



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**

**Sistema de parqueo inteligente basado en procesamiento de imágenes
para optimizar la asignación de espacios vehiculares en parqueaderos
públicos**

Trabajo de Titulación para optar al título de:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Autor:
Zaruma Chariguaman, Anthony Xavier

Tutor:
PhD. Rentaría Bustamante, Leonardo Fabián

Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **ANTHONY XAVIER ZARUMA CHARIGUAMAN**, con cédula de ciudadanía **0250243102**, autor del trabajo de investigación titulado: **Sistema de parqueo inteligente basado en procesamiento de imágenes para optimizar la asignación de espacios vehiculares en parqueaderos públicos**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 5 de enero de 2026.



Anthony Xavier Zaruma Chariguaman
C.I: 0250243102

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

En la Ciudad de Riobamba, a los 14 días del mes de noviembre de 2025, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **Anthony Xavier Zaruma Chariguaman** con CC: **025024310-2**, de la carrera **TELECOMUNICACIONES** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado **“SISTEMA DE PARQUEO INTELIGENTE BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA OPTIMIZAR LA ASIGNACIÓN DE ESPACIOS VEHICULARES EN PARQUEADEROS PÚBLICOS”**, por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



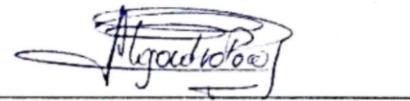
PhD. Leonardo Fabián Rentería Bustamante
TUTOR(A)

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Sistema de parqueo inteligente basado en procesamiento de imágenes para optimizar la asignación de espacios vehiculares en parqueaderos públicos**, presentado por **Anthony Xavier Zaruma Chariguaman**, con cédula de identidad número **0250243102**, bajo la tutoría de **PhD. Leonardo Fabián Rentería Bustamante**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 5 de enero de 2026.

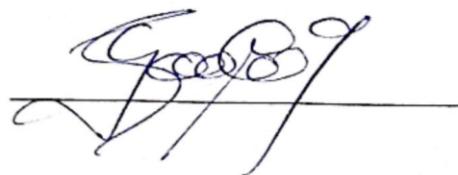
Alejandra del Pilar Pozo Jara, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Yesenia Elizabeth Cevallos Villacrés, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Edgar Giovanny Cuzco Silva, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

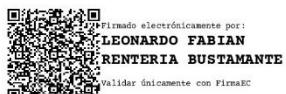


CERTIFICADO ANTIPLAGIO

CERTIFICACIÓN

Que, **ZARUMA CHARIGUAMAN ANTHONY XAVIER** con CC: **0250243102**, estudiante de la Carrera de **TELECOMUNICACIONES**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**SISTEMA DE PARQUEO INTELIGENTE BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA OPTIMIZAR LA ASIGNACIÓN DE ESPACIOS VEHICULARES EN PARQUEADEROS PÚBLICOS.**", cumple **con el 2 % de similitud y 6 % de Inteligencia Artificial**, de acuerdo con el reporte del sistema Anti plagio **COMPILETO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 10 de diciembre de 2025



PhD. Leonardo Fabian Rentería Bustamante
TUTOR

DEDICATORIA

A Dios, por guiar cada paso de mi vida y brindarme la fortaleza necesaria para mantenerme firme en los momentos de dificultad. Gracias por ser mi roca y mi refugio, a quien confió mis sueños y esperanzas.

De manera especial, a mis amados padres, Marcelino y Mercedes. Cada sacrificio, cada esfuerzo y cada día de trabajo arduo que han dedicado a mi formación son el fundamento de este logro. Esta tesis es un reflejo de su amor incondicional, de su entrega, y de los valores que me han inculcado, y me llena de alegría honrarlos de esta manera.

A mis queridos hermanos, Jhonatan y Cristhian, por enseñarme que, con esfuerzo, humildad y perseverancia, todo es posible. Su apoyo constante ha sido fundamental en este camino y significa mucho para mí.

A mi tía, Anita y a mi abuelito Francisco, gracias por su amor sincero, su acompañamiento y las valiosas enseñanzas que han dejado en mi vida.

Con todo mi corazón, este logro también les pertenece.
Anthony Xavier Zaruma Chariguaman

IN MEMORIAM

En honor a mi querida abuelita Josefina, fuente eterna de inspiración y sabiduría. Aunque ya no estés físicamente conmigo, tu amor, tus enseñanzas y tu carácter continúan guiándome en cada paso de este camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por su infinito amor, por ser fuente de esperanza y por acompañarme siempre a lo largo de este camino.

A mis padres, Marcelino Zaruma y Mercedes Chariguaman, y a mis hermanos, Jhonatan y Cristhian, por su apoyo incondicional, sacrificio y ejemplo de perseverancia; este logro es fruto de su esfuerzo.

A mi familia, en especial a mi tía Anita, a mis primas, a quienes considero mis hermanas mayores, Cuzcaya, Gabriela y mi querida Tamya; a mis tíos Germán y Guido; y a la familia Zaruma, por su cariño y palabras de aliento.

Al Dr. Rafael Granda, y de manera especial a Carmita Cabascango y a su hija Zoé, quienes durante la implementación del proyecto me abrieron las puertas de la clínica y me brindaron su apoyo y aliento.

Un sincero agradecimiento a Nayeli Fernández, Camila Sisa, Flor Pilco y Gristel Quiroz, así como a mis amigos, con quienes durante mi vida universitaria compartí momentos de risa y ánimo.

A la Universidad Nacional de Chimborazo y a los docentes de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones, en especial a mi tutor, PhD. Leonardo Fabián Rentería, por su orientación académica.

Gracias de corazón.

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I	14
1. INTRODUCCION	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2 JUSTIFICACIÓN	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
CAPÍTULO II	17
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 ESTADO DEL ARTE	17
2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO	19
2.2.1 Sistemas de parqueo inteligente	19
2.2.1.1 La importancia del estacionamiento inteligente	19
2.2.1.2 Beneficios del estacionamiento inteligente	20
2.2.2 Técnica de procesamiento de imágenes	20
2.2.2.1 La importancia del procesamiento de imágenes en aplicaciones de IA	20
2.2.3 Algoritmos para reconocimiento de objetos	22
2.2.3.1 ¿Para qué sirve un algoritmo?	23
2.2.3.2 Características de los algoritmos	23
2.2.3.3 Partes que componen un algoritmo	24
2.2.3.4 Casos de usos de la detención de objetos en diversas industrias	25
2.2.3.5 Algoritmos pre-entrenados para la detección de objetos	25

2.2.3.6 Comparación entre algoritmos clásicos y modernos	27
2.2.4 Tira led RGB WS2812B	27
CAPÍTULO III	28
3. METODOLOGIA	28
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	28
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	29
3.2.1 Fase 1: Análisis y estudio	30
3.2.2 Fase 2: Diseño del sistema.....	30
3.2.3 Fase 3: Desarrollo de la interfaz.....	30
3.2.4 Fase 4: Evaluación.....	30
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	30
3.3.1 Fuentes de investigación.....	30
3.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA	31
3.4.1 Población	31
3.4.2 Muestra	31
3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	32
3.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS, Y PROCESAMIENTO DE DATOS	33
3.6.1 Revolucionando las experiencias de estacionamiento.....	33
3.6.2 Estudio de Algoritmos Pre. entrenados en la Detección de Objetos	37
3.6.3 Implementación del algoritmo MobileNet-SSD.....	41
3.6.4 Panel led digital	48
3.6.5 Interfaz gráfica de la aplicación.....	50
CAPÍTULO IV	52
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1 RESULTADOS	52
4.1.1 Análisis de resultados	52
4.2 DISCUSIÓN	55
CAPÍTULO V	56
5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	56
5.1 CONCLUSIONES	56
5.2 RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRÁFIA	57
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de los tipos de algoritmos.....	27
Tabla 2 Distribución de la población.....	31
Tabla 3 Operacionalización de variables del Sistema para optimizar el tiempo de estacionamiento	32
Tabla 4 Tabla comparativa de parqueaderos públicos.....	36
Tabla 5 Características de Algoritmos pre-entrenados de detección de objetos	37
Tabla 6 Comparativa de tarjetas de desarrollo basadas en procesador.....	46
Tabla 7 Hipótesis prueba de normalidad	52
Tabla 8 Prueba de Normalidad General del Tiempo (Antes y Despues).....	52
Tabla 9 Hipótesis definidas	53
Tabla 10 Análisis T Wilcoxon. Comparación de Medias.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Smart Parking [11].....	19
Figura 2 Fases del procesamiento de una imagen [3].....	21
Figura 3. Diagrama etapas en el reconocimiento de objetos en imágenes.	23
Figura 4 Características generales de los algoritmos	24
Figura 5 Estructura del algoritmo.....	24
Figura 6 Comparación tipos de algoritmos [24].....	26
Figura 7 Tira led WS2812B	27
Figura 8. Diseño de la investigación	29
Figura 9 Fuentes de Investigación.....	30
Figura 10 Sensores inteligentes de estacionamiento [27].....	33
Figura 11 Beneficios de parqueaderos automatizados	35
Figura 12 Detección de objetos mediante SSD MobileNet.....	40
Figura 13 Diagrama de bloques funcionales SSD MobileNet.	40
Figura 14 Diagrama de flujo para el sistema de estacionamiento inteligente.....	42
Figura 15 Detección de espacios disponibles 1	43
Figura 16 Detección de espacios disponibles 2	44
Figura 17 Detección de espacios disponibles 3	44
Figura 18 Prueba detección de autos 1	45
Figura 19 Prueba detección de autos 2	45
Figura 20 Prueba detección de autos 3	46
Figura 21 Raspberry Pi 5	47
Figura 22 Prueba 1 Panel Led	48
Figura 23 Prueba 2 Panel Led	49
Figura 24 Prueba 3 Panel Led	49
Figura 25 Prueba 3 Panel led.....	49
Figura 26 Pantalla principal de la interfaz.....	50
Figura 27 Pantalla secundaria de la interfaz.....	51
Figura 28 Diagrama de caja “Tiempo de parqueo”	54

RESUMEN

El presente trabajo de investigación expone el desarrollo e implementación de un sistema de parqueo inteligente basado en procesamiento de imágenes, cuyo objetivo es optimizar la asignación de espacios vehiculares en parqueaderos públicos. La investigación se realizó en cuatro fases: análisis de la problemática, estudio y selección del algoritmo de detección, implementación del sistema y evaluación de esta. Para la detección de vehículos y espacios disponibles, se entrenó el algoritmo MobileNet-SSD durante cuatro semanas, registrando los tiempos de estacionamientos antes y después de su implementación.

El sistema está conformado por dos etapas. En la primera, se emplean técnicas de visión computarizada para identificar los espacios libres y notificar a un panel LED, que muestra al usuario el espacio disponible más cercano. En la segunda fase, el sistema detecta el ingreso de vehículos, registra el tiempo que tarda en estacionarse y actualiza automáticamente el panel LED indicando el siguiente espacio libre. Este sistema garantiza una gestión eficiente y continua del flujo vehicular.

Los resultados estadísticos evidencian una mejora significativa en el tiempo de estacionamiento, reduciendo la mediana de 2.275 minutos con el método tradicional a 2.010 minutos con el sistema inteligente, demostrando la efectividad del sistema propuesto en la gestión del aparcamiento.

Palabras claves: Procesamiento de imágenes, visión computarizada, MobileNet-SSD, Gestión de espacios vehiculares.

ABSTRACT

This research paper presents the development and implementation of an intelligent parking system based on image processing, designed to optimize the allocation of parking spaces in public parking lots. The research was carried out in four phases: problem analysis, selection and study of the detection algorithm, system implementation, and evaluation. To detect vehicles and available parking spaces, the MobileNet-SSD algorithm was trained for 4 weeks, with parking times recorded before and after its implementation. The system consists of two stages. In the first, computer vision techniques are used to identify free spaces and notify an LED panel, which shows the user the nearest available space. In the second phase, the system detects vehicle entries, records the time to park, and automatically updates the LED panel to indicate the next free space. This system guarantees efficient and continuous management of vehicle flow. Statistical results show a significant improvement in parking time, reducing the median from 2,275 minutes with the traditional method to 2,010 minutes with the intelligent system, demonstrating the effectiveness of the proposed system in parking management.

Keywords: Image processing, computer vision, MobileNet-SSD, vehicle space management.



Reviewed by:

Mgs. Maria Fernanda Ponce Marcillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0603818188

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCION

Actualmente, el crecimiento de la población y el proceso de urbanización han generado importantes desafíos en la gestión de la movilidad urbana. La administración de las zonas de estacionamientos se ha convertido en un aspecto crucial, ya que la escasez de espacios de aparcamientos ha ocasionado grandes inconvenientes para los usuarios, especialmente en las ciudades densamente pobladas. Torres y Humberto [1], señalan que las ciudades modernas presentan un notable avance significativo en cuanto a la automatización, particularmente en los sistemas de estacionamiento inteligente.

La implementación de sistemas inteligentes de estacionamiento responde a la gran demanda vehicular. Esta tecnología contribuye a una mejor gestión de los espacios urbanos, al tiempo que reduce la congestión vehicular y los accidentes derivados por ella.

Los sistemas inteligentes de aparcamiento representan una solución innovadora que ayuda a los usuarios la búsqueda y reserva de lugares para aparcar sus vehículos, haciendo todo el proceso más ágil y eficiente. Su adopción se ha incrementado de manera constante, y se espera continué en el futuro. Estos sistemas no solo mejoran la movilidad humana, lo cual es beneficioso para la ciudad y para el planeta, al reducir la contaminación producto del tiempo excesivo de búsqueda de estacionamiento.

Por otra parte, el procesamiento de imágenes se ha consolidado, gracias al avance tecnológico, se ha convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de los parqueaderos inteligentes. Esta tecnología ofrece ventajas considerables frente a otras, como los sensores puntuales o sistemas de radiofrecuencia. El análisis visual proporcionado por el procesamiento de imágenes permite una comprensión más detallada del entorno del estacionamiento. Su evolución ha impulsado el uso de técnicas avanzadas, como las redes neuronales, que han incrementado significativamente en la precisión en la detección de vehículos y espacios disponibles. En este contexto, los sistemas basados en procesamiento de imágenes permiten identificar automáticamente lugares libres y guiar a los conductores con eficiencia, optimizando la gestión del estacionamiento, mejorando la experiencia del usuario y contribuyendo a la reducción del tráfico vehicular.

En el presente trabajo se propone la implementación de un sistema de parqueo inteligente basado en el procesamiento de imágenes, con el propósito de optimizar el uso de los espacios de estacionamiento, reducir la congestión vehicular y facilitar la búsqueda de lugares disponibles

El trabajo de titulación se estructura en cinco capítulos, descritos a continuación:

Capítulo 1: Presenta la revisión de la problemática relacionada con el tema, la justificación, su objetivo principal y finalmente los objetivos específicos.

Capítulo 2: Incluye la revisión del estado del arte mediante un análisis de los trabajos relacionados, la delimitación del marco teórico y la descripción de las tecnologías que sustentan la propuesta.

Capítulo 3: Se desarrolla la metodología para el cumplimiento de los objetivos planteados, el diseño de la investigación y las configuraciones necesarias para su ejecución.

Capítulo 4: Expone la implementación del prototipo del sistema, la evaluación realizada y el análisis de los resultados obtenidos tras las pruebas piloto, con el fin de verificar la eficiencia del cumplimiento de los objetivos planteados.

Capítulo 5: Se exponen las conclusiones y recomendaciones que se generan luego del análisis de los resultados obtenidos con la implementación del proyecto.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Últimamente, la carencia de un sistema de gestión de estacionamiento ha contribuido significativamente a la congestión vehicular, convirtiéndose en un problema grave en las zonas urbanas. Los usuarios buscan plazas de estacionamiento cerca de sus destinos, lo cual incrementa la circulación innecesaria de vehículos, agrava la congestión y aumenta la probabilidad de incidentes viales [2]. Esta situación obliga a los conductores a movilizarse en busca de un sitio disponible, afectando la fluidez de tránsito y generando riesgos adicionales para peatones y otros vehículos. En este contexto, la implementación de un sistema de estacionamiento inteligente se presenta como una solución eficaz para optimizar el uso adecuado de espacios de aparcamiento mediante el monitoreo en tiempo real de la disponibilidad de plazas.

Particularmente, según la información oficial emitida a través de los comunicados de la institución, la situación se agravó especialmente durante los períodos 2023-2024 2S y 2024 1S en el campus Edison Riera de la Universidad Nacional de Chimborazo. Esta situación afecta directamente a estudiantes, docentes y personal administrativo que se desplazan regularmente al campus y enfrentan dificultades para encontrar estacionamiento para sus vehículos. Además de generar retrasos e incomodidades, la falta de espacio disponible impacta negativamente en el bienestar y la productividad de la comunidad universitaria.

Los parqueaderos inteligentes ofrecen una experiencia más eficiente y cómoda para los usuarios [3], al proporcionar información sobre la disponibilidad de lugares de estacionamientos, reduciendo el número de vehículos circulando sin encontrar espacios cercanos y también plazas vacías. De esta manera, los conductores pueden dirigirse directamente a los lugares disponibles al recibir información en tiempo real, disminuyendo el tráfico, el tiempo de búsqueda y el riesgo de incidentes viales.

