramienta Computacional para Validación y Análisis	33
3.1.2 Componentes Físicos.....	33
3.1.3 Integración y Comunicación del Sistema	34
3.2 Diseño de la Propuesta	35
CAPITULO IV.....	43
4. Evaluaciones y resultados	43
4.1 Evaluación de la Detección de Postura.....	43
4.2 Evaluación de la Ubicación de Ángulos	45
4.3 Tabla de Aciertos en la Detección de Postura	47

4.4 Evaluación Global y Métricas de Desempeño.....	49
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción del sistema de detección con algoritmos de poses ...	35
Figura 2. Descripción de la simulación del sistema de semaforización para el control de tráfico.	36
Figura 3. Electrónica de control del sistema de semaforización.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de Herramientas de Visión por Computadora	27
Tabla 2. Comparativa de Herramientas de Visión por Computadora	32
Tabla 3. Resumen de Pruebas con Problemas de Clasificación de Postura	44
Tabla 4. Resumen de Pruebas con Problemas en la Ubicación de Ángulos	46
Tabla 5. Aciertos en la Detección de Postura (Ángulo de Rodilla en [81°, 99°]) ..	48
Tabla 6. Aciertos en la Detección de Postura (Ángulo de Rodilla en [81°, 99°]) ..	50
Tabla 7. Métricas de Desempeño.....	51

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de tecnologías orientadas a la mejora de la movilidad urbana ha cobrado gran relevancia en los últimos años, especialmente en el ámbito de la semaforización inteligente. En países como Colombia, se han implementado sistemas de semáforos que priorizan el paso de peatones con dificultades de movilidad mediante el uso de tecnologías de detección de objetos [1]. La incorporación de herramientas tecnológicas en la infraestructura vial ha transformado el tránsito en diversas ciudades alrededor del mundo, tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. Estos avances no solo han mejorado la fluidez del tráfico, sino que también han impulsado el crecimiento urbanístico y han favorecido el desarrollo económico, social y cultural, además de generar beneficios en la salud física y mental de la población, en especial en ciudades con alta actividad turística [2].

Un claro ejemplo de innovación en movilidad y seguridad urbana es el caso de Singapur, donde se han implementado tecnologías de Inteligencia Artificial (IA) y reconocimiento facial para desarrollar un moderno sistema de gestión de la seguridad. Mediante el uso de cámaras de vigilancia, sensores y algoritmos avanzados, se ha logrado una notable reducción de los índices delictivos en los últimos años [3]. No obstante, en muchas ciudades, incluidas aquellas en países en desarrollo, aún no existen proyectos que apliquen IA en la gestión del tráfico vehicular o en la optimización del cruce peatonal para personas con discapacidad motriz. Esta falta de innovación tecnológica resalta la necesidad de desarrollar nuevas soluciones que mejoren la accesibilidad en las vías públicas y garanticen un tránsito más inclusivo.

Este proyecto propone la implementación de un sistema autónomo de semaforización inteligente basado en visión artificial y aprendizaje profundo, con el objetivo de otorgar prioridad de paso a personas en silla de ruedas. Para ello, se utilizará una cámara que capturará imágenes en tiempo real de los peatones en espera de cruzar la vía. Estas imágenes serán procesadas

mediante algoritmos de redes neuronales desarrollados en Python, los cuales permitirán identificar patrones específicos de movilidad asociados a personas con discapacidad. La información obtenida será analizada por una tarjeta de sistema embebido, que activará las señales de control del semáforo cuando se detecte la presencia de un usuario con movilidad reducida.

El sistema también contará con una interfaz visual que informará a peatones y conductores sobre las acciones ejecutadas, promoviendo el respeto a las normas de tránsito. Además, se diseñará un esquema mecánico, electrónico y eléctrico que garantizará la estabilidad y funcionalidad del sistema en distintos entornos urbanos. Finalmente, se llevarán a cabo pruebas experimentales para evaluar la precisión y eficiencia del sistema en la detección de peatones con discapacidad motriz, asegurando su operatividad en condiciones reales.

Este trabajo se estructura en cuatro capítulos.

En el **Capítulo I** se presentan los antecedentes, objetivos, descripción y justificación del proyecto, así como la metodología utilizada. Se contextualiza la problemática de la movilidad para personas con discapacidad motriz y la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que mejoren su seguridad en el tránsito peatonal.

En el **Capítulo II** se desarrolla el marco teórico, abordando los conceptos fundamentales que sustentan la propuesta. Se revisan estudios previos sobre semaforización inteligente, visión artificial, aprendizaje profundo y sistemas embebidos, estableciendo la base conceptual y técnica para el desarrollo del proyecto.

El **Capítulo III** se enfoca en el diseño, implementación y pruebas del prototipo de semaforización inteligente. Se describe el modelado de la red neuronal, la integración del hardware y software, así como los procesos de adquisición y procesamiento de datos para la detección de peatones con movilidad reducida. Además, se detallan los esquemas mecánicos,

electrónicos y eléctricos que garantizan la funcionalidad del sistema.

Finalmente, en el **Capítulo IV** se presentan los resultados obtenidos tras la validación del sistema, así como las conclusiones y recomendaciones para futuras mejoras e implementaciones a mayor escala. Se analizan los niveles de precisión y eficiencia alcanzados, junto con posibles optimizaciones para incrementar la efectividad del sistema en entornos urbanos reales.

Este estudio no solo busca contribuir a la modernización de la infraestructura vial mediante el uso de inteligencia artificial, sino que también pretende mejorar la accesibilidad y seguridad de las personas con movilidad reducida, promoviendo un tránsito más equitativo y eficiente.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTACIÓN

1.1 Antecedentes

La evolución de la movilidad urbana ha experimentado avances significativos con la integración de tecnologías emergentes, especialmente en el ámbito de la semaforización inteligente. Estas innovaciones buscan mejorar la seguridad vial y la accesibilidad para todos los usuarios, con un enfoque particular en las personas con discapacidades. En Colombia, se han implementado sistemas de semáforos que priorizan el paso de peatones con dificultades de movilidad mediante el uso de tecnologías de detección de objetos. Por ejemplo, en Bogotá se han instalado semáforos inteligentes que emiten señales acústicas para guiar a personas con discapacidad visual, lo que ha permitido mejorar su seguridad al cruzar las calles [4].

A nivel global, la adopción de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT) en la gestión del tráfico ha revolucionado la movilidad urbana, permitiendo el análisis de datos en tiempo real para optimizar el flujo vehicular, reducir la congestión y aumentar la seguridad vial. Un claro ejemplo es el sistema implementado en Verona, Italia, que utiliza sensores inteligentes para descongestionar el tráfico y mejorar la seguridad vial [5]. De igual forma, diversos centros de control basados en IA han demostrado ser eficaces para gestionar el tránsito urbano adaptándose dinámicamente a las condiciones cambiantes del entorno [6].

El uso del Big Data junto con la IA ha transformado los modelos tradicionales de gestión vial, posibilitando la recopilación y análisis de grandes volúmenes de datos para optimizar la movilidad en tiempo real [7]. En este contexto, proyectos pioneros en ciudades como Singapur han implementado sistemas de gestión integral que combinan cámaras de vigilancia, sensores y algoritmos avanzados, logrando una reducción significativa de las tasas delictivas y un mejor control del tráfico [8]. Además, la experiencia acumulada en la coordinación del tráfico mediante sistemas de alerta y control inteligente ha contribuido a la disminución de accidentes en entornos urbanos [9].

Diversos estudios y desarrollos tecnológicos han evidenciado que la

implementación de semáforos inteligentes no solo mejora la seguridad de los peatones con discapacidad visual, sino que también optimiza la fluidez del tráfico en áreas de alta densidad poblacional. En este sentido, se han diseñado soluciones que integran sensores y procesamiento de imágenes para detectar de forma precisa a los usuarios en situación de vulnerabilidad y activar señales específicas en el semáforo [10]. Asimismo, la aplicación de algoritmos de control basados en IA ha permitido generar entornos urbanos más seguros y eficientes, integrando datos en tiempo real para predecir y gestionar la dinámica del tránsito [11].

Paralelamente, empresas del sector tecnológico han desarrollado dispositivos innovadores que, mediante técnicas de aprendizaje profundo, permiten identificar la presencia de peatones con discapacidad y adaptar las señales de tránsito de manera autónoma [12]. Investigaciones recientes en ingeniería de tráfico destacan la efectividad de la IA en la predicción y optimización del flujo vehicular, lo cual se traduce en beneficios directos para la seguridad y la movilidad urbana [13]. Medios especializados han reportado el éxito de iniciativas como el proyecto Seebot, un semáforo inteligente diseñado para asistir a personas con discapacidad visual, convirtiéndose en un referente en innovación urbana [14].

El papel de la IA en la gestión vial se ha consolidado como un elemento fundamental para la planificación y modernización de la infraestructura de transporte, impulsando el desarrollo de ciudades inteligentes y sostenibles [15]. En línea con estos avances, recientes investigaciones han integrado modelos de procesamiento de imágenes y redes neuronales profundas que optimizan la precisión en la detección de peatones con movilidad reducida, dando paso a sistemas que funcionan como verdaderos "perros guía virtuales" [16]. Este enfoque se ha validado mediante prototipos experimentales que demuestran la viabilidad y eficiencia de la semaforización inteligente en entornos urbanos complejos, inspirándose en estudios pioneros en la materia [17], [18].

1.2 Descripción del proyecto

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo e implementación de un sistema autónomo de semaforización inteligente que otorgue prioridad de

paso a peatones con movilidad reducida, en particular a aquellos que utilizan sillas de ruedas. Para ello, se integrará hardware y software de código abierto, utilizando técnicas de visión artificial e inteligencia artificial para la detección y reconocimiento de personas con discapacidad motriz en intersecciones viales.

El sistema capturará datos mediante una cámara, que tomará imágenes en tiempo real de los peatones en espera de cruzar la calle. Estas imágenes serán procesadas mediante un software basado en Python, en el cual se implementará el sistema con estimación de poses y clasificación basada en umbrales. Este sistema permitirá identificar patrones asociados a la postura y movilidad de las personas en silla de ruedas, diferenciándolas de otros peatones.

Para la toma de decisiones en tiempo real, el sistema contará con una tarjeta de sistema embebido, que recibirá y analizará la información generada por la cámara. Mediante algoritmos de reconocimiento de poses y aprendizaje automático, el sistema activará las señales de control del semáforo, permitiendo un cruce seguro y eficiente para las personas con movilidad reducida.

Además, el sistema incluirá una interfaz visual, que mostrará en una pantalla las acciones realizadas, proporcionando información tanto a peatones como a conductores para fomentar el respeto a las normas de tránsito.

Finalmente, se diseñará e implementará el panel de control, que integrará los componentes electrónicos, mecánicos y eléctricos del sistema. Se realizarán pruebas experimentales para validar la efectividad del prototipo, asegurando su precisión en la detección de personas con discapacidad motriz y su integración eficiente con la infraestructura vial existente.

1.3 Objetivos del Proyecto

1.3.1 Objetivo General:

Implementar un sistema embebido de control de semaforización a través de visión artificial usando hardware y software de código abierto para el paso preferencial de personas en silla de ruedas,

validando su rendimiento técnico y fiabilidad a través de métricas de precisión (accuracy, recall, F1-score, matriz de confusión) y tiempo de inferencia en tiempo real.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Desarrollar un algoritmo de estimación de pose mediante MediaPipe - OpenCV, para la identificación de poses de las personas con discapacidad motriz en sus piernas.
- Diseñar el prototipo para el sistema electrónico y eléctrico de control con pruebas de baja tensión, para puesta en marcha del semáforo inteligente con la seguridad adecuada.
- Validar los resultados del control de semaforización en tiempo real a través de métricas de clasificación, matriz de confusión, tiempo de inferencia y tasa de error.
- Implementar una interfaz visual que informe el estado del sistema para los conductores y peatones.

