

Smart garage access control system to improve the license plate recognition process

Pedro M. Berrú Beltrán, Bachelor¹; Piero F. Cardoza Zapata, Bachelor¹; Rolando J. Berrú Beltrán, Master¹

¹Universidad Privada del Norte, Trujillo, pedroberru@outlook.com, pierocardozazapata@gmail.com,
rolando.berru@upn.edu.pe

Abstract– *The aim of this investigation is to develop a smart garage access control system to improve the vehicle license plate recognition process, optimizing accuracy and response times in the identification and registration processes. Many current systems rely on manual intervention, causing delays and inconveniences. This system is based on the automated identification and verification of vehicle license plates, ensuring precise and efficient recognition. To achieve accurate recognition, YOLO neural networks, Python image processing techniques, and Optical Character Recognition (OCR) were used to extract data from the captured plates. The IP camera captured the vehicle plates, and access was validated by comparing the data with a database of authorized residents. These technologies enabled license plate detection in real-time, even under various environmental conditions, ensuring high accuracy. The system records and monitors activities in real-time, providing valuable data on the performance of license plate recognition. The user interface displayed images and analysis results, allowing for automatic garage door opening or manual intervention in case of error. This ensured more agile and efficient processes compared to traditional manual methods.*

Keywords-- *Computer vision, License plate detection, Access control, OCR, YOLO.*

Sistema inteligente de control de acceso a cocheras para mejorar el proceso de reconocimiento de placas vehiculares

Pedro M. Berrú Beltrán, Bachiller¹; Piero F. Cardoza Zapata, Bachiller¹; Rolando J. Berrú Beltrán, Magister¹

¹Universidad Privada del Norte, Trujillo, pedroberru@outlook.com, pierocardozapata@gmail.com, rolando.berru@upn.edu.pe

Resumen– El objetivo de esta investigación es desarrollar un sistema inteligente de control de acceso a cocheras para mejorar el reconocimiento de placas vehiculares, optimizando la precisión y los tiempos de respuesta en procesos de identificación y registro. Muchos sistemas actuales dependen de la intervención manual, lo que genera demoras e inconvenientes. Este sistema se basa en la identificación y verificación automatizada de las placas de los vehículos, asegurando un reconocimiento preciso y eficiente. Para lograr un reconocimiento preciso y eficiente, se emplean redes neuronales YOLO, técnicas de procesamiento de imágenes en Python y reconocimiento óptico de caracteres (OCR) para extraer los datos de las matrículas capturadas. La cámara IP captura las matrículas de los vehículos y se valida el acceso comparando los datos con una base de datos de residentes autorizados. Estas tecnologías permiten detectar matrículas en tiempo real, incluso en diversas condiciones ambientales, garantizando una alta precisión. El sistema registra y monitorea actividades en tiempo real, proporcionando datos valiosos sobre el rendimiento del reconocimiento de matrículas. La interfaz de usuario muestra las imágenes y los resultados del análisis, permitiendo la apertura automática de la cochera o la intervención manual en caso de error. Esto asegura procesos más ágiles y eficientes en comparación con los métodos manuales tradicionales.

Palabras clave– Visión computacional, Reconocimiento de matrículas, Control de acceso, OCR, YOLO.

I. INTRODUCCIÓN

En entornos urbanos con alta densidad poblacional, la gestión eficiente y precisa del acceso vehicular a propiedades privadas, como cocheras, se ha convertido en un desafío crítico. Los sistemas tradicionales de control de acceso, basados en la intervención manual, son vulnerables a errores operativos, demoras y limitaciones en la identificación precisa de vehículos. Tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas de reconocimiento de placas vehiculares han demostrado ser herramientas prometedoras para superar estas limitaciones, permitiendo la identificación automatizada y precisa de vehículos [1]. Sin embargo, su adopción sigue siendo limitada debido a barreras económicas y técnicas, particularmente en entornos urbanos de países en desarrollo.

A nivel internacional, la implementación de tecnologías avanzadas de reconocimiento de placas vehiculares ha mostrado resultados significativos en la optimización de procesos de acceso vehicular. En China, estas tecnologías permiten una identificación rápida de vehículos y personas en áreas de alto tráfico, optimizando la gestión de acceso en ciudades inteligentes. No obstante, estudios previos han identificado limitaciones en la precisión bajo condiciones de baja visibilidad y preocupaciones relacionadas con la privacidad de los ciudadanos [2]. En India, la adopción de sistemas automáticos ha enfrentado desafíos adicionales debido a la diversidad de formatos de placas y las condiciones ambientales variables, como iluminación inadecuada o imágenes distorsionadas, que dificultan la segmentación y el reconocimiento. Investigaciones recientes han destacado que el uso de IoT y redes neuronales convolucionales (CNN) ha mejorado la precisión, aunque la implementación sigue siendo limitada en escenarios de tráfico denso y fondos complejos [3]. En Rusia, las investigaciones han destacado que las condiciones de iluminación extremas, como los inviernos prolongados con poca luz natural, representan un reto adicional para los sistemas de reconocimiento automático, dificultando su desempeño en diversas regiones del país [4]. En Colombia, la dependencia de métodos manuales ha incrementado los riesgos de intrusión vehicular, particularmente en ciudades como Aguachica, donde los robos de vehículos aumentaron en un 12% en 2021. El desarrollo de soluciones basadas en machine learning y reconocimiento de patrones se presenta como una alternativa viable para mitigar esta problemática [5].

A nivel nacional, en Perú, los métodos tradicionales de gestión de acceso vehicular se basan principalmente en registros manuales, lo que limita la capacidad de respuesta y precisión en la identificación de vehículos. Estudios previos destacan que la implementación de tecnologías como el procesamiento de imágenes y el reconocimiento automático de placas puede optimizar significativamente los procesos de acceso vehicular y reducir tiempos de respuesta [6]. Sin embargo, estas soluciones deben adaptarse a las condiciones específicas de cada región para maximizar su efectividad.

En Trujillo, Perú, los métodos tradicionales de gestión de acceso vehicular, basados en registros manuales, limitan tanto la precisión como los tiempos de respuesta en la identificación

de vehículos. Estudios recientes han mostrado que el uso de tecnologías como OpenCV y algoritmos de machine learning permite alcanzar tasas de validación superiores al 96.25%, optimizando procesos en áreas urbanas densamente pobladas [7]. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la calidad de las cámaras y las condiciones ambientales, lo que destaca la importancia de adaptar estas herramientas al contexto local.

