

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño e implementación de un sistema de pare abatible inteligente para
las unidades de transporte escolar

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telemática

Presentado por:

Luis Bryan Bravo Moreno

Ángel Camilo Chávez Moreno

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

La presente tesis esta dedica en primer lugar a Dios que me ha brindado fortaleza y sabiduría en el transcurso de mis estudios, a mis padres Luis y Martha quienes son el pilar fundamental de mi vida y mis ejemplos de perseverancia y dedicación, a mis hermanos Jefferson y Roberto por siempre cuidarme y darme palabras de aliento para seguir adelante, a mis familiares y amigos que siempre confiaron en mí y en cierta manera me brindaron su apoyo día a día en el transcurso de cada año de mi vida Universitaria.

Luis Bryan Bravo Moreno

Este trabajo está dedicado a Dios, por darme la vida y la salud necesarias para alcanzar mis objetivos, a mis padres Ángel e Ingrid, mi hermano Diego y mis abuelos Carlos y Rosa, por ser el principal motor de mi vida. A mis familiares y amigos más cercanos, aquellos que nunca dejaron de creer en mí a lo largo de los años, y a Didi, por el amor y apoyo incondicionales en la parte final del camino.

Ángel Camilo Chávez Moreno

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por haber formado parte íntegra de nuestra formación como profesionales, a nuestros profesores y compañeros que sirvieron de guía e inspiración para el desarrollo del proyecto.

Agradecemos a nuestro docente tutor, Vladimir Sánchez Padilla, M.Sc., y a nuestra profesora, Rebeca Leonor Estrada Pico, PhD., por ser actores importantes en cada fase del desarrollo del proyecto.

A Karina Mazzini, administradora del servicio de transporte de COPOL, por permitirnos el uso de las unidades para efectuar las pruebas correspondientes.

Finalmente, como trabajadores, queremos extender nuestro agradecimiento a las empresas Claro y Contífico, por el inmenso apoyo a lo largo del proceso de titulación.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Luis Bryan Bravo Moreno* y *Ángel Camilo Chávez Moreno* damos nuestro consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Luis Bryan Bravo
Moreno

Ángel Camilo Chávez
Moreno

EVALUADORES

Rebeca Leonor Estrada Pico, Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA

Vladimir Sánchez Padilla, M.Sc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En Ecuador, las unidades que ofrecen el servicio de transporte escolar están obligadas a utilizar un disco de pare abatible desde el año 2015. A pesar de esto, la falta de concientización sobre el uso de esta señal no ha permitido que se utilice de forma regular. Esto resulta en múltiples infracciones a diario, y compromete la seguridad de los usuarios.

Este proyecto tuvo como finalidad la mejora de aspectos relacionados al uso de esta señal, mediante el diseño e implementación de un sistema de pare abatible inteligente, el cual integró una alarma activada por geolocalización, un mecanismo de apertura y cierre automático y manual del disco pare, y una cámara para el registro de infractores. Además, se levantó un servidor en la nube, utilizando un gestor de base de datos, una aplicación y los servicios web para el manejo de esta información. Se desarrolló un aplicativo móvil para la interconexión a través de Bluetooth entre un *smartphone* y un ordenador de placa reducida, el mismo que vinculó un módulo GPS, una cámara de vídeo, y actuadores para permitir la apertura y cierre manual del disco pare.

Posteriormente, se probó el sistema en una de las rutas del servicio de transporte escolar, obteniendo resultados satisfactorios tanto en los mecanismos de alarma y apertura/cierre, como en el monitoreo y registro de infractores.

Así, el sistema ofrece posibilidades para generar campañas de concientización sobre el uso de la señal de pare abatible. A su vez, permite que se implementen mejoras adicionales para sancionar a futuros infractores.

Palabras Clave: disco de pare abatible, cámara, Raspberry Pi, Python, OpenCV.

ABSTRACT

In Ecuador, since 2015, every school bus is required to have a stop arm installed. However, the evident lack of awareness about its importance has undermined its frequent use. This results in multiple daily infringements, and it compromises the security of the users.

This project was aimed at improving the aspects related to the use of the embedded signal, through the design and implementation of a smart stop arm system to integrate components such as: an alarm activated through geolocation, an automatic and manual open and close mechanism, and a camera to register any offenders.

A server was configured, using a relational database management system, a web application alongside its services for the proper handling of this information. A mobile app was also developed to interconnect a smartphone and a single board computer through a Bluetooth connection. The single board computer was attached to a GPS module, a video camera and actuators that allowed the manual opening and closure of the stop arm.

This system was tested in one of the routes of the student transport service, obtaining satisfactory results on both alarm and opening/closure mechanisms, as well as in monitoring and registering offenders.

Therefore, the system offers the possibilities for generating awareness campaigns about the use of the school bus stop arm, while also allowing future enhancements that will let the system record and fine these offenders.

Keywords: *stop arm, camera, Raspberry Pi, Python, OpenCV.*

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----|
| EVALUADORES..... | 3 |
| RESUMEN..... | I |
| <i>ABSTRACT</i> | II |
| ÍNDICE GENERAL..... | III |
| ABREVIATURAS | VII |
| SIMBOLOGÍA | IX |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | X |
| ÍNDICE DE TABLAS | XI |
| CAPÍTULO 1 | 12 |
| 1. Introducción | 12 |
| 1.1 Descripción del problema | 14 |
| 1.2 Delimitación del Problema | 14 |
| 1.3 Posibles Soluciones..... | 15 |
| 1.4 Solución Propuesta..... | 16 |
| 1.5 Justificación | 17 |
| 1.6 Objetivos Generales y Específicos | 18 |
| 1.6.1 Objetivo General | 18 |
| 1.6.2 Objetivos Específicos | 18 |
| 1.7 Metodología | 19 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 2.1 Hardware | 21 |
| 2.1.1 Raspberry Pi Model 3 B+ | 22 |

| | | |
|-----------------|--|----|
| 2.1.2 | Módulo GPS NEO-6M v2 | 24 |
| 2.1.3 | Cámara Raspberry Pi..... | 26 |
| 2.1.4 | Buzzer 5VDC | 27 |
| 2.1.5 | Actuadores | 28 |
| 2.1.6 | Tarjeta Micro SD | 29 |
| 2.2 | Software..... | 29 |
| 2.2.1 | MySQL | 29 |
| 2.2.2 | Script..... | 30 |
| | Python | 30 |
| 2.2.3 | 30 | |
| 2.2.4 | Servidor Web | 31 |
| | MQTT | 31 |
| 2.2.5 | 31 | |
| 2.2.6 | NodeJS | 31 |
| 2.2.7 | Bluetooth | 32 |
| 2.2.8 | Android..... | 32 |
| 2.3 | Costo del proyecto..... | 32 |
| CAPÍTULO 3..... | | 34 |
| 3. | DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN | 34 |
| 3.1 | Descripción General | 34 |
| 3.2 | Descripción detallada de la solución..... | 35 |
| | Ubicación de los componentes del sistema | 35 |
| 3.2.1 | 35 | |
| 3.2.2 | Operación del sistema fuera del radio de parada..... | 35 |
| 3.2.3 | Operación del sistema dentro del radio de parada..... | 36 |
| 3.2.4 | Gestión de rutas, paradas, e información adquirida por el sistema..... | 36 |

| | | |
|------------------|--|------------|
| 3.2.5 | Diagramas de bloques. | 37 |
| 3.2.6 | Diagrama de circuito | 39 |
| 3.2.7 | Librerías y dependencias instaladas en la Raspberry Pi Model 3 B+..... | 40 |
| CAPÍTULO 4 | | 43 |
| PRUEBAS | Y | ANÁLISIS |
| | | DE |
| | | RESULTADOS |
| | | 43 |
| 4. | | 43 |
| | Hardware | 43 |
| 4.1 | 43 | |
| 4.2 | Software..... | 43 |
| 4.2.1 | Aplicación web | 43 |
| 4.2.2 | Aplicación móvil..... | 44 |
| 4.2.3 | Base de datos | 44 |
| 4.3 | Descripción | 44 |
| 4.3.1 | Validación GPS | 44 |
| 4.3.2 | Apertura del disco pare manual o automática | 45 |
| 4.3.3 | Monitoreo de infractores..... | 45 |
| 4.3.4 | Sistema de alarma | 45 |
| 4.3.5 | Aplicación web | 45 |
| 4.3.6 | Aplicación móvil..... | 46 |
| 4.3.7 | Base de datos | 46 |
| | Estrategia para realizar las pruebas | 63 |
| 4.4 | 46 | |
| 4.5 | Preparación para las pruebas..... | 64 |
| 4.6 | Ejecución de las pruebas..... | 65 |
| 4.6.1 | ESCENARIO 1 | 65 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.6.2 | ESCENARIO 2 | 66 |
| 4.6.3 | ESCENARIO 3 | 67 |
| 4.7 | Resultados..... | 46 |
| 4.7.1 | Funcionamiento del módulo GPS y los mecanismos de apertura y cierre del pare abatible | 46 |
| 4.7.2 | Funcionamiento de la cámara y del registro de infractores | 48 |
| 4.7.3 | Funcionamiento del registro de datos de infractores en el servidor remoto 51 | |
| | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 54 |
| | Conclusiones | 54 |
| | RECOMENDACIONES | 55 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 56 |
| | APÉNDICES | 59 |
| | Validación del cliente del prototipo de baja resolución..... | 60 |
| | Validación del cliente del prototipo de alta resolución..... | 61 |
| | APÉNDICE C | 62 |
| | primer bosquejo del funcionamiento de la solución (prototipo de baja resolución) | 62 |
| | APÉNDICE D | 63 |

ABREVIATURAS

| | |
|-------|---|
| ABF | Automatic Band Pass Filter |
| ABLC | Automatic Black Level Calibration |
| AEC | Automatic Exposure Control |
| AGC | Automatic Gain Control |
| ANT | Agencia Nacional de Tránsito |
| ARM | Advanced RISC Machine |
| AWB | Automatic White Balance |
| BLE | Bluetooth Low Energy |
| COPOL | Unidad Educativa Particular Politécnico |
| CSI | Camera Serial Interface |
| CTE | Comisión de Tránsito del Ecuador |
| DCI | Display Control Interface |
| DVP | Digital Video Port |
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral |
| GND | Ground |
| GPIO | General-Purpose Input/Output |
| GPS | Global Positioning System |
| HDMI | High-Definition Multimedia Interface |
| I2C | Inter-Integrated Circuit |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| LPDDR | Low-Power Double Data Rate |
| MQTT | Message Queuing Telemetry Transport |
| NHTSA | Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras de los EE. UU. |
| NMEA | National Marine Electronics Association |
| OTP | One-time Programmable |
| PoE | Power over Ethernet |
| RISC | Reduced Instruction Set Computer |
| RPI | Raspberry Pi |

| | |
|-------|---|
| RX | Receive |
| SBC | Single Board Computer |
| SD | Secure Digital |
| SDRAM | Synchronous Dynamic Access Random Memory |
| SoC | System on Chip |
| SPI | Serial Peripheral Interface |
| SQL | Structured Query Language |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| TX | Transmit |
| UART | Universal Asynchronous Receiver-Transceiver |
| USB | Universal Serial Bus |
| VCC | Voltage Common Collector |
| VDC | Volts of Direct Current |