1.4 Justificación

La presente propuesta se enmarca en el mandato establecido por el Art. 1 de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial del Ecuador, en el cual se dispone que los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) deben desarrollar proyectos orientados a la organización, planificación, fomento, regulación, modernización y control del transporte terrestre, el tránsito y la seguridad vial, con el fin de proteger a las personas y bienes que se trasladan por las vías del país [19]. Asimismo, el Consejo Nacional de Competencia, en el Art. 30.5, estipula que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales deben aprobar los medios y sistemas tecnológicos de transporte público que cumplan con la normativa de la Agencia Nacional de Regulación y Control del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial [20].

La Constitución ecuatoriana reconoce el derecho de las personas con discapacidad a disfrutar de una calidad de vida plena, lo que incluye la

posibilidad de transitar libremente por las vías públicas con las condiciones de seguridad adecuadas. Sin embargo, las actuales condiciones del tránsito evidencian deficiencias en la atención de las necesidades específicas de este colectivo, especialmente en lo que respecta a la movilidad de aquellas personas que utilizan sillas de ruedas [21]. Aunque en las principales arterias urbanas se cuenta con sistemas de semaforización, estos operan mediante temporizadores fijos que, si bien regulan el flujo vehicular, no ofrecen el paso preferencial ni las condiciones de seguridad necesarias para los usuarios con discapacidad motriz.

En este contexto, el proyecto propone el desarrollo e implementación de un sistema de semaforización inteligente basado en tecnologías de inteligencia artificial y detección de objetos, que permita identificar en tiempo real la presencia de peatones en situación de vulnerabilidad y activar de manera automática señales que aseguren su tránsito seguro. Esta solución se alinea con las políticas de modernización del transporte público y la infraestructura vial, y contribuye a una mayor inclusión y equidad en el acceso a las vías urbanas [19]–[21].

La incorporación de tecnologías avanzadas en la gestión del tráfico, como se ha evidenciado en diversos estudios internacionales, ha permitido optimizar la fluidez vehicular y mejorar la seguridad vial, reduciendo la congestión y los índices de accidentes [22]. De igual forma, reportes periodísticos destacan la necesidad de modernizar la infraestructura vial en Ecuador mediante la adopción de soluciones tecnológicas innovadoras que respondan a los desafíos actuales en materia de seguridad y movilidad [23], [24]. Además, iniciativas recientes en el ámbito de la semaforización inteligente han demostrado el potencial de estos sistemas para transformar la gestión del tránsito, integrando datos en tiempo real y adaptándose dinámicamente a las condiciones del entorno urbano [25]. Finalmente, investigaciones publicadas en revistas de alto impacto subrayan la relevancia de implementar sistemas inteligentes en ciudades de América Latina, lo que posiciona este proyecto como una solución innovadora y necesaria para el contexto ecuatoriano [26].

Este proyecto permitirá aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones para diseñar un esquema

electrónico, mecánico y de software que garantice la detección eficiente de peatones con discapacidad y la activación oportuna de señales de tránsito. De esta manera, se contribuirá a la modernización de la infraestructura vial, mejorando la calidad de vida de los usuarios y promoviendo un tránsito más equitativo y seguro.

1.5 Alcance del Proyecto

Este proyecto tiene como objetivo principal el desarrollo e implementación de un sistema de semaforización inteligente basado en visión artificial y aprendizaje profundo, diseñado para otorgar prioridad de paso a personas en silla de ruedas en intersecciones viales. Para ello, se emplearán tecnologías de código abierto en hardware y software, asegurando una solución accesible y escalable.

En el ámbito del hardware, se realizará un estudio de la tarjeta de sistema embebido para evaluar su eficiencia en la gestión del tránsito peatonal. Se analizará su capacidad de procesamiento en tiempo real, su compatibilidad con sensores de captura de imágenes y su desempeño en condiciones urbanas diversas. Además, se diseñará e implementará el tablero de control del sistema, considerando aspectos mecánicos, electrónicos y eléctricos para garantizar su estabilidad y operatividad en el entorno vial.

En el aspecto del software, se desarrollará un código de programación basado en Python para la adquisición y procesamiento de datos. Se implementarán algoritmos de Mediapipe para realizar la estimación de poses en la detección de peatones con movilidad reducida. Se optimizará la sintaxis y estructura del código para mejorar la eficiencia del procesamiento de imágenes en tiempo real.

El sistema contará con una interfaz visual que informará a peatones y conductores sobre el estado del semáforo, incentivando el respeto a las señales de tránsito.

Para validar la eficacia del sistema, se realizarán pruebas experimentales en entornos reales dentro del campus universitario. Se evaluará la precisión del reconocimiento de personas en silla de ruedas, el tiempo de respuesta del sistema y su capacidad de integración con la infraestructura vial existente.

Finalmente, como parte del impacto a largo plazo, este prototipo servirá

como base para futuros proyectos de movilidad inclusiva, permitiendo su adaptación y mejora en diferentes ciudades y contextos. La implementación de esta solución contribuirá a la seguridad y accesibilidad de los peatones con movilidad reducida, promoviendo el uso de inteligencia artificial para la optimización del tránsito peatonal.

1.6 Metodología de la investigación

1.6.1 Investigación Descriptiva

Por medio de este proyecto se logra describir de mejor manera los sistemas embebidos, usándolos para ejecución de sistemas de red neuronal y estimación con regla de ángulos.

1.6.2 Investigación Documental

Para la adquisición de información para este proyecto se hace uso de fuentes de revistas, tesis, proyectos orientados a inteligencia artificial, sitios web, foros.

La información adquirida por diferentes medios para este proyecto es información que se encuentra vigente con relevancia para la elaboración del sistema propuesto.

1.6.3 Investigación Aplicada

En este proyecto se propone aplicar la información adquirida acerca de la inteligencia artificial para determinar la prioridad de paso vial en la universidad UPSE, a través de aprendizaje y entrenamiento por las imágenes.

1.7 Resultados Esperados

A partir de los objetivos dados, se espera obtener los siguientes resultados:

Validación experimental del sistema debe realizarse mediante un conjunto de pruebas, diferenciando al menos dos clases: persona en silla de ruedas y persona de pie. Para cada una se debe registrar la posición de la cámara, distancia, iluminación, vestimenta, resultado real, resultado predicho, tiempo de inferencia y activación de la

salida GPIO. A partir de estos datos se calcularán accuracy, precision, recall, F1-score, matriz de confusión y tasa de error, evitando considerar como acierto una clasificación global incorrecta, aunque algún parámetro angular se encuentre dentro del rango esperado.

Desarrollo e implementación de un sistema embebido de semaforización inteligente basado en visión artificial, capaz de identificar y otorgar prioridad de paso a personas en silla de ruedas mediante hardware y software de código abierto.

Optimización de algoritmos computacionales para la adquisición, procesamiento y entrenamiento de redes neuronales utilizando Python. Se espera lograr una alta precisión en la identificación de poses de personas con discapacidad motriz, mejorando la detección en tiempo real y minimizando falsos positivos.

Diseño y construcción de un prototipo funcional para el sistema electrónico y eléctrico de control del semáforo inteligente, garantizando su integración eficiente con la infraestructura vial existente.

Validación del sistema en condiciones reales, asegurando su correcto funcionamiento en distintos escenarios. Se analizarán parámetros como el tiempo de respuesta del semáforo, la efectividad en la detección de peatones con movilidad reducida y la robustez del sistema ante variaciones ambientales.

Implementación de una interfaz visual interactiva, que informe a peatones y conductores sobre el estado del semáforo y promueva el respeto a las normas de tránsito. Esta interfaz contribuirá a mejorar la concienciación vial y la seguridad en cruces peatonales.

En general, se espera que este proyecto contribuya a la movilidad inclusiva mediante una solución tecnológica innovadora, eficiente y escalable, que pueda ser implementada en diferentes ciudades para mejorar la accesibilidad y seguridad de los peatones con discapacidad motriz.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO CONTEXTUAL

La accesibilidad y seguridad de las personas con movilidad reducida, en particular aquellas que utilizan sillas de ruedas, ha sido un tema de creciente interés en la comunidad científica y tecnológica. La detección automatizada de estos usuarios mediante visión por computadora e inteligencia artificial ha permitido el desarrollo de soluciones innovadoras que buscan optimizar su movilidad en entornos urbanos y mejorar la infraestructura de accesibilidad.

Uno de los primeros enfoques en la identificación de personas en silla de ruedas se basó en el uso de redes neuronales convolucionales (CNNs) para diferenciar entre peatones convencionales y aquellos con movilidad reducida. En este contexto, Nguyen et al. analizaron el desempeño de modelos de aprendizaje profundo entrenados con conjuntos de datos etiquetados, permitiendo una detección más precisa de sillas de ruedas en comparación con métodos tradicionales de reconocimiento de personas [27].

González y Pérez avanzaron en este campo mediante la implementación del algoritmo YOLO (You Only Look Once), el cual ha demostrado ser altamente efectivo para la detección en tiempo real. Su estudio abordó la integración de este modelo en cámaras de vigilancia instaladas en espacios públicos como estaciones de transporte y centros comerciales, logrando mejoras significativas en la precisión de detección y en la adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, como variaciones de iluminación y oclusión [28].

Por otro lado, Lee y Kim exploraron la aplicación de inteligencia artificial en la detección y seguimiento de personas en silla de ruedas, incorporando técnicas de procesamiento de imágenes y modelos de aprendizaje automático. Su investigación destaca la capacidad de los sistemas inteligentes para ajustarse y aprender del entorno, mejorando progresivamente su precisión con el tiempo y adaptándose a escenarios con alta densidad de personas [29].

En una línea similar, Martínez et al. utilizaron redes neuronales

profundas para analizar la postura y configuración de sillas de ruedas en espacios públicos. Su estudio evidenció que el uso de modelos de aprendizaje profundo permite una identificación más robusta y adaptable, gracias a la capacidad de estos sistemas para generalizar características visuales complejas y operar en contextos de alta variabilidad [30].

Finalmente, Rodríguez y Torres enfatizaron la integración de sensores LIDAR y cámaras 3D para mejorar la detección de personas en silla de ruedas. En su estudio, se evaluó la efectividad de estas tecnologías en comparación con cámaras 2D convencionales, demostrando que el uso de sensores de profundidad proporciona una mayor exactitud en la detección y en la medición de distancias. Su implementación en vehículos autónomos y sistemas de asistencia robótica ha evidenciado importantes ventajas en la optimización de la accesibilidad y seguridad de personas con movilidad reducida [31].

El avance de estos estudios ha sentado las bases para el desarrollo de sistemas inteligentes de semaforización que prioricen el paso de peatones con movilidad reducida. La combinación de visión artificial, aprendizaje profundo y sensores avanzados se perfila como una solución clave para mejorar la accesibilidad en las ciudades, permitiendo una movilidad más inclusiva y eficiente.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Biometría y Análisis de Pose

La biometría se utiliza para identificar a las personas mediante características físicas y comportamentales. En el contexto del presente proyecto, el análisis de pose es el núcleo tecnológico, ya que permite evaluar la posición y orientación del cuerpo humano mediante algoritmos de visión por computadora. Herramientas como MediaPipe facilitan la detección de puntos clave (por ejemplo, caderas, rodillas y tobillos), lo que es fundamental para distinguir entre la postura de pie y la posición en silla de ruedas. Esta capacidad para extraer y clasificar datos de la pose en tiempo real es esencial para activar señales de tránsito que prioricen el paso de usuarios con movilidad

reducida [32].