Por lo tanto, esta investigación se enfoca en la implementación de un sistema de parqueo inteligente basado en procesamiento de imágenes, con el propósito de optimizar la asignación de espacios vehiculares. Se espera que este sistema contribuya a mejorar la movilidad y calidad de vida de los usuarios, así como a promover un uso más eficiente de los recursos en los parqueaderos públicos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las soluciones de estacionamiento inteligente con monitoreo en tiempo real ofrecen una alternativa eficaz para enfrentar los problemas actuales de disponibilidad de espacios vehiculares. Este tipo de tecnología proporciona información actual a los conductores sobre

los lugares de estacionamiento libres, lo que mejora la gestión de espacios, reduce los tiempos de búsqueda y aumenta la eficiencia del sistema.

El desarrollo de un sistema de estacionamiento inteligente basado en procesamiento de imágenes es una solución innovadora y eficiente que permite optimizar la asignación de espacios vehiculares en áreas públicas. La gestión a través de imágenes ofrece ventajas significativas frente a las tecnologías basadas en sensores, debido a su menor costo de infraestructura y una mejor escalabilidad. Mientras los sensores deben instalarse en cada plaza de estacionamiento, el procesamiento de imágenes permite cubrir múltiples espacios de manera simultánea, ofreciendo una solución más amplia y escalable. Además, la integración del procesamiento de imágenes con sistemas automatizados y aplicaciones móviles mejora la experiencia del usuario al brindar servicios personalizados y de fácil acceso.

El sistema propuesto permitirá conocer en tiempo real la disponibilidad de los espacios a través de una aplicación móvil, lo que agilizará el proceso de estacionamiento y contribuirá a reducir la congestión vehicular. Asimismo, el uso del procesamiento de imágenes facilitará la supervisión y el control del parqueadero, incrementando la seguridad tanto de los usuarios como de sus vehículos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Implementar un sistema de parqueo inteligente basado en procesamiento de imágenes para optimizar la asignación de espacios vehiculares en parqueaderos públicos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las técnicas de procesamiento de imágenes y algoritmos aplicables al reconocimiento y gestión de espacios de parqueo, evaluando su viabilidad para la identificación de espacios y monitoreo en tiempo real.
- Diseñar e implementar un sistema de parqueo inteligente basado en procesamiento de imágenes para identificar y asignar automáticamente lugares de estacionamiento.
- Evaluar el desempeño del sistema propuesto en escenarios reales, considerando el tiempo de estacionamiento y la eficiencia en la gestión de los espacios de parqueo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ESTADO DEL ARTE

El desarrollo de los sistemas de parqueo inteligente ha cobrado gran relevancia debido a la gran demanda de vehículos y la necesidad de optimizar la gestión de espacios de estacionamiento. Estas tecnologías integran el procesamiento de imágenes y aprendizaje automático con la finalidad de optimizar la gestión de lugares de parqueo, reducir el tiempo de búsqueda y disminuir la congestión vehicular. A continuación, se revisan estudios e investigaciones relacionadas con el desarrollo de los sistemas inteligentes desarrollados a partir del procesamiento de imágenes.

En el ámbito local, en la Universidad Nacional de Chimborazo, Muñoz y Gonzales [4], como proyecto de titulación implementaron un sistema de control de postura y velocidad en el patinaje, utilizando procesamiento de imágenes. Su objetivo principal fue mejorar el rendimiento de los patinadores mediante visión computacional, corrigiendo la postura, previniendo lesiones y optimizando la velocidad durante el entrenamiento. Los resultados demostraron que la técnica de procesamiento de imágenes es efectiva para mejorar la postura de los patinadores obteniendo un aumento en la velocidad de 7.286 m/s a 7.852 m/s y contribuyendo a la prevención de lesiones en este deporte.

Así mismo, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con el objetivo de optimizar la gestión de los espacios de estacionamiento, se desarrolló el trabajo titulado “Diseño de un prototipo de sistema de parqueo inteligente para el edificio de la (FIE), utilizando tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IOT)” [5]. La metodología incluyó el diseño de dos nodos (sensor y recolector) y la implementación de tecnología Bluetooth y WI-FI para la comunicación y transmisión de datos. Los resultados evidenciaron una alta precisión y estabilidad del sistema, el tiempo promedio de subida de datos al servidor fue de 26.000 ms, y el 81.3% de los encuestados consideró que el sistema mejoraría la eficiencia en la búsqueda de aparcamiento.

Por otro lado, a nivel nacional, en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campoz y Guille [6] profundizaron en la gestión inteligente de estacionamientos mediante el diseño e implementación de un sistema automatizado. Su investigación consistió en la instalación de una red de sensores de proximidad en cada plaza de estacionamiento, los acúles, integrados con una Raspberry Pi 3 y el protocolo MQTT, proporcionaban datos en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios. La visualización de la información en una pantalla LED permitió a los usuarios acceder a información actualizada de manera rápida y sencilla. Los resultados del estudio evidenciaron la efectividad del sistema para optimizar la gestión del estacionamiento en el área de FIEC.

Adicionalmente, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, con el propósito de desarrollar una solución eficiente para la gestión de estacionamientos, Méndez Ugarte [7] propuso un sistema inteligente basado en la tecnología IoT. La metodología incluyó el diseño de una red de sensores utilizando placas Arduino y un protocolo de comunicación RS-458. Los resultados proyectaron una reducción en el tiempo de búsqueda de estacionamiento y,

en consecuencia, una disminución en el consumo de combustible. Además, se elaboró un análisis de costos para evaluar la viabilidad económica de la implementación del sistema. De igual manera, se destaca el desarrollo de un sistema inteligente para el estacionamiento UCSG [8], implementado con la plataforma Arduino Mega. El objetivo principal de esta investigación fue diseñar un sistema que optimice la gestión de espacios de estacionamiento, proporcionando información en tiempo real sobre la disponibilidad de lugares. La metodología incluyó una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre sistemas de control de estacionamiento y un análisis de las necesidades específicas del entorno universitario. Los resultados sugieren que la implementación de este sistema no solo mejorará la experiencia de los usuarios al reducir la congestión y el tiempo de búsqueda, promoviendo una gestión más eficiente de los recursos.

Finalmente, a nivel mundial, el proyecto de titulación de Barake y colaboradores [9] diseñaron un sistema digital orientado a la gestión de estacionamientos, proporcionando información actualizada sobre la disponibilidad de espacios. La metodología consideró un análisis detallado de las necesidades de los usuarios y del entorno físico, y los resultados demostraron viabilidad de implementar soluciones técnicas para mejorar la experiencia del usuario, reducir tiempo de búsqueda y optimicen la utilización de espacios disponibles.

2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.2.1 Sistemas de parqueo inteligente

La creciente urbanización y el aumento de vehículos en las grandes ciudades han intensificado el problema de la falta de espacios de estacionamiento disponibles. En la Figura 1, se observa que los sistemas de estacionamiento inteligente, basados en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), ofrecen una solución innovadora al permitir a los conductores localizar rápidamente plazas disponibles mediante el uso de sus teléfonos inteligentes. Al optimizar la búsqueda de estacionamiento, estos sistemas contribuyen a reducir la congestión vehicular, disminuir las emisiones contaminantes y mejorar la calidad de vida en las ciudades. Tal como señala [10], la implementación de estacionamientos inteligentes representa un avance significativo en la gestión de la movilidad urbana.

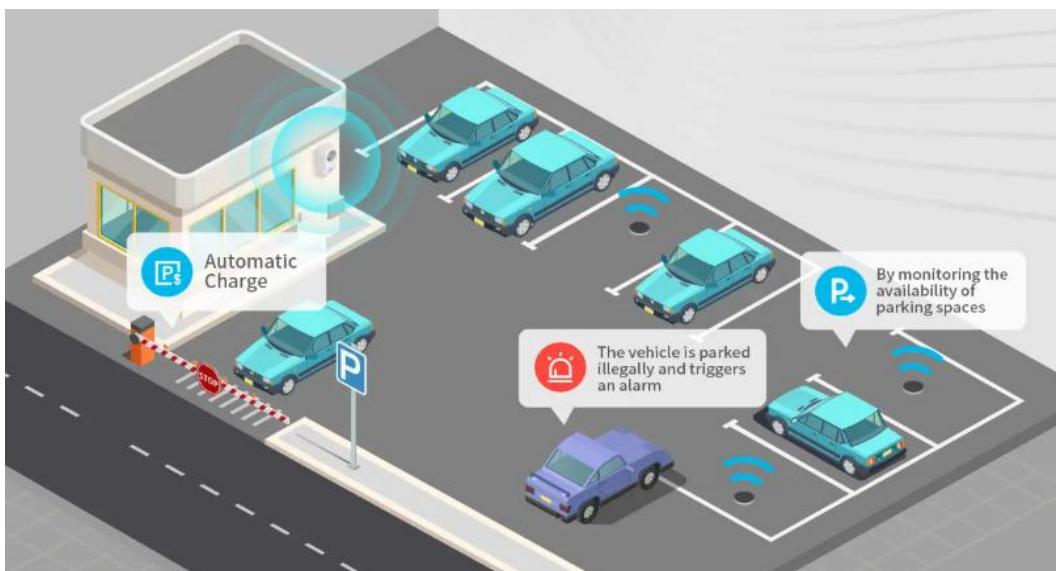


Figura 1. Smart Parking [11].

El proceso de transformación hacia una ciudad inteligente puede requerir varios años de desarrollo e implementación. Mientras tanto, la congestión y el tráfico continúan en aumento, lo que demanda soluciones rápidas y efectivas que no afecten negativamente a la infraestructura existente. A pesar del impacto económico de la pandemia de COVID-19, se proyecta que las ventas mundiales de vehículos alcancen los 62 millones de unidades en el presente año y los 110 millones de unidades en 2025. El rápido crecimiento en la producción y venta de automóviles, sumando al proceso de urbanización, obligan a que las ciudades implementen estrategias efectivas antes de que la situación se vuelva insostenible [12].

2.2.1.1 La importancia del estacionamiento inteligente

Los estacionamientos inteligentes son una solución efectiva al problema de la congestión vehicular y la escasez de lugares de aparcamiento en las zonas urbanas. Estas tecnologías han demostrado ser altamente eficaces para resolver los desafíos relacionados con la disponibilidad de espacio, la congestión del tráfico y la movilidad urbana en muchas

ciudades, aportando beneficios tanto a conductores como a operadores autoridades municipales.

Además, fomentan la organización, la transparencia y la automatización en la gestión del flujo vehicular y las vías públicas. En este contexto, los sistemas de estacionamiento inteligentes se han convertido en una necesidad esencial para las ciudades que buscan alcanzar los estándares de una ciudad inteligente.

2.2.1.2 Beneficios del estacionamiento inteligente

- Reducción de los tiempos de búsqueda y optimización de los pagos

Los sistemas de estacionamiento inteligente se conectan a un servidor en la nube y notifican a los usuarios sobre los espacios disponibles a través de una aplicación móvil. De este modo, búsqueda de aparcamientos manual ha quedado obsoleta simplificando el proceso de pago digital, lo cual reduce los tiempos tanto para los conductores como para los operadores.

- Administración eficiente del estacionamiento

Estos sistemas optimizan la utilización de los lugares disponibles, analizan y gestionan datos en tiempo real para mejorar la circulación vehicular. Asimismo, facilitan la personalización de los servicios, teniendo en cuenta factores como los subsidios para personas mayores y estudiantes. En conjunto, estas soluciones contribuyen a la accesibilidad, sostenibilidad y modernización de las ciudades.

2.2.2 Técnica de procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes consiste en la aplicación de técnicas y algoritmos para estudiar y analizar imágenes digitales, dentro del contexto de la inteligencia artificial (IA). Este proceso extrae información relevante de las imágenes para mejorar su calidad y ajustarlas para realizar tareas específicas.

El procesamiento de imágenes potenciados por IA tiene una mejora significativa ya que incluye tareas como detección de objetos, segmentación de retratos y el reconocimiento facial [13].

En esencia, el procesamiento de imágenes basado en IA se enfoca en el análisis de datos visuales en tiempo real mediante algoritmos y técnicas que automatizan procesos y facilitan la toma de decisiones a partir de la visión computacional.

2.2.2.1 La importancia del procesamiento de imágenes en aplicaciones de IA

El procesamiento de imágenes es crucial en aplicaciones que utilizan IA, ya que permite a las máquinas interpretar, comprender y tomar decisiones sobre la información visual. Entre sus aplicaciones más destacadas está el reconocimiento de objetos, el diagnóstico de enfermedades en el área de salud y también vehículos autónomos.

Gracias a estos avances, las máquinas pueden interactuar con el entorno real de manera más eficiente y realizar tareas con una complejidad considerable.

El sistema de procesamiento de imágenes realiza un proceso de diversas fases con el fin de obtener información para realizar una tarea específica como la detección de objetos. En la Figura 2, se describe las fases para el procesamiento de imágenes.



Figura 2 Fases del procesamiento de una imagen [3].

2.2.3 Algoritmos para reconocimiento de objetos

El proceso de reconocimiento de objetos en imágenes o videos capturados por un sistema de visión computarizada sigue una estructura general compuesta por varias etapas fundamentales:

- **Adquisición de la imagen:** obtención de la imagen o secuencia de video mediante sensores o cámaras.
- **Digitalización:** toma la información de la imagen y realiza la conversión analógica en formato digital para su procesamiento.
- **Extracción de características:** identificación de patrones específicos en la imagen, que pueden ser geométricos, estadísticos, topológicos o de textura, entre otros.
- **Sistema de clasificación:** en esta fase se asigna una etiqueta o clase al que pertenece un objeto que se busca reconocer, patrones o características, de modo que se puedan asociar a una etiqueta y poder clasificarlos en cada clase.

Cada vez que se detecte una nueva imagen, esta debe clasificarse para extraer sus características principales y compararlas con las imágenes previamente estudiadas para cada clase de objeto. En cuanto se halle una similitud significativa, la imagen será asociada a una clase u otra, delimitando así la probabilidad que tiene de pertenecer a dicha clase. Cuanta mayor similitud tenga, mayor probabilidad se obtiene [14].

Al momento de realizar la clasificación de las etiquetas, esta se puede ejecutar mediante dos técnicas diferenciadas: clasificación supervisada y no supervisada.

- La **clasificación supervisada:** utiliza un conjunto extenso de datos de aprendizaje, a partir de aquello se entrena el sistema para detectar patrones y clase.
- En la **clasificación no supervisada:** utiliza métodos estadísticos y técnicas de agrupamiento (clustering) para analizar los objetos detectados a diferencia de las que utilizan datos para su aprendizaje.

Aunque existe múltiples tipos de clasificadores desarrollados para lograr el reconocimiento de objetos, en este trabajo se hace especial énfasis específicamente en el uso de algoritmos basados en redes neuronales, debido a su funcionamiento para clasificar objetos en imágenes.

A continuación, en la Figura 3 se detallas las etapas para el reconocimiento de objetos en imágenes.

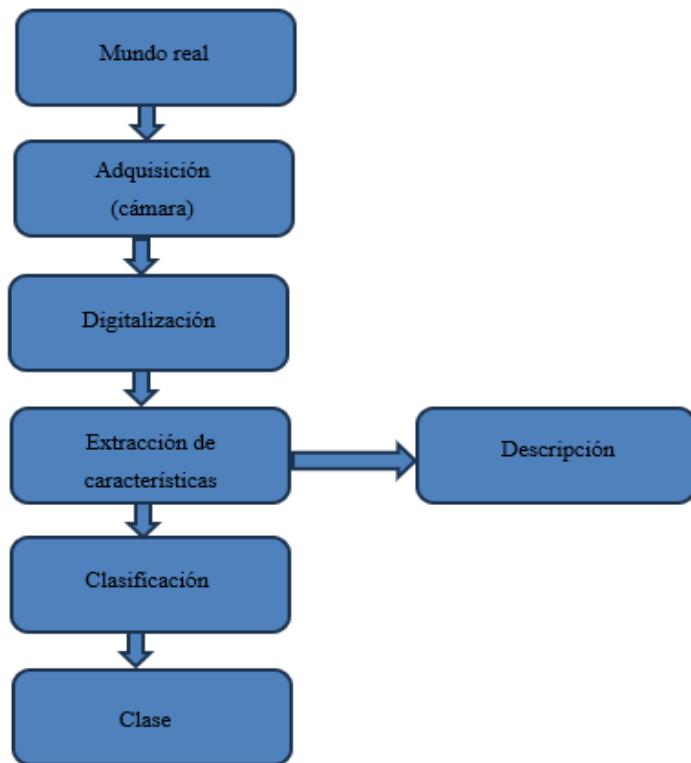


Figura 3. Diagrama etapas en el reconocimiento de objetos en imágenes.

2.2.3.1 ¿Para qué sirve un algoritmo?