SIMBOLOGÍA

| | |
|------|-----------------------|
| A | Amperios. |
| °C | Celsius. |
| GB | Gigabyte. |
| GHz | Gigahercios. |
| Hz | Hercio. |
| h | Hora. |
| Kg | Kilogramos. |
| KHz | Kilohercios. |
| Km | Kilómetros. |
| µs | Microsegundos. |
| mA | Miliamperios. |
| Mbps | Megabits por segundo. |
| mm | Milímetros. |
| mΩ | Miliohmios. |
| ms | Milisegundos. |
| mV | Milivoltios. |
| mW | Miliwatts. |
| Ω | Ohmios. |
| V | Voltios. |
| W | Watts. |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|--|
| Figura 1.1. Caso de uso de la solución propuesta | ¡Error! Marcador no definido.1 |
| Figura 2.1. Raspberry Pi Model 3 B+ | ¡Error! Marcador no definido.7 |
| Figura 2.2. Logotipo de Raspbian | ¡Error! Marcador no definido.8 |
| Figura 2.3. Diagrama de pines GPIO de las Raspberry Pi Model 3 B+ | ¡Error! Marcador no definido.9 |
| Figura 2.4. Módulo GPS NEO-6M v2..... | ¡Error! Marcador no definido.9 |
| Figura 2.5. Cámara Raspberry Pi | 32 |
| Figura 2.6. Buzzer 5VDC | 32 |
| Figura 2.7. Micro Servo SG90..... | 33 |
| Figura 2.8. Tarjeta Micro SD de 32GB y adaptador de Micro SD | 34 |
| Figura 2.9. Funcionamiento general de un servidor web | 36 |
| Figura 3.1. Diagrama de bloques de la solución..... | 41 |
| Figura 3.2. Diagrama del circuito | 43 |
| Figura 4.1. Entorno de simulación desarrollado para el prototipo de alto nivel ubicado en la unidad de transporte escolar..... | 57 |
| Figura 4.2. Registro de infractores mediante el algoritmo de reconocimiento de vehículos..... | 58 |
| Figura 4.3. Registro total de infractores capturados por el sistema y gráfico del número de infractores por día..... | 61 |
| Figura 4.4. Gráfico de barras del número total de infractores por sector | 62 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|--|
| Tabla 1.1. Fallecimientos (todas las edades) en choques relacionados al transporte escolar, por año, y por tipo de persona, 2006 – 2015 | 18 |
| Tabla 1.2. Comparación de funcionalidades y costos de las soluciones alternativas frente a las de la solución propuesta | ¡Error! Marcador no definido. 4 |
| Tabla 2.1. Especificaciones técnicas de la Raspberry Pi Model 3 B+ | ¡Error! Marcador no definido. 9 |
| Tabla 2.2. Desglose de datos en formato NMEA | 31 |
| Tabla 2.3. Costos de la implementación del proyecto | 38 |
| Tabla 3.1. Funciones de cada pin de la cámara Raspberry Pi. | 44 |
| Tabla 3.2. Conexiones de pines entre el módulo GPS y el servomotor con el GPIO de la Raspberry Pi. | 45 |
| Tabla 4.1. Resultados de la prueba del módulo GPS y los mecanismos de apertura y cierre del pare abatible | 56 |
| Tabla 4.2. Resultados de la primera prueba del registro de infractores (simulada). . | 59 |
| Tabla 4.3. Resultados de la segunda prueba del registro de infractores (simulada). | 60 |
| Tabla 4.4. Resultados de la prueba del registro de infractores al servidor remoto (simulada). | 61 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Según la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América, el bus escolar es el medio de transporte que ofrece a los estudiantes el mayor nivel de seguridad [1]. A pesar de reportes de incidentes que muestran que, de cuatro a seis niños en edad escolar fallecen cada año en EE. UU., ese porcentaje representa menos del 1% de todas las fatalidades de tránsito reportadas al año. De hecho, entre los años 2006 y 2015, se registraron 324710 impactos vehiculares fatales, de los cuáles 1172 (0.4%) fueron relacionados con el uso del transporte escolar. [2]

Tabla 1.1 Fallecimientos (todas las edades) en choques relacionados al transporte escolar, por año, y por tipo de persona, 2006 – 2015 [2]

| Año | Ocupantes del bus escolar | | | Peatones | | | Otros no ocupantes | Ocupantes de otros vehículos | Total |
|-----------------|---------------------------|-----------|-------|---|------------------------------|-------|--------------------|------------------------------|-------|
| | Conductores | Pasajeros | Total | Impactados por vehículo de transporte escolar | Impactados por otro vehículo | Total | | | |
| 2006 | 3 | 5 | 8 | 19 | 3 | 22 | 2 | 118 | 150 |
| 2007 | 4 | 1 | 5 | 16 | 2 | 19** | 6 | 112 | 142 |
| 2008 | 4 | 15 | 19 | 20 | 1 | 21 | 8 | 104 | 152 |
| 2009 | 2 | 3 | 5 | 13 | 8 | 21 | 1 | 91 | 118 |
| 2010 | 6 | 10 | 16 | 21 | 5 | 26 | 4 | 84 | 130 |
| 2011 | 7 | 4 | 11 | 12 | 9 | 21 | 5 | 86 | 123 |
| 2012 | 6 | 8 | 14 | 18 | 9 | 27 | 3 | 88 | 132 |
| 2013 | 5 | 6 | 11 | 16 | 6 | 22 | 5 | 93 | 131 |
| 2014 | 4 | 7 | 11 | 21 | 7 | 28 | 4 | 77 | 120 |
| 2015 | 8 | 5 | 13 | 11 | 0 | 11 | 4 | 87 | 115 |
| Total | 49 | 64 | 113 | 167 | 50 | 218** | 42 | 940 | 1313 |
| Promedio | 5 | 6 | 11 | 17 | 5 | 22 | 4 | 94 | 131 |

La NHTSA estima que los estudiantes se ven 70 veces más propensos a llegar a su unidad educativa de manera segura utilizando el transporte escolar en lugar de un vehículo particular. El organismo hace hincapié en dos puntos que favorecen al uso de los buses escolares: las diferencias notables en el diseño y las leyes que

protegen a estas unidades. Los autobuses escolares incluyen luces de parada, espejos de vista cruzada y pares abatibles, siendo este último elemento el que genera mayor interés, debido a que interactúa directamente con la vía y con conductores vecinos, alertándolos de que deben tomar las debidas precauciones en la proximidad del vehículo.

A pesar de contar con la mayor parte de los elementos mencionados anteriormente, las unidades de transporte escolar en el Ecuador se enfrentan a una problemática acentuada por la falta de concientización sobre el uso de la señalética embebida en las unidades de transporte. Esto incluye los discos de pare abatible, y su apertura no siempre está garantizada, debido a que la mayoría de los conductores no hacen caso de la señal de tránsito. Esto, a su vez, genera un nivel de motivación baja para que los choferes de dichas unidades escolares realicen su activación recurrente. Luis Zamora, representante de la Federación de Transporte Escolar del Azuay [5], comenta que el irrespeto de los conductores hacia la señal de pare es un peligro para los estudiantes. Esto se pronuncia todavía más debido a las irregularidades de tránsito que se pueden presentar al momento de hacer uso de esta señalización (principalmente la falta de espacio en la vía).

En el Ecuador, los accidentes de tránsito poseen una elevada tasa de mortalidad. Estadísticas proporcionadas por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), establecen que la tasa de mortalidad por accidentes de tránsito en el año 2018 es la más alta de los últimos 5 años, registrando 8.49 por cada 100 accidentes (1058 fallecidos en 12460 siniestros) [6]. Entre las causas para reflejar tales cifras, la Comisión de Tránsito del Ecuador (CTE) atribuye al exceso de velocidad e impericia de los conductores en las vías como las dos principales [7]. Si bien los datos públicos de las autoridades de tránsito no clasifican accidentes de tránsito que involucran a unidades de transporte escolar, un considerable porcentaje se debe al irrespeto de los conductores a la señalización reglamentaria. Esto incluye: señal de pare, ceda el paso, luz roja del semáforo, e incluso pares abatibles de

unidades de transporte escolar. En el mes de septiembre del 2018, este tipo de siniestro representó más del 11.22% del total de accidentes registrados. [8]

El presente capítulo, describe el problema del uso efectivo del pare abatible, y se delimitará el problema exclusivamente a las unidades de transporte escolar en la Unidad Educativa Particular Politécnico (COPOL). Se explorarán algunas posibles soluciones para la problemática planteada, y finalmente se establecerá una propuesta de solución. Este capítulo presenta también tanto el objetivo general como los específicos con una metodología propuesta para la integración de múltiples componentes.

1.1 Descripción del problema

Hoy en día contamos con una gran variedad de señales de tránsito, las cuales nos obligan a tomar acciones para evitar cualquier accidente vial y nos ayuda a mejorar nuestra experiencia como conductores y peatones. Desde julio del 2016, en el Ecuador, las unidades de transporte escolar tienen que cumplir con la ley de instalación de un disco de pare desplegable [9] para mejorar la seguridad al momento de recoger y dejar a los estudiantes en las diferentes paradas. Sin embargo, debido a la ausencia de conocimiento acerca de la ley o poca concientización respecto al uso de esta señal, no se puede garantizar que todos los conductores respeten la señalización instalada en la unidad de transporte, ocasionando desconcierto tanto para los padres de familia como las cooperativas del transporte escolar. Además, no existe un registro confiable de en qué sectores los conductores no respetan esta señal de tránsito, así como también de las situaciones en las que el conductor del bus olvide su activación en las paradas de su ruta.

1.2 Delimitación del Problema

COPOL, como institución académica, garantiza el aprendizaje y la seguridad de sus estudiantes. Debido a su lejana ubicación, ha contratado los servicios de una empresa privada para ofrecer el servicio de transporte escolar a sus alumnos, con

unidades adecuadas para una rápida movilización desde y hacia la unidad educativa. Algunas de las unidades de transporte escolar están equipadas con discos de pare abatible, con el fin de ofrecer mayor seguridad a los usuarios durante la llegada a los diferentes destinos de cada ruta.

El actual sistema de activación del disco de pare abatible en las unidades de transporte escolar es enteramente manual, y requiere la participación activa del conductor.

Analizando tal necesidad junto a Karina Mazzini, administradora del servicio de transporte de la institución, se concluyó que la apertura del pare abatible debe ser automática y manual en caso de falla del sistema. Para lograr esto, se debe de contar con un sistema de alarma en caso de que la apertura automática falle y esta permita alertar al conductor que debe hacer uso del disco pare desplegable.

Además, los usuarios y encargados de las unidades escolares quisieran contar con un registro de todos aquellos conductores que respeten (o no) la señalización que se encuentra instalada en el bus escolar.

1.3 Posibles Soluciones

Entre las posibles soluciones para resolver el problema antes definido, tenemos:

- Instalar una cámara al pare abatible para identificar a los infractores, mediante reconocimiento de imágenes. Esto permitiría captar los números de placas y datos primarios del vehículo infractor con datos de fecha, hora y ubicación para tener un registro transparente. Estas infracciones se pueden registrar en un servidor local y luego ser respaldadas en la nube. Estas pueden también replicarse a dispositivos compatibles para notificar a otros agentes internos sobre las infracciones en tiempo real, Sin embargo, no sería una solución óptima dado que la finalidad del proyecto es facilitar y crear conciencia por parte del conductor de la unidad de bus escolar a hacer uso del pare abatible.
- Establecer algún mecanismo de alarma (aplicación móvil o speaker) que notifique al conductor la próxima apertura del pare abatible (en base a ubicación

geográfica), esta solución no abarca con todos los requerimientos que se desean aplicar para el presente proyecto, pero puede ser involucrado como un módulo del dispositivo final.

- Programar apertura automática del pare abatible en paradas. En caso de que se requiera, se puede desarrollar un sistema que abra y cierre de manera automática la señal de tránsito embebida en la unidad de transporte. Esto debe ser fácilmente anulable por una acción manual por parte del conductor en caso de emergencias o alguna otra circunstancia que motive su apertura.

1.4 Solución Propuesta

Basado en el conjunto de soluciones de nuestra matriz impacto/dificultad, se ha decidido diseñar e implementar un sistema de pare abatible inteligente que integre tres componentes principales: una alarma basada en geolocalización que indique al conductor cuando la señal de pare está próxima a abrirse, un mecanismo de apertura y cierre automático del pare abatible, y un sistema de videovigilancia móvil encargado de realizar un monitoreo de todos los conductores que no respeten la señal de pare instalada en las unidades de bus escolar. Además de aquello, el conductor debe de estar en la capacidad de utilizar un mecanismo de activación manual en caso de fallas o emergencias.

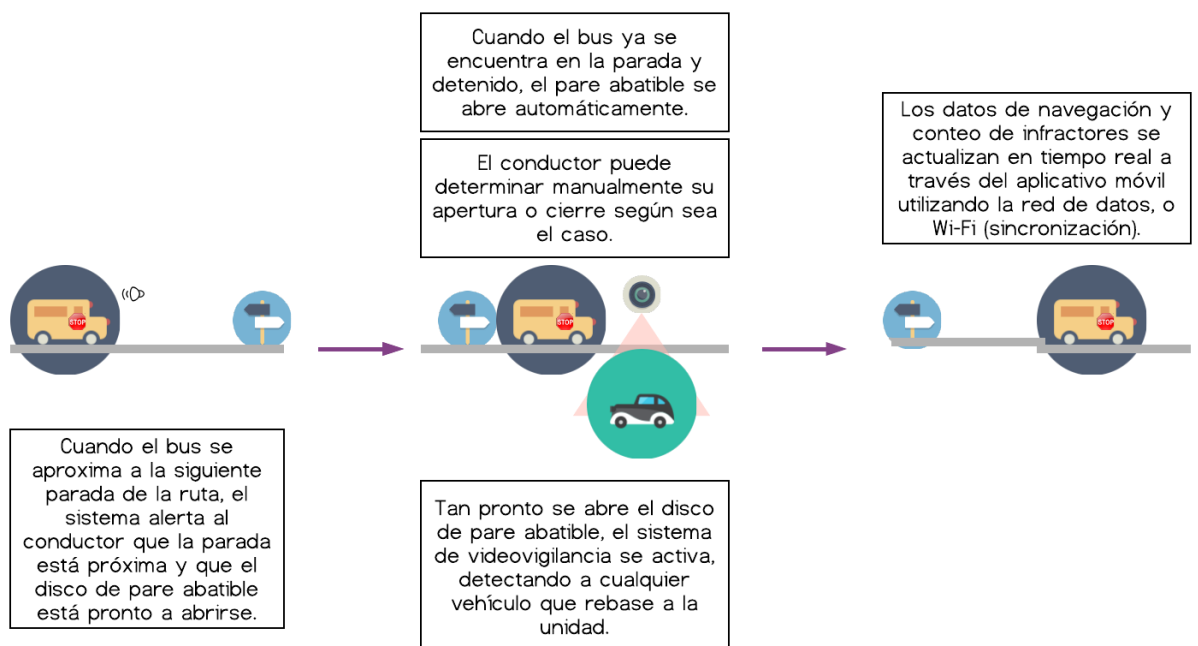


Figura 1.1: Caso de uso de la solución propuesta.