El uso de tecnologías avanzadas como el machine learning para el reconocimiento de placas vehiculares ha recibido atención significativa en investigaciones recientes. En China, el reconocimiento facial y de placas ha demostrado su eficacia en la gestión del acceso vehicular, aunque persisten desafíos relacionados con la privacidad y las condiciones ambientales adversas [2]. En Colombia, se han desarrollado sistemas basados en aprendizaje automático y arquitecturas de microservicios, superando limitaciones técnicas en la segmentación y detección de placas [5]. En Perú, investigaciones previas han implementado técnicas de procesamiento de imágenes mediante herramientas como Python y OpenCV, alcanzando tasas de validación superiores al 95% [6].

A pesar de estos avances, muchos sistemas enfrentan barreras relacionadas con costos elevados, falta de interoperabilidad y adaptación limitada a contextos locales. En este sentido, el presente trabajo busca contribuir al estado del arte mediante el diseño de un sistema inteligente de control de acceso vehicular, integrando técnicas avanzadas de reconocimiento de patrones con un enfoque económico y escalable, especialmente adaptado a entornos residenciales urbanos en Trujillo.

II. ANTECEDENTES

El desarrollo de sistemas inteligentes de control de acceso vehicular ha sido ampliamente investigado en el ámbito académico, destacando el uso de tecnologías de visión artificial, procesamiento de imágenes y aprendizaje automático. Diversos estudios han explorado metodologías avanzadas para mejorar la precisión y eficiencia en el reconocimiento de placas vehiculares en distintos entornos.

En el año 2020, en la investigación [2], se estudió la implementación de sistemas inteligentes de vigilancia urbana utilizando tecnologías de reconocimiento de placas vehiculares. Su propuesta incluyó algoritmos de reconocimiento óptico de caracteres (OCR) y análisis de datos para optimizar el control vehicular y la gestión del tráfico. Los resultados demostraron una reducción significativa en los tiempos de respuesta y un aumento en la precisión de la identificación vehicular.

En el estudio [8] realizado en 2020, desarrollaron un sistema de reconocimiento automático de placas vehiculares implementado en entornos como residencias y áreas urbanas. Su metodología utilizó histogramas de gradientes orientados (HOG) para la extracción de características y redes neuronales artificiales (ANN) para el reconocimiento de caracteres. El

método alcanzó una precisión del 99.7% y tiempos de procesamiento reducidos, posicionándose como una solución eficiente para aplicaciones en tiempo real incluso en escenarios con condiciones visuales desafiantes.

En 2019, se implementó un sistema automatizado de reconocimiento de placas vehiculares diseñado específicamente para estacionamientos [9]. El método combinó técnicas de procesamiento de imágenes, como filtros de mediana y operaciones morfológicas, con reconocimiento óptico de caracteres (OCR) para segmentar y reconocer caracteres. A pesar de desafíos como condiciones de poca iluminación y placas dañadas, el sistema demostró ser eficiente y confiable, logrando altos niveles de precisión en detección y reconocimiento en tiempo real.

En un entorno universitario en 2021 se presentó un sistema automatizado de control de acceso basado en el reconocimiento de placas vehiculares [10]. El proceso incluyó tres etapas principales: localización de placas, segmentación de caracteres y reconocimiento de caracteres. Se lograron tasas de precisión del 91.58% en localización, 93.11% en segmentación y 80.25% en reconocimiento, resaltando la necesidad de mejorar el rendimiento en entornos complejos con múltiples capas.

En 2020, se propuso un sistema basado en dos etapas principales: detección de placas mediante la transformada wavelet 2D y clasificación utilizando redes neuronales convolucionales (CNN) [11]. El sistema alcanzó una precisión del 98.36% en la detección de placas y del 98.9% en el reconocimiento de caracteres, mostrando una ventaja significativa en condiciones ambientales adversas frente a otros métodos existentes.

De manera similar, en 2020 se desarrolló un sistema de control de acceso vehicular basado en visión artificial para un campus universitario [12]. Utilizando algoritmos de reconocimiento de placas, lograron una precisión del 94% en la detección de placas y del 92% en la lectura de caracteres, mejorando la eficiencia en la gestión de registros de entrada y salida, así como reduciendo la congestión vehicular en puntos críticos.

En el año 2023, en un contexto peruano, se implementó un software de visión artificial para el reconocimiento de placas vehiculares, empleando tecnologías como Python, OpenCV, Pytesseract y MediaPipe [7]. El sistema alcanzó una tasa de validación del 96.25%, destacando su eficacia cuando se utilizaron cámaras de mayor calidad, lo que refuerza su aplicabilidad en sistemas de control de acceso vehicular en entornos urbanos.

Finalmente, en la investigación [13] se propuso un sistema de reconocimiento de patrones en placas vehiculares para la gestión automática del acceso en edificios. Su enfoque incluyó el preprocesamiento de imágenes, segmentación de placas y uso de algoritmos OCR, resaltando su aplicabilidad en cocheras residenciales, especialmente en ciudades como Trujillo, donde la automatización puede mejorar significativamente la seguridad y la gestión de accesos.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Determinar el impacto de un sistema inteligente de control de acceso a cocheras, a través de reconocimiento de placas vehiculares, en la mejora del proceso de identificación vehicular en Trujillo 2024.

B. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia del sistema inteligente de control de acceso a cocheras sobre el porcentaje de precisión del reconocimiento de placas vehiculares en Trujillo 2024.
- Definir la influencia del sistema inteligente de control de acceso a cocheras sobre el porcentaje de sensibilidad del reconocimiento de placas vehiculares en Trujillo 2024.
- Establecer la influencia del sistema inteligente de control de acceso a cocheras sobre el tiempo promedio necesario para registrar vehículos en Trujillo 2024.
- Determinar la influencia del sistema inteligente de control de acceso a cocheras sobre el tiempo de búsqueda de placas registradas en Trujillo 2024.