Un algoritmo sirve para ejecutar una tarea específica, tomar decisiones de manera controlada o simplemente resolver un problema detalladamente de forma estructurada. Este enfoque se aplica ampliamente en la matemática, la lógica y las ciencias de visión computarizada, hoy en día muchos de los procedimientos tradicionales se transforman en secuencias lógicas con estructuras denominadas algoritmos [15].

Además, los algoritmos pueden emplearse como guías o conjunto de instrucciones en distintos contextos, incluyendo otras aplicaciones diseñadas para dirigir al lector hacia un propósito específico.

En el ámbito de las ciencias de la computación, los algoritmos constituyen la base estructural de los procesos que se convertirán en código para ser ejecutados por un computador. Por esta razón, un mismo algoritmo puede adaptarse a diferentes lenguajes de programación, ya que representa un conjunto de instrucciones lógicas independientes a la programación en sí. En consecuencia, un programa informático puede definirse como una secuencia compleja de algoritmos estructurados, organizados y codificados en un lenguaje de programación con el fin de ser ejecutados dentro de en un sistema informático.

2.2.3.2 Características de los algoritmos

Los algoritmos poseen una serie de características fundamentales que garantizan su correcto funcionamiento y comprensión.

Entre las características más relevantes se destacan las siguientes, representadas en la Figura 4:

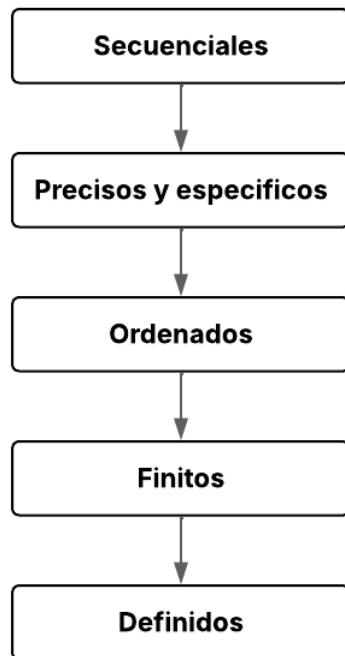


Figura 4 Características generales de los algoritmos

2.2.3.3 Partes que componen un algoritmo

Estos algoritmos poseen una estructura general que organiza su funcionamiento interno. Las partes que lo conforman son las siguientes, como se muestran en la Figura 5.

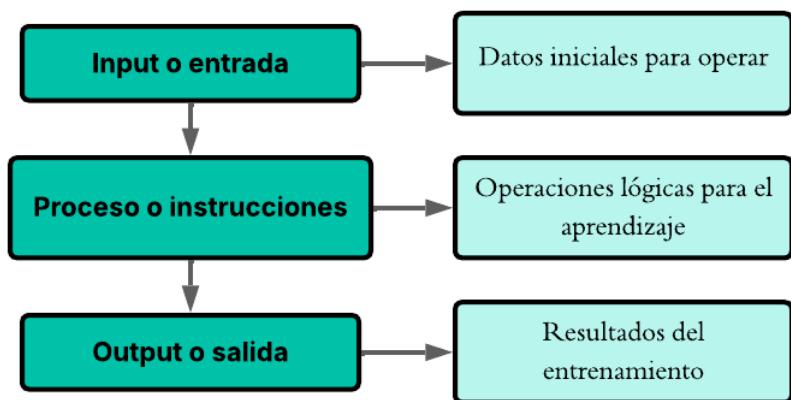


Figura 5 Estructura del algoritmo.

Esta estructura fija permite normalizar el diseño de los algoritmos, facilitando su comprensión, análisis e implementación en distintos lenguajes de programación.

2.2.3.4 Casos de usos de la detención de objetos en diversas industrias

La detección de objetos, desarrollada por modelos de aprendizaje profundo (Deep learning), se ha enfrentado a diversas áreas en diversas industrias, cada una de ellas con exigencias y desafíos únicos. Estos sistemas evalúan generalmente la precisión, velocidad y su capacidad al momento de la detección de objetos bajo condiciones variables.

En el sector de la salud, por ejemplo, los modelos pondrían evaluar anomalías en las radiografías médicas, favoreciendo a la detección temprana de alguna enfermedad y poder ayudarle más rápido con un tratamiento adecuado [16].

Un caso emblemático se presenta en la industria automotriz, donde la detección de objetos es fundamental para el desarrollo de vehículos autónomos. En este contexto, la diferenciación precisa entre elementos como peatones, señales de tráfico y otros vehículos es indispensable para garantizar la seguridad vial. Mediante el uso de algoritmos avanzados y redes neuronales convolucionales, estos sistemas permiten a los vehículos interpretar su entorno con precisión y navegar de manera segura.

Asimismo, sectores como la seguridad, la agricultura y la manufactura han adoptado esta tecnología para optimizar procesos, monitorear recursos y mejorar la eficiencia operativa.

2.2.3.5 Algoritmos pre-entrenados para la detección de objetos

Los algoritmos pre. entrenado son modelos avanzados previamente sobre grandes bases de datos de imágenes, lo que permite reconocer objetos con una alta eficiencia sin necesidad de entrenamiento desde cero.

A continuación, se describen algunos de los modelos más utilizados en aplicaciones de visión por computadora:

- **YOLO**

Yolo es un modelo desarrollado para la detección de objetos en tiempo real, así mismo utiliza una única red neuronal convolucional para predecir múltiples bounding boxes y sus clases en una sola evaluación [17].

Su enfoque innovador permite procesar imágenes con una velocidad y precisión en tiempo real, lo cual lo hace ideal para aplicaciones como la vigilancia, la agricultura y robótica autónoma.

Sin embargo, aunque Yolo es rápido y eficiente, puede tener dificultades al momento de detectar objetos pequeños o con formas complicadas, lo que afectaría directamente a su precisión [18].

- **MOBILENET-SSD**

El algoritmo MobileNet-SSD permite la detección simultánea de múltiples objetos en un solo cuadro de imagen, proporcionando cuadros delimitadores que clasifican cada objeto a las etiquetas correspondientes [19].

Este modelo combina la arquitectura MobileNet con el marco SSD (Single Shot Multibox Detector), es decir que utilizan convoluciones separables en profundidad para una mejor detección y así reducir significativamente los parámetros y el costo computacional [20].

Su arquitectura está diseñada para implementar en dispositivos móviles y aplicaciones en tiempo real.

No obstante, la principal desventaja de este modelo es que al momento de la detección de objetos pequeños puede tener dificultades en su precisión debido al tamaño de la imagen de entrada [21].

Entre sus aplicaciones más destacadas que utilizan este tipo de algoritmos son cámaras de seguridad, vehículos autónomos y aplicaciones móviles.

- **FASTER R-CNN**

Faster R-CNN es un algoritmo que combina una red de propuestas de región (RPN) con una red de detección, permitiendo un enfoque end-to-end que mejora la velocidad y precisión en comparación con sus predecesores [22].

Este algoritmo utiliza convoluciones profundas para generar regiones de interés que son luego clasificadas y refinadas, lo que lo hace altamente efectivo en tareas de localización y clasificaciones objetos.

Aunque Faster R-CNN es más preciso a diferencia de otros modelos, su tiempo de interferencia puede ser mayor, lo que puede limitar su desarrollo en escenarios donde se requiere procesamiento en tiempo real [23].

En la figura 6 se presenta una comparación visual entre los principales modelos de detección de objetos.

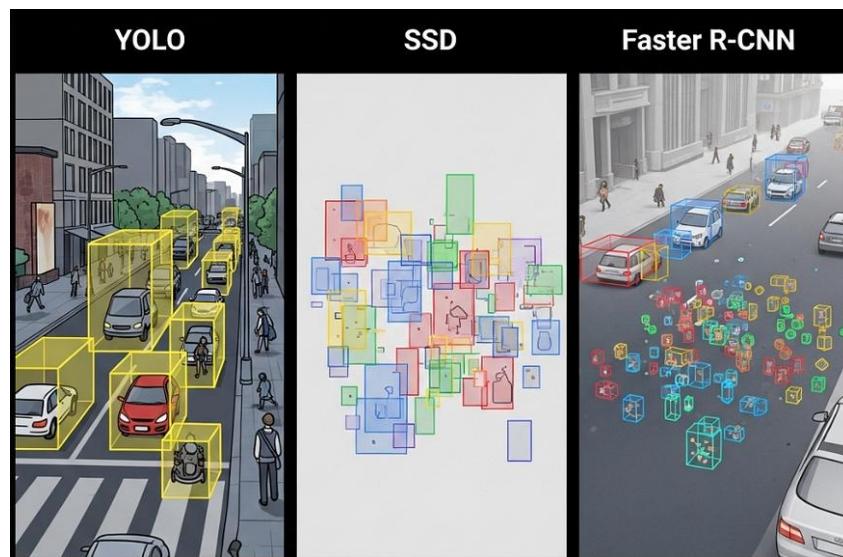


Figura 6 Comparación tipos de algoritmos [24]

2.2.3.6 Comparación entre algoritmos clásicos y modernos

Tabla 1 Comparación de los tipos de algoritmos

Características	Clásicos (HOG, SIFT, etc.)	Modelos (YOLO, R-CNN, etc.)
Precisión	Baja	Alta
Velocidad	Alta (entornos simples)	Muy alta (con hardware adecuado)
Requerimiento de datos	Bajo	Alto
Robustez	Baja	Alta

2.2.4 Tira led RGB WS2812B

La WS2812B es una fuente de luz LED de control inteligente, que integra un circuito de control y el chip RGB en un solo paquete de componentes 5050 [25], como se observa en la Figura 7.



Figura 7 Tira led WS2812B

Esta tira incluye un registro de datos de puerto digital inteligente y un circuito de remodelación de señal para amplificar la señal y regenerar la señal para mantener la calidad de transmisión a lo largo de la toda la tira.

Estos elementos se pueden incluir a un panel a full color, una tira de lámparas con tonalidades suaves, iluminación decorativa led y también pantallas led de video irregulares para interiores y exteriores.

Las tiras LED tienen 3 pines:

- Pin de alimentación (+ 5V)
- El pin de tierra (GND)
- Pin de datos (DIN y DOUT).

El protocolo para la transferencia de datos utiliza un único modo de comunicación NZR.

El puerto DIN recibe datos del controlador, y tras el encendido, el primer pixel almacena los 24 bits iniciales (8 bits para cada color: rojo: cyan: verde: amarillo y azul) en su registro interno.

Finalmente, la señal puede reducirse hasta 24 bits por píxel después de la transmisión completa, garantizando una representación precisa del color.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA.

En este apartado se detallan los aspectos metodológicos correspondientes al desarrollo del proyecto de investigación, los cuales fueron importantes para su progreso.

A continuación, se describen dichos aspectos:

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

En esta sección se optó por un diseño de investigación experimental con un enfoque mixto, el cual integra modelos cuantitativos y cualitativos que resultan ser de gran utilidad para la implementación del sistema propuesto.

Gracias a este enfoque se pudo analizar datos numéricos y verificar las variables específicas para el uso del parqueadero en función de su disponibilidad, así como emplear nuevas tecnologías de procesamiento de imágenes.

La implementación del sistema permitió una mejor comprensión del desarrollo y evaluación de su eficiencia.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación posee cuatro fases como base principal como se muestra en la Figura 8.

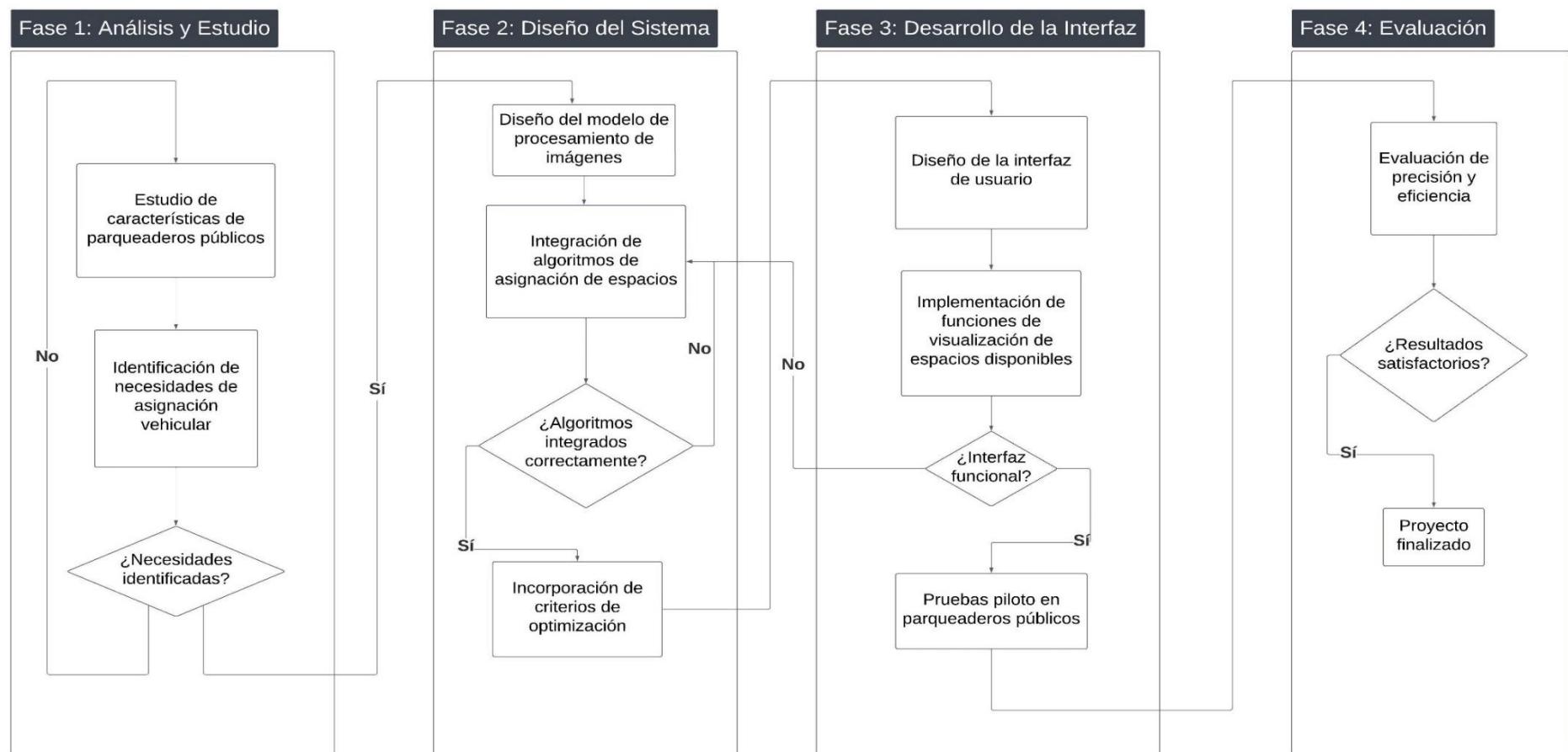


Figura 8. Diseño de la investigación

Fuente: Autor

3.2.1 Fase 1: Análisis y estudio.

En esta primera etapa, se llevó a cabo un análisis profundo del funcionamiento actual de los parqueaderos públicos, identificando sus principales características, problemáticas y oportunidades de mejora orientadas a la satisfacción del usuario.

3.2.2 Fase 2: Diseño del sistema

En esta fase, se realizó la selección e integración del algoritmo adecuado para la gestión eficiente de los espacios de aparcamientos. El algoritmo seleccionado se integró adecuadamente, ajustándose a las necesidades identificadas en la fase anterior, con especial énfasis en la eficiencia y la precisión del sistema.

Durante el desarrollo del sistema se consideró como objetivos principales disminuir el tiempo de estacionamiento, reducir la congestión vehicular y maximizar el uso de los parqueaderos, se tomaron en cuenta el desarrollo del sistema IoT para mitigar los problemas previamente detectados.

3.2.3 Fase 3: Desarrollo de la interfaz

En la tercera etapa, se diseñó una interfaz amigable e intuitiva que permite a los usuarios interactuar fácilmente con el sistema, optimizando la búsqueda de espacios de estacionamiento de forma rápida y sencilla. Se desarrollaron funciones que permiten a los usuarios visualizar en tiempo real espacios de estacionamiento disponibles.

3.2.4 Fase 4: Evaluación

Para validar la efectividad del sistema, se realizaron pruebas de campo en el parqueadero de la clínica “Santa Cecilia” que cuenta con 16 espacios. Donde se realizó la comparación de los datos recogidos del tiempo de estacionamiento de forma tradicional y los datos con el sistema inteligente en un periodo de cuatro semanas. La evaluación se basó en métricas estadísticas para determinar si el sistema cumple con la propuesta de optimización.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 Fuentes de investigación

En el desarrollo del proyecto, se tomó en consideración una revisión exhaustiva de la literatura para la recolección de información importante en diversas bases de datos científicas y bibliotecas digitales como se muestra en la Figura 9:

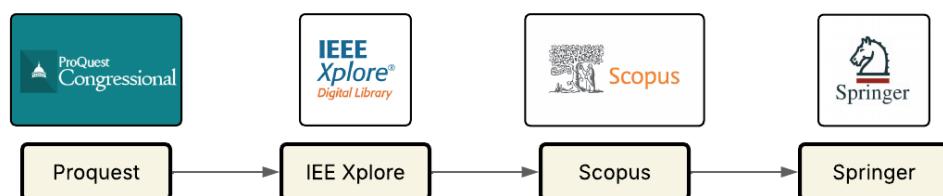


Figura 9 Fuentes de Investigación

En la base de datos mencionadas, se llevó a cabo una búsqueda, evaluación y análisis de estudios relacionados con el estacionamiento inteligente, las técnicas de procesamiento de imágenes con algoritmos de detección de objetos y visión computarizada, así como todos los aspectos relevantes para el desarrollo de la investigación del desarrollo.