1.5 Justificación

La solución propuesta busca integrar los tres componentes más relevantes de cada una de las posibles soluciones detalladas previamente. En primer lugar, el mecanismo de apertura y cierre automático del pare abatible busca mejorar significativamente la seguridad de los usuarios del servicio de transporte escolar mediante su uso recurrente. Se podría incluso considerar un parcial o total deslindamiento de la responsabilidad primaria de estar atento a la apertura y cierre la señal de pare embebida, permitiendo al conductor mantener fija su atención en la vía, o en la movilización del estudiante hacia su domicilio, lo cual también posee un impacto favorable en la seguridad de los usuarios del servicio.

El componente de alarma efectivamente ayuda al conductor y agentes internos asociados (los estudiantes, en este caso) a reconocer tiempos de apertura y cierre de la señal de pare abatible para que su uso sea consistente y efectivo.

Finalmente, un sistema de videovigilancia móvil acoplado en la unidad de bus escolar permite, en principio, monitorear a los infractores de la señal a través de breves grabaciones de video.

Los diferentes módulos con los que se desarrollaría la solución propuesta son fácilmente acoplables, y de configuración y mantenimiento sencillos. La solución puede ser desarrollada utilizando herramientas de hardware y software *open source*, tales como cámaras de alta resolución diseñadas para Raspberry Pi (o cámaras USB propietarias de bajo costo), Raspberry Pi, sensores, actuadores, entre otros componentes, reduciendo costos de licencias, hardware/software propietario o de terciarización de componentes.

En comparación a soluciones individuales que atienden requerimientos específicos y funcionalidades limitadas, el sistema integrado propuesto une lo más fundamental y útil de las soluciones alternativas a menor costo, y con mayores niveles de adaptabilidad y escalamiento. La Tabla 1.2 detalla la

comparación de costos estimados de cada solución frente a las funcionalidades de cada solución. Si bien el costo de la solución es relativamente alto en comparación con las otras alternativas, la cantidad de funcionalidades que se integran para evitar las limitaciones individuales de cada solución hacen que el sistema integrado que se propone adquiera mucho más valor para el cliente.

Tabla 1.2 Comparación de funcionalidades y costos de las soluciones alternativas frente a las de la solución propuesta

| Funcionalidad | Sistema de videovigilancia móvil para infractores | Sistema de alarma basado en geolocalización | Apertura y cierre automático del pare abatible | Solución propuesta |
|---|---|---|--|--------------------|
| Videovigilancia móvil | Sí | No | No | Sí |
| Módulo GPS | No | Sí | No | Sí |
| Almacenamiento local y/o remoto de datos de video | Sí | No | No | Sí |
| Almacenamiento local y/o remoto de datos de ruta | No | Sí | No | Sí |
| Actuadores para apertura y cierre del pare abatible | No | No | Sí | Sí |
| Aplicativo móvil y web integrados | No | No | No | Sí |
| Costo estimado de la solución | 130 USD | 35 USD | 57 USD | 120 USD |

1.6 Objetivos Generales y Específicos

1.6.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de pare abatible inteligente en las unidades de transporte escolar de COPOL para mejorar y motivar su uso recurrente.

1.6.2 Objetivos Específicos

1. Analizar métricas obtenidas dentro del bus para hacer la respectiva toma de decisiones mediante módulos electrónicos.
2. Instalar y configurar librerías en la Raspberry Pi para comunicar al módulo con la red, sensores y actuadores, y otros dispositivos y aplicaciones que forman parte del sistema.
3. Optimizar la interacción del sistema de pare abatible actual con el conductor para prevenir distracciones durante el recorrido.

4. Realizar un presupuesto del dispositivo final para dar a conocer al cliente sobre el valor adquirido por su inversión y la rentabilidad del producto en comparación a otras soluciones disponibles.
5. Desarrollar una aplicación móvil para la sincronización de los datos de los infractores en la vía con el servidor, para su posterior registro en la base de datos y visualización en tiempo real.

1.7 Metodología

- Analizar parámetros dentro de la unidad de transporte escolar para optimizar el sistema de pare abatible, mediante alarmas, cámaras, etc.
- Identificar los materiales que serán necesarios para la implementación del proyecto y realizar un presupuesto por dicho material.
- Configurar una Raspberry Pi para que pueda integrarse el uso de una o varias cámaras de video de alta resolución para monitorear los vehículos que no respetaron la señal de pare. La cámara será instalada en un punto estratégico del pare abatible, y/o en otros puntos clave del bus escolar para monitorear correctamente el número de vehículos que no respetaron la señal de pare. Esto se hará mediante el uso del lenguaje de programación Python para la interacción con las cámaras y la herramienta OpenCV para el reconocimiento de imágenes respectivo.
- Programar el módulo Raspberry Pi para que, mediante actuadores (servomotor en el prototipo) acondicionados a la placa, se pueda accionar el pare abatible de manera automática.
- Elaborar un esquema electrónico del dispositivo final para que se tenga una mejor visualización de cómo es la interacción entre microcontroladores, sensores y módulos electrónicos.
- Implementar un servidor local de bases de datos utilizando MySQL, el cual contendrá información acerca de las paradas del bus escolar.
- Realizar las respectivas pruebas del dispositivo final en las unidades de transporte escolar y de esta manera conocer si es necesario hacer correcciones en el dispositivo.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

Las diferentes soluciones disponibles en el mercado apuntan a la implementación de videovigilancia móvil y geolocalización de los buses escolares utilizando aplicaciones que aprovechen la red celular y Wi-Fi [10]. Varios de estos proyectos se comercializan e implementan en diversos distritos escolares de EE. UU.

Los buses escolares del Distrito Escolar Independiente de San Antonio, Texas, fueron equipados en el año 2018 con cámaras en los pares abatibles, dentro y fuera del bus, y Wi-Fi con el fin de mejorar la seguridad de los estudiantes [11]. El fin de esta implementación es poder obtener una perspectiva de 360 grados de los alrededores de 200 unidades de transporte, con el fin de captar eventos como impactos laterales, o si uno de sus conductores rebasa la señal de pare abatible.

Seon es una compañía estadounidense que provee soluciones de videovigilancia móvil. Entre uno de sus productos, destaca una solución de pare abatible con cámara integrada denominada Automated Stop-arm Camera Solution, la cual integra cámaras estratégicamente ubicadas en la unidad para la detección de infractores de la señal de pare abatible. Estos datos son grabados en tiempo real con la información detallada de los eventos tales como fecha, hora, y coordenadas de GPS [12].

A continuación, se explicarán las definiciones de cada uno de los componentes que conforman la solución del presente proyecto. Dichas componentes están divididas en dos grupos que son: **Hardware** y **Software**.

A nivel de Hardware, se definirán los módulos electrónicos que se usaron para la implementación del prototipado, entre estos tenemos:

- Raspberry Pi Model 3 B+
- Módulo GPS NEO-6m-V2
- Cámara de 5MP, con conexión CSI a la Raspberry Pi
- Buzzer 5[V]
- Actuadores
- Tarjeta MicroSD

Por otro lado, se definirá la parte de Software, la cual estará encargada de la interacción entre componentes electrónicos con el microcontrolador, el almacenamiento de los parámetros sensados por los módulos que integrarán el dispositivo, y la visualización de la información procesada por la cámara del microcontrolador en las aplicaciones. Se procederá a definir los siguientes conceptos:

- Sistema de gestión de bases de datos MySQL
- Script
- Python
- Servidor Web
- MQTT
- NodeJS
- Bluetooth
- Android

2.1 Hardware

Se conoce como hardware a todas las componentes físicas y electrónicas de un sistema o equipo tecnológico, el cual permite la fácil interacción con los usuarios o el medio que lo rodea.

2.1.1 Raspberry Pi Model 3 B+

Es un ordenador de placa reducida (en inglés: **Single Board Computer** o **SBC**), el cual posee características de un microcontrolador, ya que cuenta con pines de entrada y salida, los cuales permiten establecer comunicación con cualquier modulo electrónico para realizar prototipos de bajo costo.

Está constituida por una arquitectura RISC (en inglés: **Reduced Instruction Set Computer**). Es decir, usa un sistema de instrucciones realmente simple, el cual optimiza el proceso de realizar tareas a cambio de un mínimo consumo de energía.

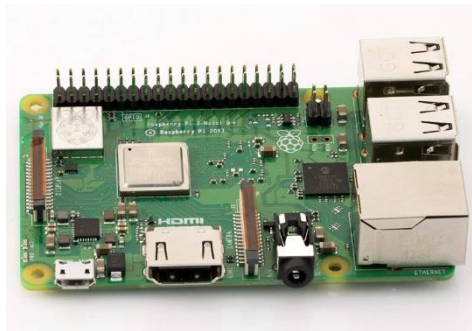


Figura 2.1: Raspberry Pi Model 3 B+.

2.1.1.1 Sistema Operativo

Una Raspberry Pi corre un sistema operativo basado en Linux, adaptado para un procesador ARM. Inicialmente solo había una distribución, adaptada para la RPI, Raspbian, el cual es basado en Debian. Pero, actualmente, hay muchas más distribuciones como Pidora, basada en Fedora, RetroPie, para *retrogaming*, Pi MusicBox para *streaming* de música, LibreELEC y KODI para televisión inteligente, OpenMediaVault para servidores NAS, KODI. Además, las RPI recientes tienen el poder de levantar un sistema operativo basado en Windows 7 y Windows 10 adecuados para el procesador ARM. [13]

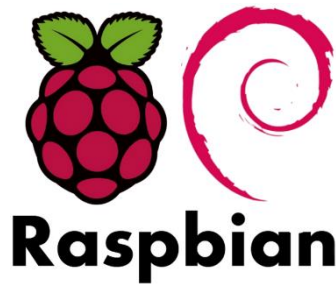


Figura 2.2: Logotipo de Raspbian.

2.1.1.2 Características

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la Raspberry Pi Model 3 B+ [14]

| | |
|---------------------------------|---|
| Procesador | Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC |
| Frecuencia de reloj | 1.4GHz |
| Memoria | 1GB LPDDR2 SDRAM |
| Conectividad inalámbrica | 2.4GHz/5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac Bluetooth 4.2, BLE |
| Conectividad de red | Gigabit Ethernet over USB 2.0 (300 Mbps de máximo teórico) |
| Puertos | GPIO (40 pines) HDMI 4x USB 2.0 CSI (para la cámara oficial de Raspberry Pi o módulos compatibles) DSI (pantalla táctil) Toma de audio/video compuesto Micro SD Micro USB (para alimentación) Power over Ethernet (PoE) |

La Raspberry Pi Model 3 B+ cuenta con una frecuencia de reloj de 1.4 Ghz para sus cuatro núcleos, lo que le permite optimizar el proceso de ejecución de tareas. Además, posee conectividad Gigabit Ethernet sobre USB 2.0, permitiendo transferencia de datos de hasta 300Mbps.

Una de las características que resalta de este ordenador son sus puertos GPIO, ya que es posible la adhesión de módulos electrónicos para formar prototipos de alto y bajo nivel, en los que se pueden establecer diversos protocolos de

comunicaciones como UART, SPI, I2C, entre otros. Incluso es posible establecer comunicación con cámaras para cualquier tipo de monitoreo o grabación de vídeo. [14]

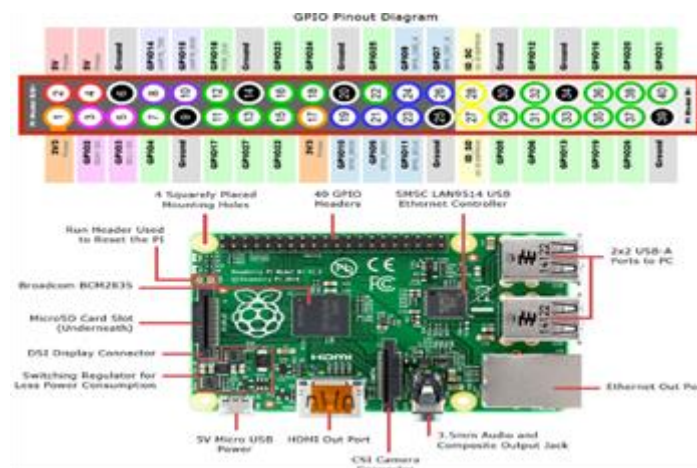


Figura 2.3: Diagrama de pines GPIO de la Raspberry Pi Model 3 B+.