IV. METODOLOGÍA

La presente investigación tuvo un diseño pre-experimental, ya que se realizó una intervención directa para implementar y evaluar un sistema inteligente de control de acceso a cocheras. El enfoque de la investigación es cuantitativo, dado que se analizaron métricas específicas relacionadas con el reconocimiento de placas vehiculares. La población comprendió comunidades residenciales de la ciudad de Trujillo que cuentan con cocheras y sistemas de control de acceso vehicular. La muestra estuvo conformada por 15 comunidades residenciales seleccionadas de forma intencionada, considerando su disponibilidad para participar en el estudio.

A. Diagnóstico Pre-test:

Se establecieron cuatro indicadores para evaluar el desempeño del reconocimiento de placas vehiculares.

- a) Porcentaje de precisión del reconocimiento de la placa vehicular.
- b) Porcentaje de Sensibilidad del sistema en el reconocimiento de placas.
- c) Tiempo promedio de registro de vehículos.
- d) Tiempo de búsqueda de placas registradas.

El pretest se llevó a cabo para evaluar el desempeño del sistema manual en el reconocimiento de placas vehiculares, utilizando los siguientes indicadores: precisión, sensibilidad, tiempo promedio de registro y tiempo de búsqueda de placas registradas. Para ello, se emplearon fichas de observación que permitieron recolectar datos específicos relacionados con cada indicador. Los indicadores anteriormente mencionados se calcularon mediante las siguientes fórmulas.

1. Indicador A: Porcentaje de precisión del reconocimiento de la placa vehicular (Precisión)

$$\text{Precisión} = \frac{VP}{VP+FP} \times 100\% \quad (1)$$

VP: Verdaderos positivos

FP: Falsos positivos

2. Indicador B: Porcentaje de sensibilidad del sistema en el reconocimiento de placas (Sensibilidad)

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{VP+FN} \times 100\% \quad (2)$$

VP: Verdaderos positivos

FN: Falsos negativos

3. Indicador C: Tiempo promedio de registro de vehículos (Tpr)

$$Tpr = \frac{\sum TR}{NR} \quad (3)$$

TR: Tiempos de registro realizados en una comunidad residencial

NR: Número de registros realizados en una comunidad residencial

4. Indicador D: Tiempo de búsqueda de placas registradas (Tbp)

$$Tbp = \frac{\sum TB}{NB} \quad (4)$$

TB: Tiempos de búsqueda realizados en una comunidad residencial.

NB: Número de búsquedas realizados en una comunidad residencial.

Los indicadores definidos (precisión, sensibilidad, tiempo promedio de registro y tiempo de respuesta) fueron calculados utilizando los valores obtenidos de las fichas de observación aplicadas durante el pretest. Estos datos fueron revisados y verificados para garantizar su consistencia y validez en el contexto del sistema manual de control de acceso vehicular.

B. Sistema inteligente de control de acceso a cocheras para mejorar el proceso de reconocimiento de placas vehiculares:

El sistema inteligente de control de acceso a cocheras fue desarrollado bajo la metodología ágil **Scrum**, la cual permitió organizar el proyecto en ciclos iterativos e incrementales. El proceso de desarrollo se estructuró en las siguientes fases:

1. Planificación:

En esta etapa se definieron las tareas necesarias para el desarrollo del sistema, organizándolas en un Product Backlog priorizado. Este incluyó las funcionalidades clave para garantizar el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

TABLA I

Product Backlog del Sistema Inteligente de Control de Acceso Vehicular

ID	Tarea	Prioridad	Descripción
PB01	Diseñar el algoritmo de reconocimiento de placas vehiculares.	Alta	Utilizar redes neuronales YOLO para la detección y OCR para la lectura de caracteres.
PB02	Implementar base de datos para registros vehiculares.	Alta	Crear una base de datos que almacene placas vehiculares y tiempos de acceso.
PB03	Configurar cámaras IP para captura de imágenes en tiempo real.	Media	Ajustar la configuración de la cámara para su conectividad en la red, incluyendo ajustes de dirección IP, resolución de imagen y protocolos de transmisión.

2. Implementación:

En esta etapa se llevaron a cabo las tareas necesarias para la implementación del sistema, organizándolas en sprints siguiendo la metodología Scrum. Cada sprint se enfocó en desarrollar y perfeccionar las funcionalidades esenciales del sistema, asegurando un avance iterativo y controlado hacia los objetivos planteados.

TABLA II

Resumen del Sprint Backlog para el Desarrollo del Sistema

Sprint	Tareas Principales	Objetivo del Sprint
Sprint 1	Desarrollo de un algoritmo para detección de placas vehiculares utilizando YOLO.	Diseñar y configurar un algoritmo que integre YOLO para optimizar la detección de placas vehiculares.
Sprint 2	Procesamiento de imágenes y extracción de caracteres para reconocimiento.	Garantizar la correcta lectura y reconocimiento de caracteres de las placas vehiculares a través del uso de OCR.
Sprint 3	Configuración y creación de la base de datos para registros vehiculares.	Establecer una base de datos que permita el registro y gestión eficiente de vehículos.
Sprint 4	Integración del sistema con cámaras IP para captura en tiempo real.	Capturar video en tiempo real y ajustar parámetros del sistema para optimizar el rendimiento.

• Sprint 1:

En este sprint se trabajó en el desarrollo y configuración del algoritmo basado en YOLO (You Only Look Once) para la detección de placas vehiculares. Durante esta fase, se realizaron pruebas iniciales con diferentes conjuntos de imágenes para

entrenar el modelo. Esto permitió identificar y localizar las placas vehiculares en tiempo real.

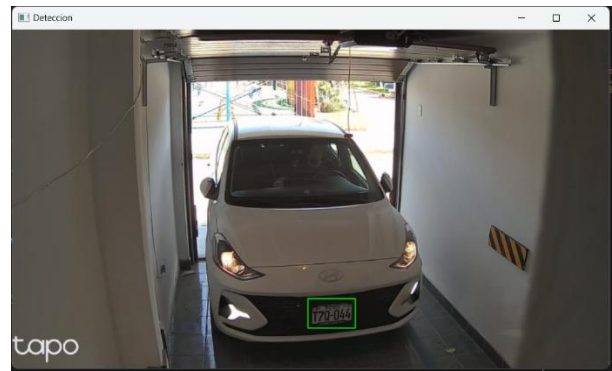


Fig 1 Detección de placa vehicular.