3.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA

3.4.1 Población

El parqueadero público donde se implementó el sistema cuenta con 16 espacios.

Por lo tanto, la población está compuesta a partir del número de vehículos que ingresaron y se estacionaron en los espacios disponibles. La recolección de datos se realizó en dos fases: como primera fase, antes de la implementación del sistema, registrando el tiempo que tardaba un vehículo en estacionarse de manera tradicional; y la segunda, después de un mes de funcionamiento del sistema implementado, registrando nuevamente el tiempo de estacionamiento.

De esta forma, se analizó la variación en los tiempos de estacionamiento entre ambos métodos.

Con los datos recolectados antes y después de la implementación, se calculó el porcentaje de la población observada. En la tabla 2 se presenta la distribución de la población estudiada.

Tabla 2 Distribución de la población

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total
Nº	76	80	84	96	124	140	600

3.4.2 Muestra

En la presente investigación se recopilaron un total de 600 datos correspondientes a la variable “Tiempo de parqueo”; esta variable toma el tiempo desde el ingreso del vehículo hasta su ubicación final.

Dado que población se considera finita, por consiguiente, se realizó el cálculo para conocer cuál es el tamaño de la muestra utilizando la Ecuación 1:

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

Ecuación 1

En donde:

n = Tamaño de la muestra.

Z = Este parámetro muestra el nivel de confianza, la mayoría de los casos el valor es del 95%, es decir en métodos de desviaciones típicas, $Z=1.96$.

e = Para tener un resultado confiable el margen de error para el proyecto se determinó con un valor del 5%

N = El tamaño de nuestra población a estudiar.

P = La probabilidad de que ocurra un evento con el porcentaje adecuado para tener buenos resultados es del 50% = 0.5.

Q = La probabilidad de que no ocurra un evento con el porcentaje adecuado para tener buenos resultados es del 50% = 0.5.

A partir de las variables expuestas, se calcular el tamaño de la muestra en la ecuación 2.

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 600}{0.05^2 * (600 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

Ecuación 2

$$n = 234.444 \approx 234$$

Por lo tanto, el tamaño de la muestra que utilizaremos para la presente investigación es de 234 muestras.

Sin embargo, debido a que el número total de datos obtenidos (600) fue manejable, se optó por realizar el análisis completo con la totalidad de los registros, esto permitió obtener resultados más representativos de la implementación del sistema.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

En la tabla 3, se detalla las variables dependientes e independientes que fueron estudiadas en la investigación

Tabla 3 Operacionalización de variables del Sistema para optimizar el tiempo de estacionamiento.

Variable Dependiente	Descripción	Indicador	Técnicas e Instrumentación
Tiempo de parqueo.	Tiempo que tarda un usuario desde el ingreso hasta estacionar su vehículo.	• Segundos.	Observación, Pruebas de validación.
Variable Independiente	Descripción	Indicador	Técnicas e Instrumentación
Tipo de algoritmo	Los modelos de entrenamiento para los algoritmos de procesamiento de imágenes se utilizan para extraer y analizar la información de imágenes. Cada modelo posee una arquitectura que pueden clasificar el tipo de categoría al que pertenece cada objeto.	• Nominal	Observación directa.

3.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS, Y PROCESAMIENTO DE DATOS

3.6.1 Revolucionando las experiencias de estacionamiento

En la actualidad, la gestión eficiente de los estacionamientos resulta esencial para mejorar la congestión vehicular y la calidad de vida urbana.

Las tecnologías de próxima generación están transformando dicha gestión de los estacionamientos, teniendo como resultado operaciones más eficientes, una mejor circulación vehicular y, en última instancia, ciudades más seguras [26].

Los beneficios de implementar estas tecnologías se reflejan en la mejora del mejor flujo vehicular, así reducir la congestión vehicular adicionalmente hace que las ciudades sean más prácticos y agradables para los ciudadanos.

El desarrollo de los parqueaderos inteligentes constituye una solución eficaz tanto para los parqueaderos públicos, así como también para los parqueaderos privados, optimizando la utilización de los lugares de aparcamiento.

Soluciones tecnológicas para el estacionamiento público

La gestión de los espacios de estacionamiento de manera eficiente es crucial para disminuir la congestión vehicular y garantizar una experiencia más agradable con el usuario.

En la Figura 10 se observa como la implementación de soluciones inteligentes en los aparcamientos ha mejorado notablemente la experiencia de los conductores, permitiendo cumplir las normas de estacionamiento de manera más efectiva.

Una de las soluciones más innovadoras consiste en el despliegue de sensores que monitorean la disponibilidad de lugares de estacionamiento en tiempo real.

Estos sensores envían la información a un sistema central, el cual a su vez se transmite a una aplicación móvil accesible para los usuarios, ofreciéndoles datos precisos sobre los lugares disponibles.

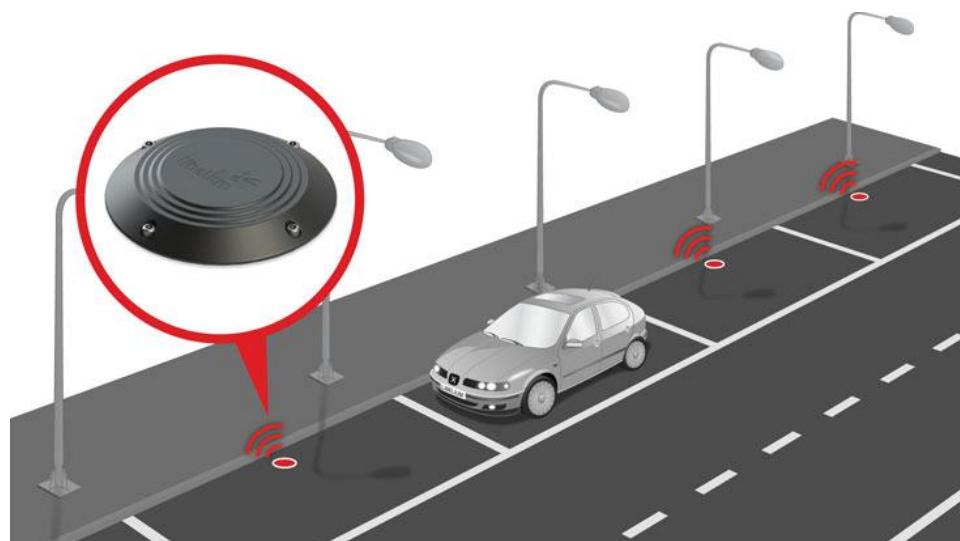


Figura 10 Sensores inteligentes de estacionamiento [27].

Con el fin de garantizar que los conductores reduzcan el tiempo y haya facilidad de pago de manera más ligera, se han desarrollado aplicaciones móviles interactivas y de uso sencillo.

Gracias a estos sistemas automatizados de pago, los tiempos de estacionamiento se han optimizado de mejor manera, generando resultados positivos y beneficiando directamente a los conductores.

Las nuevas tecnologías aplicadas al estacionamiento inteligente incluyen las siguientes características:

- **Sistemas automatizados:** Estos sistemas autónomos reducen el tiempo que un conductor tiene que buscar lugares de estacionamiento a comparación de los métodos tradicionales que son ineficientes a la hora de estacionar un vehículo. Como resultado, estos sistemas contribuyen a maximizar el uso de aparcamientos especialmente en zonas altamente transitadas.
- **Soluciones de estacionamiento impulsados por IA:** En la actualidad el uso de la inteligencia artificial tiene avances a gran escala en la industria del estacionamiento, ofreciendo soluciones creativas para agilizar el tiempo de estacionamiento. Las soluciones establecidas en IA logran predecir lugares disponibles y sugerir planes de estacionamientos óptimos, asegurando un uso eficiente de estos espacios.
- **IOT en el estacionamiento:** Este tipo de tecnología permite una conectividad continua y por lo tanto una comunicación en tiempo real sobre los diferentes espacios disponibles para el estacionamiento inteligente. Los dispositivos IOT tienen la capacidad de rastrear el número de vehículos que entran y salen monitoreando en tiempo real la cantidad de espacios libres e inclusive pueden dirigir a los conductores al espacio libre más cercano. Al aprovechar la tecnología IOT, las ciudades pretenden reducir la congestión del tráfico y mejorar la calidad de vida de los conductores.
- **Plataformas de reserva:** El avance tecnológico ha permitido desarrollar aplicaciones móviles que facilitan la reserva o el alquiler de espacios de estacionamientos desde cualquier lugar.

Gracias al desarrollo y al avance continuo de la tecnología, la asignación de espacios de estacionamientos se ha vuelto un problema fácil de superar, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

La reducción de la congestión vehicular ha sido resuelta satisfactoriamente gracias a estos sistemas, monitorear en tiempo real para gestionar los espacios disponibles han demostrado ser la mejor solución para los conductores.

Asimismo, la difusión de la información sobre las áreas y tarifas de estacionamiento han logrado una mejor experiencia en los usuarios que transcurren horas y horas en búsqueda de lugar donde dejar sus vehículos.

La incorporación de sistemas inteligentes en los parqueaderos de hoteles, propiedades comerciales y conjuntos residenciales ha generado beneficios significativos, como se muestra en la Figura 11:

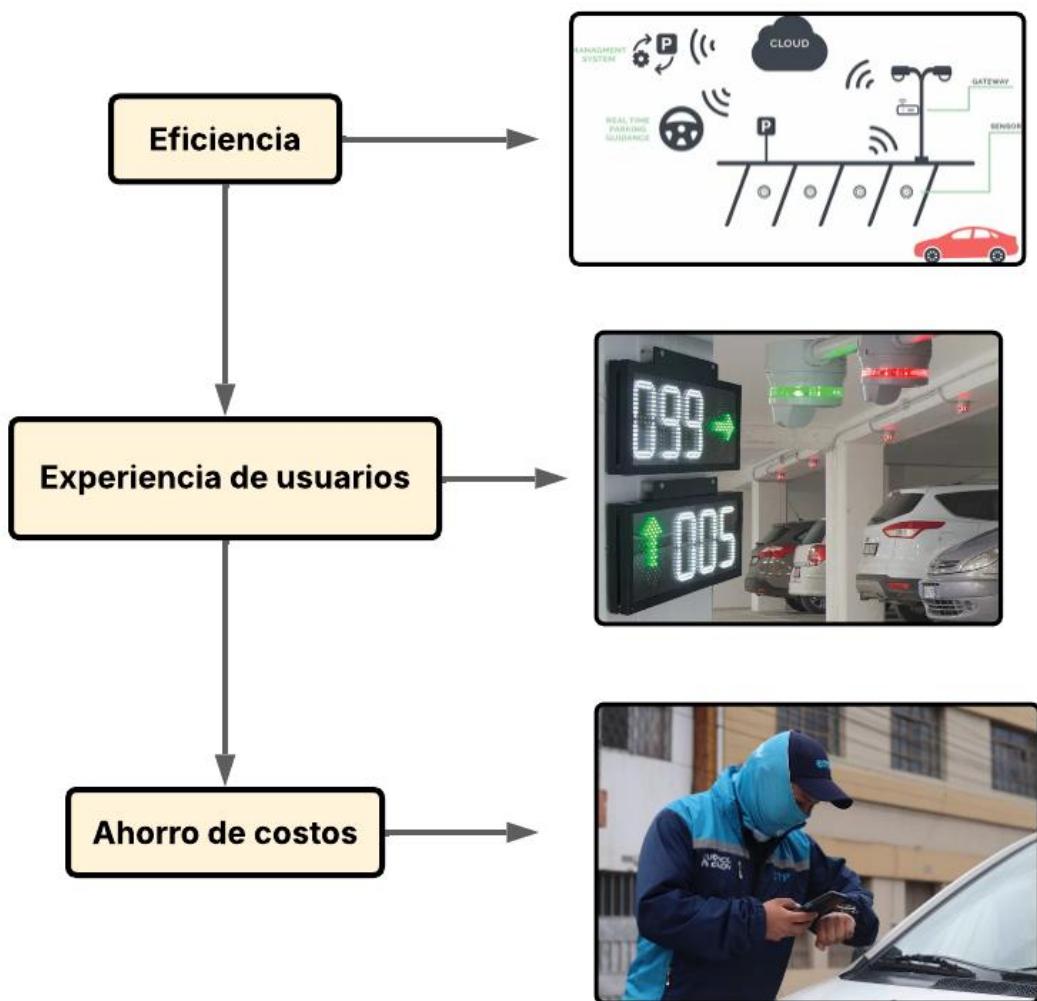


Figura 11 Beneficios de parqueaderos automatizados

En la Tabla 4 se presentan las principales características, problemas y mejoras para entender mejor la problemática y desarrollar el sistema para la satisfacción del usuario.

Tabla 4 Tabla comparativa de parqueaderos públicos

Característica Principal	Problemas Comunes	Oportunidades de Mejora
Ubicación y accesibilidad:	Aparcamiento limitado en zonas céntricas o de alta demanda. Dificultad para encontrar plaza. Señalización deficiente.	<ul style="list-style-type: none"> • Paneles informativos en tiempo real sobre la disponibilidad de plazas. • Navegación integrada para encontrar plazas de aparcamiento libre.
Capacidad y Disponibilidad	Congestión, largos tiempos de espera. Falta de información sobre lugares libres. Espacios para personas con movilidad reducida.	<ul style="list-style-type: none"> • Información precisa sobre el espacio disponible. • Posibilidad de reservar y pago electrónico.
Tarifas y Métodos de Pago	Precio alto. Falta de opciones de pago (solo efectivo). El proceso de pago es lento o complicado. Falta de transparencia en los precios.	<ul style="list-style-type: none"> • Tarjetas de crédito/débito, aplicaciones móviles, códigos QR. • Descuentos en horas de menor demanda.
Seguridad y Vigilancia	Robo (de vehículos o mercancías), vandalismo. Mala iluminación. Falta de guardias de seguridad o cámaras de vigilancia.	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo 24/7. • Presencia visible y rotación periódica. • Eliminar puntos ciegos. • Barreras o sistemas que registran la entrada y salida.
Infraestructura y Mantenimiento	Deterioro de pavimento, baches. Mala higiene. Iluminación insuficiente. Falta de mantenimiento de ascensores o rampas.	<ul style="list-style-type: none"> • Reparación de superficies de carreteras, limpieza continua. • Mejor iluminación. • Rampas, ascensores y espacios adaptados para personas con movilidad reducida.
Servicios Adicionales	Ausencia de servicios básicos (baños).	<ul style="list-style-type: none"> • Baños limpios y accesibles. • Seguros y bien ubicados.

Además, se identificaron las necesidades específicas de los usuarios durante la asignación de espacios de estacionamiento, entre las cuales destacan la búsqueda rápida de espacios disponibles y la optimización en la distribución de los vehículos.

A partir de la problemática expuesta, se evidenció que la mayoría de las ciudades enfrentan problemas similares para estacionar sus vehículos, por lo que el sistema propuesto constituye una solución eficaz para optimizar el tiempo de estacionamiento y contribuir a la reducción de la congestión vehicular.

3.6.2 Estudio de Algoritmos Pre. entrenados en la Detección de Objetos

Existen diferentes tipos de algoritmos, los cuales se detallarán conforme avance el desarrollo de este proyecto. Sin embargo, nos centraremos directamente en el algoritmo de detección MobileNet-SSD, debido a que este modelo resulta ser más adecuado para ambientes y recursos limitados que requieren el procesamiento de imágenes en tiempo real.

La comparación entre los distintos algoritmos ayudo a definir las características principales de cada uno, analizando sus arquitecturas, métricas de desempeño y niveles de precisión.

A partir de este análisis, se determinó que MobileNet-SSD posee algunas ventajas frente a otras alternativas como Yolo y Faster R-CNN.

En la Tabla 5 se presentan algunas características más relevantes de los algoritmos más reconocidos para la detección de objetos. Dicha tabla incluye la velocidad, la precisión y diferentes factores para encontrar el delimitar el modelo que mejor se ajuste al proyecto.

Tabla 5 Características de Algoritmos pre-entrenados de detección de objetos

Tipo de Algoritmo	Resolución de Ingreso	Número de Cajas	FPS (en GPU)	Precisión (test mAP)	Latencia (Test Time por Imagen)	Robustez a Escala	Requisitos de Hardware
MobileNet SSD	300x300	Varias cajas por clase	22-46	77.2	15-30 ms	Media-Alta (múltiples mapas de características)	Baja (CPU/GPU de gama baja, móvil)
YOLOv 5	640x640	Una caja por objeto	150-300	50.7	10-20 ms	Baja-Media (predicción directa en una cuadrícula)	Medio (GPU de gama media)
Faster R-CNN	Variable	Varias cajas por clase	5-20	73.2	200-500 ms	Alta (RPN y RoI Pooling)	Alta (GPU de gama alta)

Como una solución óptima para escenarios donde la eficiencia y la precisión son primordiales, MobileNet-SSD se presenta como la mejor opción.