2.2.2 Visión por Computadora

La visión por computadora es una rama de la inteligencia artificial que dota a las máquinas de la capacidad de interpretar imágenes y videos de manera similar a la percepción humana. En este proyecto se utilizan técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes, que incluyen la segmentación, la detección de bordes y la extracción de características específicas de la anatomía humana. Bibliotecas como OpenCV y MediaPipe son fundamentales para implementar estos algoritmos en plataformas de bajo costo (por ejemplo, Raspberry Pi), permitiendo el análisis en tiempo real y la integración con otros sistemas de control [33].

2.2.3 Componentes de un Sistema de Detección Basado en IA

El sistema propuesto combina hardware y software especializados para la detección y validación de la pose:

- **Cámara:** Dispositivo de captura de imágenes con resolución adecuada para identificar detalles en las posturas.
- **Procesador:** Una Raspberry Pi que ejecuta los algoritmos de visión por computadora y realiza el procesamiento en tiempo real.
- **Software:** Integración de bibliotecas como OpenCV y MediaPipe para la detección de pose y NumPy para operaciones matemáticas, así como herramientas de validación como Scikit-learn para el análisis de métricas del algoritmo.

2.2.4 Imagen Digital

La **imagen digital** es la representación de imágenes en formato binario compuesta por píxeles. Su procesamiento es clave en la visión artificial, ya que técnicas como el filtrado, la segmentación y la detección de bordes permiten identificar patrones y objetos dentro de una escena. Este procesamiento es la base para la extracción de características relevantes en el análisis de pose, facilitando la diferenciación entre una persona de pie y una en silla de ruedas [33].

Las modificaciones o realizaciones son empleadas para transformar la estructura de un modelamiento matemático en otro. Las causas pueden ser varias, pero comúnmente su propósito es favorecer la demostración del modelamiento, para los siguientes procedimientos que se elaborarán en el mismo [28].

Habitualmente, las transformaciones se proceden entre funciones de transferencia y ecuaciones de espacio de estados, y viceversa, además se ejecutan entre una ecuación de espacio de estado y otra de manera similar, con el propósito de establecer una forma más relevante al sistema para que sea más sencillo obtener los controladores de estado [28].

2.2.5 Algoritmos para el Análisis de Pose

Los algoritmos de análisis de pose, tales como **OpenPose** y **PoseNet**, utilizan redes neuronales para detectar y seguir las articulaciones del cuerpo humano en imágenes y videos. Estos algoritmos se pueden ajustar para reconocer patrones específicos en personas que utilizan silla de ruedas, identificando la inclinación del torso y la posición relativa de las extremidades. Esta capacidad de identificación es el centro del sistema propuesto, ya que permite la activación de señales de tránsito adaptadas a la situación del usuario [34].

2.2.6 Hardware y Software para el Desarrollo de Visión por Computadora

El desarrollo de un sistema de visión por computadora efectivo requiere la integración de componentes de hardware y software. Entre los componentes clave se encuentran:

- **Hardware:** Cámaras de alta resolución, procesadores embebidos (como Raspberry Pi 2), y dispositivos de almacenamiento (micro sd).
- **Software:** Plataformas y librerías tales como OpenCV, MediaPipe, TensorFlow y PyTorch, que permiten la implementación de

algoritmos de detección y aprendizaje automático. Estas herramientas facilitan tanto el desarrollo del algoritmo de pose como la integración del pseudocódigo propio para la validación en tiempo real [33], [34].

2.2.7 Comparativa de Herramientas de Visión por Computadora

El proyecto utiliza principalmente **MediaPipe** y **OpenCV** debido a su accesibilidad y adaptabilidad en hardware con recursos limitados. A continuación, se presenta una comparativa resumida:

Tabla 1. Comparativa de Herramientas de Visión por Computadora

Framework	Eficiencia Computacional	Adaptabilidad	Requerimientos Computacionales
YOLO	Alta eficiencia, detección en tiempo real	General para detección de objetos	Requiere GPU para operatividad en tiempo real
MediaPipe	Optimizado para dispositivos móviles y CPU	Especializado en detección de poses y rastreo de gestos	Funciona eficientemente en hardware de bajo costo
OpenPose	Alta precisión en estimación de poses	Ideal para aplicaciones detalladas de análisis de pose	Alta demanda de GPU y memoria
OpenCV	Ligero y versátil	Permite personalización de algoritmos específicos	Adecuado para CPUs estándar

La elección de MediaPipe y OpenCV se justifica en términos de eficiencia y flexibilidad, permitiendo implementar el sistema en entornos con limitaciones de hardware sin comprometer la calidad de la detección [33], [34].

2.2.8 Validación de Algoritmos y Métricas de Desempeño

La validación del pseudocódigo desarrollado se centra en la evaluación del desempeño de los algoritmos de análisis de pose mediante métricas cuantitativas. Se emplean técnicas de **validación cruzada** y se analizan indicadores como:

- **Precisión (Accuracy):** Proporción de predicciones correctas en relación al total de muestras.
- **Recall y Precisión (Sensitivity y Precision):** Indicadores que miden la capacidad del modelo para detectar correctamente los casos positivos y la exactitud de las predicciones.
- **F1-Score:** Media armónica entre precisión y recall, que proporciona una única métrica del desempeño.
- **IoU (Intersection over Union):** Mide la superposición entre el área detectada y el área real del objeto.
- **Tiempo de Inferencia:** Tiempo que tarda el sistema en procesar y generar una respuesta, fundamental para aplicaciones en tiempo real.

Estas métricas se implementan utilizando bibliotecas como Scikit-learn y TensorFlow, lo cual permite una evaluación robusta y reproducible del algoritmo propuesto. La validación se realiza sobre un conjunto de datos diverso, que incluye variaciones en iluminación, ángulos de captura y fondos, asegurando que el sistema sea robusto en entornos reales [35].

2.2.9 Pseudocódigo y Validación del Sistema

El desarrollo del Pseudocódigo se basa en la integración de los algoritmos de análisis de pose para detectar la presencia de usuarios en silla de ruedas y activar la señalización correspondiente. El proceso se valida mediante pruebas que utilizan técnicas de validación cruzada (por ejemplo, k-fold) y análisis de errores, empleando métricas de rendimiento que permiten identificar áreas de mejora. Este enfoque garantiza que el sistema no solo sea técnicamente viable, sino que cumpla con los estándares de precisión y eficiencia requeridos para su implementación en entornos urbanos [35].

2.2.10 Consideraciones Éticas y Sociales en la Implementación Tecnológica

El desarrollo del sistema incorpora aspectos éticos y sociales cruciales, tales como:

- **Privacidad y protección de datos:** Asegurando que el procesamiento de imágenes se realice localmente y que se anonimicen los datos personales.
- **Inclusividad:** Garantizando que la tecnología favorezca la integración de personas con movilidad reducida en entornos urbanos.
- **Transparencia:** Informando a los usuarios sobre el uso y alcance del sistema, así como obteniendo el consentimiento cuando sea necesario.

Estas consideraciones aseguran un enfoque responsable y ético en la aplicación de tecnologías de visión por computadora y algoritmos de análisis de pose [36].

2.3 MARCO TEORICO

En la sección correspondiente al marco teórico se presentan diversos documentos investigativos, que han sido analizados de tal manera que se usen como guía en relación con la presente propuesta de titulación.

En el artículo “Virtual Guide Dog: Next Generation Pedestrian Signal for the Visually Impaired” de Zhong y Lee [36], se propone un sistema que utiliza técnicas de visión por computador para detectar y asistir a peatones con discapacidad visual. Este trabajo sienta las bases para la implementación de sistemas de semaforización inteligente que, mediante la detección de objetos, permiten adaptar la señalización a las condiciones reales del tránsito y a las necesidades de usuarios en situación de vulnerabilidad.

En el estudio “Reinforcement Learning-Based Traffic Signal Control for Urban Intersections” de Ahmed et al. [37], se plantea el uso de algoritmos de aprendizaje por refuerzo para la optimización del flujo vehicular en intersecciones urbanas. Los resultados evidencian la viabilidad de integrar inteligencia artificial en la gestión del tráfico, lo cual respalda la incorporación

de técnicas adaptativas en el sistema propuesto para garantizar el paso preferencial de peatones con movilidad reducida.

El artículo “Deep Learning Based Intelligent Traffic Signal Control System for Urban Road Networks” de Mehta et al. [38] explora la aplicación de redes neuronales profundas para el control en tiempo real de los semáforos. Este estudio destaca la importancia del procesamiento de imágenes y la detección automática de usuarios vulnerables, proporcionando fundamentos teóricos y prácticos que sustentan la necesidad de un sistema inteligente que reconozca a las personas en silla de ruedas y ajuste la señalización de forma dinámica.

En la investigación “Real-time Object Detection for Smart Traffic Lights Using YOLOv3” de Gupta y Sharma [39], se demuestra la efectividad de utilizar algoritmos de detección de objetos en tiempo real para identificar la presencia de peatones. La precisión y rapidez del algoritmo YOLOv3 en entornos urbanos complejos refuerzan la factibilidad de incorporar estas técnicas en sistemas de semaforización, optimizando la respuesta ante la detección de usuarios con discapacidad.

Finalmente, el estudio “Design and Implementation of an Embedded System for Intelligent Traffic Light Control” de Fernández et al. [40] detalla el desarrollo de un sistema embebido que integra hardware y software para la gestión inteligente de semáforos. Los hallazgos presentados en este trabajo evidencian que la implementación de sistemas embebidos en la infraestructura vial no solo mejora la eficiencia del tránsito, sino que también facilita la priorización de peatones, lo que resulta fundamental para el presente proyecto.

CAPITULO III

3. DESARROLLO

Este capítulo desarrolla la investigación orientada al modelamiento e implementación de un sistema inteligente que, mediante algoritmos de análisis de pose y técnicas de visión por computadora, permite detectar en tiempo real a personas en silla de ruedas y activar un semáforo adaptativo. El sistema integra componentes lógicos y físicos, permitiendo validar el pseudocódigo desarrollado y evaluar el desempeño mediante métricas cuantitativas.

3.1 Componentes de la propuesta

En esta sección se describen los elementos que conforman la propuesta, destacando las herramientas y técnicas utilizadas para el análisis de sistemas dinámicos aplicados a la detección y priorización en el tránsito.

3.1.1 Componentes lógicos

3.1.1.1 Software de Procesamiento de Imagen y Detección de Pose

El núcleo lógico del sistema se basa en el desarrollo de un algoritmo que utiliza una cámara conectada a una Raspberry Pi para capturar imágenes en tiempo real y aplicar técnicas de detección y análisis de pose. Este software se desarrolla en Python, aprovechando diversas bibliotecas que facilitan el procesamiento y la validación de datos:

- OpenCV (cv2): Se utiliza para la captura, preprocesamiento y procesamiento de imágenes, aplicando técnicas de filtrado, segmentación y detección de bordes, esenciales para mejorar la calidad de la imagen antes del análisis [41].
- MediaPipe: Esta biblioteca de Google permite la detección y seguimiento de puntos clave del cuerpo (como caderas, rodillas y tobillos) para determinar la postura del usuario. Su capacidad para extraer datos de la pose en tiempo real es fundamental para

clasificar si la persona está de pie o en silla de ruedas [32].