La Fig. 1. evidencia el reconocimiento correcto del campo correspondiente a la placa vehicular en uno de los registros realizados en una comunidad residencial, resaltado con un cuadro delimitador generado por el algoritmo.

• Sprint 2:

En este sprint se enfocó en el procesamiento de imágenes y la extracción de caracteres para el reconocimiento mediante OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres). Se implementaron técnicas de preprocesamiento de imágenes, como eliminación de ruido y binarización, lo que permitió mejorar la precisión en la segmentación y lectura de caracteres. PyTesseract se encargó de identificar los caracteres presentes en las imágenes y transformarlos en cadenas de texto legibles.

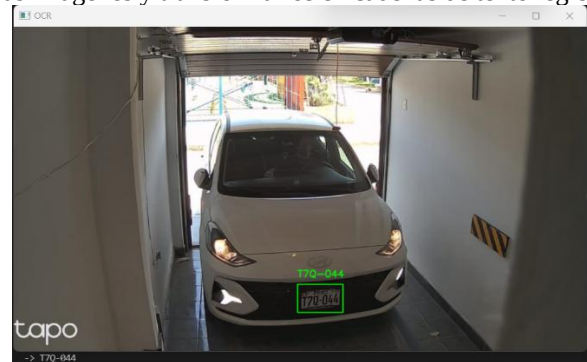


Fig 2 Reconocimiento de caracteres de la placa vehicular.

La Fig. 2. evidencia el reconocimiento de los caracteres de la placa vehicular, mostrando la cadena de texto extraída a través del algoritmo con PyTesseract.

• Sprint 3:

En este sprint se trabajó en la implementación de la base de datos utilizando PostgreSQL, con el objetivo de gestionar el almacenamiento de los datos relacionados con los usuarios, vehículos y accesos. Se diseñó un modelo de datos que incluye

las relaciones necesarias para conectar la información de manera lógica y estructurada.

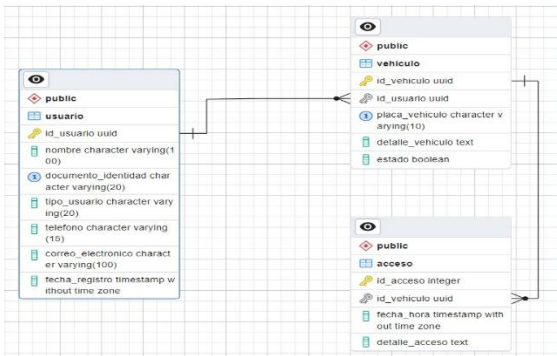


Fig 3 Modelo de datos del sistema

La Fig. 3 muestra el modelo relacional utilizado para la base de datos, destacando las relaciones entre las tablas usuario, vehículo y acceso, fundamentales para la gestión de los datos vehiculares.

- *Sprint 4:*

En este sprint se integró el sistema con cámaras IP para la captura de video en tiempo real, configurando parámetros para garantizar la transmisión de videos a través de RTSP. Además, se realizaron pruebas con diferentes modelos de cámaras para evaluar su compatibilidad y desempeño en condiciones reales, logrando optimizar la detección y procesamiento de placas vehiculares.

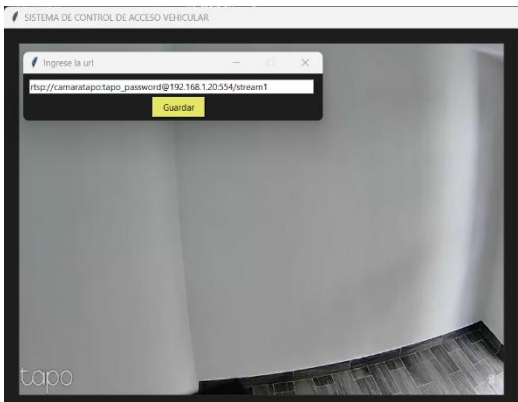


Fig 4 Interfaz de captura en tiempo real desde cámaras IP.

La Fig. 4 muestra la interfaz diseñada para la integración con cámaras IP. En ella, el usuario puede ingresar la URL de conexión con la cámara y a través de RTSP visualizar el video de esta.

C. Pruebas

Se realizaron pruebas para evaluar el desempeño del sistema de reconocimiento de placas vehiculares en condiciones reales. Estas pruebas consideraron la captura y procesamiento de imágenes, asegurando la detección, segmentación y extracción automática del texto de las placas. Se midió la eficiencia del sistema a través del tiempo promedio de respuesta desde la captura hasta el reconocimiento del texto, y se evaluó su desempeño en escenarios variados con el fin de garantizar su robustez frente a las variaciones del entorno.



Fig 5 Prueba de reconocimiento de placa delantera a plena luz del día.

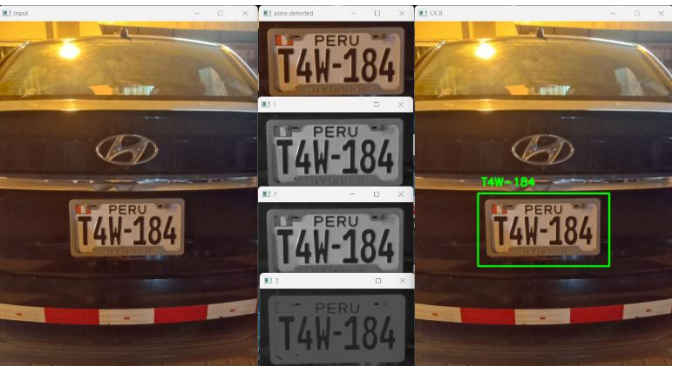


Fig 6 Prueba de reconocimiento de placa trasera en otra condición de iluminación.