Su diseño ligero, basado en el uso de convolucionales separables en profundidad, permite una ejecución altamente eficiente en plataformas con recursos limitados de procesamiento y memoria, tales como dispositivos móviles o sistemas embebidos [28].

Tomando en cuenta sus características, MobileNet-SSD se consolida como una opción robusta para aplicaciones que utilizan la detección de objetos en tiempo real.

Por otro lado, al poseer una velocidad de transmisión elevada, Yolo se posiciona como una de las mejores alternativas. Sin embargo, en cuanto a la precisión puede tener dificultades al detectar objetos pequeños y con características particulares debido a que su precisión solo aplica a medias profundas(mAP), limitando a solo detectar objetos de gran tamaño y los objetos pequeños no se reconocerían en una misma celda.

Faster R-CNN presenta una alta precisión, superando a YOLO en esta métrica. No obstante, su arquitectura de dos etapas que incluye una Red de Propuestas de Región (RPN) para la generación de regiones de interés antes de la clasificación y regresión de la caja delimitadora, lo hace computacionalmente más intensivo [29].

Su robustez a gran escala es muy significativa debido a la RPN y al RoI Pooling (agrupación de regiones de interés), los cuales permiten al modelo manejar eficazmente objetos de diferentes tamaños y relaciones de aspecto.

Faster R-CNN es, por tanto, la elección preferida para aplicaciones que exigen la máxima precisión, como la inspección de calidad en manufactura, el diagnóstico médico por imágenes o la investigación académica, donde la precisión es prioritaria que la velocidad [30].

Gracias a su capacidad multiescalar y al uso de segmentación prior boxes, MobileNet-SSD iguala a la precisión comparables a los Faster R-CNN, manteniendo una alta precisión debido a su confiable estructura.

Las arquitecturas de cada algoritmo permiten la detección de objetos en diferentes dimensiones de imágenes sin la necesidad que este posea una base computacional extremadamente costosa.

Arquitectura MobileNet-SSD

Gracias a su estructura hibrida, la eficiencia en la extracción de características de cada cuadro de imagen ha hecho posible que la red MobileNet tenga una amplia acogida, ya que combina esta red con el marco SSD (Detector de múltiple disparo para detención única), optimizando así la detección de objetos.

Etapa de la Red MobileNet:

MobileNet fue desarrollada con el propósito de optimizar la eficiencia en dispositivos móviles y sistemas embebidos, logrando resultado una reducción en el número de parámetros y operaciones computacionales sin comprometer a la precisión del modelo.

Esto se logra mediante la implementación de dos técnicas clave:

- **Convoluciones Separables en Profundidad (Depthwise Separable Convolutions):** A diferencia de las convoluciones estándar donde un solo filtro opera sobre todos los canales de entrada simultáneamente, las convoluciones separables aplican un filtro espacial (kernel $k \times k$) de forma independiente lo cual genera un mapa

de características para cada canal, reduciendo drásticamente el número de parámetros en comparación con una convolución estándar. También utiliza un filtro de 1×1 esto es crucial para expandir la profundidad de la red y crear nuevas combinaciones de características a partir de los mapas de características generados por la convolución en profundidad.

- **Estrategia de Filtrado puntual:** Son denominados así porque trabaja exclusivamente con el valor de un pixel a la vez. Permiten que los canales de grises estén en un rango disponible para así poder tomar los datos. Los usos principales de este modelo permiten mejorar el desarrollo que una imagen tiene para su visualización.

Etapa del marco SSD: Detección Multiescalar

Las predicciones generadas por este modelo se basan en un enfoque multiescala y en el uso de cajas delimitadoras (anchos boxes), las cuales se integran a la red SSD para mejorar su efectividad.

- **Etapa de Extracción de Características:** La arquitectura SSD se basa en la red MobileNet, que genera mapas de características iniciales. Seguidamente, se añaden capas convolucionales que reducen la resolución espacial y aumenta la profundidad de las características. La detección de objetos se realiza en múltiples etapas, identificando así objetos en diversas escalas: las capas superficiales se encargan de la detección de objetos pequeños, mientras que las capas más profundas, son adecuados para objetos de mayor tamaño gracias a sus campos receptivos más amplios.
- **Etapa de Detección (Generación de Predicciones):** SSD emplea un conjunto predefinido de cajas predeterminadas (prior boxes). Estas cajas tienen diversos aspectos y tamaños, diseñadas para cubrir una alta gama de formas y tamaños de objetos, este modelo predice dos elementos principales: Clase de objetos y Offset de Bounding Box.
- **Fusión de Detecciones (Non-Maximum Suppression - NMS):** Tras generar diferentes predicciones, se aplica un algoritmo de supresión no máxima (NMS), que selecciona la predicción con mayor confianza y descarta aquellas con un alto solapamiento, medido mediante la métrica de intersección sobre Unión (IoU). Este proceso optimiza significativamente la precisión del modelo como se muestra en la Figura 12.



Figura 12 Detección de objetos mediante SSD MobileNet

El proceso de detección eficaz mediante MobileNet-SSD empieza con el redimensionamiento de las imágenes de 640 pixeles hasta una resolución de 300 x 300 pixeles.

Una vez completado este proceso, la imagen se envía a la red neuronal convolucional, donde se extraen las características a través de cajas delimitadoras para detectar diferentes objetos en una imagen.

Estas cajas delimitadoras facilitan el reconocimiento más eficiente de los objetos, contribuyendo a un mejor entrenamiento del modelo. Finalmente, durante el proceso de entrenamiento, el algoritmo elimina objetos redundantes para mejorar su precisión para detectar múltiples objetos en una sola imagen [31].

En la Figura 13 se muestra el diagrama de bloques funcionales de la arquitectura MobileNet-SSD.

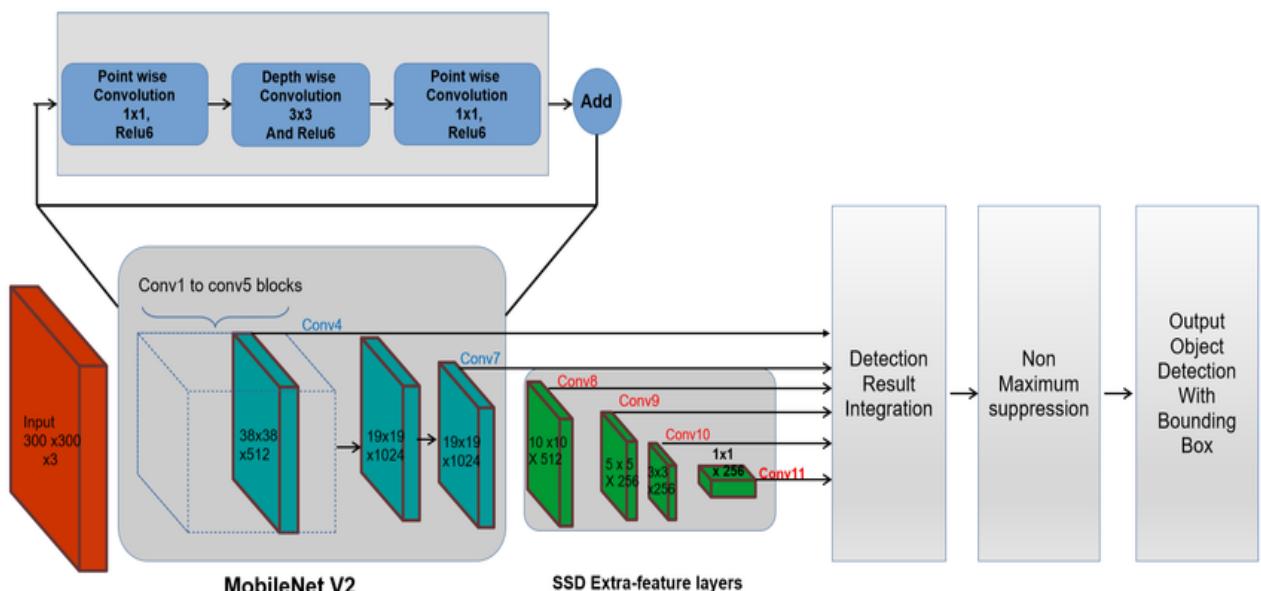


Figura 13 Diagrama de bloques funcionales SSD MobileNet.

3.6.3 Implementación del algoritmo MobileNet-SSD

La técnica de procesamiento de imágenes, para optimizar el uso de los parqueaderos acompañado del algoritmo MobileNet-SSD, presentan una solución escalable y eficiente para gestionar adecuadamente los espacios de estacionamiento mediante visión computarizada en tiempo real. Este enfoque ofrece múltiples beneficios para los señores usuarios.

El proceso de la implementación se basa en la integración de la librería OpenCV, utilizada para el manejo de imágenes y la administración del modelo SSD.

Posteriormente, se procede con la carga del modelo pre.entrenado, este proceso es primordial ya que permite importar los archivos de configuración de prototipo y los pesos del modelo, los cuales definen la arquitectura de nuestra red neuronal y los parámetros aprendidos durante el entrenamiento realizado.

Una vez cargado el modelo, cada cuadro de video capturado por las cámaras debe ser preprocesado antes de ser alimentados a la red neuronal. Este preprocesamiento se realiza a través de la función cv2.dnn.blobFromImage(), que ejecuta las siguientes operaciones:

- **Escalado:** Se redimensiona las imágenes a las dimensiones de entrada del modelo MobileNet-SSD (300x300 pixeles).
- **Sustracción de la media:** Se restan valores promedios de los canales de color (R,G,B) de cada píxel. Este proceso ayuda que el modelo sea menos sensible a las variaciones en la iluminación y mejorar así la convergencia durante su implementación.
- **Regulación:** Los rangos para tener una buena digitalización son de 0 y 1 que se escalan dentro de ese rango.

Una vez realizado el preprocesamiento, el “blob” de las imágenes se pasan a través de la red neuronal utilizando la función net.forward(). Este proceso realiza la inferencia del modelo, generando así una lista de detecciones. Cada detección típicamente incluye: clase del objeto, puntuación de confianza, cuadro delimitador.

Para la administración de estacionamientos, se definen los ROL (Región de interés) para cada plaza de estacionamiento. Estas zonas pueden ser predefinidas manualmente o aprendidas por la red neuronal automáticamente. Cuando se hace la detección de un vehículo dentro de un rol, la plaza se marcará como ocupada. De manera inversa, si una Rol previamente ocupada no muestra una detección de vehículo durante un periodo de tiempo determinado, se marcará como disponible.

A partir de las detecciones, se implementa una funcionalidad que registra el tiempo en el que el vehículo encuentra un espacio libre, es decir se tomará el tiempo desde el ingreso del vehículo hasta su respectivo parqueo en un lugar disponible, con el fin de optimizar así el tiempo de estacionamiento.

Adicionalmente, se desarrolló una aplicación móvil destinada a guiar a los conductores a las plazas disponibles.

En la Figura 14 se muestra el diagrama de flujo para optimizar la asignación de espacios vehiculares.

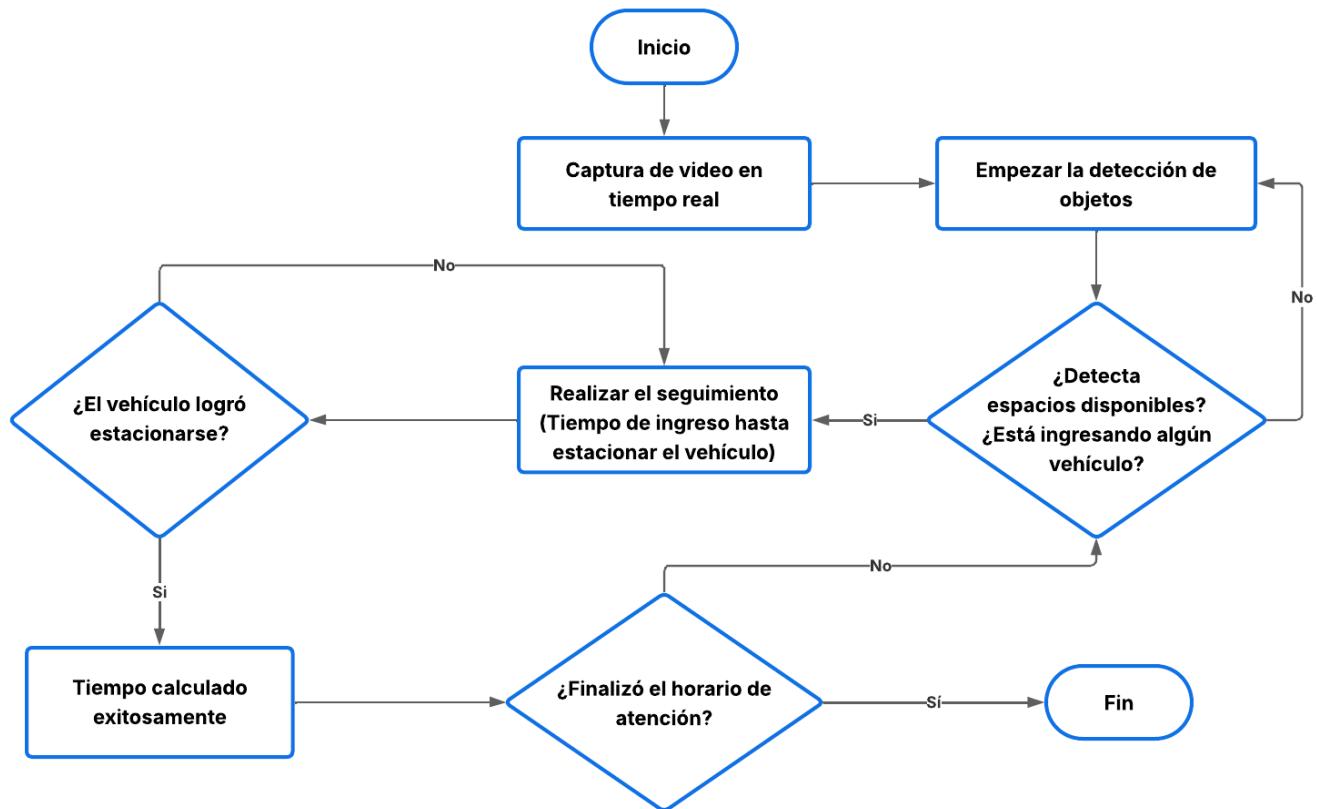


Figura 14 Diagrama de flujo para el sistema de estacionamiento inteligente.

Para el desarrollo del código del sistema de estacionamiento inteligente se consideraron diversos parámetros orientados a mejorar la eficiencia y adaptarse a las necesidades del sistema.

- **Puntuación de confianza:** Esta puntuación dependerá del nivel de confianza a la hora de la detección, esta puntuación puede ser un valor de 0 y 1. Para que el sistema sea confiable se configuró una probabilidad del 75% para determinar una correcta detección del objeto. Esto se logra por la siguiente línea de código:

If confidence > 0.75

Demostración del entrenamiento en condiciones ideales detección de espacios disponibles y vehículos.

A continuación, se evidencia la eficiencia del modelo MobileNet-SSD en la detección de espacios disponibles. Se observa la detección en distintos horarios del día, permitiendo una comprensión más concisa del rendimiento del sistema.



