

UNIVERSIDAD DON BOSCO

DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN A DISTANCIA



PROYECTO DE GRADUACIÓN:

Implementación de un prototipo del sistema para el monitoreo y videovigilancia de las unidades de transporte público en la ciudad de San Salvador basado en IoT y GPS

PARA OPTAR AL GRADO DE:

MAESTRO EN ARQUITECTURA DE SOFTWARE

AUTORES:

MARÍA GUILLERMINA VELASCO PÉREZ

JEOVANNI ALEXANDER HERNÁNDEZ MORALES

OSCAR NOÉ RIVERA PINEDA

ASESOR:

MG. MAURICIO ORLANDO FIGUEROA CHICAS

Antiguo Cuscatlán, La Libertad El Salvador Centroamérica

JULIO, 2022

Rector Universidad Don Bosco

Dr. Mario Rafael Olmos

Secretaria General

Inga. Yesenia Xiomara Martínez Oviedo

Director de Educación a Distancia

Mg. Eduardo Menjívar Valencia

Coordinador de la Maestría

Mg. Mauricio Orlando Figueroa Chicas

Nombre del asesor del proyecto de graduación

Mg. Mauricio Orlando Figueroa Chicas

Nombre del Lector

Mg. Denis Alfredo Altuve Santamaría

ÍNDICE

RESUMEN	1
LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	2
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1. FORMULACIÓN GENERAL	8
1.1 Valor de innovación	8
1.2 Relevancia social	9
1.3 Objetivos	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2 Objetivos específicos	10
1.4 Descripción del producto	11
1.4.1 Frontend	12
1.4.2 Backend	14
1.4.3 Equipo seleccionado para frontend	16
1.4.4 Equipo seleccionado para backend	25
CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL	27
2.1 ¿Cómo surgió la video vigilancia?	27
2.2 Videovigilancia IP	28

2.3 Sistema de Posicionamiento Global GPS	29
2.3.1 La evolución del Sistema de Posicionamiento Global o GPS	29
2.4 Google Cloud Platform	31
2.5 Cloud Storage	33
2.6 Cloud Run	35
2.7 Big Data	36
2.8 BigQuery	36
2.9 Firebase	37
2.10 Cloud Firestore	38
2.11 Realtime Database	38
2.12 Arduino	38
2.12.1 Espressif Systems	39
2.12.2 Módulo ESP-12E ESP8266 WIFI	39
2.13 Internet de las Cosas	39
2.14 ¿Cómo funciona el IoT?	40
CAPÍTULO 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	41
3.1 Principales teorías	42
3.2 Sistemas de videovigilancia y GPS disponibles en El Salvador	50
3.3 Posturas y contradicciones	52

3.4 Roadmap general de la propuesta	54
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	59
4.1 Tipos de investigación	59
4.2 Alcance y cobertura	60
4.3 Diagnóstico	68
4.4 Métodos de recolección de datos	71
4.4.1 Investigación bibliográfica	71
4.4.2 Investigación de campo	71
4.4.3 Investigación aplicada	73
4.5 Recolección y validación de datos	74
4.6 Resultados	75
CAPÍTULO 5. PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN	76
5.1 Diseño del sistema	76
5.1.1 Diagrama de comunicación: capa frontend	77
5.1.2 Arquitectura del sistema	79
5.1.2.1 Componentes sugeridos	81
5.1.3 Diagrama de clases	81
5.1.4 Base de datos	84
5.1.5 Funcionalidad en aplicación web	88

5.1.5 Diseño de frontend web	88
5.2 Desarrollo de la solución	95
5.2.1 Estructura general del proyecto	95
5.2.2 Frontend	96
5.2.2.1 Librerías comunes de Arduino	98
5.2.2.2 GPS Location	98
5.2.2.3 Captura de imágenes usando Firebase	101
5.2.3 Backend	102
5.2.3.1 Bases de datos en Firebase	102
5.2.3.2 Cloud Storage (bucket)	112
5.2.3.3 Firebase Function para creación de recorridos	113
5.2.4 APIs	117
5.2.4.1 Conversión de imagen a vídeo	117
5.2.4.2 Microservicio para obtener el contenido multimedia (URL Authenticated)	122
5.2.4.3 Google Cloud APIs	125
5.2.5 Aplicación web	128
5.2.5.1 Servidor Nginx	128
5.2.5.2 Principales funciones en Javascript	129

5.2.5.3 Páginas principales para monitoreo	132
5.2.5.4 Páginas sugeridas para desarrollar	134
5.2.6 Proceso de integración continua y despliegue continuo	135
RESULTADOS	137
Dispositivos IoT	137
Firestore como almacenamiento	139
Cloud Functions para ejecuciones basadas en eventos	142
DISCUSIONES	148
Análisis de viabilidad	148
Tecnología e innovación	148
Financiera	149
Operativa	153
Seguridad	154
Retos	155
CONCLUSIONES	158
RECOMENDACIONES	160
REFERENCIAS	162
APÉNDICE A. Preguntas incluidas en la encuesta	169
APÉNDICE B. Resultados de la encuesta	174

B.1 Datos demográficos	174
B.2 Nivel de seguridad actual	178
B.3 Cambios por sistema de GPS y videovigilancia proyectados	189
APÉNDICE C. Guía de entrevista al director de Tránsito Terrestre	195

RESUMEN

El transporte colectivo es el medio de transporte más utilizado por los salvadoreños, es por esto que desde el Viceministerio de Transporte (VMT) se deben hacer esfuerzos para garantizar que el transporte público sea seguro y eficiente. En la actualidad, este servicio es provisto por la empresa privada, pero existe un nivel de intervención del estado a través de subsidios, ley de transporte, regulaciones a los precios de los pasajes, entre otros, por lo cual podría ser factible emprender un proyecto de geolocalización y videovigilancia en cada unidad del transporte.

La presente propuesta, expone un sistema que permitirá conectar las unidades de transporte colectivo a un único sistema central que brindará la capacidad de monitorear la ubicación, y transmitir imágenes en tiempo real, utilizando dispositivos configurados a la medida, basados en microcontroladores de bajo costo, como el ESP32 o el Esp8266 que transmitirán la geolocalización, y el ESP32-CAM que transmitirá imágenes de múltiples cámaras hacia la nube de Google Cloud Platform (GCP).

Adicionalmente, se detallan las especificaciones técnicas y funcionalidad requerida de los procesos que reciben la ubicación e imágenes de videovigilancia de las unidades del transporte y la preparan para poder presentar esta información en tiempo real.

Incorporar videovigilancia y ubicación en tiempo real de las unidades de transporte colectivo en el área metropolitana de San Salvador proveerá de herramientas e información de primera mano al VMT y la Policía Nacional Civil (PNC) para poder planificar los esfuerzos de brindar seguridad y a la misma vez mejorar el servicio del transporte colectivo para que sea más eficiente y organizado.

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

AGC: Control Automático de Ganancia, por sus siglas en inglés

AMSS: Área Metropolitana de San Salvador

API: Interfaz de Programación de Aplicaciones, por siglas en inglés

AT: Transmisión Automática, por sus siglas en inglés

BaaS: Backend como un Servicio, por sus siglas en inglés

BLC: compensación de contraluz, por sus siglas en inglés

CAM: Cuerpo de Agentes Metropolitanos

CF: Función de la Nube, por sus siglas en inglés

CI/CD: Integración Continua/Desarrollo Continuo, por sus siglas en inglés

CCTV: Circuito Cerrado de Televisión, por sus siglas en inglés

CSJ: Corte Suprema de Justicia

DHCP: Protocolo de Configuración Dinámica de Host, por sus siglas en inglés

DOM: Modelo de Objeto de Documento, por sus siglas en inglés

DUI: Documento Único de Identidad

DVR: Grabador de Video Digital, por sus siglas en inglés

DWDR: Rango Ancho Dinámico Digital, por sus siglas en inglés

FGR: Fiscalía General de la República

FUSADES: Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social

GCP: Plataforma de la Nube de Google, por sus siglas en inglés

GPRMC: Información de tiempo, fecha, posición, curso y velocidad; por sus siglas en inglés

GPRS: Servicio General de Paquetes vía Radio, por sus siglas en inglés

GPS: Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés

GSM: Sistema Global de Comunicaciones Móviles, por sus siglas en inglés

GTFS: Especificación General de Flujo de Información de Tránsito, por sus siglas en inglés

HTTP: Protocolo de Transferencia de Hipertexto, por sus siglas en inglés

HTTPS: Protocolo Seguro de Transferencia de Hipertexto, por sus siglas en inglés

HDCVI: Interfase Compuesto de Video de Alta Definición, por sus siglas en inglés

HLC: Compensación Resalte, por sus siglas en inglés

IDE: Entorno de Desarrollo Integrado, por sus siglas en inglés

IP: Protocolo de Internet, por sus siglas en inglés

ITS: Sistema de Tránsito Inteligente, por sus siglas en inglés

IUDOP: Instituto Universitario de Opinión Pública

IaaS: Infraestructura com un Servicio, por sus siglas en inglés

IFSEC: Exhibición y Conferencia Internacional de Fuego y Seguridad, por sus siglas en inglés

IoT: Internet de las Cosas, por sus siglas en inglés

JSON: Notación de Objeto de Javascript, por sus siglas en inglés

LED: Diodo Emisor de Luz, por sus siglas en inglés

MAC: Control de Acceso a Medios, por sus siglas en inglés

MOP: Ministerio de Obras Públicas y Transporte

MQTT: Transporte de Cola de Mensajes Telemétricos, por sus siglas en inglés

NMEA: Asociación Nacional de Electrónicos Marítimos, por sus siglas en inglés

NoSQL: Bases de Datos No Relacional, por sus siglas en inglés

NTSC: Comité Nacional de Estándares de Televisión, por sus siglas en inglés

OASIS: Organización para el Avance de Estándares de Información Estructurada, por sus siglas en inglés

OBU: Unidades a Bordo, por sus siglas en inglés

PIB: Producto Interno Bruto

PNC: Policía Nacional Civil

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PSRAM: Memoria de Acceso Aleatorio Pseudo Estática, por sus siglas en inglés

RAM: Memoria de Acceso Aleatorio, por sus siglas en inglés

RFID: Identificación por Radio Frecuencia, por sus siglas en inglés

RSU: Unidades de Control, por sus siglas en inglés

SDK: Kit de Desarrollo Estándar, por sus siglas en inglés

SITRAMSS: Sistema Integrado de Transporte del Área Metropolitana de San Salvador

SQL: Lenguaje de Consulta Estructurado, también se refiere a Bases de Datos Relacionales, por sus siglas en inglés

SRAM: Memoria de Acceso Aleatorio Estática, por sus siglas en inglés

SaaS: Software como un Servicio, por sus siglas en inglés

SLA: Contrato de nivel de Servicio, por sus siglas en inglés

TA: Autoridades de Transporte, por sus siglas en inglés

TF: Tarjeta TransFlash, por sus siglas en inglés

URL: Recurso Universal de Ubicación, por sus siglas en inglés

USB: Bus Serial de datos Universal, por sus siglas en inglés

VMT: Viceministerio de Transporte

VN: Red Vehicular, por sus siglas en inglés

WPA: Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas, por sus siglas en inglés

YAML: Yaml no es un Lenguaje de Marcado, por siglas recursivas en inglés

INTRODUCCIÓN

La mayoría de la población salvadoreña hace uso del transporte público para movilizarse en sus actividades cotidianas (Presidencia de la República de El Salvador [PRES], 2021), y por lo tanto la seguridad y el bienestar de la población durante el tránsito en dicho medio de transporte debe ser una prioridad para el gobierno de El Salvador.

El Estado, a través del Viceministerio de Transporte y la PNC han desplegado personal para verificar que se cumplan los requerimientos impuestos al transporte público, a través de controles vehiculares y ubicación de agentes de la PNC en los buses en rutas y horas en forma muestral.

En el marco de la propagación del Internet de las Cosas (IoT), surge la oportunidad de incorporar elementos a las unidades de transporte que puedan completar tales tareas de monitoreo de una forma centralizada. Dentro de los dispositivos que se pueden utilizar se encuentran cámaras web, módulos de rastreo GPS, procesadores livianos, por ejemplo, Arduino, y routers con acceso a Internet a través de redes telefónicas que se pueden comunicar constantemente con un módulo de procesamiento situado en la nube como los servicios de Google Cloud Platform. Dicha instrumentalización de las unidades de transporte público añadirá capacidades adicionales a la forma actual de control como la ubicación en tiempo real de todas las unidades de transporte, y también disponer de un monitoreo de videovigilancia dentro de las unidades desde un lugar remoto.

A continuación, se presenta una propuesta para incorporar módulos de geolocalización a través de GPS y videovigilancia en los buses y microbuses en el gran San Salvador, soportadas por una aplicación central alojada en la nube; adicionalmente, se mencionan los beneficios que la

aplicación proporcionará al VMT y a la PNC, y la forma de aprovechar la funcionalidad brindada por la solución propuesta.

CAPÍTULO 1. FORMULACIÓN GENERAL

1.1 Valor de innovación

La implementación del proyecto puede permitir que el servicio de transporte público brindado en las unidades tenga una mejoría en aspectos fundamentales de este tipo de servicios como lo son:

1. La seguridad, mediante el monitoreo en tiempo real de lo que sucede dentro de las unidades será posible que las autoridades actúen de manera más efectiva a los delitos que ocurren en su interior.
2. Control de rutas, mediante el uso de la tecnología GPS será posible mejorar el control de las rutas que las unidades de transporte siguen, lo cual podría evitar que los motoristas realicen desviaciones que no son permitidas en sus recorridos.
3. Actualmente el gobierno de El Salvador está luchando por dar un subsidio a los empresarios dueños de flota de vehículos, usados en transporte público, de manera justa. Para ello, deben validar que las unidades realmente están en funcionamiento y que están cumpliendo sus recorridos. Este proyecto podría ayudarles a monitorear de mejor manera y controlar los pagos de subsidios por unidad.
4. Mejora en el servicio al público, por medio del uso de todo un sistema integrado de video vigilancia y elementos de IoT, el proyecto puede brindar una herramienta que permita realizar análisis para el incremento de las unidades de transporte colectivo en horas que son más demandadas por la población, de esta manera se evitan las aglomeraciones y se mejora en gran medida el servicio brindado a los usuarios.

1.2 Relevancia social

Aportes del proyecto mediante su implementación:

- Aportes esperados del prototipo:
 - Monitoreo en tiempo real de una unidad de transporte mediante un algoritmo.
 - Trazabilidad de rutas mapeadas según su recorrido registrado.
 - Escaneo de las unidades mediante fotografía de videovigilancia.
 - Base de datos con registros geográficos.
 - Interfaces de integración con otras aplicaciones.
- Aportes esperados al Viceministerio de transporte público (al hacer efectiva la implementación de la propuesta):
 - Que el sistema propuesto pueda identificar la posición exacta de una unidad del transporte público en tiempo real.
 - Que el sistema propuesto pueda proveer en tiempo real el acceso a videocámaras de una unidad de transporte con el fin de elaborar estrategias de asignación de seguridad pública a los usuarios.
 - Que el sistema propuesto pueda proveer un análisis de los tiempos y rutas con el objetivo de generar estrategias de crecimiento de más unidades de transporte público y que resulte en una mejor experiencia al usuario.
 - Que el sistema propuesto tenga la capacidad de adaptarse e integrarse, en un futuro, con otras aplicaciones para ofrecer información del estado real de las unidades de transporte público.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar el prototipo del sistema de monitoreo y videovigilancia en unidades de transporte público en la ciudad de San Salvador, basado en IoT y GPS, para ofrecer al VMT la ventaja competitiva de mejorar la seguridad y el ordenamiento en estaciones o paradas oficiales del transporte.