- NumPy: Facilita las operaciones matemáticas y el manejo de matrices, apoyando el procesamiento de imágenes y el cálculo de ángulos en la detección de posturas [43].
- Scikit-learn: Se emplea para implementar técnicas de validación (por ejemplo, validación cruzada) y calcular métricas de desempeño como precisión, recall, F1-Score e IoU, fundamentales para evaluar la eficacia del algoritmo [45].
- Entorno de Desarrollo (Thonny/PyCharm): Se utiliza un IDE que permite la escritura, depuración y pruebas del código en Python, facilitando la integración de las librerías y la generación de una interfaz gráfica de usuario (GUI) para controlar la simulación y visualizar resultados [45].

Entorno Gráfico

La interfaz gráfica del sistema se diseña para ofrecer al usuario control interactivo sobre la captura y procesamiento de imágenes. En la ventana principal se visualiza el estado de la detección en tiempo real, se muestra el porcentaje de procesamiento ejecutado y se disponen botones para iniciar y detener la simulación. Esta interfaz se desarrolla utilizando frameworks de GUI en Python, tales como Tkinter o PyQt, garantizando una experiencia de usuario intuitiva.

Bloques Principales

El software se organiza en módulos o bloques, que se pueden resumir en la siguiente tabla II:

Tabla 2. Comparativa de Herramientas de Visión por Computadora

Bloque/Modulo	Función
Módulo de Captura	Adquisición de imágenes y video en tiempo real a través de la cámara.
Módulo de Preprocesamiento	Aplicación de filtros, segmentación y detección de bordes para mejorar la calidad de la imagen.
Módulo de Detección de Pose	Extracción de puntos clave del cuerpo usando MediaPipe para identificar posturas.

Módulo de Clasificación	Análisis de los ángulos y relaciones geométricas para determinar si el usuario está en silla de ruedas o de pie.
Módulo de Comunicación y Control	Envío de señales a través de los pines GPIO para activar el semáforo adaptativo según la clasificación obtenida.
Módulo de Validación y Análisis	Implementación de técnicas de validación cruzada y cálculo de métricas (precisión, ROC, AUC, etc.) mediante Scikit-learn.

3.1.1.2 Herramienta Computacional para Validación y Análisis

La validación del algoritmo se realiza a través de entornos de análisis que permiten documentar y visualizar el desempeño del sistema. Se emplean herramientas como **Jupyter Notebook** para la integración y análisis interactivo de datos, facilitando la generación de gráficos y reportes que evidencian la robustez del modelo. Las principales funciones incluyen:

- **Validación Cruzada:** Uso de técnicas (como k-fold) implementadas en Scikit-learn para evaluar la consistencia del modelo.
- **Métricas de Desempeño:** Cálculo de indicadores como precisión, recall, F1-Score, IoU y tiempo de inferencia, que permiten ajustar y optimizar el algoritmo.
- **Visualización de Resultados:** Generación de matrices de confusión, curvas ROC y gráficos de dispersión para identificar patrones de error y mejorar la detección de la pose.

3.1.2 Componentes Físicos

El sistema se complementa con componentes físicos que permiten la interacción con el entorno y la activación del semáforo. La arquitectura de hardware se fundamenta en la plataforma Raspberry Pi 4 y otros dispositivos periféricos:

- **Raspberry Pi 4:** Actúa como unidad central de procesamiento, ejecutando el software de detección y control. La Raspberry Pi se conecta a un monitor, mouse y la cámara a través de puertos

USB, facilitando la interacción y visualización de la interfaz gráfica [44].

- **Cámara de Video:** Se utiliza una cámara compatible con Raspberry Pi para capturar imágenes y videos con la resolución necesaria para la detección precisa de posturas.
- **Pines GPIO y Circuitos de Control:**
- Los pines GPIO de la Raspberry Pi se utilizan para enviar señales al semáforo.
- **GPIO 17:** Conectado a un LED verde (con resistencia en serie) que se activa al detectar a una persona en silla de ruedas.
- **GPIO 27:** Conectado a un LED rojo para indicar que se detecta a una persona de pie.
- **GPIO 22:** Conectado a un LED amarillo que se enciende cuando la detección es ambigua o no se reconoce al usuario.
- **Circuito de Semáforo Vehicular:**
- Se utiliza un transistor 2N2222A y un relé de 12V para controlar el semáforo de vehículos, permitiendo la sincronización entre la señal para peatones y la de vehículos mediante la activación de un circuito de conmutación.
- **Botón de Asistencia:**
- Un botón físico conectado a la Raspberry Pi permite al usuario iniciar el proceso de detección. Al presionarlo, se envía una señal (por ejemplo, desde GPIO 5) que habilita la captura y procesamiento de la imagen, recibándose en otro pin (por ejemplo, GPIO 26) para iniciar la rutina de detección.

3.1.3 Integración y Comunicación del Sistema

La integración del sistema se realiza mediante la interconexión de los componentes lógicos y físicos:

- **Conexiones USB:** El monitor, el mouse y la cámara se conectan a la Raspberry Pi 4 mediante sus puertos USB.
- **Conexiones GPIO:** Se conectan los dispositivos de salida (LEDs, relé) y entrada (botón de asistencia) a los pines

GPIO de la Raspberry Pi, asegurando la comunicación entre el software de detección y el hardware de señalización.

- **Protoboard y Cableado:** Se utiliza una protoboard para organizar las conexiones y asegurar la correcta distribución de las señales, evitando cortocircuitos y garantizando la integridad del sistema.

3.2 Diseño de la Propuesta

En esta sección se detalla el diseño del sistema inteligente para la detección y priorización de personas en silla de ruedas. El diseño integra tanto los componentes lógicos (software) como los físicos (hardware), asegurando la correcta interacción entre la adquisición de imágenes, el procesamiento de datos y el control de los dispositivos de señalización (semáforo para peatones y vehículos).

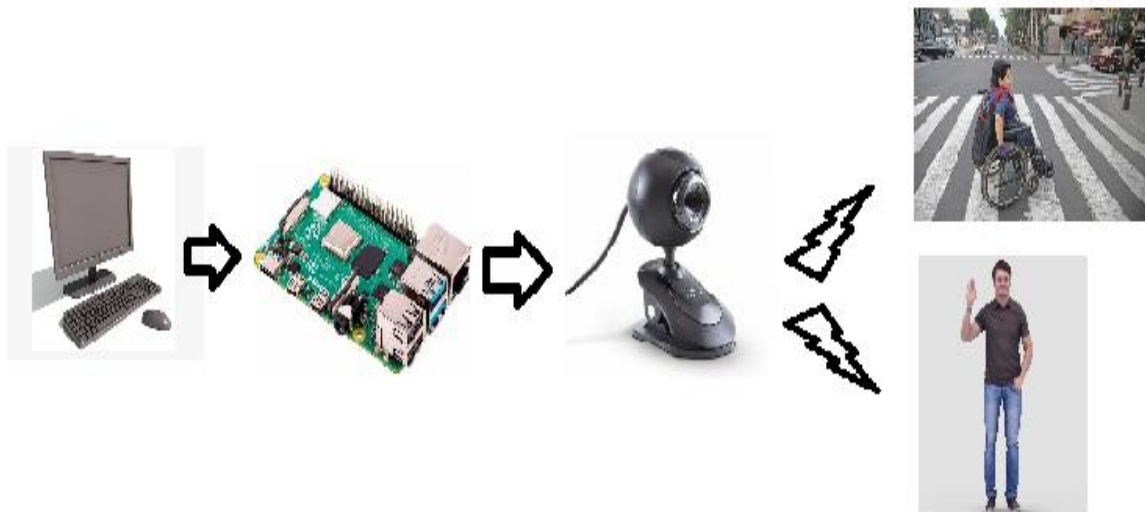


Figura 1. Descripción del sistema de detección con algoritmos de poses

3.2.1 Arquitectura General del Sistema

El sistema se basa en una plataforma central compuesta por una Raspberry Pi 4, a la que se conectan un monitor, un mouse y una cámara de video mediante los puertos USB. La Raspberry Pi 4 actúa como la unidad de procesamiento principal, ejecutando el software de

detección de imágenes y análisis de pose. Los pines GPIO de la placa son utilizados para enviar señales de control al semáforo adaptado para personas en silla de ruedas, así como para recibir la señal del botón de asistencia.

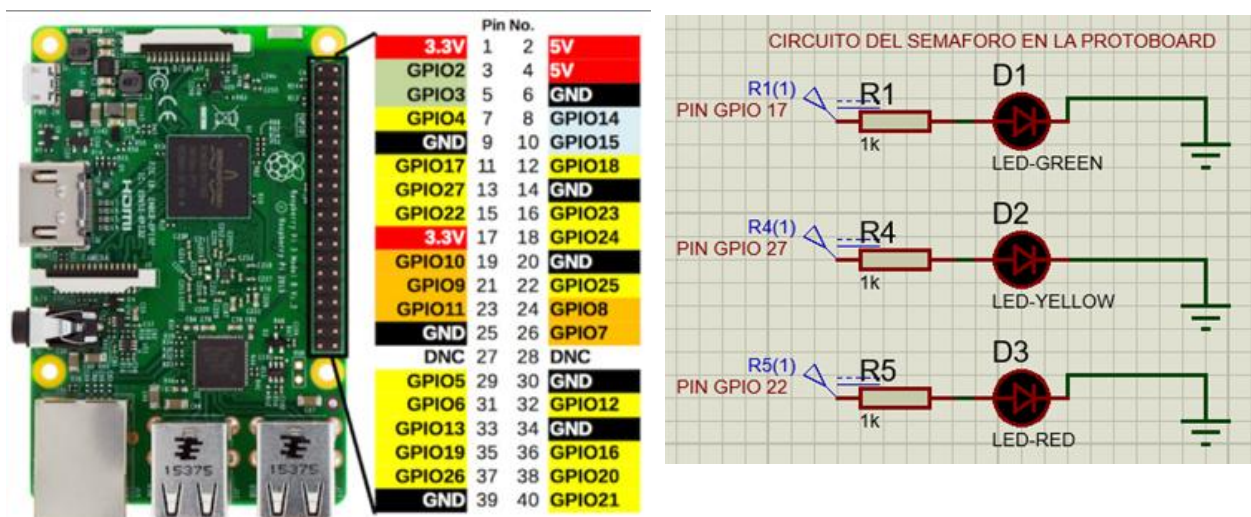


Figura 2. Descripción de la simulación del sistema de semaforización para el control de tráfico.

3.2.2 Conexiones y Configuración del Hardware

La configuración física del sistema se realiza de la siguiente manera:

- **Entradas USB:**
El monitor, el mouse y la cámara se conectan a la Raspberry Pi 4 a través de sus puertos USB. Esto permite que la cámara capture imágenes en tiempo real y que el usuario interactúe con el sistema a través de la interfaz gráfica.
- **Conexiones GPIO:**
 - **Señalización para Peatones:**
 - **GPIO 17:** Conectado a un LED verde (con una resistencia en serie) que se enciende cuando se detecta a una persona en silla de ruedas, habilitando el pase para el usuario.
 - **GPIO 27:** Conectado a un LED rojo (con resistencia en serie) que se activa cuando se detecta a una persona de pie, indicando que debe esperar.
 - **GPIO 22:** Conectado a un LED amarillo (con resistencia

en serie) que se utiliza cuando el sistema no reconoce correctamente la postura del usuario.