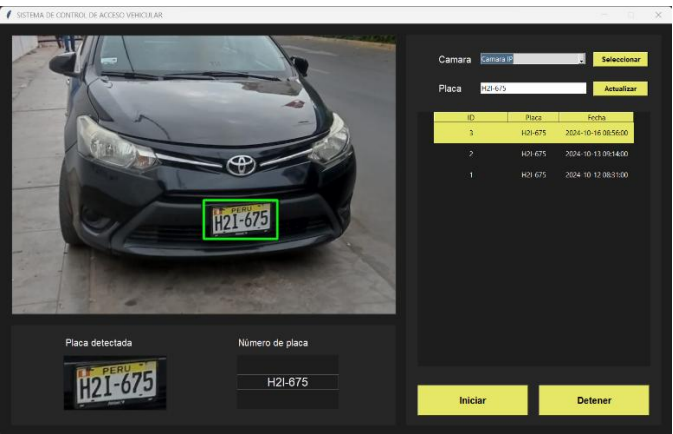


Fig 7 Prueba de detección y registro de acceso con el sistema de control a plena luz del día.

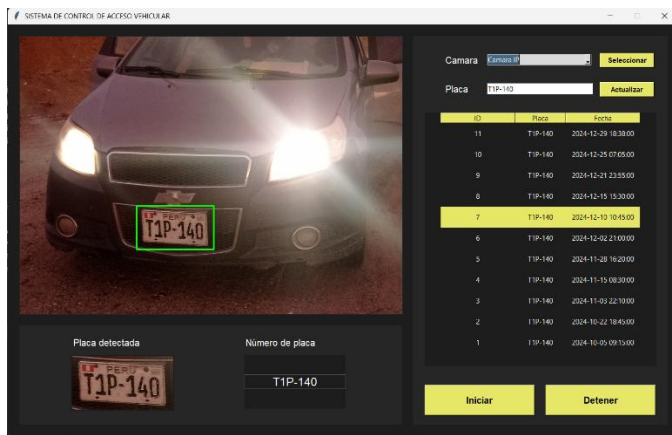


Fig 8 Prueba de detección y registro de acceso con el sistema de control en otra condición de iluminación.

C. Diagnóstico Post-test:

Tras la implementación del sistema inteligente de control de acceso a cocheras, se llevó a cabo un diagnóstico post-test con el propósito de evaluar los indicadores de precisión, sensibilidad, tiempo de registro y tiempo de búsqueda de placas. Este diagnóstico permitió analizar la influencia del sistema en el reconocimiento de placas vehiculares y contrastar los resultados obtenidos con los valores del diagnóstico pre-test. La misma ficha de observación empleada en el pre-test se utilizó para asegurar la consistencia en la recopilación de datos. Además, se aplicó la prueba estadística t-student mediante el software XLSTAT, lo que permitió verificar las hipótesis planteadas y determinar la significancia estadística de las mejoras logradas con el sistema implementado.

V. RESULTADOS

En esta sección se presentan los valores obtenidos en la recolección de datos durante el pre-test y post-test, junto con el análisis de las hipótesis mediante la prueba t-student utilizando el software XLSTAT. El análisis se realizó considerando un nivel de significancia de 0.05 y 14 grados de libertad, evaluando la influencia del sistema en el reconocimiento de placas vehiculares.

A. Indicador A: Porcentaje de precisión del reconocimiento de la placa vehicular (Precisión)

H0: El porcentaje de precisión del reconocimiento de placas vehiculares es el mismo después de implementar el sistema inteligente de control de acceso a cocheras.

Ha: El porcentaje de precisión del reconocimiento de placas vehiculares es mayor después de implementar el sistema inteligente de control de acceso a cocheras.

Prueba t para dos muestras relacionadas / Prueba unilateral a la izquierda

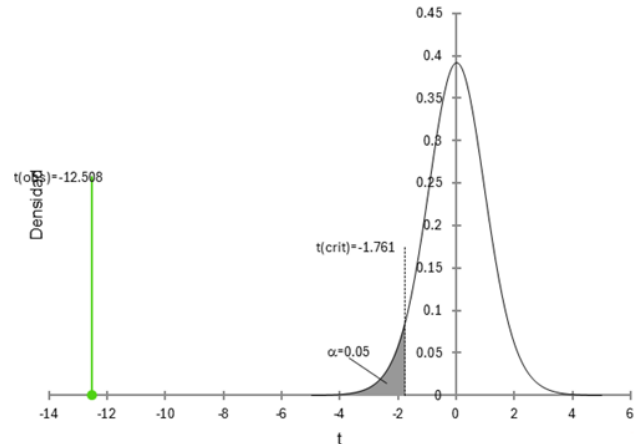


Fig. 9. Evaluación del área de aceptación o rechazo del porcentaje de precisión.

El valor $t(\text{obs}) = -12.508$, es inferior al valor crítico $t(\text{crit}) = -1.761$, lo cual indicó que el valor obtenido estuvo ubicado en el intervalo de **rechazo de la hipótesis nula, por consiguiente, se aceptó la hipótesis alterna.**

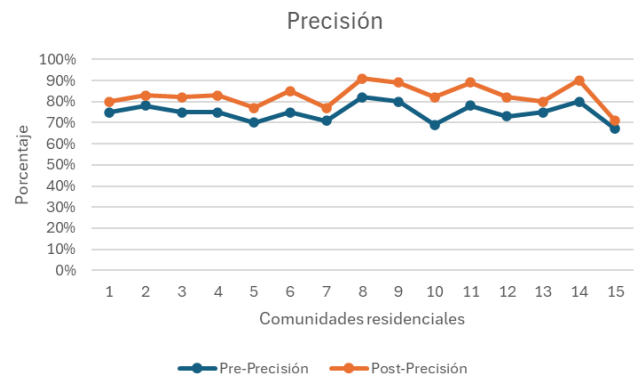


Fig. 10. Valores pre y post-test del Porcentaje de Precisión

Como se observa en la Fig. 10, el porcentaje de Precisión fue mayor después de haber implementado el Sistema inteligente de control de acceso a cochera en comparación a cuando era manual.

B. Indicador B: Porcentaje de sensibilidad del sistema en el reconocimiento de placas (Sensibilidad)

H0: El porcentaje de sensibilidad del reconocimiento de placas vehiculares es el mismo después de implementar el sistema inteligente de control de acceso a cocheras.

Ha: El porcentaje de sensibilidad del reconocimiento de placas vehiculares es mayor después de implementar el sistema inteligente de control de acceso a cocheras.