2.1.2 Módulo GPS NEO-6M v2

Es un módulo electrónico que funciona en un rango de alimentación de 3.0 a 5.0 [V]. Este módulo adquiere diversas métricas relacionadas a la posición en la que se encuentre en formato NMEA, tales como: latitud, longitud, velocidad, altitud, número de satélites que están siendo rastreados, entre otras. Se maneja bajo una comunicación asíncrona (UART).

Cuenta con 4 pines, los cuales permiten su comunicación con un microcontrolador designado, estos son:

- VCC
- GND
- TX
- RX



Figura 2.4: Módulo GPS NEO-6M v2.

2.1.2.1 Formato NMEA

NMEA consiste en oraciones, cuya primera palabra, llamada tipo de datos, define la interpretación del resto de la oración. Cada tipo de datos tendría su propia interpretación única, y se define en el estándar NMEA. La oración GGA muestra un ejemplo que proporciona datos de arreglos esenciales. Otras oraciones pueden repetir parte de la misma información, pero también proporcionarán nuevos datos. Cualquier dispositivo o programa que lea los datos puede observar la oración de datos en la que está interesado y simplemente ignorar otras oraciones que no le interesan [15].

Un ejemplo de recepción de datos en formato NMEA es el que se muestra a continuación:

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9
,M,,*47
```

donde:

Tabla 2.2 Desglose de datos en formato NMEA.

| SIMBOLOGIA | DESCRIPCION |
|--------------------|------------------------------------|
| GGA | Información de fijación de GPS |
| 123519 | Fijación tomada a las 12:35:19 UTC |
| 4807.038, N | Latitud 48 grados 07.038' N |
| 01131.000,E | Longitud 11 grados 31.000'E |
| 1 | Calidad de Fijación |

| | |
|----------------------|---|
| 08 | Número de Satélites que están siendo rastreados |
| 0.9 | Dilución horizontal de la posición |
| 545.4 , M | Altitud, Metros, por encima del nivel medio del mar |
| 46.9, M | Altura del geoide (nivel medio del mar) por encima del elipsoide WGS844 |
| (campo vacío) | Tiempo en segundos desde la última actualización DGPS |
| (campo vacío) | Número de identificación de la estación DGPS |
| *47 | Los datos de la suma de comprobación siempre comienzan con * |

2.1.3 Cámara Raspberry Pi

El módulo electrónico posee una resolución de 5 megapíxeles, y está diseñado únicamente para Raspberry Pi. Dicho modulo tiene la capacidad de captar imágenes de 2592x1944 y también es compatible con formatos de vídeo desde 1080p30 hasta 640x480p60/90. Se enchufa directamente con el conector CSI de la Raspberry Pi que se encuentra en la parte superior, dicho conector es de uso exclusivo para conexión de cámaras.

Las dimensiones de este módulo son de 25mm x 20mm x 9mm y pesa alrededor de 3 gramos, debido a que su tamaño es reducido su implementación para soluciones tecnológicas de video vigilancia es óptima.

Este módulo posee las siguientes características:

- 1,4 μm X 1,4 μm píxeles con tecnología OmniBSI de alto rendimiento (alta sensibilidad, baja diafonía, ruido bajo)
- Tamaño óptico de 1/4"
- Funciones de control de imagen automáticas:
 - Control automático de exposición (AEC)
 - Balance de blancos automático (AWB)

- Filtro de banda automático (ABF)
 - Calibración del nivel de negro automático (ABLC)
 - Controles programables para la velocidad de fotogramas, AEC / AGC 16 zonas / posición / control de peso, espejo y lado, recorte, ventanas, y el panorama
 - Puerto de vídeo digital (DVP) Interfaz de salida en paralelo
 - 32 bytes de memoria programable una sola vez incorporada (OTP)
- [16]

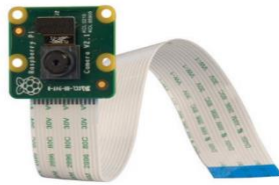


Figura 2.5: Cámara Raspberry Pi.

2.1.4 Buzzer 5VDC

Es un dispositivito que genera un zumbido a una frecuencia de 2.3kHz al conectarse a un rango de 3.5 [V] a 5 [V]. Soporta temperaturas desde -20°C a 45°C. Posee un alto de 9.5mm y diámetro 12mm. [17]



Figura 2.6: Buzzer 5VDC.

2.1.5 Actuadores

En general, un actuador es un dispositivo electrónico capaz de transformar una forma de energía (puede ser eléctrica o hidráulica) en la activación de un proceso que genere efectos dentro de un proceso automatizado. Estos reciben instrucciones desde una unidad de control para su respectivo accionar, influyendo directamente sobre la salida de un sistema de control. Como ejemplos, tenemos los servomotores, válvulas, o zumbadores.

2.1.5.1 Mini Servo SG90

Este dispositivo posee las siguientes características [18]:

- Dimensiones: 23x12.2x29mm
- Velocidad sin carga: 0.12 segundos / 60 grados (4.8V); 0.10 segundos / 60 grados (6.0V)
- Torque: 1.6 kg · cm (4.8V)
- Rango de temperatura: -30 a +60 °C
- Configuración de zona muerta: 5 microsegundos
- Rango de voltaje: 3.5V a 6V
- Grados de rotación: 180



Figura 2.7: Micro Servo SG90.

2.1.6 Tarjeta Micro SD

Es una tarjeta de memoria la cual se puede alojar cualquier tipo de información, existen de diferentes espacios de memorias y distintas marcas. Usualmente son usadas para ampliar la capacidad de almacenamiento de smartphones, tablets, etc.

También se las utiliza como unidad de almacenamiento para microcontroladores como Arduino o Raspberry, esta última es importante el uso de una de dichas unidades, debido a que en la tarjeta SD se carga el Sistema Operativo el cual trabajará la Raspberry y cualquier configuración extra o Scripts realizados se cargaran dentro de la SD.



Figura 2.8: Tarjeta Micro SD de 32GB y adaptador de Micro SD.

2.2 Software

Es el conjunto de instrucciones o programas que educa de manera óptima a un sistema o equipo tecnológico para realizar tareas específicas y permite la comunicación de toda su infraestructura física, aquí se derivan una gran variedad de conceptos como: scripts, aplicaciones, programas, etc. [19]

2.2.1 MySQL

Es un gestor de base de datos relacional de código abierto, el cual permite almacenar información en forma de registros, especificando los tipos de datos de cada campo que se desea guardar. Cabe recalcar que

es importante especificar una llave primaria para, de esta manera, identificar en forma única cada línea en la tabla.

MySQL fue programado en C y C++ y una de sus características principales es la manera en la que se acopla a diferentes entornos de desarrollo de programación, permitiendo su interacción con los lenguajes más utilizados como PHP, Perl, Java y Python y su integración en distintos sistemas operativos. [20]

2.2.2 Script

Es un archivo de órdenes o pequeño programa en el cual se puede optimizar procesos al ejecutarlos o permiten la comunicación de módulos electrónicos con un microcontrolador, estos pueden ser escritos en distintos lenguajes de programación como Perl, Java, Python, etc.

Usualmente son archivos en texto plano y estos pueden ser programados para cualquier Sistema Operativo, teniendo en cuenta que la extensión del archivo a ejecutarse cambiara por ejemplo para Windows son muy comunes los scripts *.bat mientras que en Linux es común el Shell Script (*.sh). [21]

2.2.3 Python

Es un lenguaje de programación de semántica dinámica, orientada a objetos es muy usado para la implementación de scripting debido a sus extensas librerías que permiten programar de diversas maneras, ya sea creando interfaces gráficas o facilitando la comunicación de módulos electrónicos con la RPI. La sintaxis es muy similar a los lenguajes de programación como C y Java, es de fácil aprendizaje. Python hace hincapié en la legibilidad y, por lo tanto, reduce el costo del mantenimiento del programa, admite la integración de módulos y paquetes. [22].

2.2.4 Servidor Web

Un servidor Web es una computadora que requiere de una conexión de red, ya sea local o publica para distribuir páginas web, su función principal es almacenar procesar y mostrar el contenido de la información a los usuarios usando el protocolo HTTP como transferencia de información entre diferentes servicios. [23]

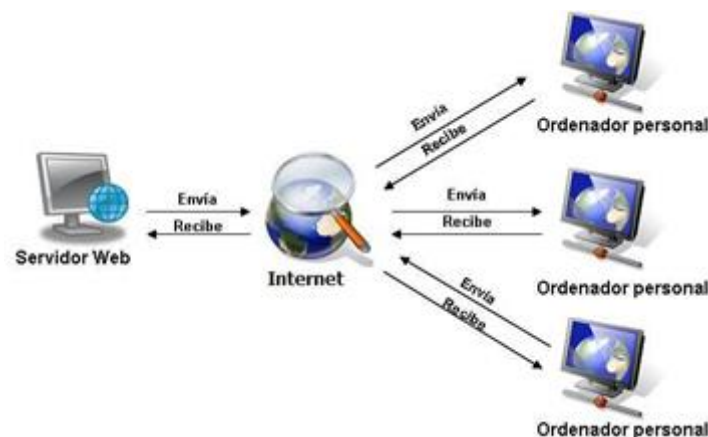


Figura 2.9: Funcionamiento general de un servidor web.

2.2.5 MQTT

Es un protocolo para la comunicación máquina a máquina en el internet de las cosas, una de las ventajas de implementar el protocolo MQTT es debido su reducido consumo de ancho de banda y consume pocos recursos de CPU y RAM. En cuanto a su implementación se recomienda que sea en una topología estrella con simplemente un nodo central, el cual será encargado hacer de servidor permitiendo gestionar la red y transmitir los mensajes para mantener activo el canal. [24]

2.2.6 NodeJS

NodeJS es un *runtime* para desarrollo web, basado en el lenguaje de programación de JavaScript. Se pueden integrar diversos frameworks tales como ExpressJS para el desarrollo de aplicaciones web poderosas y escalables. [25]

2.2.7 Bluetooth

Es un estándar implementado para la transmisión de datos entre dos dispositivos que tengan el mismo medio de comunicación, una de las características de esta comunicación es que se debe realizar a una distancia menor a 10 m y es unidireccional, es decir en la comunicación uno de los dispositivos tiene que ser esclavo y el otro maestro. [26]

2.2.8 Android

Es un sistema operativo usualmente implementado para dispositivos móviles, esta basado en el sistema operativo Linux, también es conocida por ser una herramienta para el desarrollo de aplicaciones su lenguaje de programación está fundamentado en Java, el cual está orientado a objetos, una de las características del sistema operativo es que es completamente gratuito. [27]

2.3 Costo del proyecto

A continuación, se presenta una tabla especificando el costo de las unidades electrónicas que se necesitaran para la implementación de un solo dispositivo que será colocado en la unidad escolar con sus respectivos valores.

Tabla 2.3 Costos de la implementación del proyecto.

| Descripción | Cantidad | Valor |
|-------------------------|-----------------|--------------|
| Kit de Raspberry | 1 | \$50 |
| Tarjeta SD 32 GB | 1 | \$20 |
| Modulo Neo-6M v2 | 1 | \$24 |
| Cámara 5 MP | 1 | \$25 |
| Buzzer | 1 | \$0.50 |
| Resistencias | 4 | \$0.10 |
| Jumpers | 10 | \$1.00 |

| | | |
|---|---|----------|
| Cargador inalámbrico Salida: 5 [V], 2.1[A] | 1 | \$20 |
| TOTAL | | \$140.60 |

CAPÍTULO 3

3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

3.1 Descripción General