1.3.2 Objetivos específicos

- Establecer la planificación del proyecto que ofrezca una guía de implementación del sistema para el Viceministerio de Transporte, que permita su ejecución de manera eficiente.
- Identificar los componentes de software y hardware necesarios para el diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo y videovigilancia de las unidades de transporte público en la ciudad de San Salvador.
- Realizar el prototipo de solución, confirmando mediante resultados, que podrá ser implementado en las distintas rutas del transporte público de San Salvador.
- Ofrecer un análisis de viabilidad indicando las ventajas, desventajas y condiciones sobre las cuales es viable la implementación del proyecto.

1.4 Descripción del producto

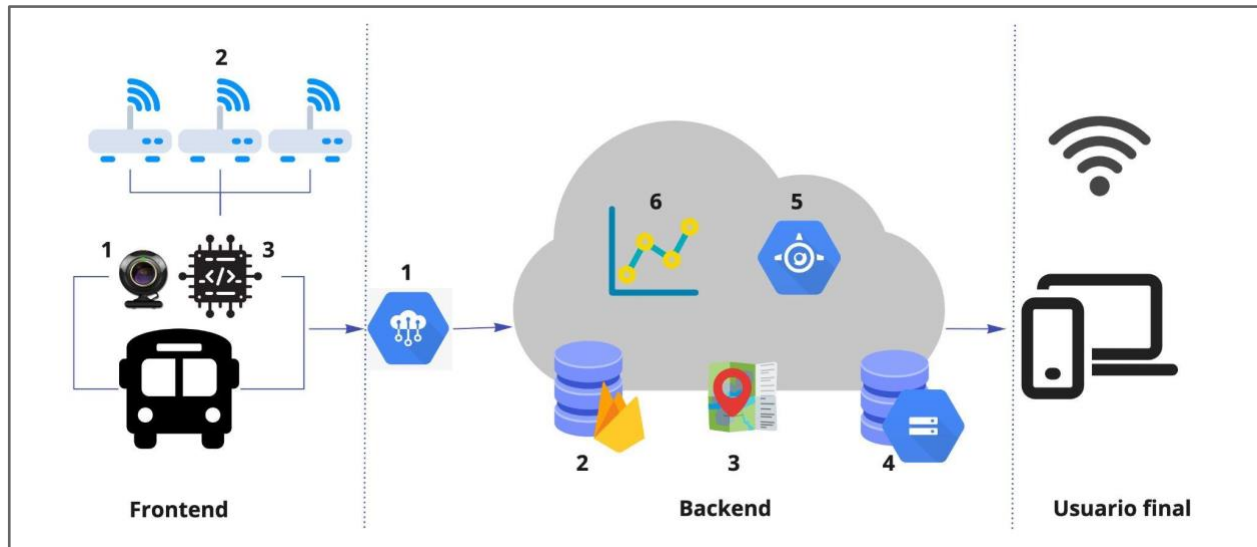
Las tecnologías existentes para geolocalización son diversas y siguen mejorándose constantemente, actualizando aquellas funciones que permitan identificar de forma más precisa la ubicación en tiempo real de personas y dispositivos. La selección de estas depende de los costos y la facilidad de integración entre los componentes requeridos para el tipo de producto a entregar.

La aplicación propuesta define como principales funciones la geolocalización y videovigilancia en tiempo real. Es un producto innovador dentro del país para las unidades de transporte público del VMT, ya que, si bien existen soluciones similares como Moovit, Waze, OnTrack Road, Uber app; no se tiene una solución aplicada controlada directamente por el VMT para el monitoreo de unidades de transporte público, lo que reciben son reportes entregados por los empresarios dueños de las flotas de vehículos, que son entregados posteriormente sin la definición exacta de un proceso de compartimiento de datos.

La implementación de este producto se divide en dos partes: la primera, que consiste en dispositivos que deben ser instalados en las unidades móviles conectadas a Internet, a esta parte se le denominará *frontend*; y la segunda, que incluye la infraestructura de monitoreo, a esta se le denominará *backend*. La figura 1 muestra los elementos que conforman la solución y a continuación se explica cada uno de ellos.

Figura 1

Diagrama de componentes del producto



Nota. Elaboración propia, año 2022.

1.4.1 Frontend

- 1. Cámaras de video:** conjunto de cámaras IP que permiten una transmisión de imagen en tiempo real a dispositivos mediante Internet. Las cámaras deben contar con opciones de configuración para el almacenamiento y backup de los videos y datos. De esa forma se puede gestionar un almacenamiento local inicial y transmitir a la infraestructura en la nube la información mediante conexiones bidireccionales.
- 2. Router inalámbrico/redes móviles:** el router es un dispositivo de redes que se encarga de identificar y enrutar los paquetes de datos entre dos o más redes facilitando su interconexión para asegurar los servicios que solicita el cliente. Existe una extensa variedad de modelos de dispositivos inalámbricos, los cuales varían según las especificaciones de portabilidad, ancho de banda, tarifas de

datos, autonomía, estética y seguridad; para el caso de uso actual, conviene invertir en routers inalámbricos portátiles, que puedan colocarse en las unidades de transporte, a su vez tener autonomía, es decir, no requerir conexión de alimentación, al menos 6 horas y una capacidad mayor a 1500 mAh, que cuenten con una ranura para tarjeta SIM, de esa forma establecer comunicación a Internet. Como alternativa, se puede utilizar redes móviles desde cualquier celular, los teléfonos inteligentes de hoy tienen un módem incorporado en su interior para traducir las frecuencias en señales eléctricas y así conectar a la red de telefonía.

- 3. Placas de desarrollo:** una unidad de microcontrolador (MCU) es una pequeña computadora autónoma que se encuentra en un solo circuito integrado o microchip adaptado sobre una placa de desarrollo que permite codificar y transformar datos en información de utilidad. Cuentan con distintos pines y sensores, así como leds que pueden servir para dar respuestas o indicar estados, están ideados para realizar tareas puntuales sin la necesidad de un sistema operativo como Linux o Windows. Existe una amplia gama de modelos que cuentan con implementaciones según el tipo de sensor incorporado, algunos pueden coleccionar la temperatura, tiempo, humedad, servir de servidores de datos, capturar imágenes, entre otros. Para la propuesta de este proyecto, será de utilidad elegir aquellas placas de desarrollo de bajo consumo que cuenten con microcontroladores que incorporan Wifi para transmitir la información y que puntualmente capturen información de geolocalización e imágenes.

1.4.2 Backend

1. **IoT:** el Internet de las cosas (IoT) describe objetos físicos que están integrados con sensores, capacidad de procesamiento, software y otras tecnologías que se conectan e intercambian datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet u otras redes de comunicación. Servirá para conectar múltiples cámaras de video y los sensores de arduino para compartir dicha información con los componentes en la infraestructura de la nube. Se tendrán que considerar elementos de seguridad para evitar que los datos sean comprometidos.
2. **Firestore database:** se requiere una base de datos de tipo geográfica que permita el almacenamiento rápido de los latitud y longitud, de igual forma representar los puntos en mapas visuales que permitan a los usuarios finales ubicar las unidades de transporte. Firestore es una plataforma de aplicaciones que almacena datos como JSON y se sincroniza con todos los clientes conectados en tiempo real por lo que es ideal para el producto a construir.
3. **Google maps API:** Google ofrece una API altamente comercializada para poder localizar activos, dispositivos en tiempo real. Esta API cuenta ya con varias opciones de integración en distintos lenguajes de programación; siendo la más fácil, a través de la infraestructura en la nube de Google, Google Cloud Platform (GCP). El costo del uso de la API depende de la cantidad de mapas y concurrencia de llamadas a la API a realizar, por lo que será un factor a proyectar.
4. **Cloud Storage:** el almacenamiento de videos es demandante por el peso (MB o GB) de cada archivo de datos, por lo que es requerido un espacio de

almacenamiento centralizado, con posibilidad de mantener los archivos en un período determinado de tiempo. GCP ofrece el servicio de almacenamiento y backups de los mismos en la nube de forma segura, de fácil gestión y escalamiento.

5. **Cloud Run:** para mostrar los mapas con la ubicación de las unidades y la salida del monitoreo en tiempo real es requerido un sitio web, que muestre mediante interfaces de usuario la información de una manera amigable. Run permite desplegar aplicaciones empaquetadas a un bajo costo, incluyendo escalabilidad e integración con firebase para la gestión de datos.
6. **BigData:** como punto final y opcional, el análisis de videos es complejo debido a que los archivos crecen rápidamente; sin embargo, si se desea hacer una comparación en los videos guardados de la videovigilancia el BigData es una alternativa altamente recomendable. Esta tecnología puede establecer estructura en los grandes volúmenes de datos de vídeo desestructurados guardados en Cloud Storage, ayudando a entender mejor patrones y tendencias significativos. Dependerá del VMT incluirlo como parte de la inversión ya que los costos de análisis podrían ser altos en base a la cantidad de videos a analizar.

Todos estos componentes concluyen transformando la información para ser presentada ante una interfaz web o móvil a usuarios administrativos del VMT que podrán identificar mejoras en el servicio de transporte público para la seguridad y distribución de unidades que abastezcan la cantidad de usuarios.

1.4.3 Equipo seleccionado para frontend

Para elegir el equipo es necesario evaluar proveedores de servicio e identificar aquellos que se ajusten mejor al producto. Las cámaras de video pueden variar en calidad, precio y características. A continuación, en la tabla 1, se hace la comparación entre tres dispositivos para capturar video que son de costo moderado o bajo, y que pueden cumplir con las necesidades del proyecto planteado.

Tabla 1

Comparación entre dispositivos para cámara de videovigilancia

Cámara Domo, Uso vehicular. HIKVISION AE-VC123T-ITS (Vigilancia inteligente [VI], 2022)	Cámara móvil 2MP WDR PoE micrófono Dahua HAC-HM3200L-F (VI, 2022)	ESP32-CAM (Waveshare, 2022)
Marca: HIKVISION Modelo: AEVC123T-ITS	Marca: DAHUA Modelo: HAC-HM3200L-F	Marca: Ai-Thinker Modelo: ESP32-S
Costo: \$72.00 sin IVA	Costo: \$37.00 sin IVA	Costo: \$20.00
Características: <ul style="list-style-type: none"> ● HD 720P HD 1MP ● Lente 2.8mm ● Distancia: 20 m 	Características: <ul style="list-style-type: none"> ● NTSC: 1920(H) x 1080(V) ● Lente: 2.8mm ● Distancia: 10 m 	Características: <ul style="list-style-type: none"> ● Módulo ESP32-S integrado, compatible con WiFi + Bluetooth

<ul style="list-style-type: none"> ● Iluminación: 0.1 Lux/F1.2 ● Rango de Temperatura (40°~75°) ● Protección IP68 	<ul style="list-style-type: none"> ● AGC, HLC, BLC, DWDR, 2D-NR ● Iluminación: 0.02Lux/F2.0, 0.002lux/F2.0(B/W) ● Anti-shock ● Salida HDCVI (Conector Aviator) ● Micrófono incorporado ● 12V corriente directa +/- 25% 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cámara OV2640 con flash ● Ranura para tarjeta TF integrada, admite tarjetas TF de hasta 4G para almacenamiento de datos ● Admite monitoreo de video WiFi y carga de imágenes WiFi ● Admite modos de suspensión múltiple, corriente de suspensión profunda de hasta 6 mA ● Se puede acceder a la interfaz de control a través de pinheader
--	--	---

Nota: Elaboración propia a partir de la información de proveedores, 2022.

Se puede inferir que la segunda opción de la tabla anterior cubre las expectativas en cuanto a un precio cómodo e integración con unidades que se encuentran en movimiento, en este caso posee anti-shock que puede ayudar a transmitir de mejor forma el video. También cabe

mencionar que elegir una opción económica en cuanto a videocámara es válido cuando se cuenta con IoT como elemento complementario para la integración de múltiples dispositivos y comunicación para la transmisión y almacenamiento de los datos.

Por otra parte, hoy en día las compañías de telecomunicaciones ofrecen routers portátiles a distintos precios el mercado, considerando la autonomía que estos tengan, las redes soportadas (2G/3G/4G/5G), portabilidad, estética y la seguridad a través de firmware. A continuación, se listan algunos modelos para comparar sus precios y características (Professional Review, 2022).

HUAWEI E5576 4G Mobile WiFi - Mobile WiFi 4G LTE (CAT4) Punto de acceso, Velocidad de descarga de hasta 150Mbps, Batería recargable de 1500mAh, No se requiere configuración, Wi-Fi portátil

- Una solución de bolsillo para conseguir WiFi a bajo precio, solo se requiere elegir la mejor opción de proveedor en el país e insertar la tarjeta SIM para conectarse. El dispositivo está completamente desbloqueado en todas las redes.
- Alta velocidad de descarga 4G a 150MB/s para disfrutar de una experiencia de WiFi.
- Crea un punto de acceso WiFi conectando hasta 16 dispositivos habilitados para WiFi, incluidos tu teléfono, portátil, tableta, consola y otros.
- Una capacidad de batería recargable de 1500 mAh, 6 horas de tiempo de trabajo, 350 horas de tiempo de espera (el tiempo real de la batería puede variar según los diferentes entornos de uso).

- Huawei 4G Mobile WiFi E5576 permite garantizar la seguridad en línea en todos los dispositivos conectados y desconectar cualquier dispositivo con solo tocar un botón.
- El precio ronda alrededor de \$60.00, más impuestos de importación.

Huawei E8372 Wingle 4G desbloqueado WiFi / modem LTE WLAN–blanco

- Huawei E8372 "wingle" está abierto a todas las redes, solo se requiere una tarjeta SIM y acepta conexiones 4G.
- Requiere ser conectado mediante puerto USB, para producir un punto de acceso WiFi, no cuenta con batería integrada, por lo que el stick debe usarse directamente en un adaptador de alimentación o bien en el puerto USB del vehículo, ya que solo necesita 5V.
- Conecta hasta 10 dispositivos de distintos tipos: computadoras, teléfono móvil, consolas de juegos, entre otros.
- Peso pequeño, delgado y ligero, conveniente para movilidad.
- Tiene una velocidad de descarga de 150 MB/s y velocidad de subida de 50 MB/s.
- El precio ronda alrededor de \$65 dólares, más impuestos de importación.

TP-Link M7000 - Router 4G móvil, Wifi MiFi 4G Cat4, 150 mbps, Batería 2000 mAh,

Conexiones hasta 10 dispositivos

- Admite la última generación de redes 4G LTE, puede alcanzar velocidades de descarga de hasta 150 MB/s y subida de 50 MB/s.