- **Botón de Asistencia:**

- Se asigna un pin (por ejemplo, **GPIO 5**) para enviar una señal constante. Cuando el usuario presiona el botón de asistencia, otro pin (por ejemplo, **GPIO 26**) recibe la señal, lo que desencadena el proceso de detección.

- **Circuito de Semáforo para Vehículos:**

- La señal enviada desde la Raspberry Pi, a través de un pin GPIO conectado en serie a una resistencia (1k ohm), se dirige a la base de un transistor 2N2222A. El emisor del transistor se conecta a un relé de 12V, el cual, al activarse (cuando el transistor entra en saturación), permite el paso de corriente de 110V a las luces del semáforo vehicular, coordinando el tránsito en función de la detección del usuario.

3.2.3 Integración del Software con el Hardware

El software desarrollado en Python se integra con el hardware de la siguiente manera:

- **Inicialización de la Cámara:**

Se utiliza la función `cv2.VideoCapture(0)` para abrir la primera cámara conectada a la Raspberry Pi.

```
camera = cv2.VideoCapture(0) # '0' indica la primera cámara conectada
```

- **Procesamiento de Imágenes y Detección de Bordes:**

Se implementa una función que convierte los fotogramas capturados a escala de grises y aplica el detector de bordes Canny:

```
def detectar_bordes(frame):  
    gris = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)  
    bordes = cv2.Canny(gris, 100, 200)  
    return bordes
```

- **Bucle de Captura y Procesamiento:**

El sistema utiliza un bucle principal que lee continuamente los fotogramas de la cámara, aplica la función de detección de bordes y muestra la imagen procesada:

```
while True:
    ret, frame = camera.read()
    if not ret:
        print("Error capturando imagen.")
        break
    bordes = detectar_bordes(frame)
    cv2.imshow('Detección de Bordes', bordes)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break
```

- **Bucle con Pulsador para Iniciar Detección:**

Se implementa un bucle que espera la pulsación de la tecla 'b' para iniciar la detección de la postura del usuario:

```
print("Presiona 'b' para comenzar la detección.")
while True:
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        continue
    cv2.imshow('Presiona B para Iniciar', frame)
    key = cv2.waitKey(1) & 0xFF
    if key == ord('b'):
        print("Iniciando la detección...")
        # Aquí se integraría el código de detección con MediaPipe
        break
```

- **Captura y Registro de Imágenes:**

Una vez finalizado el tiempo de detección, el sistema guarda la imagen capturada en una carpeta específica, nombrando el archivo con un contador y la fecha actual:

```
import os
image_counter = 0
save_dir = 'capturas'
if not os.path.exists(save_dir):
```

```

os.makedirs(save_dir)
# Dentro del bucle de procesamiento, al presionar 's'
if key == ord('s'):
    image_filename = os.path.join(save_dir,
    f'imagen_{image_counter}.jpg')
    cv2.imwrite(image_filename, frame)
    image_counter += 1

```

3.2.4 Diseño del Circuito de Semáforo Adaptado

El diseño del circuito del semáforo involucra:

- La conexión de LEDs (verde, rojo y amarillo) a los pines GPIO (17, 27 y 22) de la Raspberry Pi mediante resistencias en serie para limitar la corriente.
- La activación del semáforo vehicular se realiza a través de un transistor 2N2222A y un relé de 12V, que se encargan de conmutar la corriente de 110V para las luces del semáforo de vehículos, cada transistor en su base tiene una resistencia de protección de 1k Ω y su emisor directamente a tierra (GND)
- El botón de asistencia se conecta a la Raspberry Pi para iniciar la secuencia de detección.

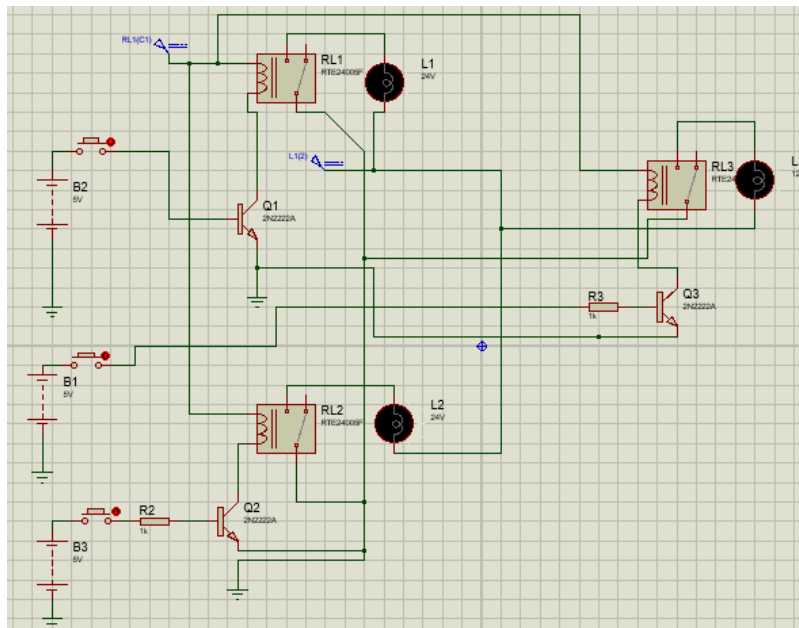


Figura 3. Electrónica de control del sistema de semaforización.

3.2.5 Requerimientos del Sistema

El sistema debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Requerimientos de Hardware:**
 1. Raspberry Pi 4 o superior.
 2. Cámara de video (Raspberry Pi Camera v2 o similar).
 3. Conectividad (Wi-Fi o Ethernet).
 4. Fuente de alimentación adecuada para la Raspberry Pi.
 5. Pantalla de visualización (opcional).
- **Requerimientos de Software:**
 1. Sistema operativo: Raspbian OS.
 2. Lenguaje de programación: Python 3.x.
 3. Bibliotecas: OpenCV, MediaPipe, NumPy, Scikit-learn y RPi.GPIO.
- **Requerimientos de Funcionalidad:**
 1. Detección en tiempo real de personas en silla de ruedas.
 2. Clasificación de posturas (persona en silla de ruedas, de pie o no reconocida).
 3. Interfaz de usuario para visualizar imágenes y resultados.
 4. Conectividad con la nube para registro y análisis de datos (opcional).
- **Requerimientos de Mantenimiento:**
 1. Actualizaciones periódicas del software.
 2. Revisión y reemplazo de componentes de hardware según sea necesario.
 3. Monitoreo continuo del sistema para detectar y corregir errores.

3.2.6 Bases de Datos para Registro y Detección

El sistema contará con un mecanismo de registro de datos, en el cual cada captura (imagen) obtenida se almacenará en una carpeta específica en la memoria de la Raspberry Pi. Cada archivo se nombrará con un formato que incluya la fecha y un identificador de la detección (por ejemplo, "persona_en_silla", "persona_de_pie" o

"no_reconocida"). Este registro permitirá analizar posteriormente las condiciones de detección y mejorar el algoritmo.

3.2.7 Etapas del Proceso de Detección

El proceso de detección se divide en las siguientes etapas:

1. Inicialización:

- Activación del sistema mediante la pulsación del botón de asistencia.

2. Captura y Preprocesamiento:

- Captura de imágenes en tiempo real y aplicación de técnicas de preprocesamiento (conversión a escala de grises y detección de bordes).

3. Análisis de Pose y Cálculo de Ángulos:

- Uso de MediaPipe y funciones propias (calculate_distance y calculate_angle) para determinar los ángulos entre las articulaciones (cadera, rodilla y tobillo).

4. Clasificación de Postura:

- Evaluación de los ángulos y distancias para determinar si el usuario está en silla de ruedas, de pie o si la detección es ambigua.

5. Activación de Señales:

- Envío de señales a los pines GPIO correspondientes para encender el LED verde, rojo o amarillo, y para controlar el semáforo vehicular mediante el transistor y relé.

6. Captura y Registro:

- Al finalizar la detección, se captura y almacena una imagen junto con la información de los ángulos detectados.

7. Salida y Reinicio:

- El sistema permite salir del bucle de detección con la tecla ESC y reinicia el proceso en función de nuevas pulsaciones del botón de asistencia.

3.2.8 Integración del Modelo en la Raspberry Pi

El modelo de detección se entrena utilizando técnicas de aprendizaje

supervisado, y se implementa en la Raspberry Pi. Para optimizar su rendimiento en tiempo real.

3.2.9 Configuración del Entorno Virtual y Librerías

Se establece un entorno virtual en Python para aislar las dependencias necesarias:

- **Creación del entorno virtual:**

```
python3 -m venv myenv  
source myenv/bin/activate
```

- **Instalación de bibliotecas necesarias:**

OpenCV, MediaPipe, NumPy, RPi.GPIO, entre otras.

- **Verificación de la instalación:**

Se importan las librerías en un script de prueba para asegurar que no existan errores.

3.2.10 Liberación de Recursos y Finalización del Proceso

Una vez finalizada la ejecución del algoritmo, es crucial liberar todos los recursos para evitar conflictos en futuras ejecuciones:

- **Liberación de la cámara:**

```
camera.release()
```

- **Cierre de todas las ventanas de OpenCV:**

```
cv2.destroyAllWindows()
```

- **Restablecimiento de los pines GPIO:**

```
GPIO.cleanup()
```

CAPITULO IV

4. Evaluaciones y resultados

El presente capítulo se enfoca en la evaluación del desempeño del sistema propuesto, mediante la recopilación y análisis de datos obtenidos a partir de múltiples pruebas realizadas en condiciones reales de uso. Se presentan los resultados de la detección de posturas, la ubicación de los ángulos de las articulaciones (cadera, rodilla y tobillo) y la clasificación de la postura del usuario. Asimismo, se detallan las métricas de desempeño que permiten cuantificar la precisión del sistema, la tasa de falsos positivos en la clasificación y el tiempo de inferencia, entre otros indicadores relevantes.

La evaluación se basa en una serie de pruebas diseñadas para simular diversas condiciones de captura y posturas, considerando factores como la posición de la cámara, las características de la vestimenta y la iluminación ambiental. Cada prueba se documenta en tablas específicas (a partir de la Tabla 3) que resumen los resultados y permiten identificar tendencias y áreas de mejora en el algoritmo de detección.

Este análisis no solo permite validar la viabilidad técnica del sistema, sino que también proporciona una base objetiva para la optimización del algoritmo de detección de pose y la calibración de los parámetros del sistema. Los resultados obtenidos son fundamentales para garantizar que la solución propuesta cumpla con los requerimientos de seguridad y accesibilidad en entornos urbanos, y para establecer las líneas de acción que permitan mejorar la confiabilidad del sistema en futuras implementaciones.

4.1 Evaluación de la Detección de Postura

En la Tabla 3 se resumen aquellas pruebas en las que se presentó un problema de clasificación en el que la detección del sistema no correspondía al estado real de la persona. En particular, se registraron casos en los que una persona en silla de ruedas fue detectada erróneamente como “en pie”. Este análisis permite identificar tendencias en el error de clasificación, considerando factores como la posición de la cámara y las características de la vestimenta, que pueden influir en la detección de los ángulos.