Figura 15 Detección de espacios disponibles 1

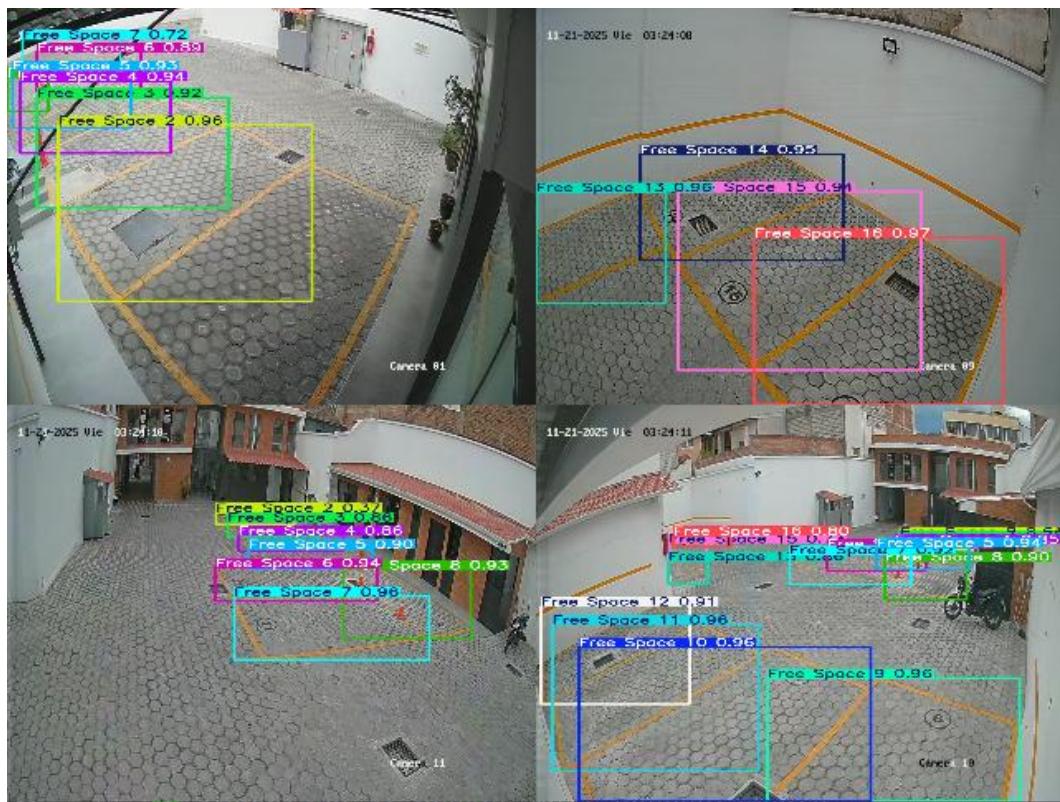


Figura 16 Detección de espacios disponibles 2

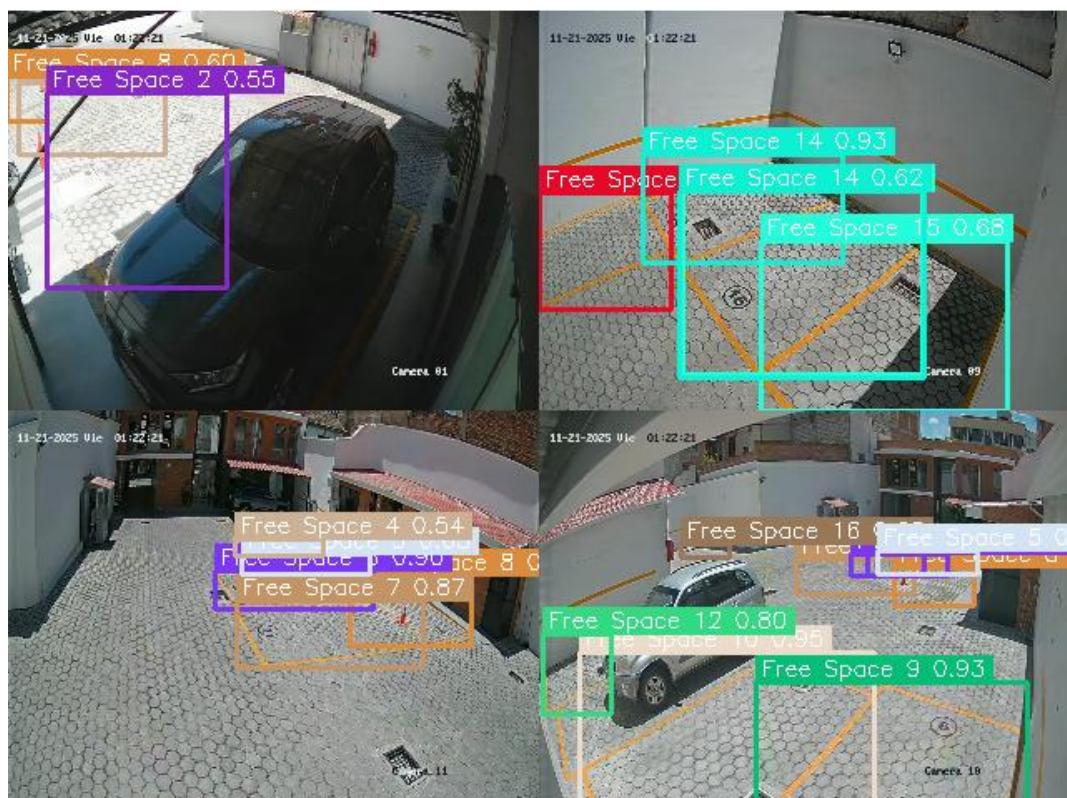


Figura 17 Detección de espacios disponibles 3

En las Figura 18, 19 y 20 se puede observar cómo el algoritmo detecta los vehículos. No obstante, el modelo aún puede mejorar su rendimiento; a mayor cantidad de datos (imágenes de autos), el algoritmo tendrá aprendizaje más sólido y una detección de manera más precisa de los objetos.



Figura 18 Prueba detección de autos 1



Figura 19 Prueba detección de autos 2



Figura 20 Prueba detección de autos 3

Selección del dispositivo de computo

Dado los requerimientos del proyecto, el sistema de cómputo debe ser compacto, económicamente accesible y de bajo consumo energético. Además, debe poseer la capacidad necesaria de procesamiento necesaria para ejecutar algoritmos de Deep Learning orientados al análisis de imágenes. También es fundamental que sea compatible con las librerías empleadas en el desarrollo, a fin de facilitar la implementación.

En la tabla 6 se presentan 3 tarjetas de desarrollo basadas en diferentes procesadores, seleccionado por su facilidad de adquisición y disponibilidad en el mercado.

Tabla 6 Comparativa de tarjetas de desarrollo basadas en procesador

Característica	Jetson Nano	Raspberry Zero W	Raspberry Pi 5 Modelo B
CPU (modelo, arq, núcleos, freq.)	A RM CortexA57 (4 núcleos @ 1,43 GHz)	Broadcom BCM2835 (1× ARM11 @ 1,0 GHz)	CPU BCM2712 de cuatro núcleos
GPU (modelo, soporte)	NVIDIA Maxwell (128 núcleos CUDA)	VideoCore IV (integrado, OpenGL ES 2.0)	GPU VII, compatible con OpenGL ES 3.1, Vulkan 1.2
RAM (tipo, cantidad)	4 GB LPDDR4 (64-bit)	512 MB SDRAM	LPDDR4X-4267 SDRAM
Almacenamiento	16 GB eMMC 5.1	Ranura microSD	Ranura microSD

Conectividad	Ethernet Gigabit; sin Wi-Fi 802.11 b/ g/n; Bluetooth 4.1/ BLE; sin Ethernet	Wi-Fi 802.11ac; Bluetooth 5.0 Gigabit Ethernet
Puertos	4×USB 3.0 + 1×USB 2.0 (micro-B); 1×HDMI 2.0 + 1×DisplayPort; CSI (cámara); GPIO 40 pines.	1×mini-HDMI; 1×USB micro OTG; 1×USB micro HDMI; (alimentación); CSI; GPIO 40 pines. transceptores MIPI de 4 canales; Cabezal GPIO estándar de 40 pines.
Consumo energético (alimentación)	Entrada 5V/4A (barrel) o 5V/ 2A micro-USB	Entrada 5V/1A micro-USB (\approx 5 W máx.)
Sistema operativo compatible	Linux (Ubuntu con JetPack)	Linux (Raspbian, etc.)
Precio aproximado	USD 393	USD 36.99
		USD 184.99

Raspberry Pi 5 Modelo B

Es la tarjeta principal del proyecto, seleccionado en base a las características mencionadas en la Tabla 6 dado por cada fabricante. En la Figura 21 se observa la tarjeta de desarrollo utilizado.



Figura 21 Raspberry Pi 5

La Raspberry Pi 5 ofrece un rendimiento de CPU y GPU superior a sus predecesoras gracias a su procesador Arm Cortex-476 de cuatro núcleos a 2.4 GHz y la GPU VideoCore VII [32]. El rendimiento de esta nueva versión posee una mejora para aplicaciones avanzadas como centros multimedia, automatización, inteligencia artificial y servidores ligeros. Cuenta con puertos USB 3.0, una salida de video dual 4k, compatibilidad con PCIe y una mejor gestión térmica, lo que lo hace ideal para implementación del proyecto.

Una vez adquirida, se utilizó como unidad principal del sistema inteligente, integrada el algoritmo MobileNet-SSD para la detección de espacios libres y vehículos para el procesamiento de imágenes en tiempo real. Desde la Pi se envían señales de las cámaras IP mediante RTSP, procesando los fotogramas continuamente. Los resultados se enviaron al panel Led digital que muestra el espacio libre más cercano para estacionar el vehículo.

3.6.4 Panel led digital

El tablero digital, utilizado como indicador de los espacios disponibles, constituye una herramienta que mejora significativamente el proceso de estacionamiento. Su implementación se realizó como un requerimiento esencial para visualizar en tiempo real los lugares de parqueo disponibles.

La programación del panel LED se efectuó de manera sencilla, permitiendo que el tablero funcione adecuadamente y brinde una experiencia de uso satisfactoria.

En las Figuras 22, 23, 24 y 25 se muestra el funcionamiento del panel led.



Figura 22 Prueba 1 Panel Led



Figura 23 Prueba 2 Panel Led



Figura 24 Prueba 3 Panel Led



Figura 25 Prueba 3 Panel led

3.6.5 Interfaz gráfica de la aplicación

Esta interfaz se desarrolló como un complemento adicional del proyecto, con el objetivo de localizar el parqueadero y verificar la disponibilidad de espacios para estacionarse. Es fundamental garantizar que la interfaz funcione de manera eficiente y cumpla con las expectativas del usuario. Posteriormente, se realizaron pruebas piloto en las áreas de estacionamiento público para recopilar datos, obtener retroalimentación de los usuarios y así validar el rendimiento del sistema.

La interfaz fue implementada en Android Studio utilizando el lenguaje de programación Java. La ventana de inicio de la aplicación incluye información personal, seguidamente se presenta una ventana con los distintos servicios. En la Figura 26 se visualiza el contenido de la interfaz gráfica.



Figura 26 Pantalla principal de la interfaz

La segunda pantalla de la aplicación se pueden observar diversos botones que dirigen al usuario a los distintos servicios disponibles, tales como: espacios disponibles, ubicación y métodos de pago, como se muestra en la Figura 27.

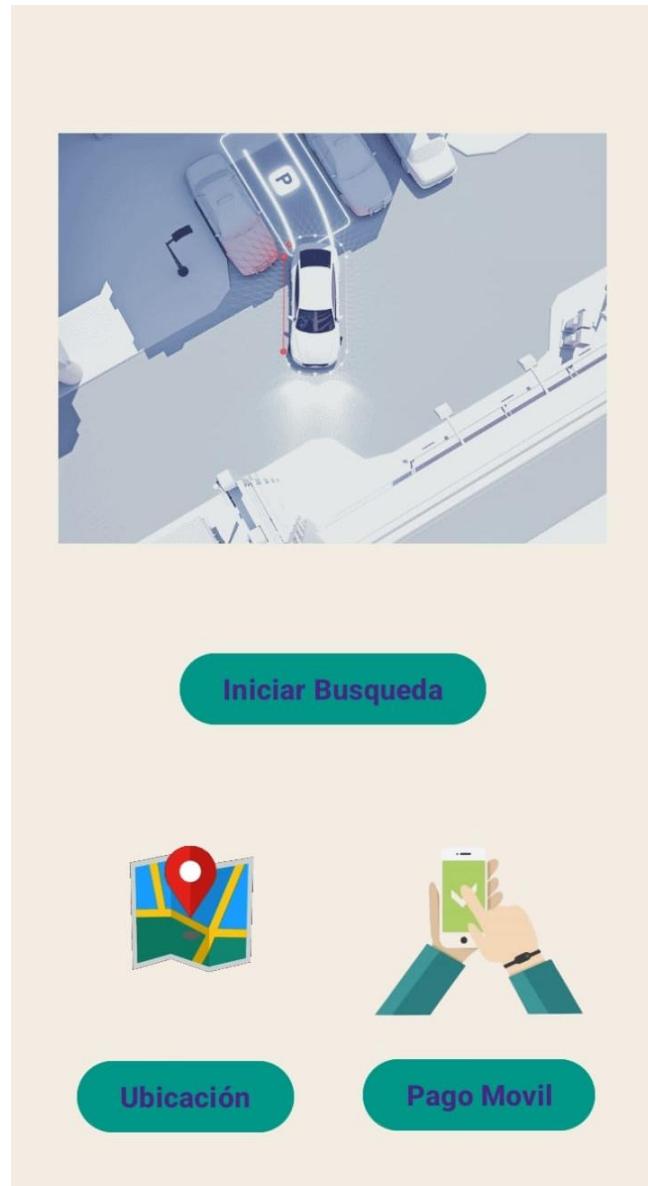


Figura 27 Pantalla secundaria de la interfaz.

De esta forma, la aplicación móvil complementa el sistema de gestión de espacios de estacionamientos, ofreciendo así una herramienta práctica y accesible para los usuarios.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

Con el propósito de comprobar la optimización del tiempo de estacionamiento mediante el uso del sistema implementado, se realizó una comparación entre los datos recolectados antes y después de su aplicación.

El análisis se efectuó de forma individual, iniciando con las pruebas de normalidad para cada una de las variables obtenidas.

4.1.1 Análisis de resultados

Para determinar estadísticamente si existe una varianza significativa, se aplicó a una prueba de normalidad con el fin de establecer si los datos correspondientes al tiempo de estacionamiento tanto con el método tradicional como con el sistema implementado son paramétricos o no.

De esta manera, se definió el método estadístico más adecuado para el análisis de la varianza. Las hipótesis de la prueba de normalidad se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7 Hipótesis prueba de normalidad

H₀: Hipótesis Nula	H₁: Hipótesis alternativa
Los datos tienen una distribución normal	Los datos no tienen una distribución normal

PRUEBA DE NORMALIDAD EN GENERAL

El P-Valor calculado indica que los datos obtenidos tanto con el método tradicional como con el sistema implementado no presentan esta característica de normalidad o están próximos a obtener, como se observa en la Tabla 8. Por tal razón, para realizar el análisis se optó por el uso de un test no paramétrico para muestras relacionadas: el Test de Wilcoxon.

Tabla 8 Prueba de Normalidad General del Tiempo (Antes y Despues)

Pruebas de normalidad				
	Kolmogorov - Smimow		Shapiro - Wilk	
	Estadístico (D)	P-Valor	Estadístico (W)	P-Valor
M. Tradicional (Antes)	0.10919	2.2e-16	0.96107	1.652e-11
S. Implementado (Despues)	0.15745	2.2e-16	0.94735	8.901e-14

Una vez confirmado que los datos son paramétricas, se procedió a la comparación de medianas mediante la prueba T de Wilcoxon, con el objetivo de analizar si existe una varianza significativa que permita aceptar o rechazar la hipótesis nula. Las hipótesis se detallan en la tabla 9.

Tabla 9 Hipótesis definidas

Análisis	H_0 : Hipótesis Nula	H_1 : Hipótesis Alternativa
	$M_{e1} = M_{e2}$	$M_{e1} \neq M_{e2}$
T de Wilcoxon	La variable estudiada no presenta una varianza significativa luego de la implementación del sistema	La variable estudiada presenta una varianza significativa luego de la implementación del sistema

Análisis T Wilcoxon

El resultado del análisis se muestra en la Tabla 10. Dado que el P-valor es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, concluyéndose que existe una varianza significativa entre los tiempos de estacionamiento antes y después de la implementación del sistema.

Tabla 10 Análisis T Wilcoxon. Comparación de Medias

Análisis T Wilcoxon			
	Estadístico (W)	P-Valor	Media
M. Tradicional (Antes)			2.275
S. Implementado (Después)	107457	2.2e-16	2.010

De acuerdo con los resultados presentados, se evidencio claramente que el sistema implementado optimiza significativamente el tiempo de estacionamiento. Esta afirmación se respalda en la diferencia de medias observada entre los métodos evaluados.

Diagramas de cajas

Los diagramas de cajas permiten visualizar gráficamente la distribución de un conjunto de datos, este método muestra valores atípicos, medianas, máximos y mínimos. Este método se empleó con el fin de demostrar gráficamente la diferencia entre los datos obtenidos antes y después de la implementación del sistema. En la Figura 28 se observa una reducción significativa del tiempo promedio de estacionamiento, verificando que el sistema influye positivamente en la optimización del tiempo de parqueo.