- [Comunicación WiFi fácil hasta 10 dispositivos] - Plug and play, simplemente inserte una tarjeta SIM 4G para crear su punto de acceso de doble banda. Comparta instantáneamente la conexión 4G/3G con hasta 10 dispositivos inalámbricos como tabletas, teléfonos móviles, computadoras portátiles, consolas de juegos y más.
- [Ganador del premio Red Dot Design Award] - El Mifi 3G M5350 de TP-Link ganó el premio Red Dot Design Award en 2013. Ahora el M7000 está de vuelta con el mismo diseño y con la red 4G LTE de última generación.
- [8 horas de transmisión continua de 4G]: con la potente batería de 2000 mAh, el M7000 puede funcionar durante 8 horas a plena capacidad y 600 horas en modo de espera. Para mayor flexibilidad, el dispositivo se puede cargar a través de un cable micro USB a una computadora portátil, un cargador o mediante el adaptador incluido para una conexión 4G sin fin.
- Precio alrededor de \$50.00 dólares, más impuestos de importación.

Junto a la adquisición de un router inalámbrico hay que considerar también el precio del plan de navegación (mediante SIM) que se adquirirá. Como primer acercamiento, un plan de navegación de 10 GB puede cubrir el uso de datos de los dispositivos para geolocalización y videocámara, cuyo costo ronda por los \$21.00/mensuales, según proveedores locales (Tienda en línea Claro, 2022).

En cuanto a placas de desarrollo para la geolocalización, se pueden comparar dispositivos de arduino versus dispositivos de Espressif Systems (ESP). Ambos cuentan con una variedad de

microprocesadores y placas de integración, sin embargo, se recomiendan las placas de desarrollo de ESP ya que estas cuentan con módulos de WiFi/Bluetooth que facilitan la integración en proyectos de IoT. En el mercado local se encuentran dos placas de desarrollo orientadas a la geolocalización (F. José, 2021):

Placa de desarrollo ESP32

- Es uno de los tableros de desarrollo creados por DOIT para evaluar el módulo ESP-WROOM-32. Se basa en el microcontrolador ESP32 que cuenta con Wifi, Bluetooth, Ethernet y soporte de bajo consumo, todo en un solo chip.
- La placa ESP32 contiene ESP32-WROOM, fuente de alimentación de 3,3V necesaria para el ESP32 y un convertidor USB a serie para facilitar la programación. ESP32-WROOM-32 es un potente módulo genérico de Wi-Fi+BT+BLE MCU que se dirige a una amplia variedad de aplicaciones, que van desde redes de sensores de bajo consumo hasta las tareas más exigentes, como la codificación de voz, la transmisión de música y la decodificación de MP3.
- En el núcleo de este módulo está el chip ESP32-D0WDQ6*. El chip incorporado está diseñado para ser escalable y adaptable ya que cuenta con 36 GPIOs. Hay dos núcleos de la CPU que pueden ser controlados individualmente, y la frecuencia del reloj de la CPU es ajustable de 80 MHz a 240 MHz.
- La alimentación de la placa Esp32 se suministra a través del conector USB Micro B incorporado o directamente a través del pin "VIN". La fuente de alimentación se selecciona automáticamente. El dispositivo puede operar con un suministro

externo de 6 a 20 voltios. Si usa más de 12V, el regulador de voltaje puede sobrecalentarse y dañar el dispositivo. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

- El ESP32 soporta una velocidad de datos de hasta 150 Mbps, y una potencia de salida de 20,5 dBm en la antena para asegurar el más amplio rango físico. Como tal, el chip ofrece especificaciones líderes en la industria y el mejor rendimiento para la integración electrónica, el alcance, el consumo de energía y la conectividad.
- El sistema operativo elegido para el ESP32 es freeRTOS con LwIP; TLS 1.2 con aceleración por hardware también está incorporado. También se admite la actualización segura (cifrada) por aire (OTA), de modo que los desarrolladores pueden actualizar continuamente sus productos incluso después de su lanzamiento.

Placa de desarrollo NODEMCU (ESP8266)

- La placa de desarrollo basado en ESP8266, integra GPIO, PWM, IIC, 1-Wire y ADC, todo en un solo tablero. Contiene una fuente de alimentación de 3.3V necesaria para el ESP8266 y un convertidor USB a serie para una fácil programación.
- El microprocesador incorporado ESP8266EX de Espressif ofrece una solución WiFi SoC altamente integrada para satisfacer las continuas demandas de los usuarios de un uso eficiente de la energía, un diseño compacto y un rendimiento fiable en la industria del IoT.
- Además de las funcionalidades WiFi, también integra una versión mejorada del procesador de 32bits de la serie L106 Diamond de Tensilica y el SRAM en chip.

Puede ser interconectado con sensores externos y otros dispositivos a través de los 17 GPIOs con los que cuenta.

- Cada aplicación almacenada dentro del ESP8266 inicia rápidamente desde el flash. La caché de alta velocidad integrada ayuda a aumentar el rendimiento del sistema y a optimizar la memoria del sistema. Además, el ESP8266EX puede aplicarse a cualquier diseño de microcontrolador como adaptador WiFi a través de interfaces SPI/SDIO o UART.

Al comparar ambas placas, las diferencias más relevantes radican en la capacidad y precio. El ESP32 tiene un rango más amplio de implementación además de una mejor recepción de WiFi, pero su costo es mayor al ESP8266. Se considerarán ambos para confirmar su viabilidad, facilidad de programación e integración.

Para realizar una prueba de concepto, será necesario adquirir un set mínimo de componentes para instalar y comunicar con la infraestructura en la nube, siendo los siguientes una estimación de costos representativos para el equipo de frontend seleccionado como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Costos representativos para el equipo seleccionado

Elemento	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Placa de desarrollo	Módulo de desarrollo	1	\$14.00	\$14.00

para geolocalización. (Arduino Store SV ESP32, 2022)	ESP32 con Wifi, conexión por USB para programación y alimentación de poder, con procesador de 32bits.			
Placa de desarrollo para geolocalización, segunda opción (Arduino Store SV ESP8266, 2022)	Placa de desarrollo NODEMCU v2.0 con CP2102, conexión por USB para programación y alimentación de poder, con procesador de 32bits.	1	\$11.00	\$11.00
Cámara de videovigilancia (Arduino Store SV OV2640, 2022)	Kit de desarrollo de ESP32-CAM OV2640 ESP32 WIFI. Incluye adaptador de microSD y antena para mejor recepción.	2	\$20.00	\$40.00
Router portátil Wifi (Professional Review, 2022)	Router HUAWEI E5576 4G Mobile WiFi. Precio base \$60.00 más \$10.00 estimados de impuestos.	2	\$70.00	\$140.00

Plan de navegación (Tienda en línea Claro, 2022)	Plan todo incluido, 10GB de Internet, SMS a redes Claro.	1	\$21.00	\$21.00
Costo total del equipo				\$226.00

Nota: Elaboración propia, 2022

1.4.4 Equipo seleccionado para backend

Para este producto, se propone el uso de Google Cloud Platform, ya que ofrece fácil integración con tecnologías como GPS y/o IoT. En la tabla 3 se listan algunos de los componentes mínimos sugeridos, y una estimación de alto nivel de la capacidad requerida por cada elemento.

Tabla 3

Costos de infraestructura estimados, propuesta de uso inicial

Elemento	Descripción	Cantidad	Costo mensual
Capa de datos - Base de datos Firestore	Almacenamiento orientado a objetos, tipo de datos: objetos JSON. 30 GB de almacenamiento al mes.	1	\$3.13
Capa de datos - almacenamiento de archivos	Cloud Storage: 1TB de capacidad de almacenamiento de archivos.	1	\$23.55

Capa web - Cloud Run	Solución para sitio web en GCP. Tipo de máquinas: F2. 512 MB y 1.2 GHz CPU.	2	\$124.10
API - Google Maps	API para la geolocalización. Tiene un free-tier inicial, dependiendo de la cantidad de mapas y concurrencia el plan puede variar.	1	\$0.00
Capa de negocios BI - BigQuery	Ejecución de Queries para reportería analítica. 500 GB de almacenamiento, 1TB disponible para ejecución de queries (Opcional).	1	\$19.11
Costo total por mes			\$169.89

Nota: Elaboración propia a partir de Google Cloud Calculator (Google Cloud Calculator, 2022)

Cabe mencionar, que durante el levantamiento del producto no se tendrá dicho volumen de transacciones o mensajería.

CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL

En la actualidad se conoce la necesidad de contar con sistemas de videovigilancia y sistemas de rastreo en tiempo real o GPS que ayuden a mejorar la seguridad en los vehículos, en el caso de la presente investigación de manera puntual la mejora de la seguridad es orientada al transporte público a través del uso de dichas tecnologías.

2.1 ¿Cómo surgió la video vigilancia?

A pesar de que las cámaras cinematográficas tuvieron sus inicios en 1880, no fue sino hasta 1942 que las cámaras fueron usadas como un elemento de seguridad en un circuito cerrado CCTV (Circuito Cerrado de Televisión). Los primeros sistemas sólo incluían cámaras en blanco y negro conectadas a monitores, y fueron creados para monitorizar el lanzamiento de cohetes. Este hecho marca los inicios de la videovigilancia, que a lo largo de la historia ha tenido un crecimiento vertiginoso.

En un principio, la videovigilancia requería de un circuito cerrado continuamente monitoreado por un humano para funcionar, pero con la creación de las cintas de vídeo, este proceso se haría más fácil gracias a la posibilidad de grabar lo que sucedía en las cámaras. En los 60 's la videovigilancia se hizo más común ya que en esta década las cámaras estaban ubicadas en sitios estratégicos en lugares públicos.

Menos de una década después, bancos y tiendas empiezan a usar esta tecnología como una medida de seguridad añadida en contra del robo. Durante las siguientes dos décadas las mejoras tecnológicas, como una mejor visión en situaciones de poca luz, y cámaras más

pequeñas, permitieron que esta tecnología se adentrará también en los hogares como un método para mantener a las familias seguras (Cadavid Parra [CADAVID], 2017).

2.2 Videovigilancia IP

Es una tecnología de vigilancia visual que combina los beneficios analógicos de los tradicionales CCTV con las ventajas digitales de las redes de comunicación IP (Internet Protocol), permitiendo la supervisión local y/o remota de imágenes y audio, así como el tratamiento digital de las imágenes, para aplicaciones como el reconocimiento de matrículas o reconocimiento facial, entre otras.

El despliegue resulta más sencillo y económico que un CCTV, puesto que aprovecha la red informática empresarial, es decir, el mismo cableado que se emplea para la comunicación de datos, acceso a Internet o correo electrónico, sin necesidad de desplegar una infraestructura de cableado coaxial específica para nuestra red de videovigilancia. La mayoría de las instalaciones más modernas están abandonando la tecnología analógica en favor de la videovigilancia IP, dada su versatilidad, funcionalidad, sencillez y optimización de las infraestructuras existentes en la compañía (Dointech SAS., 2022).

Después, en los 90 's, el lanzamiento de las cámaras IP marca el nuevo nacimiento de la videovigilancia, en donde las cámaras se conectan a una red de Internet sin la necesidad de un computador, permitiendo a los usuarios revisarlas constantemente desde cualquier dispositivo con conexión a Internet. Hoy en día, la videovigilancia es una herramienta indispensable de la seguridad. El último avance, el reconocimiento facial, hace de la videovigilancia una herramienta atractiva para muchos nichos de negocio e inclusive, gobiernos enteros, siendo también un medio por el cual muchas empresas controlan el transporte, ya sea de mercancías o transporte de

personas. Las empresas de manufactura de cámaras de videovigilancia trabajan en el hardware y software, con herramientas como la seguridad de extremo a extremo, permitiendo que las soluciones de seguridad sean más asequibles a los usuarios, más seguras y les permitan mayor control de lo que sucede en sus casas, áreas de trabajo, colegios o lugares abiertos (Como aeropuertos o plazas).

Sin embargo, surgen nuevas consideraciones junto a los componentes que se suman a la videovigilancia a través de la red. Según el reporte de videovigilancia de 2017, dirigido por IFSEC, se encontró que los sistemas de seguridad basados en DVR(Digital Video Recorder) y en nube, eran igual de vulnerables a intrusiones maliciosas. Con eventos como la intrusión en el circuito cerrado de televisión en la Washington DC, ocho días antes de la inauguración presidencial en enero del 2017 (CADAVID, 2017), la preocupación por la seguridad cibernética en la videovigilancia se ha convertido en un punto a seguir para las soluciones de seguridad, ya que, aunque durante muchos años se consideró la videovigilancia como una solución completa de seguridad, al final de cuentas es tan sólo una herramienta.

2.3 Sistema de Posicionamiento Global GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de navegación que utiliza satélites, un receptor y algoritmos para sincronizar datos de ubicación, velocidad y tiempo para viajes por aire, mar y tierra (Geotab, 2020).

2.3.1 La evolución del Sistema de Posicionamiento Global o GPS

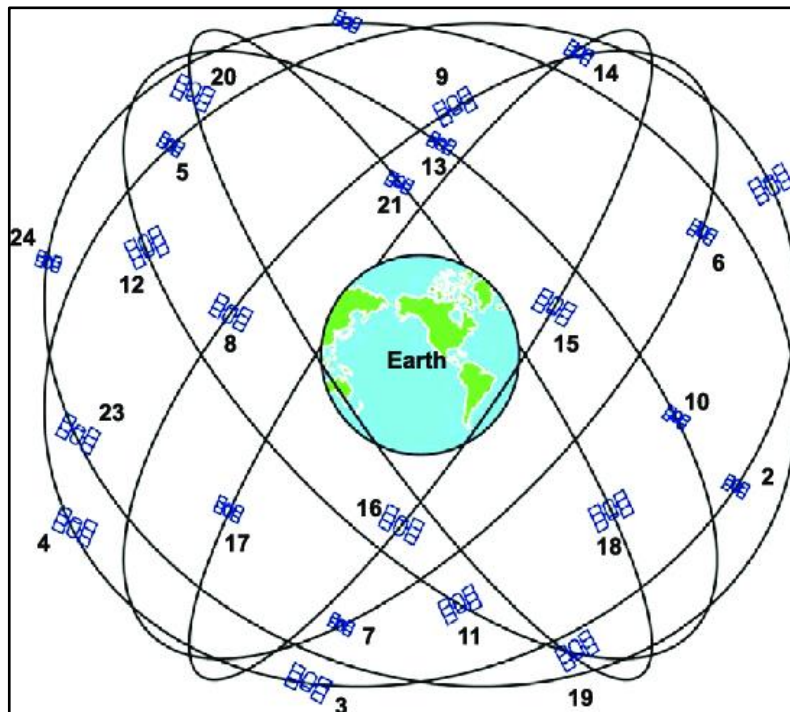
El sistema de posicionamiento global o GPS fue creado con el objetivo de reemplazar al sistema Transit, creado en 1965 fruto de un esfuerzo conjunto entre la Nasa y el departamento

de defensa de Estados Unidos. Transit presentaba poca precisión en cuanto al aporte de datos de ubicación, donde se podían encontrar lapsos de tiempo sin ninguna cobertura, ya que contaba sólo con 6 satélites y arrojaba datos con un error mayor a los 250 metros.