Este proyecto tendrá como finalidad la mejora en el actual funcionamiento del disco de pare abatible de las unidades de transporte de COPOL, promoviendo su uso y generando conciencia sobre las leyes que rigen sobre esta señal embebida y mejorando así la seguridad de los usuarios del servicio de transporte escolar.

La solución pretende integrar tres funciones que los clientes de COPOL consideran una mejora a su actual implementación y uso. Estas son:

- La integración de un sistema de grabación de vídeo activado utilizando GPS y la velocidad de la unidad para el monitoreo de la vía al momento de desplegar el disco de pare abatible.
- Activar un mecanismo de alarma al momento de encontrarse en el radio próximo a una de las paradas del recorrido de la unidad.
- Realizar la apertura del disco de pare abatible de la unidad de manera automática.

A la vez, se desarrollarán en paralelo una aplicación web y móvil, con el fin de que el usuario del sistema pueda observar la cantidad total de infractores del disco de pare abatible, con la opción de filtrado por fecha, o por ubicación para una correcta segmentación de esta información. Estos datos se actualizarán en tiempo real.

En primer lugar, se presentará un diagrama de bloques que especifica con mayor detalle el funcionamiento del sistema, luego una descripción de los módulos y librerías instaladas en la Raspberry Pi Model 3 B+, y después un bosquejo de la instalación del sistema en la unidad de transporte escolar. Los respectivos

diagramas del circuito serán expuestos y detallados. Finalmente, se expondrán los diferentes casos de uso, y la interacción del usuario al momento de definir los parámetros que utilizará el sistema, tales como la gestión de la información recolectada por el sistema integrado a cada unidad.

La solución está constituida por una unidad de control y procesamiento de datos (Raspberry Pi Model 3 B+), una cámara a ser integrada en el exterior de la unidad de transporte, un actuador (servomotor en el prototipo), y las aplicaciones web y móvil (Android) integradas a un servidor web y de base de datos remotos que podrán ser utilizadas desde un smartphone, tablet u ordenador con acceso a Internet.

3.2 Descripción detallada de la solución

3.2.1 Ubicación de los componentes del sistema

Los componentes del sistema se ubicarán en la unidad de transporte de la siguiente manera:

- La unidad central de control y procesamiento de datos (Raspberry Pi Model 3 B+) será ubicada en una caja negra en la parte inferior del asiento del conductor. El módulo GPS será embebido a esta caja.
- La cámara para Raspberry Pi será instalada en el disco de pare abatible utilizando el respectivo extensor para la interfaz CSI de la RPI.
- El actuador será fijado en el tablero del conductor (servomotor en el prototipo), proveyendo un mecanismo para que el botón de apertura y cierre del pare abatible sea activado a partir de las señales enviadas desde la RPI.

3.2.2 Operación del sistema fuera del radio de parada

El sistema estará validando de manera continua la ubicación y velocidad de la unidad, utilizando los datos adquiridos por el módulo GPS. Mientras esta se encuentra fuera del radio de alguna parada, se mantendrá fijo el

modo manual de apertura y cierre en caso de necesitarse. La cámara de vídeo permanece apagada durante estos tramos del recorrido.

3.2.3 Operación del sistema dentro del radio de parada

Cuando el sistema detecta que la unidad se encuentra en un radio próximo a la parada, la alarma para la apertura del disco pare abatible empezará a sonar. Para efectos prácticos, fijamos el radio de parada en 10m, y el de aproximación a la parada en 100m en la vía. Esto con el fin de compensar cualquier error introducido en la adquisición de la ubicación y velocidad utilizando el módulo GPS de la unidad. Cuando el conductor se encuentra totalmente detenido, el sistema realizará la apertura automática del disco de pare abatible y la cámara de vídeo embebida a la señal se activará. En este momento se realizará la captura de vídeo de la vía, y la detección de los conductores infractores de la señal hasta en vías bidireccionales. Esto se consigue mediante la implementación de un algoritmo escrito en Python, utilizando OpenCV para la detección de vehículos cuyo reverso se presente alejando de la referencia definida por la cámara y cuya delantera se vea aproximando a esta. La referencia es trazada a partir de la ubicación del disco pare en relación a la vía, y esta línea es fija en cada iteración de apertura de la cámara de vídeo.

3.2.4 Gestión de rutas, paradas, e información adquirida por el sistema

Las rutas y paradas serán precargadas a la Raspberry Pi previo al inicio del recorrido de la unidad. Las infracciones se almacenarán en la base de datos remota, pudiendo visualizar la información en los aplicativos web y móvil desarrollados para dicho fin.

3.2.4.1 Consulta del número de infractores de la señal de pare abatible

La información de interés, tal como el número de conductores infractores de la señal de pare abatible, será mostrada en el *dashboard* principal de las aplicaciones, pudiendo ser filtradas por ubicación, o fecha de la infracción.

3.2.5 Diagramas de bloques.

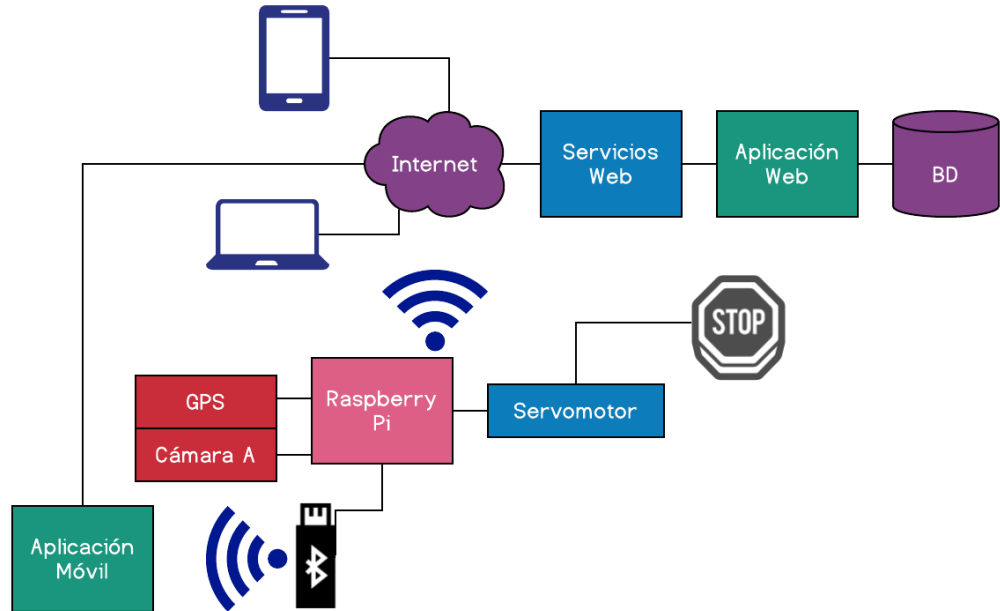


Figura 3.1: Diagrama de bloques de la solución.

El diagrama de bloques presentado en la Figura 3.1 describe la interconexión de los diferentes componentes al momento de la operación del mismo. De esta manera, la comunicación entre la Raspberry Pi y el smartphone con la aplicación móvil se realiza mediante Bluetooth LE. Esto es con la finalidad de independizar la Raspberry Pi de la conexión a Internet para poder publicar nuevas infracciones a los servicios web designados.

La Raspberry Pi se encuentra directamente conectada a tres componentes, cada uno con una función designada: el módulo GPS, la cámara de vídeo, y el servomotor, este último como parte emulada del mecanismo de apertura/cierre del pare abatible de las unidades. El módulo GPS se encontrará recolectando datos de ubicación y de velocidad en tiempo real, y enviándolas a la Raspberry Pi mediante comunicación serial previamente configurada en la SBC. Se verifica si la unidad se encuentra dentro del rango de las coordenadas de cada una de las paradas, y si la velocidad registrada por el módulo GPS se encuentra

dentro de los límites de velocidad de parada (cercana o igual a 0 km/h) para proceder con la apertura de la señal de pare abatible. Una vez realizada esta apertura, la RPI procederá a la activación de la cámara para dar inicio a la grabación de vídeo de la vía. Después de un tiempo prudencial para la parada, el disco procederá a cerrarse, y la cámara de vídeo a apagarse. Así, se reanuda la medición de las coordenadas y velocidad del módulo GPS para reiniciar este proceso. Nótese que, en este momento, dado que las validaciones próximas a la parada previa comenzarán a fallar, el sistema activará el modo manual para la apertura y cierre del disco mediante las botoneras adjuntas a la RPI. El fin de esto es poder utilizar la señal en paradas o en casos de emergencia.

Una vez llegado al terminal de buses escolares del COPOL, se realizará la sincronización de los datos a través del Internet, con una conexión inalámbrica previamente configurada en la unidad. El fin de esto es cargar cualquier modificación que se haya realizado a la unidad de transporte previo al siguiente recorrido.

El smartphone poseerá conexión a Internet a través de la red celular o de Wi-Fi para sincronizar los datos con el servidor. Cualquier interacción del usuario para la gestión de rutas también se mantendrá sincronizada mediante un mecanismo de publicación-subscripción entre las aplicaciones web y móvil utilizando el servidor como bróker MQTT.

En el lado del servidor, se visualizan tres componentes interconectados entre sí: la base de datos MySQL que retiene la información de las rutas, paradas e infracciones, la aplicación web desarrollada con el framework Express JS, y los servicios web en la forma de un REST API que permitirá tanto a la aplicación móvil como a la Raspberry Pi acceder y registrar la información pertinente a los infractores de la vía.

3.2.6 Diagrama de circuito

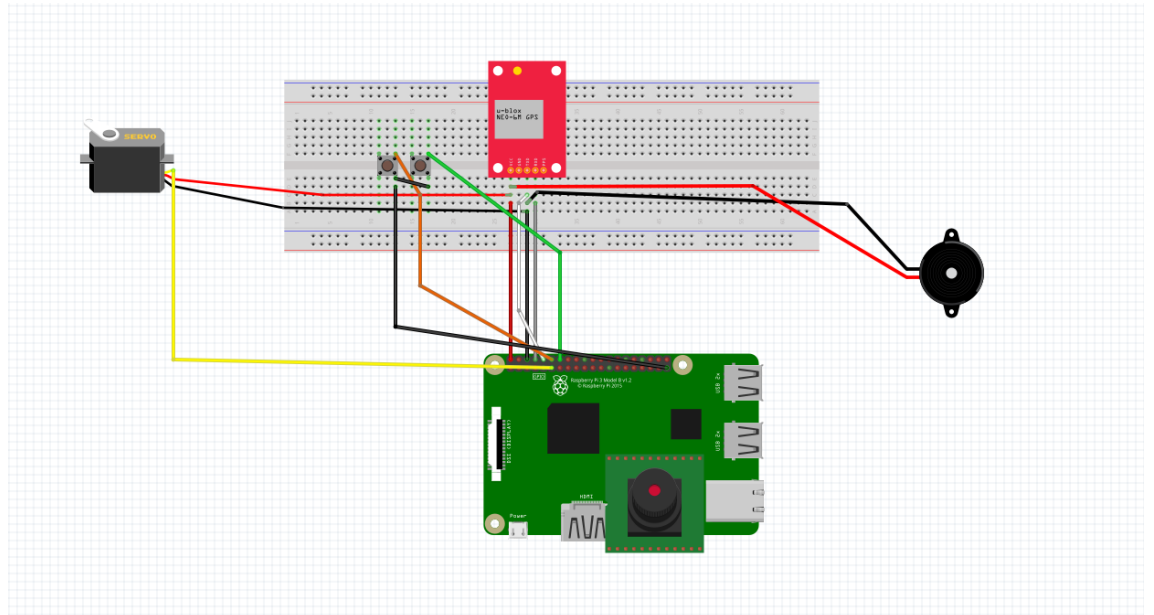


Figura 3.2: Diagrama del circuito.

3.2.6.1 Conexiones entre componentes

A continuación, en la Tabla 3.1, se presentan las funciones de cada pin de la cámara Raspberry Pi, con el fin de detallar las conexiones presentadas en la Figura 3.2. En la Tabla 3.2, se presentan las diferentes conexiones entre el módulo GPS, la cámara para RPI, las botoneras y el servomotor al módulo Raspberry Pi.

Tabla 3.1: funciones de cada pin de la cámara Raspberry Pi. [28]

| Pin | Nombre | Propósito |
|-----|----------|-------------|
| 1 | Ground | Ground |
| 2 | CAM1_DN0 | Data Lane 0 |
| 3 | CAM1_DP0 | |
| 4 | Ground | Ground |
| 5 | CAM1_DN1 | Data Lane 1 |
| 6 | CAM1_DP1 | |
| 7 | Ground | Ground |
| 8 | CAM1_CN | MIPI Clock |
| 9 | CAM1_CP | |

| | | |
|----|----------|--------------|
| 10 | Ground | Ground |
| 11 | CAM_GPIO | |
| 12 | CAM_CLK | |
| 13 | SCL0 | I2C Bus |
| 14 | SDA0 | |
| 15 | +3.3V | Power Supply |

Tabla 3.2: conexiones de pines entre el módulo GPS y el servomotor con el GPIO de la Raspberry Pi.

| Pin del módulo GPS | Pin GPIO de la Raspberry Pi |
|-------------------------------|------------------------------------|
| VCC | 3.3V PWR (1) |
| TX | UART0 RX (10) |
| RX | UART0 TX (8) |
| GND | GND (6) |
| Pin del servomotor | Pin GPIO de la Raspberry Pi |
| VCC | 5V PWR (2) |
| SIGNAL | GPIO 5 |
| GND | GND (6) |
| Pin del indicador | Pin GPIO de la Raspberry Pi |
| VCC | GPIO 17 |
| GND | GND(6) |
| Pines de las botoneras | Pin GPIO de la Raspberry Pi |
| VCC | GPIO 27(ON) |
| GND | GND(6) |
| VCC | GPIO 22(OFF) |
| GND | GND(6) |

3.2.7 Librerías y dependencias instaladas en la Raspberry Pi Model 3 B+

3.2.7.1 OpenCV 4.0.1

OpenCV (Open Computer Vision Library) es una librería de código abierto para la visión por ordenador y el aprendizaje de máquinas construida con el fin de

proveer una infraestructura común para aplicaciones que requieran visión artificial, incluyendo aplicaciones comerciales al ser un producto desarrollado bajo licencia BSD. Particularmente, la librería posee soporte para usarse con múltiples lenguajes de programación, incluido Python. [29] Para su efecto, se importa la librería mediante la línea