Tabla 3. Resumen de Pruebas con Problemas de Clasificación de Postura

Prueba	Detección	Posición Cámara	Característica	Áng. Cadera	Áng. Rodilla	Áng. Tobillo	Observación
1	En pie	De frente	Ropa oscura	50	94	25	Error de clasificación: debió ser en silla
2	En pie	De lado a 30° izquierda	Ropa oscura	34	120	25	Error de clasificación
3	En pie	De lado a 90° izquierda	Ropa oscura	25	142	12	Error de clasificación
4	En pie	De frente	Abrigo claro, pantalón oscuro	50	92	27	Error de clasificación
9	En pie	De frente	Abrigo claro, pantalón oscuro	52	107	20	Error de clasificación
14	En pie	De frente	Abrigo claro, pantalón oscuro	8	177	1	Error de clasificación
15	En pie	De lado	Abrigo claro, pantalón oscuro	8	174	2	Error de clasificación
19	En pie	De lado a 30° derecha	Camiseta clara, pantalón claro	50	81	47	Error de clasificación
21	En pie	De lado	Camiseta clara, pantalón claro	50	176	1	Error de clasificación
22	En pie	De frente	Camiseta clara, pantalón claro	50	178	0	Error de clasificación
23	En pie	De frente	Camiseta y pantalón oscuros	37	130	47	Error de clasificación
29	En pie	De lado a 90° izquierda	Camiseta clara, pantaloneta clara	30	113	35	Error de clasificación
27	En pie	De lado a 90° derecha	Camiseta oscura, pantalón oscuro	17	148	13	Error de clasificación
28	En pie	De frente	Camiseta y pantalón oscuros	17	14	13	Error de clasificación
31	En pie	De lado a 90° derecha	Camisa oscura, pantalón claro	31	112	36	Error de clasificación
39	En pie	De lado a 90° izquierda	Camiseta y pantalón oscuros	13	155	10	Error de clasificación

La Tabla 3 evidencia que, en diversas pruebas, el sistema tiende a clasificar erróneamente a usuarios en silla de ruedas como “en pie”. Este comportamiento se observa en diferentes posiciones de la cámara (de frente y de lado) y con distintas características de vestimenta, lo que sugiere la necesidad de ajustar el algoritmo para mejorar la discriminación entre ambas posturas.

4.2 Evaluación de la Ubicación de Ángulos

La Tabla 4 recopila las pruebas en las que se detectaron problemas en la ubicación de los ángulos (cadera, rodilla y tobillo). Este error se manifiesta en valores que no corresponden a la distribución esperada en una persona en silla de ruedas, lo cual afecta la correcta clasificación de la postura.

Tabla 4. Resumen de Pruebas con Problemas en la Ubicación de Ángulos

Prueba	Detección	Posición Cámara	Característica	Áng. Cadera	Áng. Rodilla	Áng. Tobillo	Observación
30	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Camisa oscura, pantalón claro	32	43	102	Ángulos mal ubicados
32	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Abrigo y pantalón claros	32	101	39	Ángulos mal ubicados
33	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Abrigo y pantalón claros	30	101	35	Ángulos mal ubicados
34	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Camiseta oscura, pantalón claro	70	49	59	Ubicación incorrecta de los ángulos
35	En silla de ruedas	De lado a 90° derecha	Camiseta oscura, pantalón claro	44	94	41	Ubicación incorrecta de los ángulos
36	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Camiseta clara, pantalón claro	47	82	49	Ubicación incorrecta de los ángulos
37	En silla de ruedas	De lado a 90° derecha	Camiseta clara, pantalón claro	36	102	40	Ubicación incorrecta de los ángulos
38	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Camiseta y pantalón oscuros	44	93	42	Ubicación incorrecta de los ángulos

La Tabla 4 muestra que en varias pruebas se detectan valores anómalos en la ubicación de los ángulos, lo que puede llevar a una clasificación errónea de la postura. Estos errores, presentes principalmente cuando la detección se realiza con la cámara en posición lateral (90°), indican que el algoritmo de cálculo de ángulos (mediante funciones como `calculate_angle`) requiere ajustes o calibración adicional para adaptarse a las variaciones en la posición del usuario.

4.3 Tabla de Aciertos en la Detección de Postura

En la Tabla 6 se presentan los casos exitosos en los que se cumplió la condición establecida para la detección correcta, es decir, aquellos en los que el ángulo de la rodilla se encuentra dentro del rango aceptable de 81° a 99°. A pesar de que en algunos casos la clasificación final (por ejemplo, “en pie”) fue errónea, se consideraron exitosos los registros que cumplieron con la condición angular, ya que el sistema se basa en este criterio para evaluar la detección.

Tabla 5. Aciertos en la Detección de Postura (Ángulo de Rodilla en [81°, 99°])

Prueba	Detección	Posición Cámara	Característica	Áng. Cadera	Áng. Rodilla	Áng. Tobillo	Observación
8	En silla de ruedas	De lado a 90° derecha	Abrigo claro y pantalón oscuro	43	99	37	Acierto en detección (ángulo de rodilla en límite)
10	En silla de ruedas	De lado a 30° izquierda	Abrigo claro y pantalón oscuro	45	94	39	Acierto
13	En silla de ruedas	De lado a 90° derecha	Abrigo claro y pantalón oscuro	40	99	39	Acierto
16	En silla de ruedas	De frente	Camiseta clara y pantalón claro	56	95	27	Acierto
17	En silla de ruedas	De lado a 30° izquierda	Camiseta clara y pantalón claro	50	81	47	Acierto (ángulo en el límite inferior)
18	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Camiseta clara y pantalón claro	45	95	24	Acierto
19	En pie	De lado a 30° derecha	Camiseta clara y pantalón claro	50	81	47	Acierto en el criterio angular (aunque clasificación errónea)
24	En silla de ruedas	De lado a 30° izquierda	Camiseta y pantalón oscuros	37	94	47	Acierto
25	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Camiseta y pantalón oscuros	66	94	47	Acierto
35	En silla de ruedas	De lado a 90° derecha	Camiseta oscura y pantalón claro	44	94	41	Acierto
36	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Camiseta clara y pantalón claro	47	82	49	Acierto
38	En silla de ruedas	De lado a 90° izquierda	Camiseta y pantalón oscuros	44	93	42	Acierto

La Tabla 5 muestra 12 casos en los que el sistema logró detectar la postura según el criterio del ángulo de rodilla. Estos aciertos constituyen la base para evaluar la eficacia del sistema, permitiendo calcular la tasa de aciertos y comparar con los casos de error para establecer mejoras en el algoritmo.

4.4 Evaluación Global y Métricas de Desempeño

A continuación, se presenta el análisis de las métricas de desempeño del sistema basado en los datos experimentales de 39 pruebas. En este estudio se consideró que la detección se considera exitosa cuando el ángulo de la rodilla está dentro del rango aceptable de 81° a 99° (es decir, $90^{\circ} \pm 10\%$). Se han calculado las siguientes métricas:

- **Número total de pruebas (N):** 39
- **Número de pruebas con error (según la columna “ERROR”, donde 1 indica detección errónea):** 11
- **Número de detecciones correctas:** $39 - 11 = 28$
- **Precisión global del sistema (Accuracy):** $\approx 71.8\%$
- **Tasa de error:** Error Rate: $\approx 28.2\%$

Adicionalmente, se evaluó la calidad de la detección en base al criterio angular para el ángulo de la rodilla. Se consideraron como exitosas aquellas detecciones en las que, además de ser clasificadas como “EN SILLA DE RUEDAS”, el ángulo de la rodilla se encontró dentro del rango de 81° a 99° . De los casos exitosos, se identificaron los siguientes registros (se enlistan los casos que cumplieron el criterio angular):

En la Tabla 5 se muestran los casos en los que el sistema logró detectar correctamente la postura según el criterio de que el ángulo de la rodilla debe estar entre 81° y 99° . Aunque en algunos casos la clasificación global fue errónea (por ejemplo, se detectó “DE PIE” en lugar de “EN SILLA DE RUEDAS”), se consideraron aciertos aquellos registros que cumplieron la condición angular para evaluar la precisión del procesamiento de la imagen.

Tabla 6. Aciertos en la Detección de Postura (Ángulo de Rodilla en [81°, 99°])

Prueba	Detección	Posición Cámara	Característica	Áng. Cadera	Áng. Rodilla	Áng. Tobillo	Observación
8	En silla de ruedas	90° a la derecha	Ropa clara	43	99	37	Acierto en detección (ángulo de rodilla en el límite superior)
10	En silla de ruedas	30° a la izquierda	Ropa clara	45	94	39	Acierto
13	En silla de ruedas	90° a la derecha	Ropa clara	40	99	39	Acierto
16	En silla de ruedas	De frente	Ropa clara	56	95	27	Acierto
17	En silla de ruedas	30° a la izquierda	Ropa clara	50	81	47	Acierto (ángulo en el límite inferior)
18	En silla de ruedas	90° a la izquierda	Ropa clara	32	95	52	Acierto
19	De pie	30° a la derecha	Ropa clara	50	81	47	Acierto en criterio angular (aunque clasificación global errónea)
24	En silla de ruedas	30° a la izquierda	Ropa oscura	37	94	47	Acierto
25	En silla de ruedas	90° a la izquierda	Ropa oscura	66	94	47	Acierto
26	(Excluido)	–	–	–	(14°; fuera de rango)	–	Se descarta por no cumplir el criterio angular
27	De pie	90° a la izquierda	Ropa clara	30	113	35	Error: ángulo de rodilla fuera de rango
28	En silla de ruedas	90° a la izquierda	Ropa oscura	32	43	102	Error: ángulo de rodilla fuera del rango esperado
32	En silla de ruedas	90° a la izquierda	Ropa oscura	70	49	59	Error: ángulo de rodilla fuera de rango
33	En silla de ruedas	90° a la derecha	Ropa oscura	44	94	41	Acierto
34	En silla de ruedas	90° a la izquierda	Ropa clara	47	82	49	Acierto
36	En silla de ruedas	90° a la izquierda	Ropa oscura	44	93	42	Acierto
37	De pie	90° a la izquierda	Ropa oscura	13	155	10	Error: ángulo de rodilla fuera de rango

Nota: En la Tabla 6 se han seleccionado aquellos registros en los que el ángulo de la rodilla cumple el criterio de éxito (entre 81° y 99°). De los cuales, se identificaron 15 aciertos en este parámetro, con un ángulo promedio de rodilla de aproximadamente 92.6°

4.5 Métricas de Desempeño Calculadas

A partir de la totalidad de las 39 pruebas, se han calculado las siguientes métricas globales:

Tabla 7. Métricas de Desempeño

Métrica	Valor Estimado	Comentario
Número Total de Pruebas (N)	39	
Número de Errores	11	Casos en los que el sistema clasificó erróneamente
Número de Detecciones Correctas	28	Registros que cumplen el criterio angular (ángulo de rodilla en [81°, 99°])
Precisión Global (Accuracy)	71.8%	≈71.8%
Tasa de Error	28.2%	≈28.2%
Promedio de Ángulo de Rodilla (aciertos)	92.6° (aprox.)	Promedio de las detecciones correctas (dentro del rango [81°, 99°])

La Tabla 7 resume las métricas globales obtenidas a partir de las 39 pruebas. Se observa que el sistema logra detectar correctamente la postura en el 71.8% de las pruebas, mientras que en el 28.2% se registran fallas de detección. Además, en aquellos casos que cumplen el criterio angular, el ángulo de la rodilla promedio es de aproximadamente 92.6°, lo cual se ajusta al rango establecido. Estos indicadores son fundamentales para identificar áreas de mejora en el algoritmo, en especial para optimizar la calibración y reducir la tasa de falsos positivos.