Nació así el sistema GPS en la década del 70, donde se puede determinar con una exactitud menor a los 5 metros, donde se encuentra una persona o un objeto, mediante el cálculo del tiempo que tarda la señal en llegar al receptor GPS, multiplicado por su velocidad. Funciona con un mínimo de 4 satélites visibles de un total de 24 que son parte de la constelación NAVSTAR (ver Figura 2), que orbitan por toda la superficie del planeta, dando así una cobertura global. Cada satélite contiene un reloj atómico de gran precisión, sincronizado con los demás (GPSSatelital, 2018).

Figura 2

Constelación de 24 satélites



Nota. Tomado de Miller A., 2015

A partir del año 1983 el sistema GPS satelital brindó su tecnología al ejército de Estados Unidos. Como herramienta militar de gran precisión, la fue incorporando a sus misiles, y vehículos en general. A comienzos del año 2000, el sistema GPS fue liberado para uso civil en todo el planeta, pero con un margen de error entre 5 y 10 metros. A partir de aquí comienzan a fabricarse los receptores GPS individuales y portátiles, siendo los primeros los de la empresa Trimble Inc y Texas Instruments (GPSSatelital, 2018).

La videovigilancia, junto con esta tecnología GPS se combinan de forma complementaria para ofrecer más información a través de imágenes y posicionamiento en los sistemas de seguridad. El siguiente reto consiste en definir un almacenamiento constante, centralizado y escalable en donde se tenga respaldo y formas de consulta posteriores y frecuentes.

2.4 Google Cloud Platform

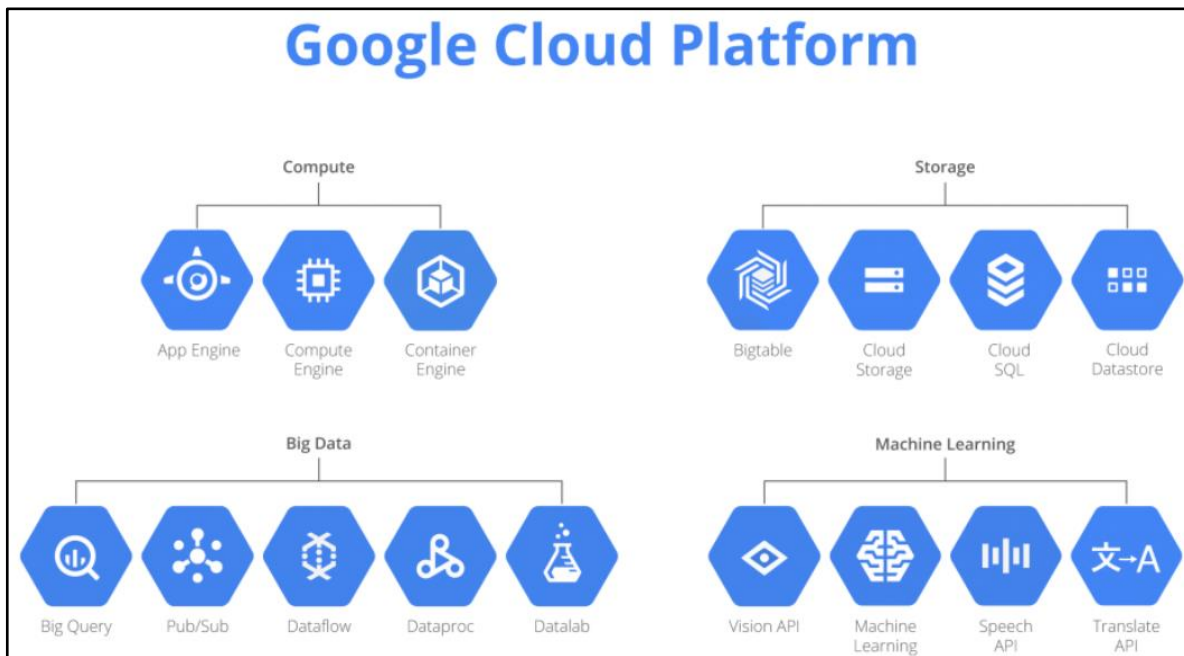
Google Cloud Platform o GCP es la infraestructura en la nube de alto rendimiento de Google que dirige el tráfico de datos y los flujos de trabajo de todos los usuarios de Google, y su uso principal es servir para la creación y el despliegue de aplicaciones y sitios web con Google. GCP tiene una gama de servicios excepcionalmente amplia, como Infraestructura como servicio (IaaS), Plataforma como servicio (PaaS) o Software como servicio (SaaS). Ofrece soluciones para bases de datos, almacenamiento en la nube y redes. Además, los clientes de GCP tienen acceso gratuito a Cloud Console (CloudStore, 2022).

Básicamente, Google Cloud Platform aporta todas las herramientas necesarias para diseñar, hacer testings y lanzar aplicaciones desde cloud con mucha más seguridad y escalabilidad que cualquier otra herramienta, gracias a la propia infraestructura con la que Google cuenta (Ordorica I., 2020).

GCP cuenta con muchas herramientas brindadas a través de diferentes tecnologías todas basadas en la nube, la Figura 3 muestra el conglomerado de estas herramientas.

Figura 3

Google Cloud Platform, herramientas disponibles a ofrecer



Nota. Tomado de Ordorica I., 2020

Las empresas, en la actualidad, cuentan con una gran ventaja al disponer de los servicios de Google, puesto que son herramientas muy complejas que costaría muchísimo desarrollar in house (Ordorica I., 2020). Estos son los beneficios de Google Cloud Platform para las organizaciones:

- **Open Source:** GPC es una tecnología flexible y escalable, al ser de código abierto. Esto da la posibilidad de personalizar las herramientas al máximo, según las necesidades de cada empresa.

- **Seguro:** Google Cloud Platform cuenta con la infraestructura de Google, la cual brinda casi un 100% de fiabilidad y disponibilidad. Sin ningún periodo inactivo programado. Por otro lado, usa sus redes privadas, por lo que los ciberataques son prácticamente imposibles.
- **Innovador:** se tratan de herramientas modernas, con las últimas novedades del mercado, lo cual permitirá que la empresa que lo utiliza esté a la cabeza de la transformación digital en sectores como el machine learning, big data o inteligencia artificial.
- **Asequible:** algunas de sus herramientas, incluso, son gratis. Y las que son de pago, tienen precios muy competitivos con diferentes planes; para que cualquier empresa, grande o pequeña que sea, se pueda beneficiar de los beneficios de GCloud.

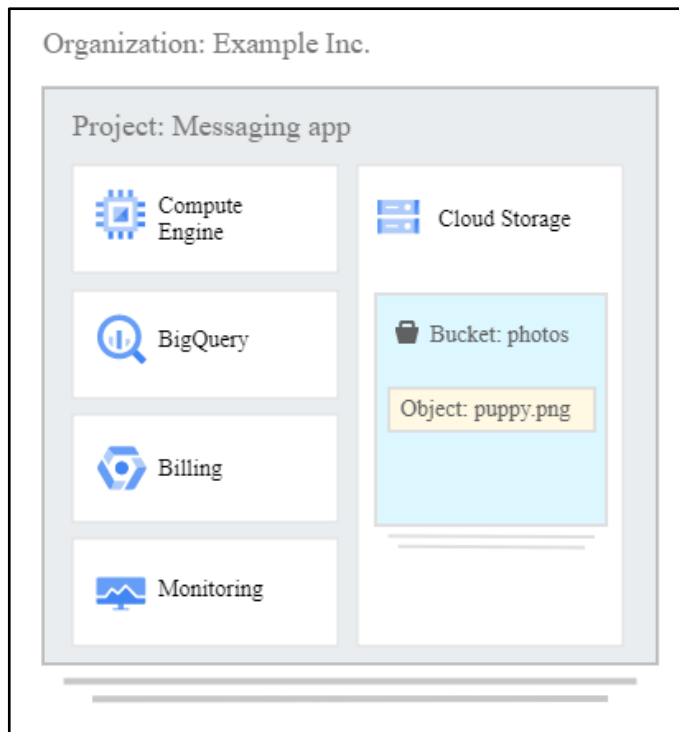
Como se puede observar en la imagen anterior sobre cómo están estructuradas las herramientas de GCP son muchas las opciones que este proveedor brinda, en las secciones siguientes se definen aquellas que tienen relación con el proyecto que se está desarrollando.

2.5 Cloud Storage

Cloud Storage es un servicio para almacenar sus objetos en Google Cloud. Un objeto es un dato inmutable que consta de un archivo de cualquier formato. Almacena objetos en contenedores llamados buckets. Todos los cubos están asociados con un proyecto y pueden agrupar sus proyectos en una organización (Google Cloud Storage, 2022). Para conocer la estructura de Cloud Storage ver la Figura 4.

Figura 4

Estructura de Cloud Storage en GCP, ejemplo



Nota. Tomado de Google Cloud Storage, 2022

Ejemplo de jerarquía de Google Cloud

Así es como la estructura de Cloud Storage se puede aplicar a un caso real:

- **Organización:** una empresa, llamada Example Inc., crea una organización de Google Cloud llamada exampleinc.org.
- **Proyecto:** Example Inc. está construyendo varias aplicaciones, y cada una está asociada con un proyecto. Cada proyecto tiene su propio conjunto de API de Cloud Storage, así como otros recursos.

- **Bucket:** cada proyecto puede contener varios buckets, que son contenedores para almacenar sus objetos. Por ejemplo, puede crear un depósito de fotos para todos los archivos de imagen que genera su aplicación y un depósito de videos separado.
- **Objeto:** un archivo individual, como una imagen llamada cachorro.png

2.6 Cloud Run

Cloud run es un servicio administrado por Google Cloud Platform para el desarrollo e implementación de aplicaciones en contenedores altamente escalables utilizando una variedad de lenguajes de programación (Go, Python, Java, Node.js, .NET y más) en una plataforma completamente administrada. Utiliza la tecnología de contenedores (containers) que permite empaquetar cualquier aplicación y replicarla, según la demanda de requerimientos que ésta reciba, para ofrecer alta escalabilidad y respuestas en tiempos aceptables. Todos los clientes de Google Cloud obtienen 2 millones de solicitudes por mes completamente gratis (Google Cloud, 2022).

Algunas de las ventajas que se obtienen del uso de este tipo de herramienta son:

- **Lenguajes populares.** Permite desplegar una aplicación en Node.js, Java, Ruby, C#, Go, Python o PHP, o en su propio tiempo de ejecución de lenguaje.
- **Abierto y flexible.** Los cambios pueden ser aplicados en segundos, el desarrollador solo debe enfocarse en construir la funcionalidad del sistema y las herramientas de integración permiten desplegar los cambios en segundos. Se pueden mover los cambios empaquetados entre ambientes: desarrollo, pruebas, producción, al utilizar contenedores de Docker.

- **Totalmente administrado.** Cloud Run abstrae toda la administración de la infraestructura al escalar automáticamente hacia arriba y hacia abajo desde cero casi instantáneamente, según el tráfico. Cloud Run solo te cobra por los recursos exactos que usas.
- **Potente diagnóstico de aplicaciones.** Se puede utilizar Cloud Monitoring y Cloud Logging para monitorear el estado y el rendimiento de la aplicación y Cloud Debugger and Error Reporting para diagnosticar y corregir errores rápidamente.

2.7 Big Data

Los sistemas de Big Data almacenan y procesan cantidades masivas de datos. Es natural alojar una infraestructura de big data en la nube, porque proporciona almacenamiento de datos ilimitado y opciones sencillas para el procesamiento y análisis de big data altamente paralelizado.

Google Cloud Platform proporciona varios servicios que admiten el almacenamiento y el análisis de big data. Posiblemente, el más importante sea BigQuery, un motor compatible con SQL de alto rendimiento que puede realizar análisis en volúmenes de datos muy grandes en segundos. GCP proporciona varios otros servicios, incluidos Dataflow, Dataproc y Data Fusion, para ayudar a crear una infraestructura completa de big data basada en la nube (Perry Y., 2021).

2.8 BigQuery

BigQuery es un almacén de datos multi nube sin servidor, altamente escalable y rentable diseñado para la agilidad empresarial. BigQuery permite almacenar y consultar conjuntos de datos que contienen grandes cantidades de datos. El servicio utiliza una estructura de tabla, es compatible con SQL y se integra a la perfección con todos los servicios de GCP. BigQuery puede

ser utilizado tanto para el procesamiento por lotes como para la transmisión. Este servicio es ideal para análisis fuera de línea y consultas interactivas (Perry Y., 2021).

Ofrece una variedad de beneficios a los usuarios entre los cuales se pueden mencionar (Google Cloud BigQuery, 2022):

- **Permite obtener información con análisis predictivos y en tiempo real.** Permite la consulta de datos de streaming en tiempo real y obtener información actualizada de todos los procesos de negocio. Permite predecir los resultados empresariales fácilmente con el aprendizaje automático integrado, sin necesidad de mover datos.
- **Permite acceder a datos y compartir información con facilidad.** Da la facilidad de acceder de forma segura y compartir información analítica en la organización con unos pocos clics. Crear fácilmente informes y tableros sorprendentes utilizando herramientas populares de inteligencia comercial, listas para usar.
- **Permite proteger sus datos y operar con confianza.** El usuario puede confiar en los sólidos controles de seguridad, gobernanza y confiabilidad de BigQuery que ofrecen alta disponibilidad y un SLA de tiempo de actividad del 99,99 %. Protege los datos con cifrado predeterminado y claves de cifrado administradas por el cliente.

2.9 Firebase

Firebase es un backend como servicio (Baas). Proporciona a los desarrolladores una variedad de herramientas y servicios para ayudarlos a desarrollar aplicaciones de calidad, hacer crecer su base de usuarios y obtener ganancias. Está construido sobre la infraestructura de

Google. Firebase se clasifica como un programa de base de datos NoSQL, que almacena datos en documentos similares a JSON. Firebase ofrece una variedad de servicios entre los cuales se pueden mencionar: Authentication, Realtime Database, Cloud Firestore, Notifications, Test lab, Hosting, entre otros, Educative. (2021).

2.10 Cloud Firestore

Firestore es una base de datos flexible y escalable para el desarrollo móvil, web y de servidor de Firebase y Google Cloud. Mantiene los datos sincronizados entre las aplicaciones de los clientes a través de escuchas en tiempo real y ofrece soporte sin conexión para dispositivos móviles y web que permite crear aplicaciones receptivas que funcionen independientemente de la latencia de la red o la conectividad a Internet.

Firestore permite estructurar los datos fácilmente con colecciones y documentos. Crear jerarquías para almacenar datos relacionados y recuperar fácilmente los datos que se necesitan mediante consultas expresivas. Todas las consultas escalan con el tamaño de su conjunto de resultados (nota: no su conjunto de datos), por lo que cualquier aplicación está lista para escalar desde el primer día, Firebase. (2021).

2.11 Realtime Database

Firebase Realtime Database es una base de datos alojada en la nube. Los datos se almacenan como JSON y se sincronizan en tiempo real con cada cliente conectado, con soporte multiplataforma para iOS, Android, Web y más, Firebase Realtime. (2021).

2.12 Arduino

Arduino es una placa de desarrollo con un chip microcontrolador. que ofrece una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas

Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida: activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea. Puede decirle a su placa qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador en la placa. Para ello se utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring), y el Software Arduino (IDE), basado en Processing (Arduino Oficial, 2018).