Prueba t para dos muestras relacionadas / Prueba unilateral a la izquierda

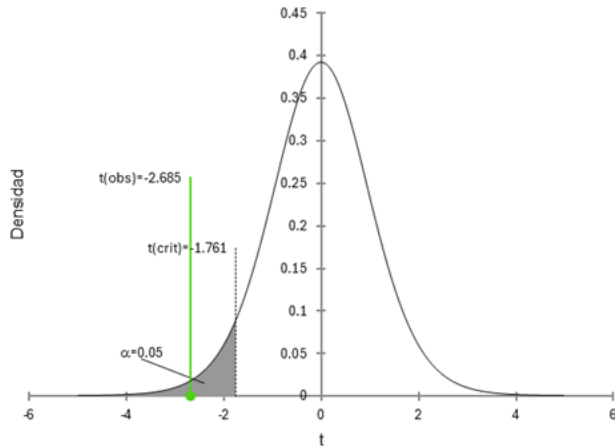


Fig. 11. Evaluación del área de aceptación o rechazo del porcentaje de sensibilidad

El valor $t(\text{obs}) = -2.685$, es inferior al valor crítico $t(\text{crit}) = -1.761$, lo cual indicó que el valor obtenido estuvo ubicado en el intervalo de **rechazo de la hipótesis nula, por consiguiente, se aceptó la hipótesis alterna.**

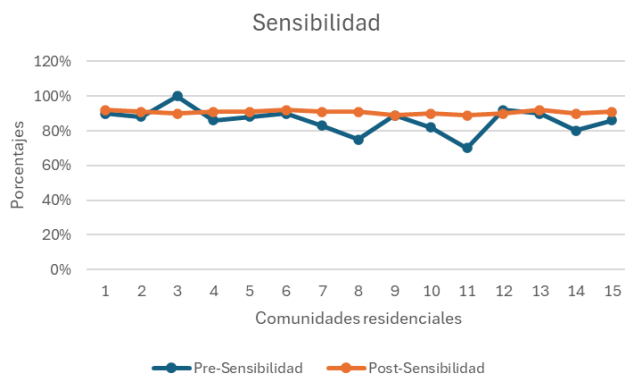


Fig. 12. Valores pre y post-test del Porcentaje de Sensibilidad

Como se observa en la Fig. 12, el porcentaje de Sensibilidad fue mayor después de haber implementado el Sistema inteligente de control de acceso a cochera en comparación a cuando era manual.

C. Indicador C: Tiempo promedio de registro de vehículos (Tpr)

H0: El tiempo promedio de registro de placas vehiculares es el mismo después de implementar el sistema inteligente de control de acceso a cocheras.

Ha: El tiempo promedio de registro de placas vehiculares es menor después de implementar el sistema inteligente de control de acceso a cocheras.

Prueba t para dos muestras relacionadas / Prueba unilateral a la derecha

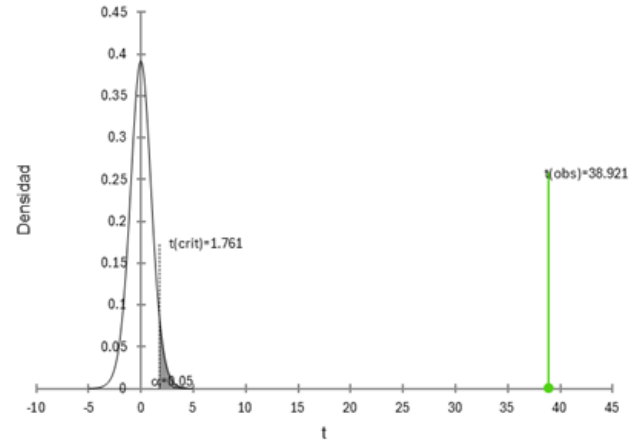


Fig. 13. Evaluación del área de aceptación o rechazo del promedio de tiempo de registro.

El valor $t(\text{obs}) = 38.921$, es superior al valor crítico $t(\text{crit}) = 1.761$, lo cual indicó que el valor obtenido estuvo ubicado en el intervalo de **rechazo de la hipótesis nula, por consiguiente, se aceptó la hipótesis alterna.**

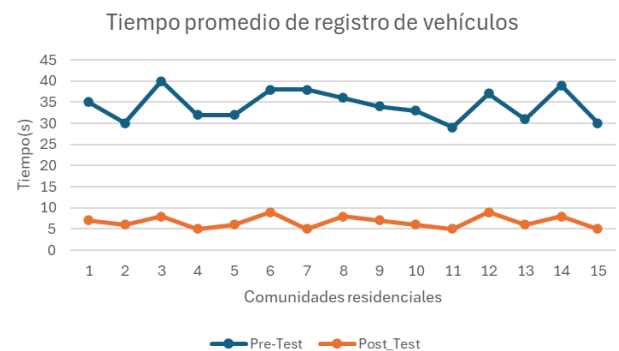


Fig. 14. Valores pre y post-test del tiempo promedio de registro de vehículos

Como se observa en la Fig. 14, el tiempo promedio de registro de vehículos fue menor después de haber implementado el Sistema inteligente de control de acceso a cochera en comparación a cuando era manual.

D. Indicador D: Tiempo de búsqueda de placas registradas (Tbp)

H0: El tiempo de búsqueda de placas vehiculares es el mismo después de implementar el sistema inteligente de control de acceso a cocheras.

Ha: El tiempo de búsqueda de placas vehiculares es menor después de implementar el sistema inteligente de control de acceso a cocheras.

Prueba t para dos muestras relacionadas / Prueba unilateral a la derecha

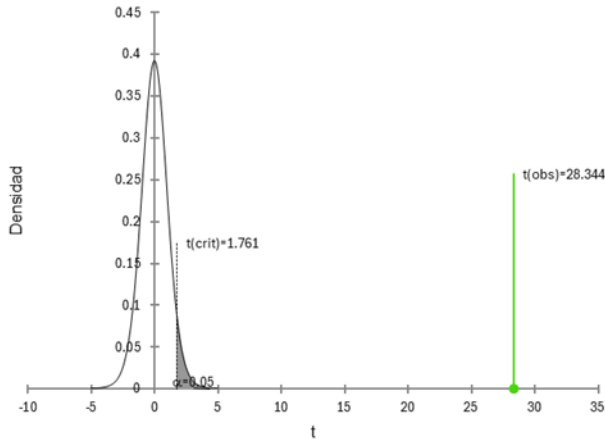


Fig. 15. Evaluación del área de aceptación o rechazo del tiempo de búsqueda.