```
import cv2
```

Procediendo a utilizar funciones para el reconocimiento de objetos [30], descritas en la documentación, [31] tales como:

- `VideoCapture()` - Función utilizada para abrir la cámara de la Raspberry Pi y realizar una captura de vídeo.
- `imshow(winname, mat)`: muestra una imagen dada por **mat** en la ventana especificada por **winname**.
- `waitKey(1)`: espera por el press de una tecla con delay de 1 milisegundo.
- `destroyAllWindows()`: método que destruye todas las ventanas utilizadas por el script.

3.2.7.2 GPSD

Es una librería de código abierto que permite la manipulación de los datos obtenidos del módulo GPS, para la instalación de la librería se usó la siguiente línea de comando:

```
sudo apt-get install python gpsd gpsd-clients
```

Se usaron ciertos parámetros obtenidos del módulo GPS para realizar las validaciones de posición y velocidad del bus escolar, se implementaron las siguientes funciones correspondientes de la librería:

`gpsd.fix.latitude`: se obtiene la latitud del módulo GPS en tiempo real.

`gpsd.fix.longitude`: se obtiene la longitud del módulo GPS en tiempo real.

`gpsd.fix.speed`: se obtiene la velocidad del módulo GPS en tiempo real.

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se tomaron en consideración ciertos criterios de evaluación para verificar el correcto funcionamiento del sistema automatizado del pare abatible, se elaboró un plan de pruebas (Apéndice D) para evaluar cada componente de manera individual y grupal. Estos componentes fueron probados bajo diferentes escenarios, donde se obtuvieron los mismos resultados. Sin embargo, el ciclo de ejecución de cada componente fue distinto.

Con la finalidad de reconocer con mayor detalle la funcionalidad de cada componente, se ha procedido a separarlos a nivel de hardware o software, permitiendo así un criterio más formado para la evaluación de las partes que conforman la solución.

A continuación, se enlistarán las características relevantes de la solución final, las cuales fueron sometidas a pruebas para verificar su correcto funcionamiento.

4.1 Hardware

- Validación GPS
- Apertura del Disco Pare Manual o Automática
- Monitoreo de infractores (cámara de 5MP)
- Sistema de Alarma

4.2 Software

4.2.1 Aplicación web

- Operación del servidor remoto y de los servicios web configurados.
- Operaciones sobre la base de datos alojada en el servidor remoto.

- Consulta de la información capturada por la cámara instalada en el dispositivo (conteo de infractores con sus respectivos filtros).
- Añadir información de infractores en la base de datos del servidor remoto utilizando los servicios web configurados.
- Sincronización con el servidor remoto.

4.2.2 Aplicación móvil

- Operación del servidor remoto y de los servicios web configurados.
- Operaciones sobre la base de datos alojada en el servidor remoto.
- Consulta de la información capturada por la cámara instalada en el dispositivo (conteo de infractores con sus respectivos filtros).
- Navegación en tiempo real usando el GPS del smartphone.
- Verificación de la conexión Bluetooth entre la Raspberry Pi y el smartphone para el paso de información.
- Añadir información de infractores en la base de datos del servidor remoto utilizando los servicios web configurados.
- Sincronización con el servidor remoto.

4.2.3 Base de datos

- Comunicación directa a través de TCP en el puerto 3306 con la aplicación web.
- Consistencia del modelo antes y después de las operaciones a realizarse en la base de datos.

4.3 Descripción de los componentes

4.3.1 Validación GPS

Usando el módulo electrónico GPS NEO 6M V2 se obtendrá las coordenadas (latitud, longitud) del bus escolar en tiempo real y se compara con información almacenada en una base de datos de las paradas del bus escolar, es decir esta información estará precargada, también se tendrá en cuenta la velocidad, debido a que el módulo nos brinda dicha información.

4.3.2 Apertura del disco pare manual o automática

Si la posición del bus escolar tomada por el módulo GPS concuerda con la parada registrada en el gestor de base de datos, entonces la apertura del disco pare deberá ser automática, también se evaluará el escenario en el cual el sistema de apertura automática falle, entonces el conductor tendrá la opción de activar la señalización mediante un *switch*.

4.3.3 Monitoreo de infractores

Una vez activado el disco pare, la cámara se encargará de monitorear los vehículos que no respeten la señalización llevando un conteo de estos y registrando el número de infractores en nuestra base local. La activación de la cámara se hará mediante un script escrito en Python dentro de la Raspberry Pi que usará la librería OpenCV para la identificación de infractores, y una conexión al smartphone a través de Bluetooth para el envío de datos al aplicativo móvil.

4.3.4 Sistema de alarma

Antes de la apertura del disco pare sonará una alarma indicando al estudiante de dicha parada, que se prepare para desalojar la unidad escolar, la alarma tendrá una duración de 5 segundos.

4.3.5 Aplicación web

La aplicación web tiene como finalidad proveer una interfaz para que el usuario pueda realizar la consulta de datos sobre infractores de la señal de pare abatible de todas las unidades, y filtrarlas por fecha o ubicación. Además, se configuraron servicios web para interactuar con la base de datos relacional desarrollada en MySQL, usando MQTT como protocolo para sincronizar los datos siempre que el dispositivo móvil recupere la conexión a Internet. Cada vez que el dispositivo registre una infracción mediante la cámara, la información es actualizada tan pronto el aplicativo móvil pueda sincronizarse con el servidor remoto.

4.3.6 Aplicación móvil

La finalidad de la aplicación es la de establecer una conexión Bluetooth LE entre la Raspberry Pi y el smartphone para el envío de datos de infractores en tiempo real, y su posterior registro mediante los servicios web configurados. Esto se hace con el fin de que el dispositivo alocado en la unidad de transporte pueda registrar nuevos datos sin la necesidad de conexión a Internet. Al registrarse una infracción, esta se almacenará en la base de datos local del dispositivo, en espera de sincronización una vez el smartphone recupere su conexión. La sincronización con el servidor remoto se hará mediante los servicios web previamente configurados y MQTT como protocolo para los mecanismos de publicación y suscripción entre los componentes del sistema.

4.3.7 Base de datos

Los cambios del usuario sobre la base no deben de afectar la integridad de los datos, y la sincronización a través de múltiples dispositivos se realizará a través de MQTT, teniendo al servidor como bróker.

4.4 Resultados

4.4.1 Funcionamiento del módulo GPS y los mecanismos de apertura y cierre del pare abatible

Se puede observar que, en 9 de 10 paradas, el sistema automático de apertura funcionó correctamente, presentando un 90% de efectividad. El único fallo se presentó en la parada de Las Naves. El sistema únicamente falló debido a un error de comunicación entre el módulo GPS y el conjunto de satélites para la geolocalización. Se registró el uso de la apertura manual en 1 parada. Esto se debió a que la comunicación entre el módulo de geolocalización y el satélite con el cual se encontraba intercambiando la información de las coordenadas en tiempo real se vio interferida, ya sea por edificios altos cercanos a la unidad, o a que el bus escolar se encuentre en una zona forestal.

Tabla 4.1: Resultados de la prueba del módulo GPS y los mecanismos de apertura y cierre del pare abatible

| CALLE | APERTURA AUTOMATICO | APERTURA MANUAL | SISTEMA DE ALARMA | INDICADOR |
|-----------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| URBANIZACION GIRASOL | X | - | X | - |
| LAS NAVES | - | X | | X |
| SEGUNDA ACERO | X | - | X | - |
| AURELIO URAGA GUILLÉN | X | - | X | - |
| ISMAEL PEREZ CASTRO | X | - | X | - |
| LUIS ADRIANO DILLON | X | - | X | - |
| JAIME PUIG AROSEMENA | X | - | X | - |
| EL ORO | X | - | X | - |
| JOAQUIN GALLEGOS LARA | X | - | X | - |
| ALBERTO GUERRERO MA. | X | - | X | - |

4.4.2 Funcionamiento de la cámara y del registro de infractores



Figura 4.1. Entorno de simulación desarrollado para el prototipo de alto nivel ubicado en la unidad de transporte escolar.

En el caso de la cámara, se realizaron pruebas de identificación y registro de infractores en vehículos de menor escala, con el fin de probar la precisión del algoritmo para la detección de vehículos. Se procedió a ensamblar un entorno de simulación alrededor del prototipo de alto nivel desarrollado, derivando en los siguientes resultados:

Tabla 4.2: Resultados de la primera prueba del registro de infractores (simulada).

| PARADA | APERTURA DE LA CÁMARA | MONITOREO DE INFRACTORES | CONTEO DE INFRACTORES | NÚMERO REAL DE INFRACTORES |
|------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|
| RESIDENCIA | X | X | 16 | 10 |

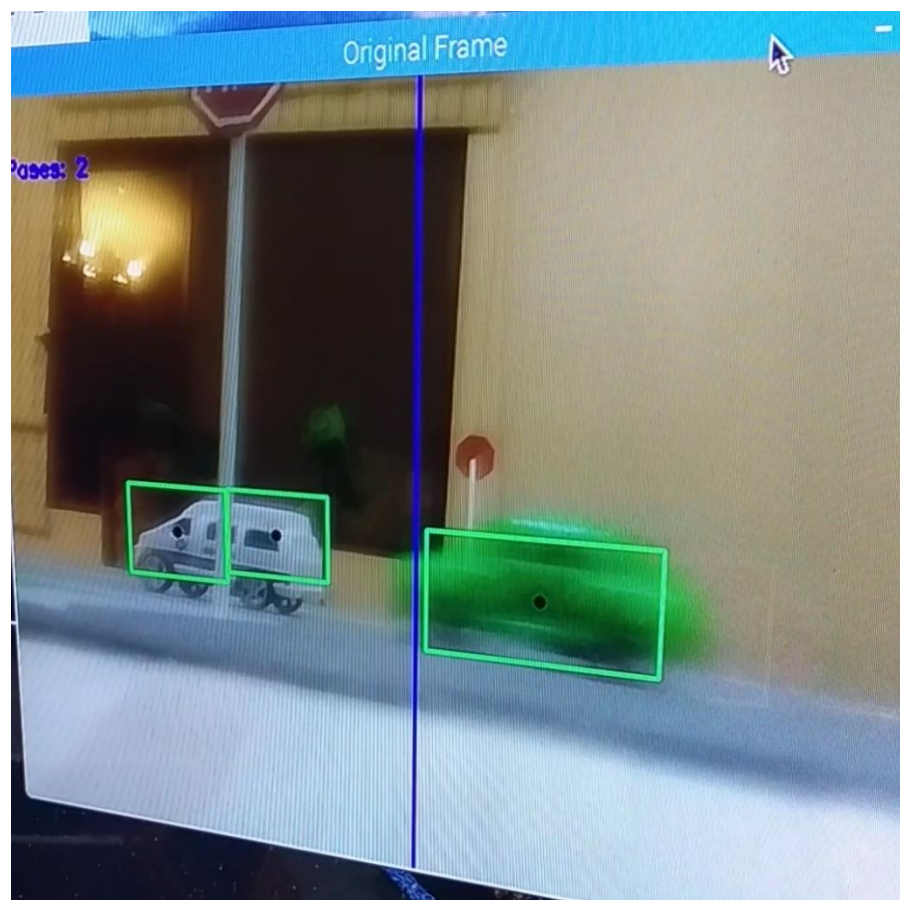


Figura 4.2. Registro de infractores mediante el algoritmo de reconocimiento de vehículos.

Evidentemente esta singular prueba mostró un hecho efectivo: el algoritmo de identificación y conteo de vehículos necesitaba calibrarse para poder entregar resultados más fidedignos. Varios de los fallos identificados se pueden agrupar en cuatro grupos muy importantes:

- Conteo erróneo de infractores derivado de la forma identificada (vehículos con más de un centroide).
- Conteo erróneo derivado de vehículos circulando a alta velocidad requieren un seguimiento más preciso, ya que los centroides se desvanecen ocasionalmente en estas instancias.
- Conteo erróneo derivado de la escala de los vehículos. Este es un factor primordial, pues un vehículo de mayor tamaño podría ser identificado erróneamente como más de un infractor debido a la cantidad de centroides generados en torno.