2.12.1 Espressif Systems

Espressif Systems es otro líder mundial en el desarrollo de microcontroladores. Con oficinas en China, República Checa, India, Singapur y Brasil, han traído al mundo las series de chips, módulos y placas de desarrollo Esp8266 y Esp32, todo a partir de 2008. Si bien Arduino tiene muchas placas de desarrollo disponibles, desde Arduino Uno de 8 bits hasta Arduino Zero de 32 bits, Esp32 es una serie de microcontroladores de bajo consumo con Wi-Fi integrado y Bluetooth de modo dual. Quizás la placa Arduino más cercana comparable a la Esp32 es Arduino Zero, un microcontrolador de 32 bits diseñado para propósitos de IoT (Tan Cherie, 2021).

2.12.2 Módulo ESP-12E ESP8266 WIFI

El ESP8266 es un módulo creado por Espressif que integra un potente procesador con arquitectura de 32 bits (más potente que el Arduino Due) y conectividad Wifi. Ofrece una completa y autocontenida solución WiFi Networking, puede trabajar como host de aplicaciones o descargar la carga de WiFi Networking de otro procesador (Naylamp Mechatronic, 2021).

2.13 Internet de las Cosas

El Internet de las cosas (IoT) es el proceso que permite conectar elementos físicos cotidianos al Internet: desde objetos domésticos comunes, como las bombillas de luz, hasta

recursos para la atención de la salud, como los dispositivos médicos; también abarca prendas y accesorios personales inteligentes e incluso los sistemas de las ciudades inteligentes.

2.14 ¿Cómo funciona el IoT?

El término IoT hace referencia a todos los sistemas de dispositivos físicos que reciben y transfieren datos a través de redes inalámbricas con intervención humana mínima, lo cual es posible gracias a la integración de dispositivos informáticos en todo tipo de objetos.

Por ejemplo, un termostato inteligente (es decir, que utiliza el IoT) recibe datos de la ubicación de su automóvil inteligente mientras conduce para ajustar la temperatura de su casa antes de que llegue. Todo esto se logra sin su intervención e incluso ofrece un mejor resultado que si lo hiciera de forma manual (Red Hat, 2019).

Las soluciones de IoT para empresas les permiten mejorar los modelos comerciales actuales y entablar nuevas relaciones con los clientes y los partners. No obstante, su implementación presenta ciertos desafíos. El volumen de datos que genera un sistema de dispositivos inteligentes (lo cual se conoce como big data) puede volverse abrumador. Integrar el big data a los sistemas actuales y establecer análisis para poder utilizar esa información puede resultar complicado (Red Hat, 2019).

CAPÍTULO 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Según el Banco Mundial [BM] (2020), el 55% de la población mundial vive en las ciudades y la tendencia hacia el 2050 es que dicha cifra suba hasta el 70% de la población. Esto se debe a la cantidad de oportunidades que se generan en las grandes ciudades, pues son responsables del 80% del PIB mundial. Sin embargo, dicho crecimiento trae problemas asociados al abastecimiento de alimentos, vivienda digna, acceso a servicios básicos como agua y luz, contaminación, transporte eficiente e inseguridad entre otros.

En el caso de El Salvador, como un país en vías de desarrollo, existe una expansión urbana se da en zonas de riesgo y de forma no planificada, generando problemas adicionales para reorganizar la ciudad de forma adecuada. En tanto al tema concreto del transporte colectivo, es un tema de mucha importancia, pues es un enlace entre los habitantes y los sistemas de educación, salud y los puestos de trabajo, y cerca del 70% de la población hacía uso del sistema de transporte público en el 2012 (Grande, 2012). Se calcula que se realizan más de 1.6 millones de desplazamientos al día a través del transporte público.

Por otra parte, como mencionan Hernández, Valenzuela y Vela (2003), las principales vías del Área Metropolitana de San Salvador fueron diseñadas hace mucho tiempo, y ya no pueden soportar el volumen de movimiento de personas que transitan actualmente. A esto se le suma el problema de un sistema de transporte público de abanico, donde varias rutas tienen origen en las afueras de San Salvador y convergen todas en ciertas partes de San Salvador. En vista de esto, los autores sugieren actualizar el sistema de transporte, utilizando buses articulados y tranvías en zonas donde la cantidad de tráfico es grande. Un sistema que brinde el seguimiento en tiempo

real de las unidades de transporte ayudará a distinguir aquellas rutas de tráfico que tienen tramos en común, para poder descongestionar partes importantes del AMSS.

3.1 Principales teorías

A nivel internacional, se tienen numerosas investigaciones y aplicaciones de proyectos de geolocalización y videovigilancia para elementos de transporte. Se citan algunas referencias aplicadas en los últimos 5 años.

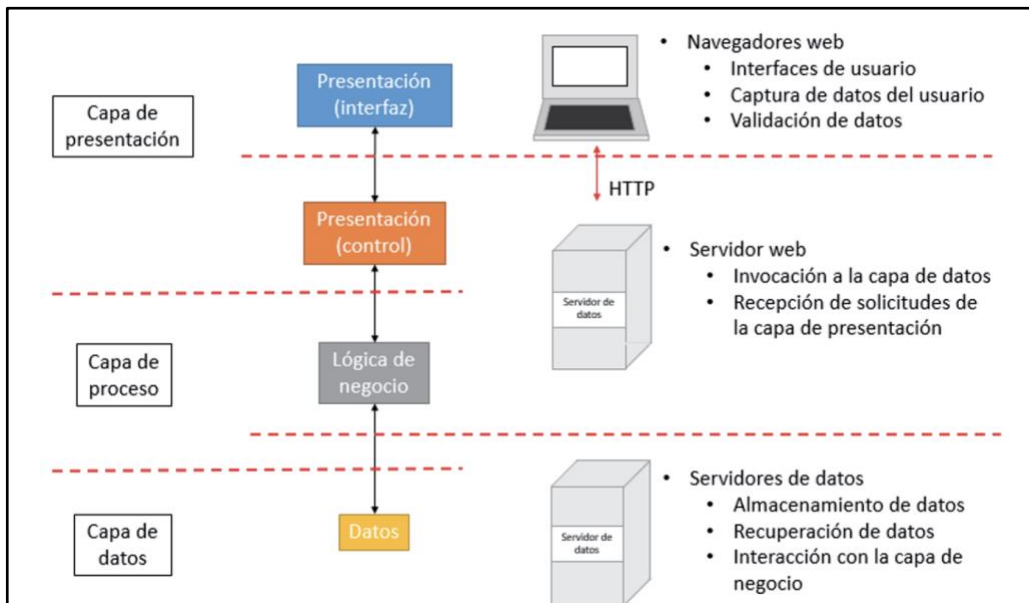
“Servicio web para la geolocalización de los vehículos de transporte público en la ciudad de Cúcuta”. En Colombia se han trabajado distintas iniciativas de ordenamiento del transporte y tráfico colectivo por ciudad. En el caso particular de la ciudad de Cúcuta, se levantó un proyecto para obtener la geolocalización de los autobuses mediante un GPS que proporciona el posicionamiento de los vehículos usando el protocolo NMEA 0183; esta información era almacenada en un servidor para luego ser enviada y visualizada (usando PHP). La interfaz de usuario se desarrolló a través de un sitio web funcional y de diseño adaptable para computadoras, tabletas y celulares utilizando HTML5, CSS3 y JavaScript; donde, dependiendo de la ruta escogida, se realizaba una petición al servidor para obtener los datos correspondientes y mostrarlos en un mapa utilizando la API de Google Maps. Implementaron el servicio web permitiendo visualizar las rutas y la posición del vehículo en tiempo real junto con distintas variables de interés como el estado de movimiento o reposo, velocidad, rumbo y tiempo de llegada a cada una de las paradas preestablecidas en la ruta; asimismo dentro del portal web se dio la opción de generar registros históricos concernientes a la ubicación y recorrido de cada autobús que son visualizados mediante tablas y gráficas generadas por el usuario, ver Figura 5 para comprender de mejor

manera la arquitectura utilizada. (Sepúlveda Mora, Castro Correa, Medina Delgado y Guevara Ibarra [CÚCUTA], 2018).

Aspectos importantes considerados fueron la cuota de manejo de la API de Google Maps, que permite 25,000 cargas en el mapa gratuitas por día y la necesidad de un sistema de rastreo satelital, con la capacidad de capturar datos sobre posición, velocidad, dirección.

Figura 5

Arquitectura de tres capas para el desarrollo del software



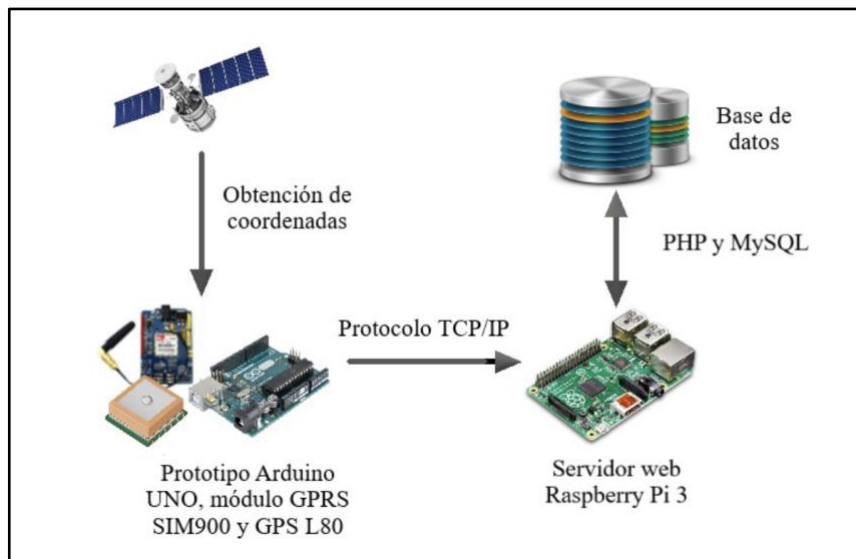
Nota. Tomado de CÚCUTA, 2018.

Para localizar y guardar datos del posicionamiento geográfico de vehículos en tiempo real, se diseñó un sistema de geolocalización compuesto de dos elementos: un prototipo para el envío de coordenadas usando tecnología GPRS y un servidor web para la recepción y almacenamiento de la información recibida desde un GPS. Se utilizó el sistema embebido Raspberry Pi 3, configurado como servidor web HTTP bajo Apache 2.4, integrando PHP y MySQL, ver Figura 6 para comprender la integración de los componentes. Se definió una IP estática local por medio

de DHCP para establecer la comunicación del servidor con Internet. El hardware utilizado para enviar los datos corresponde a una tarjeta Arduino UNO; un módulo GPRS, programado mediante comandos AT y un GPS, cuya trama de datos GPRMC corresponde al estándar NMEA. Los resultados obtenidos muestran una diferencia promedio de 6.50 m entre los datos de ubicación geográfica del dispositivo frente a los valores obtenidos mediante la geolocalización por HTML5; asimismo, se confirmó que el consumo diario del sistema es de 367.97 kB. Otro de las conclusiones de valor, fue sobre el uso de placas de Arduino, ya que facilitó la realización de proyectos relacionados con el Internet de las cosas (IoT), pues esta plataforma permite la integración de diversos dispositivos, como por ejemplo módulos GPS y GPRS, así como librerías establecidas para manejar las tareas de una forma más sencilla (Sepulveda Mora, Castro Correa, Medina Delgado, Guevara Ibarra y López Bustamente [GSM/GPR], 2019).

Figura 6

Arquitectura del sistema, integración de componentes

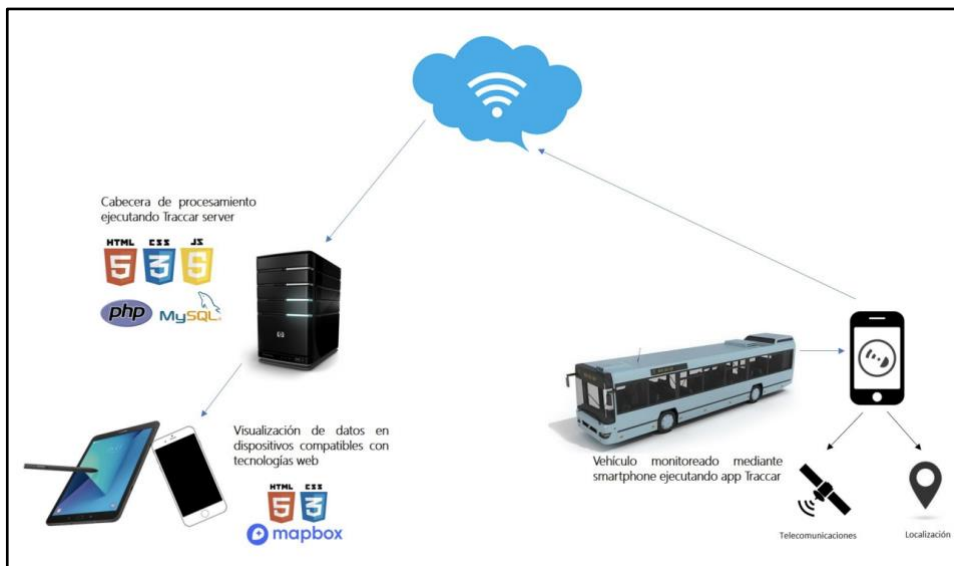


Nota. Tomado de GSM/GPR, 2019.

“Monitoreo de Transporte Público de Ciudad del Este”. Este proyecto fue basado en tecnologías libres, con la capacidad de monitorear el recorrido de unidades de transporte haciendo uso de una aplicación para smartphones Android. El sistema propuso una arquitectura **cliente-servidor** que consistió en un nodo recolector de datos, ubicado en el interior de la unidad a ser monitoreada y un servidor, el cual aloja las bases de datos y lógica de funcionamiento, con acceso a red. Los dispositivos colectores instalados en la unidad a ser rastreada estaban compuestos por smartphones que ejecutan la plataforma Android como sistema operativo. Este requerimiento se basó en el uso de la aplicación cliente **Traccar**, que, utilizando los sensores propios del teléfono, es capaz de proporcionar información detallada de la geolocalización de este, ver Figura 7 para comprender la arquitectura del sistema implementado (Velásquez, Ayala D., Arrúa G. [TRACCAR], 2018).

Figura 7

Arquitectura del sistema, diagrama funcional.



Nota. Tomado de TRACCAR, 2018

“Secure and efficient pseudonymization for privacy preserving vehicular communications in smart cities”. HAL es un archivo multidisciplinario de acceso abierto para el depósito y difusión de documentos de investigación científica en Francia. En el año 2020 se publicó una propuesta de seguridad y comunicación efectiva entre vehículos dentro de ciudades inteligentes para reducir el tráfico y garantizar la seguridad de las personas o productos que sean transportados por distintas unidades móviles; igualmente, como respuesta a la aparición de modernos Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) basados en redes vehiculares (VN) para diversificar las aplicaciones proporcionadas a los conductores y pasajeros durante sus viajes por carretera.