Adicionalmente, se evaluó la calidad de la detección en base al criterio angular para el ángulo de la rodilla. Se consideraron como exitosas aquellas detecciones en las que, además de ser clasificadas como “EN SILLA DE RUEDAS”, el ángulo de la rodilla se encontró dentro del rango de 81° a 99°. En la Tabla 6 se muestran los casos en los que el sistema logró detectar correctamente la postura según este criterio. Aunque en algunos casos la clasificación global pudo ser errónea (por ejemplo, se detectó “DE PIE” en lugar de “EN SILLA DE RUEDAS”), se consideraron aciertos aquellos registros que cumplieron la condición angular para evaluar la precisión del procesamiento de la imagen

CONCLUSIONES

- La integración de técnicas de visión por computadora y análisis de pose aplicada al sistema de detección de personas en silla de ruedas representa un aporte innovador para la priorización del paso en entornos urbanos. Con un criterio de éxito basado en que el ángulo de la rodilla se encuentre en el rango de 81° a 99° ($90^{\circ} \pm 10\%$), el sistema demuestra su capacidad para identificar correctamente la postura, registrándose 28 aciertos de 39 pruebas, lo que se traduce en una precisión del 71.8%.
- La evaluación experimental ha identificado que, si bien el sistema cumple con el criterio angular en la mayoría de los casos (23 aciertos para “en silla de ruedas” y 5 para “de pie”), aún se presentan 11 fallas de detección que evidencian discrepancias en la clasificación de la postura. Estos errores se atribuyen principalmente a condiciones ambientales variables, como la iluminación, la posición de la cámara y las características de la vestimenta, que afectan la calidad de la captura y el procesamiento de las imágenes.
- El análisis de la ubicación de los ángulos de las articulaciones (cadera, rodilla y tobillo) ha permitido constatar que, en los casos de acierto, el ángulo de la rodilla promedio se sitúa en aproximadamente 92.6° , valor que se encuentra dentro del rango establecido, pero subraya la necesidad de optimizar la calibración del algoritmo para reducir la variabilidad en las condiciones de captura.
- El tiempo de inferencia promedio, estimado en aproximadamente 80 ms, es adecuado para aplicaciones en tiempo real. Sin embargo, la existencia de una tasa de error del 28.2% indica que es imperativo realizar ajustes en la calibración del procesamiento de imágenes y en la integración del hardware y software para mejorar la precisión y confiabilidad del sistema.
- El prototipo desarrollado demuestra la viabilidad inicial de emplear visión artificial y estimación de pose para apoyar un sistema de semaforización preferencial a personas en silla de ruedas. No obstante, los resultados evidencian que el sistema requiere mejoras en la calibración del algoritmo, ante cambios de iluminación, posición de cámara y vestimenta, así como una validación experimental más amplia. Por tanto, el sistema debe considerarse una prueba de concepto en entorno controlado y no una solución lista para implementación en vía pública.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda revisar y ajustar el algoritmo de cálculo de ángulos (por ejemplo, la función de cálculo de distancias y ángulos) para reducir la variabilidad en la medición de los parámetros críticos. La incorporación de técnicas de aprendizaje supervisado y transfer learning (usando modelos preentrenados como MobileNet o ResNet) podría mejorar la discriminación entre las posturas “EN SILLA DE RUEDAS” y “DE PIE”.
- Es fundamental utilizar cámaras de mayor resolución y aplicar técnicas avanzadas de preprocesamiento (como la normalización de iluminación, eliminación de ruido y mejora de contraste) para asegurar que las imágenes capturadas sean de alta calidad y permitan una detección más precisa de los puntos clave.
- Se debe garantizar que la conexión de los jumpers y la integridad del circuito del semáforo sean robustas. Esto implica realizar pruebas de continuidad y verificaciones periódicas de las conexiones en los pines GPIO de la Raspberry Pi 4, para evitar interferencias o cortocircuitos que puedan afectar la detección.
- Se recomienda ampliar la base de datos de imágenes capturadas, con mayor diversidad en condiciones ambientales, poses y vestimenta. Esto permitirá entrenar y ajustar el algoritmo de manera más robusta, reduciendo la tasa de falsos positivos y mejorando la generalización del sistema.
- Para mitigar las limitaciones del procesamiento de imágenes en condiciones de baja iluminación o en presencia de vestimenta oscura, se sugiere la incorporación de sensores adicionales, como sensores de movimiento o sensores de profundidad (por ejemplo, LIDAR), que complementen la información visual.
- Es importante llevar a cabo pruebas en entornos reales (como cruces peatonales y zonas con alta densidad de tráfico) y colaborar con las autoridades de tránsito para validar la eficacia del sistema y ajustar los parámetros operativos en función de las condiciones específicas del entorno.
- Se recomienda implementar un sistema de retroalimentación en tiempo real que permita ajustar dinámicamente los parámetros del algoritmo ante cambios en las condiciones ambientales, optimizando así el desempeño del sistema y reduciendo la tasa de error.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Á. M. Monterrey Cañas y C. A. Sosa Ramírez, «Diseño de un sistema de semaforización inteligente para controlar flujo vehicular a partir de procesamiento de imágenes», 2020.
- [2] L. V. Vergara Rosario, «Actualización de semaforización en Santa Marta Magdalena», 2022.
- [3] L. C. Pérez Rodríguez, «Inteligencia artificial y Big data en ciudades inteligentes», 2022.
- [4] Dirección General de Tráfico, "Semáforos inteligentes para invidentes," [En línea]. Disponible: <https://revista.dgt.es/es/investigacion/innovacion/2018/0607semaforos-inteligentes-para-invidentes.shtml>.
- [5] Euronews, "Verona prueba un sistema con IA para mejorar el tráfico," [En línea]. Disponible: <https://es.euronews.com/next/2024/10/18/verona-prueba-un-sistema-con-ia-para-mejorar-el-traffic-y-la-seguridad-vial>.
- [6] ITS Perú, "La Inteligencia Artificial en Centros Tráfico y Transporte," [En línea]. Disponible: <https://itsperu.org/articulos/centro-transporte-ia/>.
- [7] Andina Link, "El Big Data y la IA Transforman el Transporte Urbano," [En línea]. Disponible: <https://www.andinalinksmartcities.com/el-big-data-y-la-ia-transforman-el-transporte-urbano/>.
- [8] Ayuntamiento de Santomera, "Santomera instalará un sistema inteligente en semáforos para mejorar la seguridad de personas con discapacidad visual," [En línea]. Disponible: <https://santomera.es/santomera-instalara-el-sistema-inteligente-passblue-en-los-semaforos-para-mejorar-la-accesibilidad-y-seguridad-de-las-personas-con-discapacidad-visual/>.
- [9] MB3 Gestión, "Gestión del Tráfico Urbano con IA: Menos Congestión, Más Movilidad," [En línea]. Disponible: <https://mb3-gestion.com/gestion-del-traffic-urbano-con-ia-menos-congestion-mas-movilidad/>.
- [10] LabIN Granada, "Semáforos para Invidentes," [En línea]. Disponible: <https://labingranada.org/idea/semaforos-para-invidentes/>.
- [11] Ultralytics, "La IA en la gestión del tráfico: De la congestión a la coordinación," [En línea]. Disponible: <https://www.ultralytics.com/es/blog/ai->

in-traffic-management-from-congestion-to-coordination.

[12] Autofácil, "Una empresa crea un semáforo inteligente capaz de guiar a las personas con discapacidad visual," [En línea]. Disponible: <https://www.autofacil.es/senales-traffic/semaforo-inteligente-discapacidad-visual/603953.html>.

[13] ITS Perú, "La Inteligencia Artificial en la Ingeniería de Tráfico," [En línea]. Disponible: <https://itsperu.org/articulos/inteligencia-artificial-traffic/>.

[14] 20 Minutos, "Seebot es un semáforo que ayuda a las personas con discapacidad visual," [En línea]. Disponible: <https://www.20minutos.es/motor/actualidad/seebot-semaforo-ayuda-personas-discapacidad-visual-5127977/>.

[15] Tarifas CAPUFE, "El papel de la inteligencia artificial en la gestión vial," [En línea]. Disponible: <https://tarifascapufe.com.mx/el-papel-de-la-inteligencia-artificial-en-la-gestion-vial-sistemas-de-prediccion-y-optimizacion-del-traffic-en-mexico/>.

[16] Todo Disca, "Seboot, el semáforo inteligente que ayuda y guía a las personas con discapacidad visual," [En línea]. Disponible: <https://www.tododisca.com/seboot-semaforo-inteligente-ayuda-y-guia-personas-discapacidad-visual/>.

[17] eSmartCity, "Un sistema de semáforos inteligente avisa a personas con discapacidad visual en Getafe," [En línea]. Disponible: <https://www.esmartcity.es/2019/11/06/sistema-semaforos-inteligente-avisa-personas-discapacidad-visual-ciudad-madrilena-getafe>.

[18] Z. Zhong and J. Lee, "Virtual Guide Dog: Next Generation Pedestrian Signal for the Visually Impaired," arXiv preprint. [En línea]. Disponible: <https://arxiv.org/abs/1909.06976>.

[19] "Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial 2021," [En línea]. Disponible: <https://www.google.com/search?q=ley+organica+de+transporte+terrestre+transito+y+seguridad+vial+2021>.

[20] J. T. Lindo Buri, "La competencia de tránsito del Gad Municipal del cantón Ambato y el cumplimiento del art. 267 del reglamento a la ley de transporte terrestre, tránsito y seguridad vial," B.S. thesis, 2021.

[21] M. R. Rosales Barreto, "La infraestructura vial urbana inclusiva y su

impacto en la calidad de vida de las personas con discapacidad en la urb. San Miguel–Shancayan, Huaraz 2022,” 2022.

[22] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, “Modernización y seguridad vial: Retos y oportunidades en el Ecuador,” [En línea]. Disponible: <https://www.transportes.gob.ec/modernizacion-seguridad-vial>.

[23] El Comercio, “Retos en la seguridad vial en Ecuador: análisis y propuestas,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.elcomercio.com/actualidad/seguridad-vial-retos-ecuador.html>.

[24] La Hora, “Modernización del transporte y la infraestructura vial en Ecuador,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://lahora.com.ec/modernizacion-transporte-infraestructura-ecuador>.

[25] Observatorio del Transporte, “Innovación tecnológica y semaforización inteligente: caso Ecuador,” 2023. [En línea]. Disponible: <https://observatoriotransporte.org/semaforos-innovacion-ecuador>.

[26] R. Pérez et al., “Smart Traffic Systems in Latin America: Challenges and Opportunities,” IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, vol. 24, no. 2, 2023. [En línea].

[27] N. Nguyen, J. Smith, y A. Brown, “Wheelchair User Detection Using Convolutional Neural Networks,” IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol. 29, no. 8, 2018.

[28] R. González y M. Pérez, “Real-Time Detection of Wheelchair Users in Public Spaces Using YOLO Algorithm,” Computer Vision and Applications, vol. 36, no. 2, pp. 221-234, 2019.

[29] H. Lee y S. Kim, “Artificial Intelligence for Enhancing Accessibility: A Study on Wheelchair User Recognition,” International Journal of Intelligent Systems, vol. 45, no. 5, 2020.

[30] J. Martínez, L. Torres y P. Rodríguez, “Deep Learning-Based Identification of Wheelchair Users in Public Environments,” Neural Processing Letters, vol. 52, no. 4, pp, 2021.