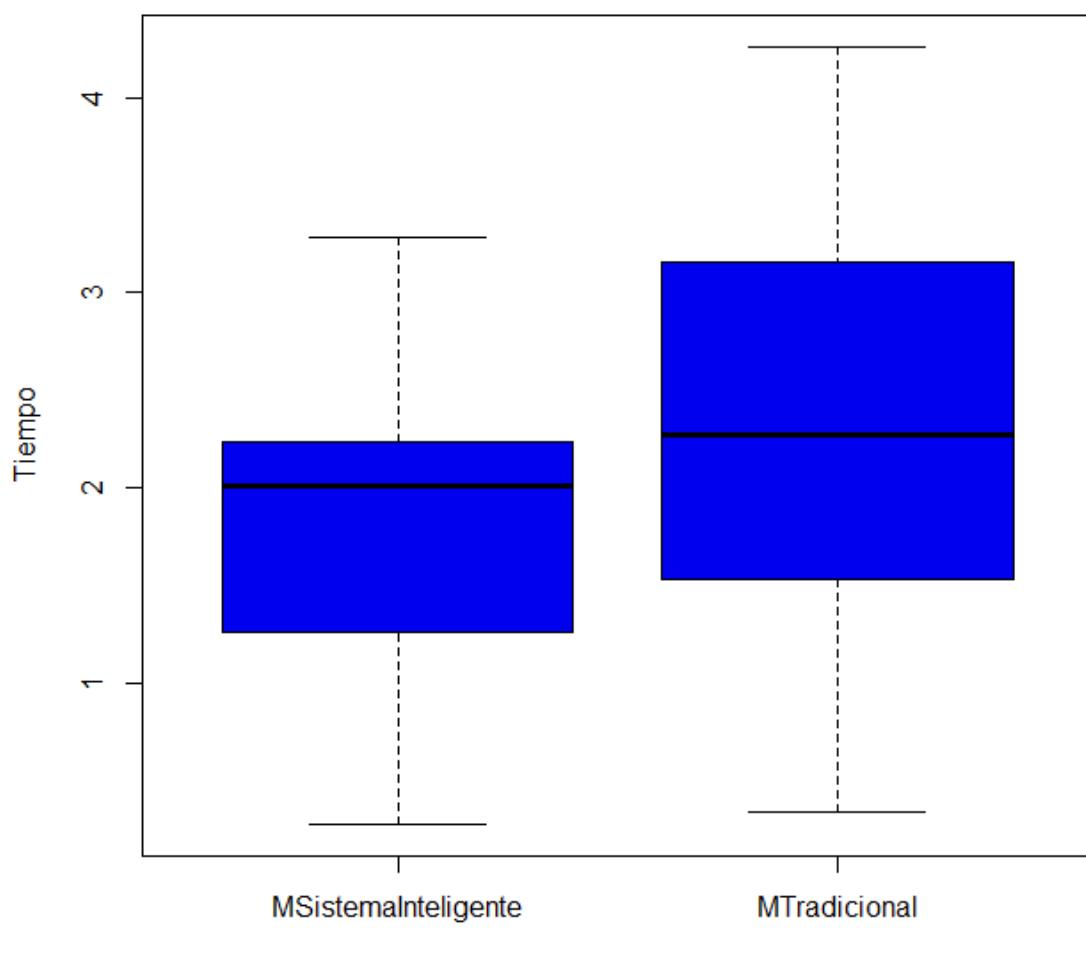


Figura 28 Diagrama de caja “Tiempo de parqueo”

4.2 DISCUSIÓN

Conforme a los resultados obtenidos en el análisis estadístico realizado, se puede afirmar lo siguiente:

Con el desarrollo del sistema inteligente, se demostró que el sistema propuesto constituye una solución eficaz para optimizar la gestión del espacio de estacionamiento vehicular en entornos públicos. Mediante el procesamiento de imágenes y técnicas de visión computarizada, el sistema logró identificar en tiempo real los espacios disponibles y detectar vehículos con una alta precisión.

Durante el periodo de prueba, el reconocimiento de espacios de estacionamientos, y la efectiva detección de vehículos que ingresaban al parqueadero en distintos horarios y condiciones de iluminación se llevó a cabo de manera exitosa, gracias al algoritmo MobileNet-SSD. Este sistema de detección presentó ventajas significativas frente a otras tecnologías tradicionales, tales como el uso de los sensores o métodos tradicionales de control.

La integración de un panel informativo que muestra en tiempo real los espacios libres contribuyó a mejorar el flujo vehicular, maximizando así la eficiencia en el uso del parqueadero. Los datos obtenidos permitieron comparar los tiempos de parqueo bajo el método de forma tradicional y el sistema inteligente, evidenciando que la implementación del sistema favorece una experiencia más amigable con el usuario, además de disminuir la congestión vehicular.

Finalmente, se destaca la efectividad del sistema y su potencial para ser integrado a nuevas tecnologías emergentes, tales como el Internet de las cosas (IoT) y los sistemas de pago automatizado, lo que permitirá ofrecer una experiencia completa, eficiente y moderna al usuario al momento de estacionar su vehículo.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Tras el estudio de los diversos algoritmos de detección de objetos y el análisis de las necesidades de los conductores al momento de buscar espacios de estacionamiento, se logró adquirir el conocimiento necesario para desarrollar e implementar un sistema de parqueo inteligente que responda eficazmente a dichas demandas.
- A partir de una investigación detallada sobre las nuevas tecnologías emergentes aplicadas a la automatización, se optó por utilizar el procesamiento de imágenes como enfoque principal, adaptándolo a las necesidades reales de los usuarios. Esto permitió garantizar una buena gestión eficiente de los espacios de estacionamiento y una experiencia amigable para los conductores.
- La implementación del sistema basado en el algoritmo MobileNet-SSD demostró ser satisfactoria, optimizando el uso de los lugares de estacionamiento mediante la detección precisa de vehículos en tiempo real. Asimismo, el sistema facilitó la gestión del parqueadero y contribuyó a reducir la congestión vehicular. Por otro lado, el tiempo con el método tradicional es de 2.275 y después de la detección del sistema este cambio a 2.010, es decir que se tuvo una mejora del tiempo, cumpliendo con los objetivos propuestos en la investigación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones adicionales sobre nuevas tecnologías complementarias al procesamiento de imágenes, con el fin de ampliar las capacidades del sistema y mejorar la detección en condiciones climáticas, para una garantizar así una mejor experiencia del usuario.
- El desarrollo de una aplicación móvil que permita a los usuarios reservar espacios de parqueo desde su comodidad representaría un avance significativo, además de la implementación de un sistema de pago automático integrado con la detección de matrículas, lo que aumentaría la eficiencia del servicio.
- Se recomienda actualizar periódicamente el modelo de detección con imágenes actualizadas, de modo que el sistema se adapte y mejore su precisión de manera continua en el entorno específico donde se implemente.
- Finalmente, dado que el sistema podría manejar información sensible, se recomienda asegurar el cumplimiento de normativas vigentes sobre seguridad y protección de datos, garantizando la confidencialidad y privacidad de la información de los usuarios.

BIBLIOGRÁFIA

- [1] C. Torres y D. Humberto, «Diseño de un sistema de parqueo inteligente para el centro histórico de la ciudad de Cuenca, aplicando una red LPWAN», 2022.
- [2] I. Thomson y A. Bull, «La congestión del tránsito urbano: Causas y consecuencias económicas y sociales», *Rev. CEPAL*, vol. 2002, n.º 76, pp. 109-121, abr. 2002, doi: 10.18356/fd4a1f83-es.
- [3] A. Fahim, M. Hasan, y M. A. Chowdhury, «Smart parking systems: comprehensive review based on various aspects», *Heliyon*, vol. 7, n.º 5, p. e07050, may 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07050.
- [4] D. J. Muñoz Muñoz y D. T. González González, «Implementación de un sistema de control de postura y velocidad en el patinaje de velocidad basado en procesamiento de imágenes», bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo, 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10903>
- [5] «Diseño de un prototipo de sistema de parqueo inteligente para el edificio de la FIE utilizando tecnologías basado en el Internet de las Cosas.» [En línea]. Disponible en: <https://dspace.esepoch.edu.ec/items/a53012c9-68a9-4177-b640-cc4d3f2ca1f5>
- [6] C. A. Campoz Chiliquinga, J. M. Guillen Camacho, y P. X. Chávez Burbano, «Diseño e implementación de un parqueadero automatizado en el edificio principal de la FIEC utilizando una red de sensores basada en IoT», Thesis, ESPOL. FIEC, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57154>
- [7] E. F. Méndez Ugarte, «Estudio y diseño de un parqueo inteligente utilizando Arduino a través del Internet de las cosas (IoT).», sep. 2021, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/17170>
- [8] A. E. Angulo Angulo, «Estudio de un Sistema de control Inteligente para el Estacionamiento del Canal y Radio UCSG.», feb. 2024, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/22623>
- [9] M. J. Guete Arrieta y I. A. Barake Carreño, «Diseño y simulación de sistema de control de disponibilidad para parqueaderos de usuarios recurrentes», nov. 2023, [En línea]. Disponible en: <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/11823>
- [10] C. S. Godoy Ramón, «Desarrollo de un prototipo de parqueadero inteligente para la automatización del sistema de aparcamiento Simert en la ciudad de Loja.», bachelorThesis, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/11405>
- [11] henry he, «Sistema de estacionamiento inteligente que utiliza IoT - MOKOSmart», MOKOSmart #1 Solución de dispositivo inteligente en China. Accedido: 24 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mokosmart.com/smart-parking-system-using-iot/>
- [12] «Estacionamientos inteligentes: una solución moderna para una ciudad moderna». [En línea]. Disponible en: <https://www.o-city.com/es/blog/smart-parking-a-modern-solution-for-a-modern-city>
- [13] «Procesamiento de Imágenes», FOQUM. [En línea]. Disponible en: <https://foqum.io/blog/termino/procesamiento-de-imagenes/>
- [14] M. V. Rull, «Reconocimiento de Objetos usando Deep Learning».

- [15] «Algoritmo en Informática - Concepto, partes y ejemplos», <https://concepto.de/>. Accedido: 25 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/algoritmo-en-informatica/>
- [16] Justas, «La guía completa para la detección de objetos: Una introducción a la detección en 2024», visionplatform. Accedido: 25 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://visionplatform.ai/es/la-guia-completa-para-la-deteccion-de-objetos-una-introduccion-a-la-deteccion-en-2024/>
- [17] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, y A. Farhadi, «You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection», 9 de mayo de 2016, *arXiv*: arXiv:1506.02640. doi: 10.48550/arXiv.1506.02640.
- [18] R. A. Gómez, P. A. Mateus, y J. A. Sandoval, «Centro de Investigación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas», *Visión Electrónica*, vol. 18, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2024, [En línea]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/23374>
- [19] «MobileNet SSD v2 Object Detection Model: What is, How to Use». [En línea]. Disponible en: <https://roboflow.com/model/mobilenet-ssd-v2>
- [20] automaticaddison, «Cómo detectar objetos en vídeo usando MobileNet SSD en OpenCV». [En línea]. Disponible en: <https://automaticaddison.com/how-to-detect-objects-in-video-using-mobilenet-ssd-in-opencv/>
- [21] H. Cafiel, «Detección de objetos con MobileNet SSD, Módulo OpenCV 3.4.1 DNN». [En línea]. Disponible en: <https://ebenezertechs.com/como-utilizar-opencv-mobilenet-ssd-caffe-ssd-deteccion-de-objetos/>
- [22] «Faster R-CNN Explained for Object Detection Tasks | DigitalOcean». [En línea]. Disponible en: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/faster-r-cnn-explained-object-detection>
- [23] H. Gao, «Faster R-CNN Explained», Medium. [En línea]. Disponible en: <https://medium.com/@smallfishbigsea/faster-r-cnn-explained-864d4fb7e3f8>
- [24] manish rathaur, «Object Detection Made Simple: YOLO vs SSD vs Faster R-CNN», Medium. Accedido: 27 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://manishrathaur10.medium.com/object-detection-made-simple-yolo-vs-ssd-vs-faster-r-cnn-4c2be239bb3c>
- [25] SDIPLIGHT, «What is WS2812b LED and how to use WS2812b LED», SDIP Light. Accedido: 31 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sdiplight.com/what-is-ws2812b-led-and-how-to-use-ws2812b-led/>
- [26] «Revolucionando las experiencias de estacionamiento | Intertraffic». Accedido: 17 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.intertraffic.com/news/espanol/revolucionando-las-experiencias-de-estacionamiento>
- [27] ESMARTCITY, «Sensores inteligentes de parking en la Feria Intertraffic 2016», ESMARTCITY. [En línea]. Disponible en: <https://www.esmartcity.es/2016/04/13/sensores-inteligentes-de-parking-en-la-feria-intertraffic-2016>

- [28] A. G. Howard *et al.*, «MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications», 17 de abril de 2017, *arXiv*: arXiv:1704.04861. doi: 10.48550/arXiv.1704.04861.
- [29] S. Ren, K. He, R. Girshick, y J. Sun, «Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks», en *Advances in Neural Information Processing Systems*, Curran Associates, Inc., 2015. Accedido: 25 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://papers.nips.cc/paper_files/paper/2015/hash/14bfa6bb14875e45bba028a21ed38046-Abstract.html
- [30] R. Singh, «Understanding and Implementing Faster R-CNN», Medium. Accedido: 25 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://medium.com/@RobuRishabh/understanding-and-implementing-faster-r-cnn-248f7b25ff96>
- [31] S.-H. Lee y H.-C. Chen, «U-SSD: Improved SSD Based on U-Net Architecture for End-to-End Table Detection in Document Images», *Appl. Sci.*, vol. 11, n.º 23, Art. n.º 23, ene. 2021, doi: 10.3390/app112311446.
- [32] «Raspberry Pi 5: características, precio y ficha técnica». Accedido: 20 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-5-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>

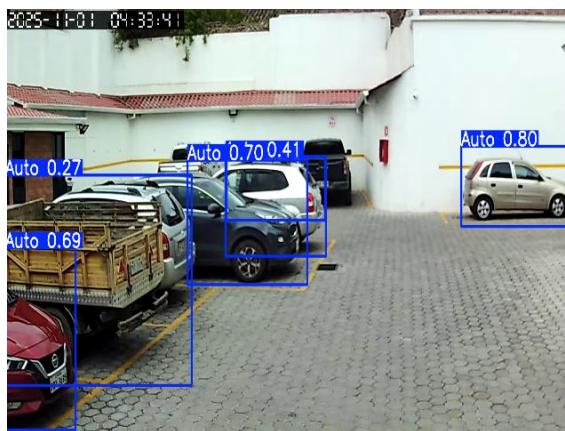
ANEXOS

Anexo A. Fotos de la evidencia del diseño, construcción e implementación del proyecto de investigación

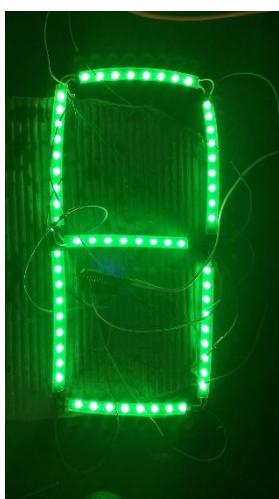
Detección de Espacios Disponibles



Detección de Vehículos



Diseño y construcción del tablero digital.





Anexo B. Desarrollo de la interfaz

Desarrollo de la Interfaz



Universidad Nacional de Chimborazo

MobilNet Park



Autor: Anthony Zaruma

Tutor: PhD. Leonardo Renteria



Iniciar Busqueda



Ubicación

Pago Móvil

Riobamba, Guayaquil y Vicente Rocafuerte



Espacios Disponibles

Espacio # 2 Espacio # 4 Espacio # 5

Espacio # 6 Espacio # 8 Espacio # 12



Anexo C. Recolección de datos para el análisis.