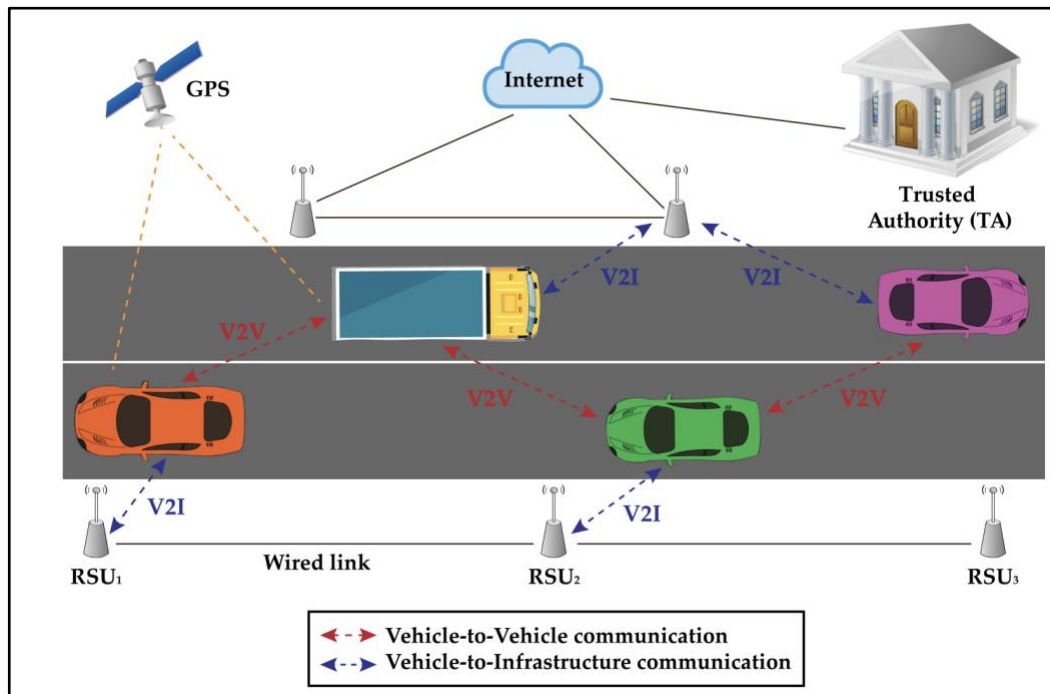
El prototipo consistió en que cada vehículo debe estar equipado con una Unidad a Bordo (OBU) para comunicarse con otros vehículos y con las Unidades de Control (RSU) desplegadas a lo largo de la carretera. La comunicación que se produce entre vehículos mediante el OBU se denomina comunicación V2V, ver Figura 8. Ante el supuesto de que cada vehículo dispone de un dispositivo GPS (Global Positioning System) se puede obtener su posición y hora actual. Cada vehículo es leído por una Autoridad de Confianza (TA) por medio de las RSU cercanas, formando una comunicación denominada V2I, como se muestra en la siguiente figura. Cada vehículo emite mensajes de forma periódica o solicita información de otros basado en su ubicación para compartir información de tráfico local e indicar condiciones de tránsito seguro (Siham Bouchelaghem, Mawloud Omar. Computers and Electrical Engineering [OBU-V2V], 2020).

Uno de los puntos identificados como amenaza ante este modelo es cualquier ataque externo pasivo, que puede inmiscuirse para espiar en la red e inferir información confidencial de los mensajes que son intercambiados. Tal intruso puede tratar de vincular varios seudónimos de

vehículos, lograr averiguar la identidad real de un vehículo objetivo y perfilar los movimientos del conductor y el patrón de vida, como su domicilio, lugar de trabajo, etc. Por otro lado, un atacante interno puede beneficiarse del anonimato para obtener información privada y, por ejemplo, enviar información falsa sobre las condiciones de la carretera para generar tráfico (OBU-V2V, 2020).

Figura 8

Comunicación entre vehículos mediante OBU-V2V



Nota. Tomado de OBU-V2V, 2020.

“Designing a smart transport system application for South Indian traffic scenarios. A modern approach towards digitalizing the transport systems”. Presenta una propuesta de un sistema de localización de vehículos del transporte público de ciudades del sur de India, con el fin de desarrollar una aplicación para smartphone capaz de rastrear la proximidad de estos, sus horarios y la implementación de un sistema de conteo interno. El enfoque del proyecto se centra

en el incentivo del uso del transporte público en detrimento del transporte propio, como forma de paliar la crisis energética de combustibles fósiles. Además, el monitoreo del sistema de autobuses ofrece información sobre el control de exceso de velocidad y la avería del autobús. Al integrar el Identificación de Frecuencia de Radio (RFID) con el módulo Sistema Global para Móviles (GSM), se puede rastrear la unidad de transporte mediante el uso de etiquetas RFID. Las paradas son anunciadas mediante voz para personas que no puedan leer y, de igual forma, los pasajeros en la parada de autobús sean ayudados por dicho sistema (Subadra, K.G., Begum, J.M., & Dhivya, H., 2017).

“A smart cost effective public transportation system: An ingenious location tracking of public transit vehicles”. Propone un modelo de costo bajo y eficiente comparado con alternativas basadas en GPS, haciendo uso de comunicaciones por radiofrecuencia (RFID), donde se permite localizar en tiempo real la posición de un vehículo y la muestra de los resultados en una interfaz web diseñada para el efecto. El modelo propuesto se verificó en un Network Simulator 2 (NS2) y se midió la eficiencia del enfoque para diferentes escenarios de colisión, dando como resultado un sistema fácil de adoptar, con un coste de instalación bajo, un mantenimiento y un coste operativo reducido. (Kumar T., Gupta S. & Kushwaha D. S., 2017).

CCTV y cámaras de vigilancia VMukti. El sistema de vigilancia de autobuses integrado con cámara 4G permite monitorear a los pasajeros dentro del autobús para garantizar una seguridad completa durante el tránsito. Estas cámaras son apropiadas para los autobuses escolares, ya que utilizan tecnología de vigilancia CCTV y una amplia red móvil para transmitir imágenes en vivo en tiempo real, sin embargo también son utilizadas por grandes empresas como AWS, Microsoft, Flipkart, Azure, entre otros.

Con los avances tecnológicos y la escalabilidad en ambientes en la nube, la vigilancia de autobuses puede admitir hasta 5000 cámaras para capturar múltiples ángulos posibles en una gran cantidad de autobuses, camionetas y otros vehículos conectados. Los sistemas de vigilancia de autobuses con soporte de cámara 4G utilizan cámaras habilitadas para Wi-Fi para la gestión de video y el almacenamiento de datos de gran volumen. Brinda una amplia seguridad a los viajeros, incluidos los estudiantes escolares y los viajeros mayores. Permite el monitoreo en la nube de la infraestructura del vehículo para garantizar una seguridad óptima y una confiabilidad mejorada. Las autoridades pueden monitorear los autobuses desde cualquier lugar y ver transmisiones de video en vivo desde tabletas de escritorio o dispositivos móviles (VMukti, 2021).

Cualquier circuito cerrado de televisión CCTV en los autobuses es responsabilidad de la empresa privada que opera ese servicio o ruta en particular. Si se necesita verificar imágenes grabadas por una cámara, el proceso se sigue directamente con la compañía dueña de la ruta. De igual forma, los costos asociados son destinados a cada cliente.

Análisis de requisitos para dispositivos de localización vehicular seguros para sistemas de transporte público terrestre en Colombia. El sistema de transporte público en Colombia como Transmilenio en Bogotá y Metro Cali Mio cuentan con buses de tránsito rápido, el equivalente a la propuesta del SITRAMSS en San Salvador, donde las unidades de transporte están equipadas con sistemas de localización vehicular o GPS a bordo (Morales et al., 2018). Los sistemas son bastante avanzados, debido a los requerimientos de las políticas que los regulan, y transmiten múltiples parámetros: geolocalización, monitoreo constante del uso de combustible, identificación del conductor, velocidad actual, cambios de velocidad o aceleración, mecanismos de apertura de puertas. Dichos parámetros permiten un control bastante detallado sobre el

control y permite incluso establecer geovallas que alertan cuando las unidades se han desviado de sus rutas determinadas. La mayoría de los dispositivos utilizados en este tipo de unidades de transporte, sostienen Morales et al. (2018), son fabricados fuera del país de Colombia y los requerimientos físicos tradicionales son de tipo mediano: Procesadores Intel Atom, memoria RAM de 2GB, Bluetooth clase 2, WiFi 802.11, 16GB de almacenamiento interno y múltiples interfaces físicas. Finalmente, se concluye que los sistemas han jugado un papel muy importante para el éxito del sistema de transporte colombiano, pero se presentan problemas de mal funcionamiento debido a factores como seguridad, mantenimiento y uso.

Por lo tanto, para poder implementar un sistema de geolocalización en El Salvador, se debe asegurar mano de obra capacitada para poder dar mantenimiento a los dispositivos y entrenamiento de utilización a los usuarios de los dispositivos, así como complementar con medidas que provean seguridad a dichas unidades, como la videovigilancia a bordo.

3.2 Sistemas de videovigilancia y GPS disponibles en El Salvador

Existen diferentes empresas que brindan servicios de videovigilancia y GPS para vehículos motorizados, los cuales podrían permitir que el servicio público mejore en cuanto a la seguridad si el gobierno decidiera invertir en los costos que estas soluciones implican.

Ubica GPS, cuenta con servicios relacionados a la seguridad para los distintos tipos de transportes, entre estos, provee el servicio de monitoreo para el transporte público **“Rastreo Satelital de Buses y Microbuses”**, el cual brinda a cada unidad las funcionalidades de micrófono en cabina, equipo GPS, botón de pánico, apagado remoto y videovigilancia. Sin embargo, estos tienen un alto costo, el cual podría no ser apropiado para el transporte público del país, ya que

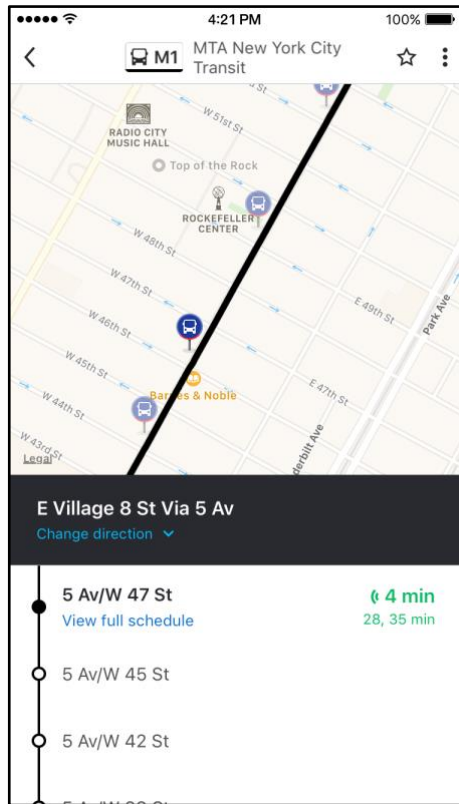
como se sabe en la actualidad este servicio aunque es llamada “público” en realidad pertenece a empresas y personas particulares (Ubica GPS El Salvador, 2018).

En términos de aplicaciones para ayudar a movilizarse dentro de las ciudades, otra de las opciones es **Moovit**, de trayectoria y reconocimiento mundial. La aplicación saca provecho de las ventajas tecnológicas que ofrecen ciudades desarrolladas como Toronto, donde la municipalidad es dueña de las unidades de transporte y comparten la ubicación en tiempo real. Actualmente cuenta con más de 15 millones de usuarios en todo el mundo, donde un 30% de ellos está enfocado en América Latina, la aplicación está disponible en las ciudades de Sao Paulo, Río de Janeiro, Bogotá, Santiago de Chile, Buenos Aires y México, El Salvador, entre otras (EFE, 2015).

Su estrategia de propagación de datos es similar a otras aplicaciones como Waze, ya que los propios usuarios son los que contribuyen a ofrecer la información que da la aplicación, y con ello elaborar las capas de predicción de horarios, ayudando a otras personas a viajar más rápida y cómodamente, ver Figura 9. Si bien su propósito es predecir y alertar a otros usuarios de las llegadas o retrasos en las rutas de transporte, mediante informes activos, también tiene una utilidad limitada, ya que depende de la actualización de la información en sus bases de datos. Si existe una ubicación errónea o paradas faltantes, embotellamientos, accidentes de tránsito y eventos en la ciudad, por mencionar algunos, puede carecer de un ruteo completo.

Figura 9

Ejemplo de navegación en Moovit en una ciudad en Nueva York



Nota. Tomado de Moovit Blog, 2018.

3.3 Posturas y contradicciones

Después de revisar diversas teorías que confirman la viabilidad de la videovigilancia y geolocalización como opciones de control, ordenamiento y seguridad en disposiciones geográficas, se resumen todos los puntos a favor y las contradicciones o puntos en contra de este tipo de proyectos en la tabla 4 mostrada a continuación.

Tabla 4*Posturas y contradicciones en el monitoreo de unidades de transporte*

Enfoque	Postura	Contradicción
Geolocalización	Obtener información en tiempo real	Existe un retraso normal en el cálculo de todo GPS y existen eventos que pueden brindar información desviada, no real.
	Generar rutas eficientes	Depende de la alimentación correcta de datos sobre las rutas, paradas oficiales y el control de su actualización para que sean precisas.
	Reduce el tráfico y los costos de las empresas dueñas de las unidades de transporte público, mediante la proyección de unidades con GPS según la demanda y horarios.	La propagación del uso de GPS y control en interfaces web genera información o informes activos, sin embargo, existe una dependencia importante, con la transmisión de los datos a través de IoT e Internet. Una falla de estos limita o bloquea la comunicación efectiva. Adicionalmente, podrían ver reducidos beneficios adicionales como los subsidios patrocinados por el Gobierno
	Bajos costos ante la gran variedad de opciones en tecnologías para su implementación.	La nube como opción backend del almacenamiento de datos puede resultar costosa cuando las unidades a monitorear y las rutas resulten en grandes volúmenes de información.
Videovigilancia	Mejorar las condiciones de seguridad	Si la información generada es filtrada/compartida con entidades maliciosas, pueden identificar el desplazamiento de personas con horarios y paradas específicas.
	Bajos costos al guardar las imágenes en infraestructuras de la nube.	La información de video e imágenes es la más pesada de almacenar en cualquier infraestructura. Es por lo que pueden existir altos costos si no se define una estrategia, interfaces adecuadas de colección de la información.

	Obtener video en tiempo real	Existe un retraso normal en la propagación de la información y una dependencia fuerte de la capacidad y velocidad de transmisión de datos desde la unidad de transporte hasta la Nube y la consulta del usuario final en sus dispositivos: laptops, celulares.
--	------------------------------	--

Nota. Elaboración propia a partir de las propuestas de solución estudiadas, 2022.

3.4 Roadmap general de la propuesta

Todo proyecto requiere una planificación y organización del trabajo, de forma que sea fácil visualizar cómo se irá cumpliendo con los requerimientos expuestos y cómo se irán obteniendo resultados, ver figura 10. Utilizando la metodología de SCRUM alineada con la ISO 9001 se figura mediante entregas iterativas la ejecución del prototipo y solución. Como parte de la preparación, se tiene el siguiente esquema de trabajo.

Sprint -1 o Iniciación del proyecto

Fase inicial del proyecto donde se define el perfil del proyecto, los lineamientos para establecer el alcance y una planificación propuesta para la implementación del sistema según su naturaleza.