El valor $t(\text{obs}) = 28.344$, es superior al valor crítico $t(\text{crit}) = 1.761$, lo cual indicó que el valor obtenido estuvo ubicado en el intervalo de **rechazo de la hipótesis nula, por consiguiente, se aceptó la hipótesis alterna.**

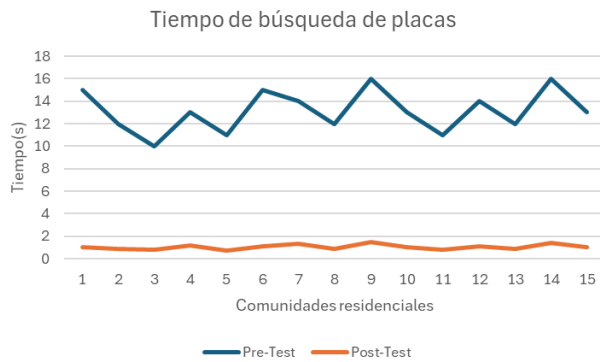


Fig. 16. Valores pre y post-test del tiempo de búsqueda de placas registradas

Como se observa en la Fig. 16, el tiempo de búsqueda de placas registradas fue menor después de haber implementado el Sistema inteligente de control de acceso a cochera en comparación a cuando era manual.

Los gráficos mostrados en la Fig. 10, 12, 14, 16 mostraron una mejora positiva en los resultados obtenidos en el pre-test de los indicadores, demostrando así la influencia positiva del uso del sistema inteligente de control de acceso a cocheras. La siguiente tabla muestra un resumen de los promedios generales obtenidos de cada indicador en el pre-test y post-test. Además, se evidencia la diferencia entre estos valores.

TABLA III
Promedios generales de los indicadores

Indicador	Pre-test	Post-test	(Post)-(Pre)	%
1 Precisión	75%	83%	8%	+10.7%
2 Sensibilidad	86%	91%	5%	+5.81%
3 Tpr	34.2	6.7	-27.5	-80.4%
4 Tbp	13.1	1.04	-12.06	-92%

VI. DISCUSIONES

Los resultados muestran que la precisión del sistema de reconocimiento de placas vehiculares incrementó del 75% en el pre-test al 83% en el post-test, representando una mejora del 10.7%. Sin embargo, este valor es inferior al 98.9% [11], mediante redes neuronales convolucionales, lo que resalta la necesidad de explorar arquitecturas más avanzadas, como CNN-LSTM, o enfoques híbridos. Factores como iluminación, daños en las placas y variaciones en la perspectiva de las cámaras influyeron de manera negativa en estos resultados. Por ello, futuros estudios deben priorizar el desarrollo de algoritmos que aborden estas limitaciones. Si bien se logró un avance, el indicador de precisión requiere optimización para alcanzar estándares competitivos con tecnologías actuales.

En cuanto a los resultados obtenidos en la sensibilidad muestran un incremento significativo en la sensibilidad del sistema, pasando del 86% en el pre-test al 91% en el post-test, lo que representa una mejora del 5.81%. Este aumento destaca una mayor capacidad del sistema para registrar correctamente las placas vehiculares. En el estudio [14], se analizaron tecnologías avanzadas de aprendizaje profundo, como redes neuronales y algoritmos GAN, enfocándose a profundidad en la sensibilidad del reconocimiento de placas vehiculares. Su investigación proporciona un análisis detallado de este indicador, resaltando su importancia en sistemas automatizados.

Respecto al tiempo promedio de registro (Tpr), se evidenció una notable mejora, pasando de 34.2 segundos en el pre-test a 6.7 segundos en el post-test, lo que representa una reducción de 27.5 segundos o un 80.4%. Este resultado destaca cómo la automatización del proceso puede agilizar significativamente la gestión vehicular. En investigaciones previas, como el trabajo [15], se subraya que el uso de herramientas como OCR y OpenCV contribuye a reducir los tiempos operativos mediante técnicas de procesamiento optimizadas para el reconocimiento de caracteres. La disminución en los tiempos de registro no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también optimiza la experiencia del usuario, validando la efectividad de sistemas automatizados en aplicaciones prácticas de alto flujo vehicular.

En cuanto al último indicador, el tiempo promedio de búsqueda de placas (Tbp) se redujo de 13.1 segundos a 1.04 segundos, logrando una mejora del 42.12%. Este desempeño es superior al observado en sistemas tradicionales, como los reportados en el estudio [15], donde destacaron que la complejidad de ciertos caracteres y las variaciones ambientales pueden influir en los tiempos de procesamiento y la precisión. La mejora en el tiempo de búsqueda evidencia la capacidad del sistema automatizado para superar las limitaciones de los métodos manuales, reduciendo significativamente los tiempos de espera y optimizando el flujo vehicular en entornos de alta demanda.

En el transcurso de esta investigación, se llevaron a cabo comparaciones entre los resultados obtenidos en los indicadores clave del sistema de reconocimiento de placas vehiculares y los

resultados reportados en investigaciones previas. Estos parámetros fueron cuidadosamente seleccionados debido a su similitud con los utilizados en estudios anteriores, lo que permitió evaluar la eficacia y eficiencia del sistema en comparación con las tecnologías existentes. A través de estas comparaciones, se evidenció una mejora significativa en varios aspectos, como la sensibilidad y el tiempo de registro, lo que sugiere un avance en la automatización del proceso. Sin embargo, también se identificaron varias limitaciones que afectaron el rendimiento del sistema. Factores como placas borrosas o sucias, la presencia de luces o cintas reflectivas en las placas, y diversas condiciones ambientales adversas tuvieron un impacto negativo en la precisión del reconocimiento. Estas condiciones ambientales, que incluyen variaciones en la iluminación, el clima y los daños en las placas, pueden interferir con la captura y el procesamiento adecuado de las imágenes. A pesar de estas dificultades, los resultados obtenidos muestran avances significativos, lo que abre la puerta a futuras investigaciones que optimicen el rendimiento del sistema bajo estas condiciones variables.