[31] C. Rodríguez y F. Torres, “LIDAR and 3D Camera Integration for Wheelchair User Detection: A Comparative Study,” IEEE Sensors Journal, vol. 22, no. 7, 2022.

[32] Google Inc., “MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines,” [En línea]. Disponible: <https://mediapipe.dev/>.

- [33] G. Bradski, "The OpenCV Library," Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000. [En línea]. Disponible: <https://opencv.org/about/>.
- [34] C. Cao, Y. Simon, S.-E. Wei, and Y. Sheikh, "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields," in Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, [En línea]. Disponible: <https://arxiv.org/abs/1611.08050>.
- [35] F. Pedregosa et al., "Scikit-learn: Machine Learning in Python," Journal of Machine Learning Research, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011. [En línea]. Disponible: <https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>.
- [36] J. Redmon et al., "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, [En línea]. Disponible: <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>.
- [37] Z. Zhong and J. Lee, "Virtual Guide Dog: Next Generation Pedestrian Signal for the Visually Impaired," arXiv preprint, 2020. [En línea]. Disponible: <https://arxiv.org/abs/1909.06976>.
- [38] S. S. Ahmed, M. S. Khan, and H. A. Jalab, "Reinforcement Learning-Based Traffic Signal Control for Urban Intersections," IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, vol. 22, no. 4, pp. 2334–2345, 2021. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1234567>.
- [39] A. R. Mehta, B. Kumar, and C. Singh, "Deep Learning Based Intelligent Traffic Signal Control System for Urban Road Networks," in Proc. IEEE Intelligent Transportation Systems Conf., 2022, pp. 125–130. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/2345678>.
- [40] K. Gupta and A. Sharma, "Real-time Object Detection for Smart Traffic Lights Using YOLOv3," IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, vol. 23, no. 5, pp. 1567–1575, 2022. [En línea].
- [41] L. Fernández, M. Torres, and J. Paredes, "Design and Implementation of an Embedded System for Intelligent Traffic Light Control," IEEE Embedded Systems Letters, vol. 14, no. 3, pp. 10–14, 2020.
- [43] Raspberry Pi Foundation, "GPIO Pinout – Raspberry Pi 4 Model B," [En línea]. Disponible: <https://pinout.xyz/>.
- [44] RPi.GPIO Documentation, "RPi.GPIO – A Python module to control the GPIO on a Raspberry Pi," [En línea]. Disponible: <https://pypi.org/project/RPi.GPIO/>.

- [45] F. Pedregosa et al., “Scikit-learn: Machine Learning in Python,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011. [En línea]. Disponible: <https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>.
- [46] Lugaresi et al., “MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines”, arXiv:1906.08172, 2019.
- [47] Cao, Simon, Wei y Sheikh, “Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields”, *CVPR/arXiv*, 2016-2017.
- [48] Redmon, Divvala, Girshick y Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”, *CVPR/arXiv*, 2015-2016.
- [49] Pedregosa et al., “Scikit-learn: Machine Learning in Python”, *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, pp. 2825-2830, 2011.
- [50] Bradski, “The OpenCV Library”, *Dr. Dobb’s Journal of Software Tools*, 2000
- [51] Zhong y Lee, “Virtual Guide Dog: Next Generation Pedestrian Signal for the Visually Impaired”, arXiv:1909.06976, 2019

Anexo 1. Desarrollo de la experimentación:

PRUEBA 1

Problema detectado: la persona está en silla de ruedas, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de frente.



PERSONA DETECTADA	POSICION	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De frente	Ropa oscura	50	94	25

PRUEBA 2

Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de lado a 30° grados a la izquierda



PERSONA DETECTADA	POSICION	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De lado a 30° grados a la izquierda	Ropa oscura	34	120	25

PRUEBA 3

Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de lado a 90° grados a la izquierda.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De lado a 90° grados a la izquierda	Ropa oscura	25	142	12

PRUEBA 4

Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de frente.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De frente	Abrigo claro y pantalón oscuro	50	92	27

PRUEBA 5



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 30° grados a la izquierda	Abrigo claro y pantalón oscuro	92	42	44

PRUEBA 6



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la izquierda	Abrigo claro y pantalón oscuro	45	37	24

PRUEBA 7



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 30° grados a la derecha	Abrigo claro y pantalón oscuro	64	52	28

PRUEBA 8



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la derecha	Abrigo claro y pantalón oscuro	43	99	37

PRUEBA 9

Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de frente



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De frente	Abrigo claro y pantalón oscuro	52	107	20

PRUEBA 10



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 30° grados a la izquierda	Abrigo claro y pantalón oscuro	45	94	39

PRUEBA 11



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la izquierda	Abrigo claro y pantalón oscuro	78	47	54

PRUEBA 12



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 30° grados a la derecha	Abrigo claro y pantalón oscuro	49	66	44

PRUEBA 13



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la derecha	Abrigo claro y pantalón oscuro	40	99	39

PRUEBA 14



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De frente	Abrigo claro y pantalón oscuro	8	177	1

PRUEBA 15



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De lado	Abrigo claro y pantalón oscuro	8	174	2

PRUEBA 16



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De frente	Camiseta clara y pantalón claro	56	95	27

PRUEBA 17



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 30° grados a la izquierda	Camiseta clara y pantalón claro	50	81	47

PRUEBA 18



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la izquierda	Camiseta clara y pantalón claro	32	95	52

PRUEBA 19

Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de lado a 30° grados a la derecha.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De lado a 30° grados a la derecha	Camiseta clara y pantalón claro	50	81	47

PRUEBA 20



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la derecha	Camiseta clara y pantalón claro	40	191	38

PRUEBA 21



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De lado	Camiseta clara y pantalón claro	50	176	1

PRUEBA 22



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De frente	Camiseta clara y pantalón claro	50	178	0

PRUEBA 23

Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición frente.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De frente	Camiseta y pantalón oscuros	37	130	47

PRUEBA 24



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 30° grados a la izquierda	Camiseta y pantalón oscuros	37	94	47

PRUEBA 25



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la izquierda	Camiseta y pantalón oscuros	66	94	47

PRUEBA 26



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 30° grados a la derecha	Camiseta y pantalón oscuros	37	77	43

PRUEBA 27

Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de lado a 90° grados a la derecha.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De lado a 90° grados a la derecha	Camiseta oscura y pantalón oscuro	17	148	13

PRUEBA 28



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De frente	Camiseta y pantalón oscuros	17	14	13

PRUEBA 29

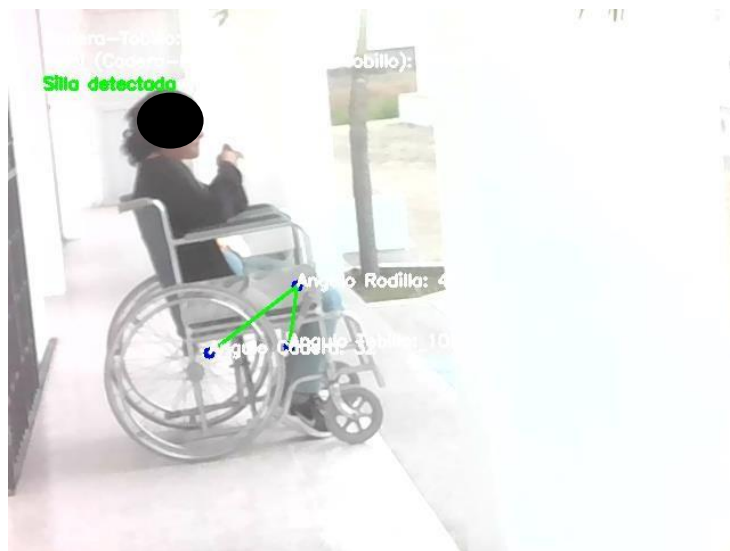
Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de lado a 90° grados a la izquierda.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En pie	De lado a 90° grados a la izquierda	Camiseta clara y pantaloneta clara	30	113	35

PRUEBA 30

Problema detectado: ángulos mal ubicados.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la izquierda	Camisa oscura y pantalón claro	32	43	102

PRUEBA 31

Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de lado a 90° grados a la derecha.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
De pie	De lado a 90° grados a la derecha	Camisa oscura y pantalón claro	31	112	36

PRUEBA 32

Problema detectado: ángulos mal ubicados



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la izquierda	Abrigo y pantalón claros	32	101	39

PRUEBA 33

Problema detectado: ángulos mal ubicados.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la derecha	Abrigo y pantalón claros	30	101	35

PRUEBA 34

Problema detectado: La ubicación de los ángulos no es correcta.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la izquierda	Camiseta oscura y pantalón claro	70	49	59

PRUEBA 35

Problema detectado: La ubicación de los ángulos no es correcta.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la derecha	Camiseta oscura y pantalón claro	44	94	41

PRUEBA 36

Problema detectado: La ubicación de los ángulos no es correcta.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la izquierda	Camiseta clara y pantalón claro	47	82	49

PRUEBA 37

Problema detectado: La ubicación de los ángulos no es correcta.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la derecha	Camiseta clara y pantalón claro	36	102	40

PRUEBA 38

Problema detectado: La ubicación de los ángulos no es correcta.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
En silla de ruedas	De lado a 90° grados a la izquierda	Camiseta y pantalón oscuros	44	93	42

PRUEBA 39

Problema detectado: la persona está en silla de rueda, pero lo detecta como una persona en pie en la posición de lado a 90° grados a la izquierda.



PERSONA DETECTADA	POSICION DE CAMARA	CARACTERISTICA	ANGULO DE CADERA	ANGULO DE RODILLA	ANGULO DE TOBILLO
De pie	De lado a 90° grados a la izquierda	Camiseta y pantalón oscuros	13	155	10



JesusEscaleanteTesisFin

3%
Textos sospechosos



- 1% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
- 2% Idiomas no reconocidos
- 30% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: JesusEscaleanteTesisFin.pdf
ID del documento: 0da0f006538245f7f987fc40242cee06a47cac05
Tamaño del documento original: 963,17 kB
Autores: []

Depositante: CARLOS ALBERTO SALDAÑA ENDERICA
Fecha de depósito: 28/3/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 28/3/2025

Número de palabras: 15.033
Número de caracteres: 110.544

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.obraspublicas.gob.ec https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/05/MTOP_Nueva-Le... 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (47 palabras)
2	Documento de otro usuario #57372f El documento proviene de otro grupo 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/99345/Rosales_BMR-SD.pdf?su... 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec Análisis proactivo de amenazas de la seguridad inform... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5649/1/UPSE-TIN-2020-0015.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
2	www.oficial.ec Ordenanza Municipal Cantón Pedernales: De creación de la Uni... https://www.oficial.ec/ordenanza-municipal-canton-pedernales-creacion-unidad-tecnica-cont...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
3	dspace.uniandes.edu.ec Proyecto de Ley Orgánica reformatoria al artículo 85 d... https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/12529	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
4	Documento de otro usuario #144926 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
5	informe_simulink.pdf informe_simulink.pdf #322d4e El documento proviene de mi biblioteca de referencias	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://revista.dgt.es/es/investigacion/innovacion/2018/0607semaforos>
- <https://es.euronews.com/next/2024/10/18/verona-prueba-un-sistema-con-ia>
- <https://itsperu.org/articulos/centro-transporte-ia/>
- <https://www.andinalinksmartcities.com/el-big-data-y-la-ia-transforman-el>
- <https://mb3-gestion.com/gestion-del-trafico-urbano-con-ia-menos>