Recolección de datos Método Tradicional

Recolección de datos Método Tradicional												
Datos - 1 semana			Datos - 2 semana			Datos - 3 semana			Datos - 4 semana			
Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		
1	2:04	3:43	1:53	1:43	1:28	2:33	2:11	3:14	2:37	3:31	0:59	2:35
2	1:40	2:17	1:52	2:50	2:18	1:46	1:55	1:53	3:13	1:44	2:28	2:44
3	1:32	1:49	1:53	1:35	1:51	2:38	3:12	3:25	2:17	2:21	3:39	3:32
4	1:10	2:44	2:21	2:22	2:50	1:42	2:38	2:28	3:30	3:22	1:40	1:59
5	2:59	1:43	2:34	3:40	2:23	0:55	2:04	3:02	1:37	2:03	3:18	0:57
6	2:32	0:47	1:46	1:43	1:46	2:29	1:45	1:49	2:12	3:20	2:13	3:47
7	2:32	2:26	3:20	2:23	1:46	1:58	2:27	2:06	3:35	1:41	1:45	2:06
8	2:09	1:57	2:14	1:34	2:25	2:01	3:34	3:08	1:33	2:56	2:58	3:55
9	1:56	2:11	1:55	2:10	3:49	1:35	1:36	2:43	2:30	3:40	3:51	1:33
10	2:18	1:35	2:54	2:35	2:21	3:19	2:48	1:50	3:17	1:58	1:57	3:02
11	2:25	3:49	1:49	1:50	1:58	2:23	3:03	3:00	2:03	3:11	3:15	0:56
12	1:12	2:24	2:15	2:28	2:25	1:50	2:10	1:30	3:26	0:56	2:02	2:15
13	1:48	1:50	2:21	2:24	2:17	2:40	2:59	2:35	1:27	2:16	1:50	3:36
14	1:39	2:42	2:32	2:13	1:59	1:33	1:41	2:18	3:19	3:42	2:37	2:48
15	3:47	1:39	2:00	1:48	2:05	0:45	3:15	3:16	2:14	2:12	3:26	1:35
16	2:27	0:34	1:58	2:13	2:40	2:30	2:01	1:35	3:22	1:34	1:42	3:09
17	1:58	2:31	3:36	2:29	1:59	1:54	3:23	2:31	1:29	3:37	2:08	2:11
18	3:01	1:55	3:39	2:33	2:25	2:07	2:44	3:04	3:24	2:36	3:00	1:46
19	2:09	2:08	2:04	0:57	2:42	1:39	1:52	2:25	0:49	1:39	1:47	3:27
20	1:04	1:36	2:24	1:50	2:05	3:44	3:06	1:47	4:11	3:41	2:31	2:26
21	3:56	3:51	2:10	3:38	2:37	2:18	1:39	2:09	0:46	2:54	3:43	1:38
22	3:03	2:35	1:49	2:45	2:08	1:48	2:32	3:20	4:02	1:56	0:56	3:52
23	2:24	1:47	3:19	2:09	2:35	2:46	1:58	2:39	0:55	3:53	2:09	2:22

Recolección de datos - Sistema Implementado

Recolección de datos - Sistema implementado												
Datos - 1 semana			Datos - 2 semana			Datos - 3 semana			Datos - 4 Semana			
Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		Minutos : Segundos		
1	1:45	2:11	2:12	2:17	2:14	2:12	2:24	2:16	2:11	1:46	1:59	0:54
2	2:12	1:24	1:20	1:25	1:22	1:22	1:42	1:44	0:42	2:33	2:38	2:31
3	1:28	2:24	2:21	2:20	2:27	2:25	2:01	2:58	2:44	0:57	0:36	1:37
4	0:52	1:12	1:16	1:15	1:14	1:11	1:28	1:55	0:49	2:25	2:05	2:04
5	2:05	2:21	2:08	2:02	2:22	2:17	2:20	2:09	0:52	1:42	1:26	1:21
6	1:55	2:04	2:02	2:02	2:06	2:08	1:42	1:28	2:22	2:08	3:00	2:44
7	2:18	1:28	1:44	1:42	1:41	1:45	2:47	2:42	0:45	3:02	2:18	0:40
8	1:12	2:20	2:19	2:26	2:24	2:21	1:24	1:51	2:56	1:59	1:40	2:39
9	2:15	1:22	1:21	1:26	1:28	1:24	2:10	2:22	0:40	1:28	2:11	1:22
10	1:22	0:47	0:42	0:52	0:55	0:46	1:41	1:27	2:29	2:48	1:52	2:01
11	2:24	2:17	2:14	2:12	2:09	2:15	2:21	2:00	0:46	1:35	2:47	1:36
12	1:08	1:26	1:22	1:22	1:26	1:28	1:52	1:46	0:28	2:12	1:29	2:24
13	2:26	2:20	2:27	2:25	2:22	2:22	2:09	2:28	2:19	0:52	3:12	3:11
14	1:41	1:15	1:14	1:11	1:12	1:17	2:04	2:02	0:52	2:41	1:54	0:55
15	0:45	2:05	2:22	2:16	2:15	2:12	1:29	2:08	2:28	1:53	2:35	2:34
16	2:09	2:07	2:06	2:08	2:01	2:00	2:28	2:27	0:59	3:10	1:32	1:19
17	1:22	1:42	1:41	1:45	1:29	1:46	1:50	1:20	2:46	2:03	2:42	2:14
18	2:21	2:26	2:24	2:21	2:22	2:22	2:15	2:11	0:41	1:49	0:50	0:58
19	1:16	1:27	1:28	1:24	1:25	1:20	1:45	1:59	0:54	0:48	2:19	3:08
20	0:58	0:50	0:55	0:46	0:48	0:57	2:01	2:26	2:25	2:27	1:47	1:18
21	2:14	2:12	2:09	2:15	2:16	2:10	2:18	1:47	2:20	1:43	3:01	2:50
22	1:27	1:25	1:26	1:28	1:24	1:21	1:29	2:21	0:48	2:09	1:25	1:53
23	2:27	2:25	2:22	2:22	2:29	2:28	2:26	1:22	2:22	0:45	2:02	0:40

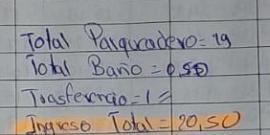
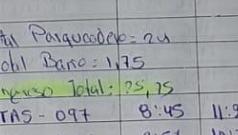
Prueba de normalidad - Shapiro-Wilk

Prueba de normalidad - Shapiro-Wilk															
Normalidad Primeras Semanas				Normalidad Segundas Semanas				Normalidad Terceras Semanas				Normalidad Cuartas Semanas			
N	MTradicional	MSistemaInteligente	N	MTradicional	MSistemaInteligente	N	MTradicional	MSistemaInteligente	N	MTradicional	MSistemaInteligente	N	MTradicional	MSistemaInteligente	
1	2:04	1:45	1	2:32	2:17	1	2:11	2:16	1	3:31	1:46	1	2:44	2:33	
2	1:40	2:15	2	2:08	1:27	2	1:55	1:44	2	1:44	2:31	2	2:33	0:57	
3	1:52	1:55	3	2:42	2:09	3	2:42	2:55	3	2:31	2:21	3	2:21	2:25	
4	1:10	0:52	4	2:14	1:15	4	2:08	1:55	4	3:22	2:25	4	3:22	2:25	
5	2:59	2:05	5	1:56	3:03	5	2:04	2:09	5	2:03	1:42	5	2:03	1:42	
6	2:32	1:55	6	1:45	2:02	6	1:45	1:28	6	3:20	2:08	6	3:20	2:08	
7	2:02	2:08	7	2:03	1:43	7	2:1	2:42	7	1:41	3:02	7	1:41	3:02	
8	2:09	1:12	8	1:31	2:26	8	3:34	1:51	8	2:56	1:53	8	3:40	1:28	
9	1:56	3:15	9	1:38	1:56	9	1:36	2:22	9	3:40	2:48	9	3:40	2:48	
10	2:18	1:33	10	1:46	0:53	10	2:48	1:27	10	1:59	1:53	10	1:59	1:53	
11	2:55	2:24	11	2:03	2:15	11	3:03	2:00	11	3:11	1:55	11	3:11	1:55	
12	1:12	1:08	12	1:53	1:23	12	2:10	1:46	12	0:56	2:12	12	0:56	2:12	
13	1:48	2:36	13	2:43	2:35	13	2:53	2:28	13	2:16	0:52	13	2:16	0:52	
14	1:33	1:41	14	1:53	1:11	14	1:41	2:02	14	3:42	2:41	14	3:42	2:41	
15	3:41	0:45	15	2:50	3:16	15	3:16	2:06	15	3:15	1:53	15	3:15	1:53	
16	2:27	2:03	16	2:43	2:08	16	2:01	2:27	16	1:34	3:10	16	1:34	3:10	
17	1:58	1:22	17	2:40	1:45	17	3:23	1:20	17	3:37	2:03	17	3:37	2:03	
18	3:01	2:31	18	2:03	2:21	18	2:44	2:11	18	2:36	1:49	18	2:36	1:49	
19	2:09	1:16	19	2:07	1:54	19	1:55	1:59	19	0:53	0:48	19	0:53	0:48	
20	1:04	0:58	20	2:06	0:46	20	3:06	2:26	20	2:41	2:27	20	2:41	2:27	
21	3:56	2:14	21	2:47	2:15	21	1:39	1:47	21	2:54	1:43	21	2:54	1:43	
22	3:03	1:37	22	1:54	1:25	22	2:32	2:21	22	1:56	2:09	22	1:56	2:09	
23	2:24	2:27	23	2:19	2:32	23	1:58	1:22	23	3:53	0:45	23	3:53	0:45	
24	2:06	1:63	24	1:52	1:17	24	2:00	2:49	24	2:45	2:00	24	2:45	2:00	
25	1:41	3:02	25	2:37	3:11	25	3:09	1:57	25	3:01	1:55	25	3:01	1:55	
26	1:38	2:03	26	2:45	2:00	26	1:48	2:02	26	1:28	3:04	26	1:28	3:04	
27	1:40	1:44	27	3:06	1:46	27	2:10	1:25	27	3:26	1:23	27	3:26	1:23	
28	2:14	2:35	28	1:45	2:55	28	2:24	2:06	28	2:55	2:45	28	2:55	2:45	
29	3:54	1:11	29	2:03	1:30	29	3:31	2:10	29	2:00	1:31	29	2:00	1:31	
30	3:26	0:41	30	2:14	0:57	30	1:28	1:52	30	3:05	2:22	30	3:05	2:22	
31	2:55	2:08	31	2:03	2:10	31	0:57	2:45	31	2:43	0:59	31	2:43	0:59	
32	2:07	1:26	32	1:45	1:51	32	4:05	2:00	32	1:55	2:07	32	1:55	2:07	
33	1:38	2:33	33	2:21	2:28	33	1:25	1:28	33	2:24	1:48	33	2:24	1:48	
34	1:36	1:14	34	1:40	1:19	34	3:42	2:18	34	3:04	2:32	34	3:04	2:32	
35	2:37	3:28	35	2:45	0:26	35	2:55	1:22	35	1:30	0:47	35	1:30	0:47	
36	1:58	2:01	36	2:37	2:05	36	2:15	2:06	36	2:43	2:15	36	2:43	2:15	

Test de Wilcoxon para dos muestras

Test de Wilcoxon para dos muestras											
Test no paramétricos - Segunda Semana						Test no paramétricos - Tercera Semana					
N	Método	Tiempo	Método	Tiempo	Método	N	Método	Tiempo	Método	Tiempo	Método
1	MTradicional	2:32	MSistemaInteligente	2:17	MSistemaInteligente	1	MTradicional	2:11	MSistemaInteligente	2:16	MSistemaInteligente
2	MTradicional	2:08	MSistemaInteligente	1:25	MSistemaInteligente	2	MTradicional	1:55	MSistemaInteligente	1:44	MSistemaInteligente
3	MTradicional	2:42	MSistemaInteligente	2:30	MSistemaInteligente	3	MTradicional	3:12	MSistemaInteligente	2:58	MSistemaInteligente
4	MTradicional	2:14	MSistemaInteligente	1:15	MSistemaInteligente	4	MTradicional	2:38	MSistemaInteligente	1:55	MSistemaInteligente
5	MTradicional	1:56	MSistemaInteligente	3:03	MSistemaInteligente	5	MTradicional	2:04	MSistemaInteligente	2:09	MSistemaInteligente
6	MTradicional	1:48	MSistemaInteligente	2:02	MSistemaInteligente	6	MTradicional	1:45	MSistemaInteligente	1:28	MSistemaInteligente
7	MTradicional	2:09	MSistemaInteligente	1:43	MSistemaInteligente	7	MTradicional	2:27	MSistemaInteligente	2:42	MSistemaInteligente
8	MTradicional	1:31	MSistemaInteligente	2:26	MSistemaInteligente	8	MTradicional	3:34	MSistemaInteligente	1:51	MSistemaInteligente
9	MTradicional	1:38	MSistemaInteligente	1:36	MSistemaInteligente	9	MTradicional	1:36	MSistemaInteligente	2:22	MSistemaInteligente
10	MTradicional	1:46	MSistemaInteligente	0:53	MSistemaInteligente	10	MTradicional	2:48	MSistemaInteligente	1:27	MSistemaInteligente
11	MTradicional	2:09	MSistemaInteligente	2:13	MSistemaInteligente	11	MTradicional	3:03	MSistemaInteligente	2:00	MSistemaInteligente
12	MTradicional	1:58	MSistemaInteligente	1:23	MSistemaInteligente	12	MTradicional	2:10	MSistemaInteligente	1:46	MSistemaInteligente
13	MTradicional	2:43	MSistemaInteligente	2:35	MSistemaInteligente	13	MTradicional	2:59	MSistemaInteligente	2:28	MSistemaInteligente
14	MTradicional	1:59	MSistemaInteligente	1:11	MSistemaInteligente	14	MTradicional	1:41	MSistemaInteligente	2:02	MSistemaInteligente
15	MTradicional	2:50	MSistemaInteligente	3:16	MSistemaInteligente	15	MTradicional	3:15	MSistemaInteligente	2:08	MSistemaInteligente
16	MTradicional	3:59	MSistemaInteligente	2:08	MSistemaInteligente	16	MTradicional	2:01	MSistemaInteligente	2:27	MSistemaInteligente
17	MTradicional	2:40	MSistemaInteligente	1:45	MSistemaInteligente	17	MTradicional	3:23	MSistemaInteligente	1:20	MSistemaInteligente
18	MTradicional	2:09	MSistemaInteligente	2:21	MSistemaInteligente	18	MTradicional	2:44	MSistemaInteligente	2:11	MSistemaInteligente
19	MTradicional	2:07	MSistemaInteligente	1:34	MSistemaInteligente	19	MTradicional	1:52	MSistemaInteligente	1:59	MSistemaInteligente
20	MTradicional	3:08	MSistemaInteligente	0:46	MSistemaInteligente	20	MTradicional	3:06	MSistemaInteligente	2:26	MSistemaInteligente
21	MTradicional	2:47	MSistemaInteligente	2:15	MSistemaInteligente	21	MTradicional	1:39	MSistemaInteligente	1:47	MSistemaInteligente
22	MTradicional	1:54	MSistemaInteligente	1:28	MSistemaInteligente	22	MTradicional	2:32	MSistemaInteligente	2:21	MSistemaInteligente
23	MTradicional	2:19	MSistemaInteligente	2:32	MSistemaInteligente	23	MTradicional	1:58	MSistemaInteligente	1:22	MSistemaInteligente
24	MTradicional	1:52	MSistemaInteligente	1:17	MSistemaInteligente	24	MTradicional	2:20	MSistemaInteligente	2:49	MSistemaInteligente
25	MTradicional	2:27	MSistemaInteligente	3:11	MSistemaInteligente	25	MTradicional	3:09	MSistemaInteligente	1:57	MSistemaInteligente

Anexo D. Datos sobre los autos ingresados durante las semanas de prueba.

FECHA	No. TICKET	PLACA No.	HORA DE ENTRADA	HORA DE SALIDA	VALOR COBRADO	BAÑO
10-07-25	7443	TBL 7808	15:43	15:58	0,50	0,25
10-07-25	7444	HCG 0056	16:00	16:50	1,00	0,25
10-07-25	7445	HBD 5793	16:03	16:50	1,00	
10-07-25	7446	HBD 1630	16:17	17:05	1,00	
10-07-25	7447	PFM 8607	16:19	16:30	0,30	
10-07-25	7448	HBD 6376	16:25	16:30	0,50	
10-07-25	7449	HBD 3895	16:40	17:40	1,00	
10-07-25	7500	JCC 035	16:45	18:00	1,50	
10-07-25	7501	HBA 8083	16:48	18:30	2,00	
10-07-25	7502	HBD 5652	17:02	17:35	1,00	
10-07-25	7503	TBL 9288	17:12	17:40	1,00	
10-07-25	7504	PCR 624B	17:58	18:30	1,00	1,00
Total Parqueadero = 19						
Total Baño = 0,50						
Transferencia = 1						
Ingreso Total = 20,50						
10-07-25	7505	HBA - 8337	9:16	9:26	0,50	0,95
10-07-25	7506	HBC - 4064	10:33	11:21	1,00	0,95
10-07-25	7507	TPB - 1021	10:42	10:48	0,50	0,95
10-07-25	7508	HBA - 4924	10:57	11:15	0,50	0,95
10-07-25	7509	TBL - 1481	11:10	11:36	0,50	0,95
10-07-25	7510	TBL - 6744	11:11	11:18	0,50	0,25
10-07-25	7511	HCD - 0118	11:25	11:50	0,50	0,25
10-07-25	7512	HBD - 281	11:44	11:52	0,50	0,95
10-07-25	7513	PDD - 395	11:44	12:41	1,00	
10-07-25	7514	PFJ - 4209	11:48	12:23	1,00	
10-07-25	7515	XBB - 3665	11:52	12:17	0,50	
10-07-25	7516	PIZ - 571	12:02	12:10	0,50	
10-07-25	7517	HBA - 8308	12:28	13:25	1,00	
10-07-25	7518	ABM - 6272	13:06	16:02	3,00	
10-07-25	7519	HBD 6376	14:50	15:51	1,00	
10-07-25	7520	PTV 615	14:55	17:05	2,50	
10-07-25	7521	HBD 353	15:05	15:35	1,00	
Total Parqueadero = 24						
Total Baño = 1,75						
Ingreso Total = 25,75						
14-07-25	7508	TAS - 097	8:45	11:25	3,00	0,95
14-07-25	7509	HBD - 1026	9:54	10:30	1,00	0,95
14-07-25	7510	HBC - 1937	10:06	11:09	1,00	0,95
14-07-25	7511	XCB - 381	10:20	11:20	1,00	0,15
14-07-25	7512	PDF - 2872	10:24	11:46	1,50	0,95
14-07-25	7513	HBA - 8308	11:00	11:52	1,00	
14-07-25	7514	PAI - 313	11:02	11:52	1,00	
14-07-25	7515	HBB - 8905	11:30	11:45	0,50	
14-07-25	7516	HBD - 4108	11:40	12:50	1,50	
14-07-25	7517	PIZ - 571	11:50	12:03	0,50	
14-07-25	7518	HBD - 9562	12:16	13:02	1,00	
14-07-25	7519	PDV - 7519	12:20	12:40	0,50	