- Conteo erróneo derivado de la detección de ciertos elementos del ambiente, tales como árboles o personas en movimiento. Estos eran identificados de manera errónea, resultando también en falsos positivos detectados por el sistema.

Con la respectiva calibración, se procedieron a modificar parámetros relacionados a el cuadro mínimo de detección, lo cual suprimió la identificación errónea de otros elementos del *frame*, y tal como se presenta en la Figura 4.2, vehículos que circulan a alta velocidad son correctamente anotados. Estos resultados se muestran a continuación:

Tabla 4.3: Resultados de la segunda prueba del registro de infractores (simulada).

| PARADA | APERTURA DE LA CÁMARA | MONITOREO DE INFRACTORES | CONTEO DE INFRACTORES | NÚMERO REAL DE INFRACTORES |
|------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|
| RESIDENCIA | X | X | 9 | 10 |

A pesar de no sobrepasar el umbral del 90% de efectividad, el algoritmo presentó un mejor desempeño que en la prueba inicial. Futuras modificaciones deberán ser consideradas para pruebas en entornos reales.

4.4.3 Funcionamiento del registro de datos de infractores en el servidor remoto

Como último paso del sistema, el registro de nuevos infractores debía ser insertado correctamente en la base de datos del servidor remoto, utilizando los servicios web configurados mediante la aplicación móvil. Previo a esta prueba, se aseguró que la conexión Bluetooth LE entre smartphone y Raspberry Pi se estableciera sin mayores contratiempos.

Los resultados de la prueba (simulada) fueron los siguientes:

Tabla 4.4: Resultados de la prueba del registro de infractores al servidor remoto (simulada).

| PARADA | CONEXIÓN BLUETOOTH ENTRE SMARTPHONE Y RPI | TRANSMISIÓN DE INFRACCIÓN (CONEXIÓN A INTERNET) | PUBLICACIÓN DE INFRACCIÓN (SERVICIOS WEB) | NÚMERO DE INFRACTORES |
|-----------------------|---|---|---|-----------------------|
| URBANIZACIÓN GIRASOL | X | X | X | 7 |
| LAS NAVES | X | X | | 4 |
| SEGUNDA ACERO | X | X | X | 2 |
| AURELIO URAGA GUILLÉN | X | X | X | 1 |
| ISMAEL PEREZ CASTRO | X | X | X | 2 |

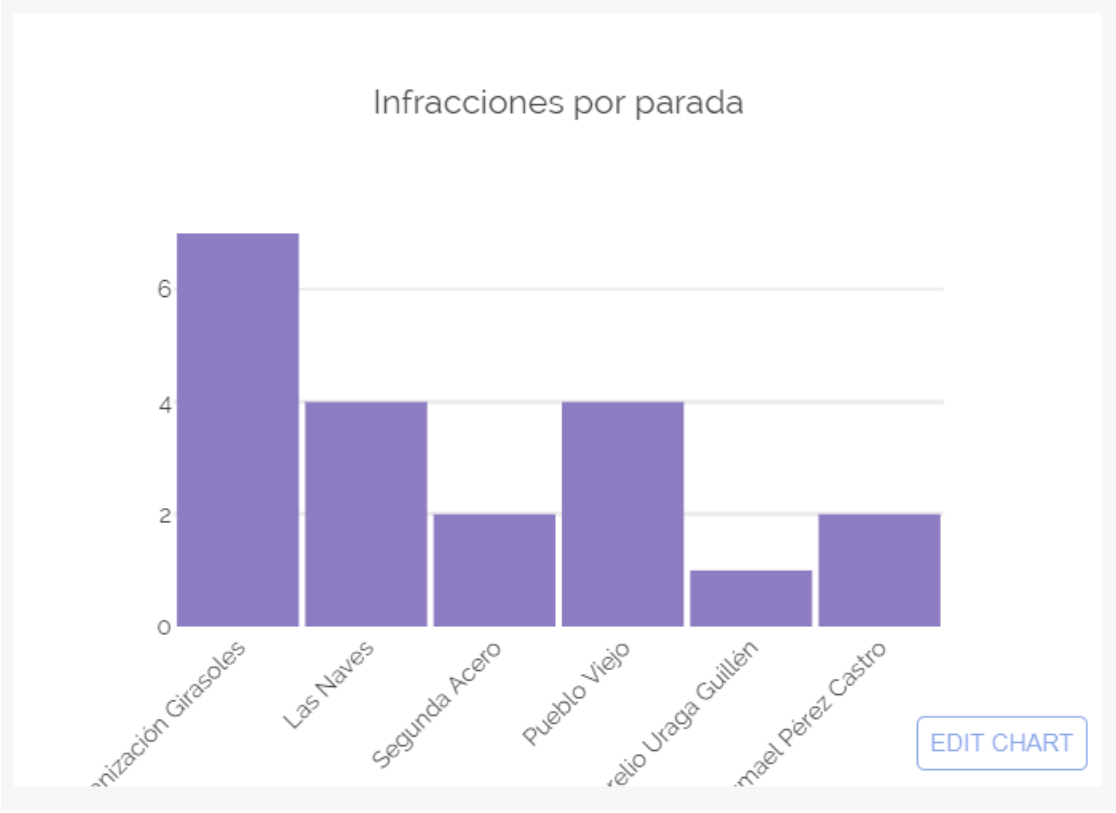
De acuerdo a la Figura 4.4, el conteo de infractores para estos sectores fue realizado de manera exitosa, y su registro en la base de datos también fue realizado de manera satisfactoria. Estos resultados se actualizaron en tiempo real tanto en el aplicativo web como en el móvil, y las pruebas muestran que,

mientras exista conexión al Internet de parte del dispositivo móvil, toda nueva infracción podrá ser registrada y mostrada de manera correcta.

Figura 4.3. Registro total de infractores capturados por el sistema y gráfico del número de infractores por día.



Figura 4.4. Gráfico de barras del número total de infractores por sector.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La comunicación por Bluetooth LE entre el módulo principal y el smartphone permite el manejo eficiente de la energía consumida por la unidad central, extendiendo el tiempo de operación significativamente.

El costo total de la implementación de la solución es de 140.60 USD, sin tomar en cuenta extensores para el cable CSI de la cámara. Es posible que el costo aumente si se requiere otra cámara, si se añade circuitería adicional que interactúe directamente con el mecanismo de apertura/cierre del disco de PARE abatible, o si los requerimientos energéticos del sistema llegaran a cambiar (mayor tiempo de operación).

Con la información recolectada, la escuela podría utilizar el número de infractores para generar campañas de concientización sobre el uso de la señal de PARE abatible. Estas campañas podrían realizarse en conjunto con residentes de los sectores con mayor cantidad de infractores, conductores y ciudadanía en general.

Para aplicaciones con fines regulatorios de la normativa vigente (por ejemplo, la emisión de multas), el algoritmo de reconocimiento de imágenes debería ser modificado para realizar el registro de la placa de los vehículos infractores. El ángulo de la cámara también deberá ser ajustado para cumplir dicho fin (o incorporar una segunda cámara de vídeo).

Esta solución posee sustentabilidad económica en la forma de soporte técnico y desarrollo adicional. Además, existe el área de oportunidad en la cual las unidades de transporte escolar deberán incorporar completamente la señal de PARE abatible y, por ende, su uso eficiente a través del sistema.

RECOMENDACIONES

Se recomienda optimizar el algoritmo de reconocimiento de imágenes utilizando técnicas de aprendizaje de máquina, o mejor afinación de parámetros para la correcta identificación de vehículos. Si bien las formas eran captadas adecuadamente, ciertos objetos o peatones eran también capturados, derivando en lecturas de infracciones erróneas, y reduciendo la efectividad del sistema.

De igual manera, se espera que en futuros proyectos pueda integrarse el sistema con mecanismos existentes de apertura y cierre del disco de pare, estos pueden ser circuitos electrónicos externos que interactúen con la circuitería de la unidad de transporte.

Podría considerarse una sincronización activa de las coordenadas capturadas por el GPS del smartphone y las de la Raspberry Pi para dar mayor precisión a las validaciones de ubicación y de velocidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] United States Department of Transportation – National Highway Traffic Safety Administration, School Bus Safety. [Online]. Disponible en: <https://www.nhtsa.gov/road-safety/school-bus-safety>
- [2] United States Department of Transportation – National Highway Traffic Safety Administration, (January 2017) School-Transportation-Related Crashes [Online] Disponible en: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/2015_school-transportation-related_crashes_traffic_safety_fact_sheet.pdf
- [3] Brenna Kelly – Kentucky Teacher, (October 2017) It's not just a stop sign [Online]. Disponible en: <https://www.kentuckyteacher.org/features/2017/10/its-not-just-a-stop-sign/https://www.kentuckyteacher.org/features/2017/10/its-not-just-a-stop-sign/https://www.kentuckyteacher.org/features/2017/10/its-not-just-a-stop-sign/>
- [4] Kevin Yarr – CBC News, (October 2018) Extended stop signs could improve school bus safety [Online]. Disponible en: <https://www.cbc.ca/news/canada/prince-edward-island/pei-school-bus-stop-arms-1.4882064>
- [5] El Tiempo, (diciembre del 2016) Conductores escolares piden respeto al disco pare [Online]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com.ec/noticias/cuenca/2/404316>
- [6] Ernesto Cruz – Diario El Universo, (agosto 2018) Tasa de fallecidos por accidentes de tránsito en Ecuador ha aumentado en el 2018 [Online]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/08/17/nota/6908768/tasa-mortalidad-accidentes-transito-ecuador-ha-aumentado-2018>
- [7] Andrea Medina, Washington Benalcázar – Diario El Comercio, (agosto 2018) Exceso de velocidad e impericia causan más fallecidos este 2018 en Ecuador [Online]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/exceso-velocidad-impericia-accidentes-muertes.html>

- [8] Agencia Nacional de Tránsito – Dirección de Estudios y Proyectos, (octubre 2018) Siniestros septiembre 2018 [Online]. Disponible en: <https://www.ant.gob.ec/index.php/descargable/file/5872-siniestros-septiembre-2018>
- [9] Diario La Hora, (enero 2016) Buses escolares deberán de instalar disco de Pare. [Online]. Disponible en: <https://lahora.com.ec/noticia/1101909327?platform=hootsuite/noticia>
- [10] Eifeh Strom – asmag.com – Global Security Web, (October 2018) How technology is making school buses safer [Online]. Disponible en: <https://www.asmag.com/showpost/26353.aspx>
- [11] Nicole Schlosser – School Bus Fleet, (August 2018) Texas District Installs Stop-Arm Cameras, Other Tech on School Buses [Online]. Disponible en: <https://www.schoolbusfleet.com/news/731076/texas-district-installs-stop-arm-cameras-other-tech-on-school-buses>
- [12] SEON, A Safe Fleet Brand, (2018) Automated Stop-arm Camera Solution [Online]. Disponible en: <https://www.seon.com/school-bus-safety/school-bus-camera-systems/stop-arm-system>
- [13] Introducción a Raspberry Pi – Que es, precio, arquitectura, ejemplos [Online]. Disponible en: <http://centripio.io/introduccion-a-raspberry-pi-que-es-precio-arquitectura-ejemplos/>
- [14] Raspberry Pi 3 Model B+, análisis: más potencia y mejor WiFi para un miniPC que sigue asombrando [Online]. Disponible en: <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>
- [15] NMEA data [Online]. Disponible en: <https://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm#MSK>
- [16] Electronilab, Cámara para Raspberry Pi 5MP – Genérica [Online]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/camara-para-raspberry-pi-5mp/>
- [17] ABC Proyectos Electrónicos, Buzzer o Zumbador [Online]. Disponible en: <https://www.abcelectronica.net/productos/transductores/buzzer/>
- [18] Tinytronics, SG90 Mini Servo [Online]. Disponible en: <https://www.tinytronics.nl/shop/en/motors/motor/sg90-mini-servo>

- [19] BusinessDictionary, What Is Software? [Online] Disponible en: <http://www.businessdictionary.com/definition/software.html>
- [20] esepestudio, ¿Qué es MySQL? [Online]. Disponible en: <https://www.esepestudio.com/noticias/que-es-mysql>
- [21] Ubuntu Fácil, ¿Qué es un Script? [Online]. Disponible en: <http://www.ubuntufacil.com/2013/03/que-es-un-script/>
- [22] Python, What Is Python? Executive Summary [Online]. Disponible en: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>
- [23] <https://economictimes.indiatimes.com/definition/web-server>
- [24] Geeky Theory, ¿Qué es MQTT? [Online]. Disponible en: <https://geekytheory.com/que-es-mqtt>
- [25] Página oficial de NodeJS [Online]. Disponible en: <https://nodejs.org/en/about/>