VII. CONCLUSIONES

Se comprobó que el sistema inteligente de control de acceso a cocheras logró un impacto positivo en la precisión del reconocimiento de placas vehiculares, alcanzando un 83% en el post-test, lo que representa un incremento del 8% respecto al pre-test, de acuerdo con la prueba T de Student empleada. Se observó un margen de mejora en comparación a métodos manuales de reconocimiento, este nivel de precisión valida la efectividad del sistema en condiciones reales de uso.

Se demostró que la sensibilidad del sistema alcanzó un valor del 91% en el post-test, con un incremento del 5% respecto al pre-test. Este resultado, validado mediante la prueba T de Student empleada, respalda la confiabilidad del sistema para detectar placas vehiculares correctamente, incluso en escenarios con alta rotación vehicular.

Se demostró que el tiempo promedio de registro vehicular (Tpr) se redujo en un 80.4%, pasando de 34.2 segundos en el pre-test a 6.7 segundos en el post-test. Esta disminución, validada mediante la prueba T de Student empleada, evidencia la capacidad del sistema para agilizar significativamente los procesos de acceso vehicular, optimizando la experiencia de los usuarios en comparación con los métodos manuales tradicionales.

Se comprobó que el tiempo de búsqueda de placas vehiculares (Tbp) mostró una mejora significativa, con una reducción del 92%, pasando de 13.1 segundos a 1.04 segundos. Este resultado, confirmado por la prueba T de Student empleada, destaca la eficiencia operativa del sistema automatizado frente a los procesos manuales.

VII. TRABAJOS FUTUROS

En investigaciones futuras basados en el mismo tema respecto a la presente investigación, se dan las siguientes recomendaciones:

- Incorporar algoritmos de aprendizaje automático adaptativos que permitan mejorar la precisión del reconocimiento de placas vehiculares.
- Implementar sensores de iluminación adicionales en las cámaras IP para optimizar la captura de imágenes en entornos con iluminación deficiente, mejorando así la sensibilidad del sistema.
- Evaluar el desempeño del sistema con hardware más avanzado, como cámaras de mayor resolución y capacidad de procesamiento, para reducir aún más los tiempos promedio de registro y búsqueda vehicular.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su sincero agradecimiento al Mg. Segundo Zumaran quien colaboró en la validación de los instrumentos utilizados en la investigación.

REFERENCIAS

- [1] Adytia N, Kusuma G. Indonesian license plate detection and identification using deep learning. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 11, n.º 7, pp. 1–7, 2021. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: https://ijetae.com/files/Volume11Issue7/IJETAE_0721_01.pdf
- [2] Fang W, Yi W, Pang L, Hou S. A Method of License Plate Location and Character Recognition Based on CNN. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 14, no. 8, pp. 3488–3500, Aug. 31, 2020. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://itiis.org/digital-library/23769>
- [3] Jawale M, William P, Pawar A, Marriwala N. Implementation of number plate detection system for vehicle registration using IoT and recognition using CNN. *Measurement Sensors*, vol. 27, p. 100761, 2023. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665917423000971>
- [4] Pustokhina I, Pustokhin D, Rodrigues J, Gupta D, Khanna A, Shankar K, Seo C, Joshi G. Automatic vehicle license plate recognition using optimal K-means with convolutional neural network for intelligent transportation systems. *IEEE Access*, vol. 8, pp. 92907–92917, 2020. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=9088975>
- [5] Quintero L, Pinzón M, Orellano L. Control de acceso vehicular mediante machine learning. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, no. 44, pp. 112–117, 2024. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/3023/6837>
- [6] Castañeda C. Recuperación de información de placas vehiculares en base al método optical character recognition (OCR). Universidad de Lima, 2020. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/12343/Castaneda_Recuperacion-informacion-placas.pdf?sequence=1
- [7] León R, Abanto J, Salinas J. Desarrollo de un sistema de detección de placas de autos mediante el uso de software Memorias, pp. 198–203, 2023. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://www.iiis.org/CDs2023/CD2023Spring/papers/CB206TN.pdf>
- [8] Islam K, Raj R, Shamsul S, Wijewickrema S, Hossain M, Razmovski T, O'Leary S. A vision-based machine learning method for barrier access control using vehicle license plate authentication. *Sensors*, vol. 20, no. 12,

- p. 3578, 2020. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/12/3578>
- [9] Akila K, Sabitha B, Jayamurugan R, Teveshvar M, Vignesh N. Automated license plate recognition system using computer vision. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 1878-1881, 2019. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v8i6/F7901088619.pdf>
- [10] Yaacob N, Alkahtani A, Noman F, Zuhdi A, Habeeb D. License plate recognition for campus auto-gate system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 21, no. 1, pp. 128, 2021. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/view/21997>
- [11] Slimani I, Zaarane A, Okaishi W, Atouf I, Hamdoun A. An automated license plate detection and recognition system based on wavelet decomposition and CNN. *Array*, vol. 8, p. 100040, 2020. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590005620300254>
- [12] Broncano J, Trejo M, Herrera H, Andrade E. Control de seguridad y acceso vehicular, mediante visión artificial. *Big Bang Faustiniiano*, vol. 9, no. 2, 2020. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/BIGBANG/article/view/615>
- [13] Espinoza J. License plate recognition system for automated visitor access to buildings. *Peruvian Journal of Automation and Control*, vol. 8, no. 2, pp. 12–18, 2014. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3dec80aa-aa80-4851-b56c-0ab8fffb2696/content>
- [14] Pattanaik A, Balabantaray R. Enhancement of license plate recognition performance using Xception with Mish activation function. *Multimedia Tools and Applications*, vol. 82, no. 11, pp. 16793-16815, 2022. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9560886/pdf/11042_2022_Article_13922.pdf
- [15] Kounlaxay K, Yoon Y, Kim S. Vehicle License Plate Detection and Recognition using OpenCV and Tesseract OCR. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, vol. 14, no. 4, pp. 1170-1177, 2024. [Accedido 17 de enero de 2025]. Disponible: <https://ijaseit.insightsociety.org/index.php/ijaseit/article/view/18137/4363>