Sprint 0

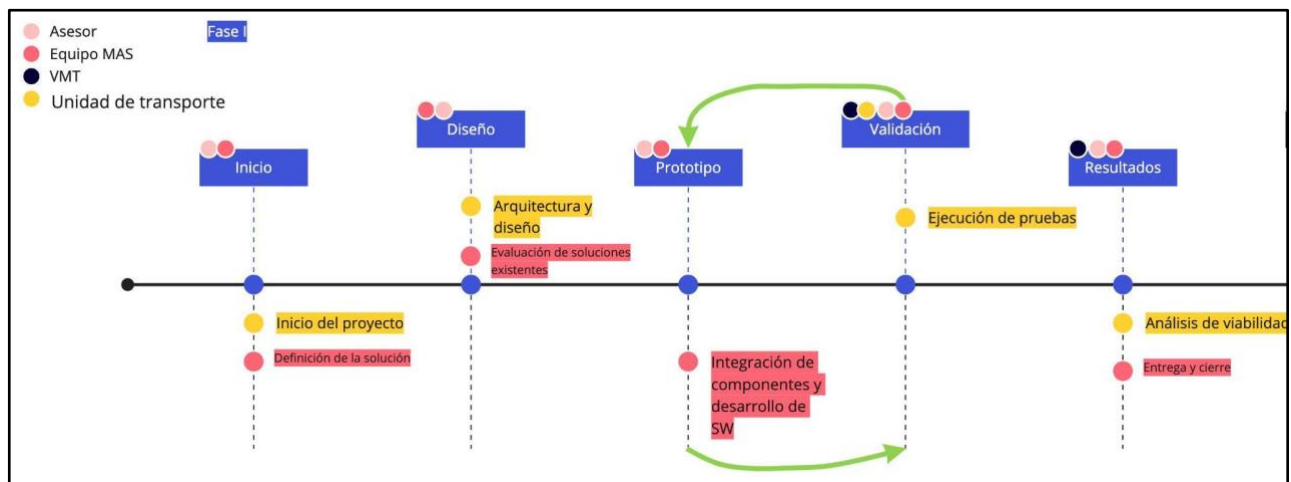
A la construcción de requisitos y planteamiento de una solución se le conocerá como Sprint 0, estos incluyen la investigación, aplicación de la metodología de investigación y toda la documentación que se pueda coleccionar para construir un listado de procesos y dependencias del producto final.

Sprint n

Los Sprints “n” servirán para determinar entregas incrementales que agreguen valor al producto y que se alineen con la solución. Parte de ellos incluye definición, diseño y levantamiento de un prototipo, más una proyección estimando la forma de adopción del prototipo para al menos una ruta dentro de la ciudad de San Salvador.

Figura 10

Roadmap de alto nivel, propuesta de Fase I.



Nota. Elaboración propia, 2022.

La fase 1 del roadmap general propuesto incluye las actividades mínimas a realizar para completar un prototipo y ofrecer resultados. El equipo seleccionado consta de:

- Asesor
- Equipo MAS, el equipo asignado a la ejecución de este proyecto
- VMT, como cliente
- Unidad de transporte, como aquellos representantes que se elijan para la validación del prototipo

Actividades incluidas en cada etapa dentro de la fase 1:

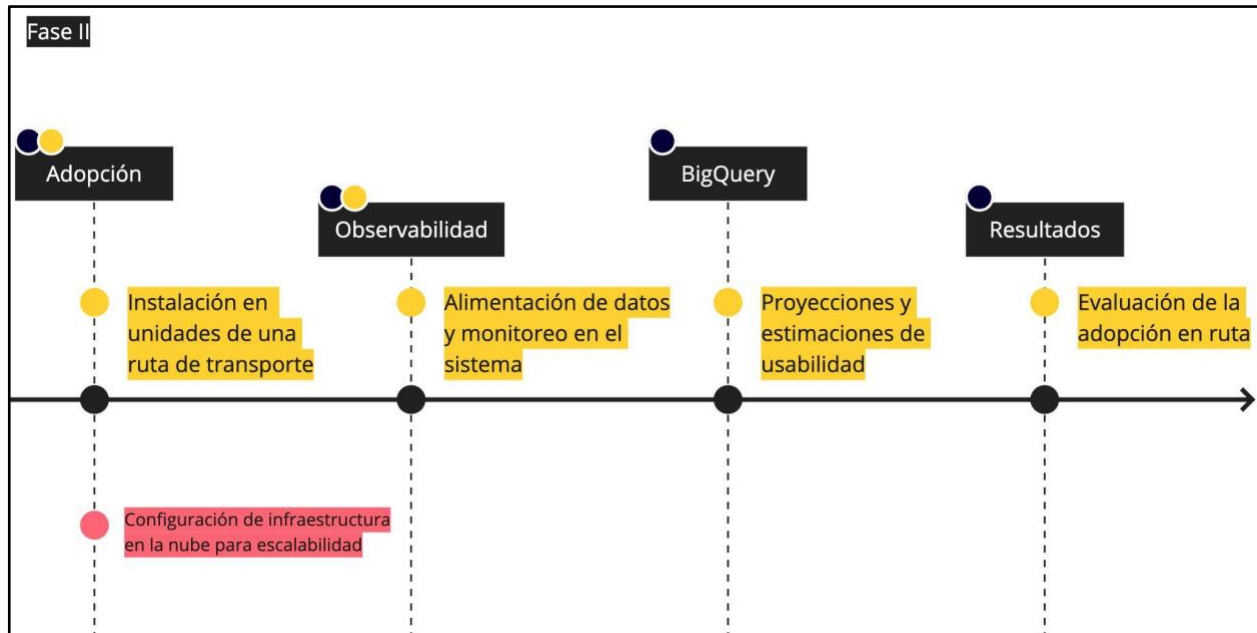
- Inicio del proyecto
 - Definición y aprobación del perfil del proyecto,
 - Constitución del planteamiento del proyecto, incluye objetivos, alcances, limitaciones, riesgos, responsables.
 - Estimación de tiempos, costos, presupuesto.
 - Listado de necesidades del negocio y responsables principales.
 - Modelo de comunicación y acta de constitución.
- Definición de la solución
 - Investigación de componentes de tecnología y soluciones existentes.
 - Planteamiento de componentes a utilizar para la solución (alto nivel).
 - Documentación de procesos identificados.
 - Análisis de dependencias.
- Arquitectura y diseño
 - Diseño de la arquitectura
 - Instalación de paquetería en interfaces
 - Diseño de comunicación entre servicios
- Evaluación de soluciones existentes
 - Identificación de proveedores
 - Viabilidad de integración a bajo costo
 - Confirmación de comunicación e integraciones
- Prototipo

- Despliegue de la infraestructura
- Integración de componentes frontend y backend
- Desarrollo del software de obtención de la información
- Aplicación web para la visualización
- Validación
 - Elaboración de casos de prueba
 - Ejecución de pruebas
 - Iteración cíclica entre la mejora del prototipo en base a los resultados obtenidos en las pruebas de usabilidad end-to-end.
- Resultados
 - Informes de resultados.
 - Análisis de viabilidad.
 - Aceptación y retroalimentación.
 - Cierre fase 1.

La fase 2 del roadmap propuesto, ver Figura 11, sugiere las actividades posteriores que el VMT deberá realizar para adoptar solución, en un nicho limitado a una ruta seleccionada, según los criterios de fácil adopción y obtención de resultados.

Figura 11

Roadmap de alto nivel, propuesta de Fase II.



Nota. Elaboración propia, 2022.

Actividades incluidas en cada etapa dentro de la fase 2:

- Adopción
 - Instalación del prototipo en las unidades de transporte para una ruta seleccionada.
 - Definir un contrato de servicio con la nube seleccionada para el almacenamiento de la información colectada por los dispositivos GPS y de videovigilancia.
 - Alimentación inicial de catálogos de rutas, horarios, paradas, unidades, responsables.
- Observabilidad
 - Actualización de la información en rutas.

- Uso del sistema web para el monitoreo y confirmación de la trazabilidad de rutas.
- Colección de retroalimentación y revisión continua semanal.
- BigQuery
 - Después de haber recolectado datos en un mínimo de 1 mes, realizar queries avanzadas utilizando BigQuery para generar estadísticas de usabilidad y crear proyecciones.
- Resultados
 - Informes de resultados.
 - Sugerencias de mejora.
 - Proyección de las siguiente(s) ruta(s) para la adopción.
 - Inicio nuevamente del ciclo con la etapa de adopción.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

4.1 Tipos de investigación

De acuerdo con la naturaleza del proyecto cuyo enfoque es aplicativo, se define un tipo de investigación mixta; exploratoria y confirmatoria, que incluye las metodologías de revisión bibliográfica, de campo e investigación aplicada mediante la observación.

Las revisiones bibliográficas se incluyen debido a que existe una gran variedad de proyectos previamente realizados bajo la misma área de investigación, que pueden proponer opciones de solución, junto a una evaluación de viabilidad y problemas que podrían presentarse.

Por otro lado, los análisis de campo pueden confirmar, mediante datos estadísticos al utilizar encuestas y entrevistas, que hay una problemática por atender; y con sus resultados, se podrán definir qué áreas mayormente se beneficiarán ante el planteamiento de un sistema de monitoreo y vigilancia que utilice tecnología que transmita información en tiempo real.

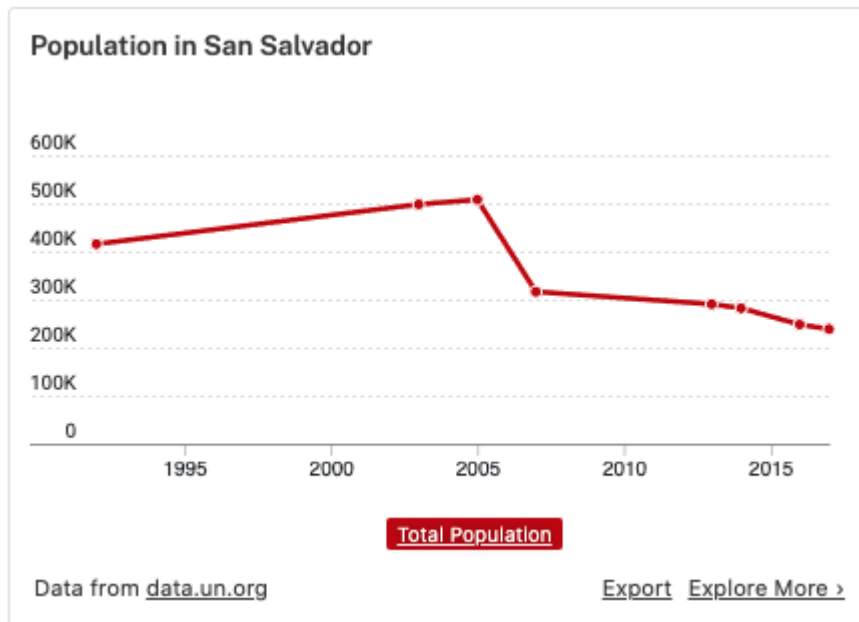
Por último, la metodología aplicada, permitirá determinar, mediante la observación, los componentes óptimos a utilizar en el prototipo para cumplir con el objetivo planteado. Se tendrá que instalar en unidades de transporte y con la ejecución de pruebas iterativas afinar los componentes de la capa front end y la capa backend hasta alcanzar los resultados deseados.

4.2 Alcance y cobertura

El alcance y cobertura de este proyecto llega hasta la evaluación del prototipo en una o dos unidades de transporte público para una ruta en la ciudad de San Salvador. Debido al denso volumen de la población en la zona urbana y el desorden de ruteo del transporte, cubrir una sola ruta es suficiente para analizar posteriormente los resultados. Actualmente, la población de San Salvador es de 238,244 (Data Commons, 2017) habitantes, ver Figura 12, de los cuales el 90,1% usan el transporte público, siendo uno de los municipios con mayores casos de violencia en el transporte en el país (Prevención del crimen en el transporte público [FUSADES], 2015).

Figura 12

Representación de la población en el municipio de San Salvador



Nota. Obtenido de Data Commons, 2017.

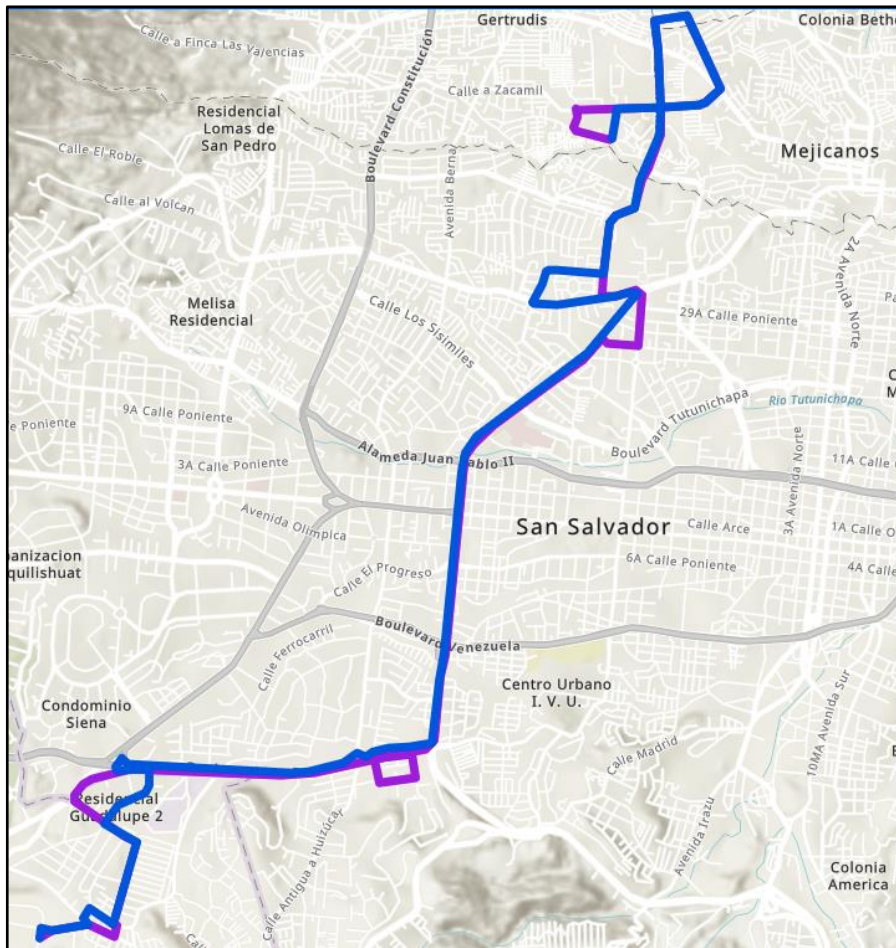
Ruta seleccionada: 44

El Viceministerio de Transporte (VMT) pone a disposición pública contenido referente a las rutas de transporte mediante la herramienta virtual de **ArcGis Online**. Esta aplicación Web permite a la población consultar mapas de ubicación de los recorridos autorizados de las rutas del transporte público del AMSS, tanto de ida como de retorno. Así mismo, se muestra los puntos de ubicación de paradas autorizadas para el abordaje y desabordaje de pasajeros correspondiente a la ruta de Autobús 44, ver Figura 13, del cual inicia su servicio desde el municipio de Mejicanos y finaliza su servicio en San Salvador (Viceministerio de Transporte [ArcGis], 2019), ver Tabla 5 para obtener mayor detalle del recorrido.