- [26] Sparkfun: Start something, What is Bluetooth? [Online]. Disponible en: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics/all>
- [27] Xataka Android, ¿Qué es Android? [Online]- Disponible en: <https://www.xatakandroid.com/sistema-operativo/que-es-android>
- [28] Peter J. Vis, Raspberry Pi CSI Interface Connector Pinout [Online]. Disponible en: https://www.petervis.com/Raspberry_Pi/Raspberry_Pi_CSI/raspberry-pi-csi-interface-connector-pinout.html
- [29] Página oficial de OpenCV: <https://opencv.org/about.html>
- [30] hackster.io, Counting Objects In Movement Using Raspberry PI & OpenCV [Online]. Disponible en: <https://www.hackster.io/phfbertoleti/counting-objects-in-movement-using-raspberry-pi-opencv-015ba5>
- [31] Documentación oficial de OpenCV 4.0.1 [Online]. Disponible en: <https://docs.opencv.org/4.0.1/>

APÉNDICES

APÉNDICE A

VALIDACIÓN DEL CLIENTE DEL PROTOTIPO DE BAJA RESOLUCIÓN

Encuesta realizada a la administradora para la validación del prototipo de bajo nivel

NOMBRE: *Karina Lorena Mazzini Falcone*

1. Está de acuerdo con las operaciones que realizará el proyecto mediante el Story Board Mostrado?

Sí No

2. Hay alguna acción que no le guste?

Sí No

En caso de que sea No. ¿Por qué?

3. Existe algún cambio que mejoraría nuestro proyecto?

Sí No

En caso de que sea Sí Explique:

4. ¿Está de acuerdo con el sistema de alarma como advertencia de que la activación del disco pare es próxima a realizarse de manera automática y la activación de un indicador para indicarle al conductor que la próxima parada la apertura del disco pare debe ser manual?

Sí No

En caso de que sea No, que otro método usaría para advertir al conductor del bus escolar que la activación del disco pare es manual o automática?

5. Su calificación al sistema propuesto es:

Excelente Regular Malo

Correo: *mazzk@netmail.com*

Firma: *Karina Mazzini*

APÉNDICE B

VALIDACIÓN DEL CLIENTE DEL PROTOTIPO DE ALTA RESOLUCIÓN

Encuesta realizada a la administradora para la validación del prototipo de alto nivel

NOMBRE: *Karina Mazzini Falconi*

1. Hay cambios que se deben realizar en el proyecto?

Sí _____

No _____

En caso de que sea Sí. ¿Por qué?

2. Cree usted que el proyecto es de gran utilidad para mejorar e incentivar el uso del disco pare?

Sí _____

No _____

En caso de que sea No, Explique:

3. ¿Cree que el diseño de carcasa (caja) donde están los dispositivos conectados es de su agrado?

Sí _____

No _____

Porque?

Están ubicados en el lugar preciso y de manera segura.

4. Si Nuestro proyecto estuviera disponible, usted lo recomendaría usarlo?

Sí _____

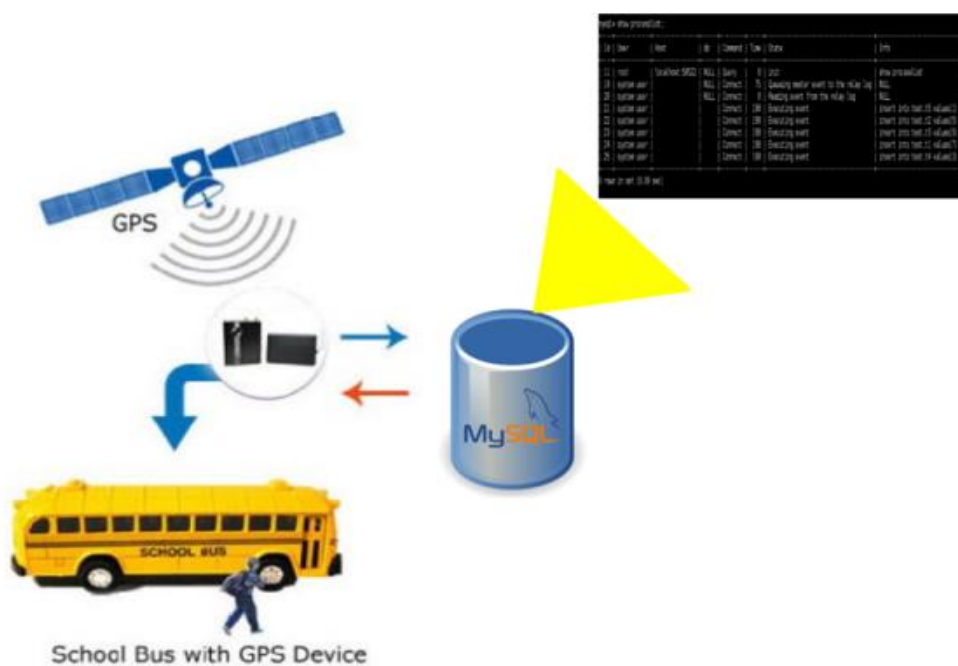
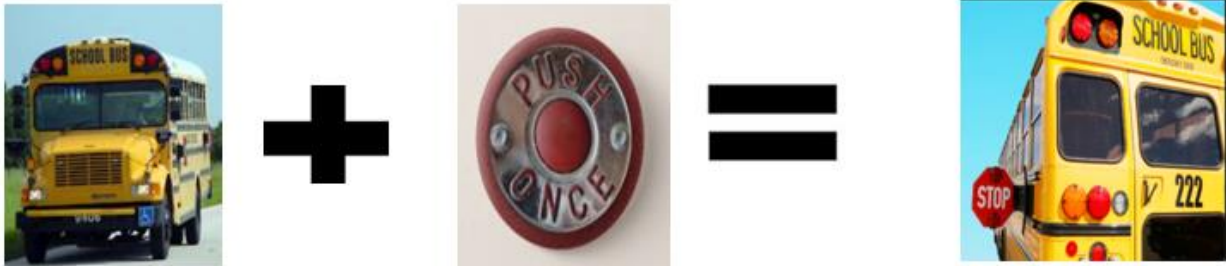
No _____

Correo: *mazzini@hot mail.com*

Firma: *Karina Mazzini F.*

APÉNDICE C

PRIMER BOSQUEJO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA SOLUCIÓN (PROTOTIPO DE BAJA RESOLUCIÓN)



APÉNDICE D

PLAN DE PRUEBAS

Estrategia para realizar las pruebas

La Unidad Educativa Primaria COPOL cuenta con alrededor de 20 unidades escolares para facilitar el traslado de los estudiantes a sus hogares, cada unidad representa un recorrido en particular compuesta de varias paradas.

Se escogió la ruta 3, debido a que la mayoría de sus paradas son fuera de urbanizaciones, es decir la unidad escolar es más propensa a recibir cualquier rebasamiento imprevisto por cualquier conductor, ya sea que la unidad este en movimiento o estacionado, de esta manera se podrá obtener una mayor visualización en cuanto al número de infractores.

Para obtener información exacta acerca de las paradas de la Ruta 3, se acompañó a la unidad escolar en su recorrido y mediante un celular con internet se procedió a tomar las coordenadas de cada uno de los puntos de los hogares de los estudiantes, actualmente esta ruta consta de 14 paradas y mediante la aplicación web **Coordenadas Geográficas en Google Maps** se obtuvo la siguiente información:

| CALLE | LATITUD | LONGITUD |
|-----------------------|------------|-------------|
| URBANIZACION GIRASOL | -2.1938936 | -79.9422798 |
| LAS NAVES | -2.2129977 | -79.9407657 |
| SEGUNDA ACERO | -2.2139465 | -79.9351321 |
| PUEBLO VIEJO | -2.2193738 | -79.9362509 |
| AURELIO URAGA GUILLÉN | -2.2189706 | -79.9297048 |
| ISMAEL PEREZ CASTRO | -2.2151425 | -79.9262459 |

| | | |
|------------------------------|---------------|----------------|
| LUIS ADRIANO DILLON | -2.209986 | -79.9268878 |
| JAIME PUIG AROSEMENA | -2.2110258 | -79.9222921 |
| SAMBORONDON | -2.1921547 | -79.9144856 |
| NICOLAS SEGOVIA | -2.2005617 | -79.906996 |
| CARCHI | -2.2019913 | -79.9000922 |
| EL ORO | -2.2098724 | -79.9030714 |
| JOAQUIN GALLEGOS LARA | -2.2131397852 | -79.9075864707 |
| ALBERTO GUERRERO MA. | -2.2119656 | -79.9086345 |

Una vez obtenida las direcciones de las calles con sus respectivas coordenadas, se procederá a configurar nuestro gestor de base de datos local para luego proceder con las respectivas pruebas, el criterio de evaluación será el siguiente:

- La apertura del disco pare será automática al menos en el 70% del número de paradas, debido a que el módulo GPS presenta un margen de error, ya que obtiene información variada de los satélites.
- La opción de apertura manual será validada en todo instante del recorrido y no deberá tener interferencia alguna con la apertura automática.
- El sistema de alarma tendrá el mismo porcentaje de funcionamiento que el módulo GPS, ya que su activación es dependiente de la validación de las coordenadas.
- El sistema de monitoreo de infractores será activado en todas las paradas, ya que depende de la apertura del disco pare.

Preparación para las pruebas

Al momento de comenzar con las pruebas del dispositivo, se debe tener en cuenta las siguientes características:

- Verificar que todas las paradas se encuentren precargadas en la base de datos local del dispositivo.

- Conseguir un cargador o batería portátil para alimentar la Raspberry Pi, procurar que la salida de la batería o cargador sea de 5[V], 2.1[A] o 5[V], 2.5[A].
- Comprobar que los scripts del sistema funcionen correctamente (servidor remoto y Raspberry Pi).
- Verificar la disponibilidad del servidor remoto.
- Revisar la conexión Bluetooth entre la Raspberry Pi y el smartphone.

Ejecución de las pruebas

Es importante tener en cuenta que en ciertos casos una u otra componente quede inhibida ya sea por error del sistema o fallas técnicas que presenta el circuito de los módulos que integran el sistema, presentando de esta manera ciertos escenarios de funcionamiento exclusivo del dispositivo.

A continuación, se detallarán cada uno de los casos probados mediante una tabla de operación de los módulos electrónicos.

ESCENARIO 1

| OPERACIÓN | CORRECTA | INCORRECTA |
|------------------------------------|----------|------------|
| MODULO GPS | X | |
| APERTURA AUTOMATICA DEL DISCO PARE | X | |
| APERTURA MANUAL DEL DISCO PARE | - | |
| MONITOREO DE LA CAMARA | X | |
| SISTEMA DE ALARMA | X | |
| INDICADOR | - | |

El primer escenario describe el correcto funcionamiento de cada uno de las componentes electrónicas, es decir la unidad escolar al momento de llegar a la parada, el módulo GPS tomara sus coordenadas en tiempo real y estas serán comparadas con

las coordenadas de nuestra base local para verificar si el punto de estacionamiento es el correcto, en caso de que el punto sea correcto sonará una pequeña alarma con una duración de 5 segundos la cual indicara que la apertura de la señalización será próxima e instantáneamente se procederá con la activación del disco pare de manera automática, teniendo en cuenta que la activación de la señal de tránsito fue exitosa entonces la cámara comenzara a monitorear todo aquellos conductores que hagan caso omiso del disco pare y una vez tomado un conteo de todos ellos el sistema almacenara el número de infractores en la base de datos local.

ESCENARIO 2

| OPERACIÓN | CORRECTA | INCORRECTA |
|------------------------------------|----------|------------|
| MODULO GPS | | X |
| APERTURA AUTOMATICA DEL DISCO PARE | | X |
| APERTURA MANUAL DEL DISCO PARE | X | |
| MONITOREO DE LA CAMARA | | X |
| SISTEMA DE ALARMA | | X |
| INDICADOR | X | |

A continuación se describirá el segundo escenario, el cual indica un error por parte de la geo localización GPS y por consiguiente no se podrá contar con el sistema de alarma, tampoco con la activación automática de la señalización de tránsito, debido a que depende de la validación del módulo localizador, pero el sistema cuenta con un switch (ON, OFF) que permite la apertura del disco pare de manera manual, antes de eso se encenderá un indicador de color rojo, el cual advierte al conductor que deberá hacer uso del switch para que se active la señalización de la unidad escolar.

ESCENARIO 3

| OPERACIÓN | CORRECTA | INCORRECTA |
|------------------------------------|----------|------------|
| MODULO GPS | X | |
| APERTURA AUTOMATICA DEL DISCO PARE | | X |
| APERTURA MANUAL DEL DISCO PARE | X | |
| MONITOREO DE LA CAMARA | X | |
| SISTEMA DE ALARMA | X | |

Se puede observar que el módulo GPS funciona correctamente, pero al momento de abrir la señalización esta queda inhibida por fallas que presenta el dispositivo encargado de dicha apertura.

En este escenario se podrá contar con la validación del módulo GPS y el sistema de alarma el cual indicara que la activación del disco pare es próxima y será manual por parte del conductor de la unidad escolar, también se activará la cámara para el monitoreo de los infractores y posterior almacenamiento en la base local del dispositivo.

APÉNDICE E

ARCHIVOS ADJUNTOS

- Scripts desarrollados en Python para la operación de la Raspberry Pi 3 B+.
- Código de la aplicación web y de los servicios web desarrollados sobre Express JS, framework de Node JS, en el lenguaje de programación JavaScript.
- Código de la aplicación móvil desarrollada en Android, utilizando el lenguaje de programación Kotlin.