Nota: la línea de color azul es el recorrido cuando sale y la línea de color violeta o morado es el recorrido cuando viene de regreso.

Figura 13

Recorrido de la ruta 44 en San Salvador



Nota. Tomado de ArcGis, 2019

Tabla 5*Detalle del recorrido de IDA y VUELTA de la ruta 44*

Tipo de recorrido	IDA/VUELTA
NOMBRE DE RUTA	44 (2)
CÓDIGO DE RUTA	AB044X2
DESTINO	Antiguo Cuscatlán / Mejicanos
FIN DE OPERACIONES LUNES A VIERNES	07:00 pm
FIN DE OPERACIONES SÁBADO A DOMINGO	07:00 pm
INICIO DE OPERACIONES LUNES A VIERNES	05:00 am
INICIO DE OPERACIONES SÁBADO A DOMINGO	06:00 am
KILÓMETROS	14.38
ORIGEN	Mejicanos / Antiguo Cuscatlán
TARIFA ORDINARIA	0.20
TIPO DE RUTA	Urbana
TIPO DE UNIDAD	Autobús

Nota. Tomado de ArcGis, 2019

Tabla 6*Listado de paradas de la ruta 44*

# Parada	Nombre	Señal vial	Riesgo	Tipo de parada
01	PUNTO META	NO	SIN RIESGO	Inicio ida
02	S/N	NO	SIN RIESGO	Intermedia
03	MELHER	NO	SIN RIESGO	Intermedia
04	SANTA MARTA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
07	FARMACIA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
08	EDIFICIOS	NO	SIN RIESGO	Intermedia
09	COMERCIALES	NO	SIN RIESGO	Intermedia
10	RESIDENCIAL ESMERALDA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
11	ESQUINA RICALDONE	NO	SIN RIESGO	Intermedia
12	UNIVERSIDAD NACIONAL	NO	SIN RIESGO	Intermedia
13	ANDA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
14	UNIVERSITARIA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
15	S/N	NO	SIN RIESGO	Intermedia
16	SAN ANTONIO ABAD	NO	SIN RIESGO	Intermedia
17	PASARELA SAN ANTONIO ABAD	NO	RIESGOSA	Intermedia
18	S/N	NO	RIESGOSA	Intermedia
19	HOSPITAL BLOOM	NO	SIN RIESGO	Intermedia
20	TRES TORRES	NO	RIESGOSA	Intermedia

21	METRO SUR	NO	SIN RIESGO	Intermedia
22	GASOLINERA UNO	NO	SIN RIESGO	Intermedia
23	MAGICO GONZALEZ	NO	SIN RIESGO	Intermedia
24	GASOLINERA PUMA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
25	TERMINAL DE OCCIDENTE	NO	RIESGOSA	Intermedia
26	SAN MATEO	NO	RIESGOSA	Intermedia
27	MONSERRAT	NO	RIESGOSA	Intermedia
28	LAS FLORES	NO	RIESGOSA	Intermedia
29	GASOLINERA UNO	NO	SIN RIESGO	Intermedia
30	FERROCENTRO	NO	SIN RIESGO	Intermedia
31	PIZZA HUT	NO	SIN RIESGO	Intermedia
32	UCA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
33	RETORNO	NO	SIN RIESGO	Intermedia
34	BIGGEST	NO	SIN RIESGO	Intermedia
35	PAPA JOHN'S	NO	SIN RIESGO	Intermedia
36	AVENIDA ROIZ	NO	RIESGOSA	Intermedia
37	TALLER RAMIREZ	NO	SIN RIESGO	Intermedia
38	PARQUE ANTIGUO	NO	SIN RIESGO	Intermedia
39	PLAN DE LA LAGUNA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
40	CALLE CUSCATLAN	NO	SIN RIESGO	Intermedia
41	PRIMERA AVENIDA SUR	NO	SIN RIESGO	Fin ida

42	ATLANTICO	NO	RIESGOSA	Inicio regreso
43	RIO AMAZONA	NO	RIESGOSA	Intermedia
44	LAS PALMERAS	NO	SIN RIESGO	Intermedia
45	CEIBA GUADALUPE	NO	RIESGOSA	Intermedia
46	S/N	NO	SIN RIESGO	Intermedia
47	BIGGEST	NO	SIN RIESGO	Intermedia
48	UCA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
49	CITI	NO	SIN RIESGO	Intermedia
50	AUTOPISTA SUR	NO	SIN RIESGO	Intermedia
51	LOS ELICEO	VERTICAL	SIN RIESGO	Intermedia
52	PARQUE CUSCATLAN	NO	SIN RIESGO	Intermedia
53	MONSERRAT COLONIA LA LUZ	NO	SIN RIESGO	Intermedia
54	ORMOSA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
55	JUZGADOS	NO	SIN RIESGO	Intermedia
56	ESTADIO	NO	SIN RIESGO	Intermedia
57	CUARENTA Y NUEVE AVENIDA SUR	NO	SIN RIESGO	Intermedia
58	METRO SUR	NO	SIN RIESGO	Intermedia
59	METRO CENTRO	NO	SIN RIESGO	Intermedia
60	ESQUINA SCOTIABANK	NO	SIN RIESGO	Intermedia
61	TRES TORRES	VERTICAL	RIESGOSA	Intermedia
62	VEINTICINCO AVENIDA NORTE	NO	SIN RIESGO	Intermedia

63	BLOOM	NO	SIN RIESGO	Intermedia
64	ESCUELA ESPAÑA	NO	RIESGOSA	Intermedia
65	UNIVERSIDAD NACIONAL	NO	SIN RIESGO	Intermedia
66	VEINTINUEVE AVENIDA NORTE	NO	SIN RIESGO	Intermedia
67	FRENTE RICARDONA	NO	RIESGOSA	Intermedia
68	RESIDENCIAL UNIVERSITARIA	NO	RIESGOSA	Intermedia
69	COMERCIALES	NO	RIESGOSA	Intermedia
70	EDIFICIOS	NO	SIN RIESGO	Intermedia
71	S/N	NO	SIN RIESGO	Intermedia
72	FRENTE EMPRESARIAL	NO	SIN RIESGO	Intermedia
73	CONTIGUO IGLESIA	NO	SIN RIESGO	Intermedia
76	LA LINCOLS	NO	SIN RIESGO	Intermedia
77	MERCADO	NO	SIN RIESGO	Intermedia
78	ONCE CALLE LINCOLD	NO	SIN RIESGO	Intermedia
79	AVENIDA LINCOLD	NO	SIN RIESGO	Intermedia
80	PUNTO META	NO	SIN RIESGO	Fin regreso

Nota. Tomado de ArcGis, 2019

4.3 Diagnóstico

Definición del problema

Los principales problemas por abordar en el presente proyecto son el alto nivel de delincuencia y el exceso de pasajeros dentro de las unidades de transporte público para la zona

de San Salvador. Las causas y efectos de estas se listan a continuación en la figura 15 y la figura 16.

Figura 15

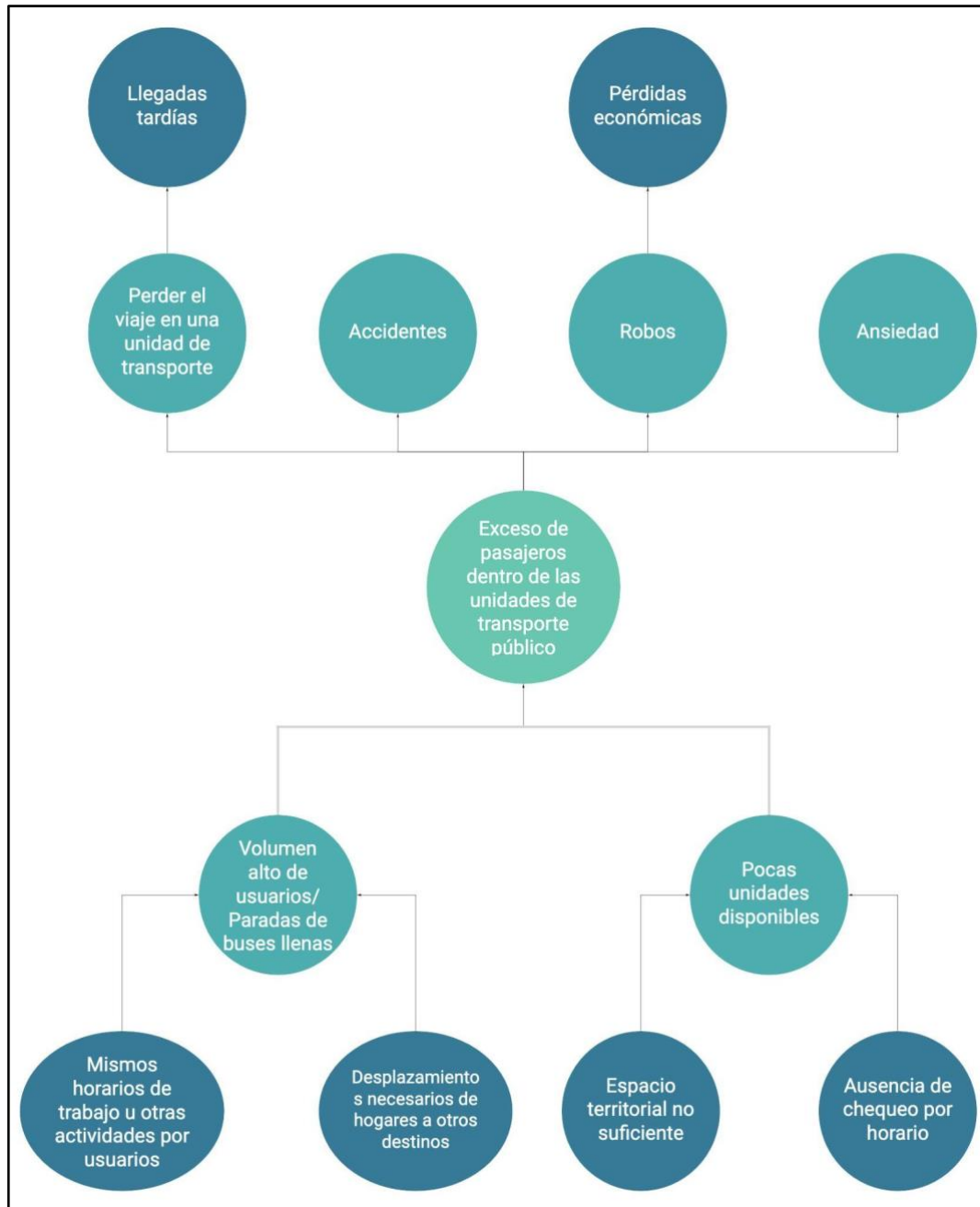
Árbol de problemas, causas y efectos de los altos niveles de delincuencia en unidades de transporte público



Nota. Elaboración propia, 2022.

Figura 16

Árbol de problemas, causas y efectos del exceso de pasajeros en unidades de transporte público



Nota. Elaboración propia, 2022.

Las causas y efectos listados en el diagrama se justificarán mediante los datos obtenidos con los métodos de recolección.

4.4 Métodos de recolección de datos

4.4.1 Investigación bibliográfica

Se realizó una serie de investigaciones bibliográficas de diferentes fuentes, todas relacionadas al tema principal del presente proyecto, así como también a diferentes temas inmersos dentro de la investigación principal, cada una de las fuentes utilizadas ha sido documentada en el apartado de referencias del presente documento, las fuentes han sido seleccionadas estratégicamente con el fin de lograr obtener la información que aporte al tema principal de la investigación y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Tesis relacionadas directamente con el tema del proyecto
- Artículos científicos enfocados al monitoreo de transporte público
- Documentos públicos del gobierno de El Salvador relacionados con la situación actual del país en cuanto a la seguridad en el transporte público
- Diferentes sitios web relacionados con temas inmersos dentro de la investigación; sitios web oficiales de las tecnologías a utilizar, sitios web de algunas empresas que brindan el servicio de videovigilancia y rastreo GPS, entre otros.

4.4.2 Investigación de campo

Se consultó con los involucrados en el transporte público para recopilar los diversos puntos de vista sobre el uso de videovigilancia y monitoreo de ubicación a través de GPS. Se exploró desde el punto de vista práctico, la percepción que tendrá la población sobre el uso de tales tecnologías, y los posibles beneficios. Adicionalmente, se exploraron las condiciones sobre las cuales se podría regular el uso de mencionadas tecnologías en el contexto legal y de capacidad que tienen las autoridades. En este sentido se optó por realizar una encuesta a ciudadanos, y

entrevistas con las dos principales autoridades en materia de transporte público: el VMT como ente regulador y la PNC como encargados de velar y proteger la seguridad y el orden público en el país

- **Encuesta a ciudadanos:** se diseñó una encuesta utilizando las herramientas de Google Forms para poder identificar el nivel de confianza que tienen los pasajeros sobre los niveles de seguridad y violencia en el transporte público. Adicionalmente, se añadieron preguntas sobre cómo se sentiría al tener sistemas de videovigilancia en las unidades de transporte colectivo. La encuesta está diseñada tomando como base las encuestas regulares de seguridad que conduce regularmente IUDOP, para poder tener un punto de comparación del nivel de seguridad al momento de realizar la encuesta con el nivel de seguridad percibido en el pasado. Además, se incluyeron preguntas donde se exploraba la posible aceptación de los sistemas de videovigilancia y seguimiento GPS en las unidades de transporte público. Al finalizar la implementación de videovigilancia y control GPS, la encuesta se podría aplicar nuevamente, para poder medir la efectividad de los sistemas de videovigilancia y ubicación por GPS, con la comparación sobre los resultados de la encuesta inicial. Para la encuesta, debido a que no se conoce con exactitud la población que utiliza el transporte público, se utilizará una fórmula

$$n = \frac{Z^2 pq}{e^2}$$

Las letra Z está relacionada al nivel de confianza de la encuesta, que se escogió un 95%, por lo que el valor de Z es 1.96. Las variables p y q representan la probabilidad que ocurra el suceso, y dado que estamos ocupando la inseguridad que los usuarios del transporte público dan un valor de p=0.699 y q=0.301 basados en el estudio Mujeres libres de violencia en el transporte

público ([PNUD], 2021). Finalmente, el margen de error para la encuesta, que se ha escogido un 5%, por lo que el valor de sería $e=0.05$. Al realizar el cálculo, obtenemos un tamaño de muestra de 324 personas.

- **Entrevista:** se identificó al VMT como actor principal de interés para la inclusión de sistemas de videovigilancia y geolocalización, por lo que se cubrió una entrevista para identificar las acciones que se están aplicando como medidas de seguridad y regulación del uso de transporte. Como autoridades que regulan el funcionamiento del transporte colectivo, podrán brindar una opinión sobre la factibilidad de apoyar o hacer mandatoria la incorporación de dichos sistemas en las unidades de transporte público. También tendrán el rol de mediadores entre las autoridades que refuerzan la ley como la PNC y los empresarios del transporte público, para que puedan trabajar en conjunto y lograr aumentar la seguridad en las unidades del transporte colectivo. Las respuestas de dicha entrevista se encuentran adjuntas en los anexos, Apéndice C.

4.4.3 Investigación aplicada

Para confirmar la funcionalidad del prototipo se requirió la adquisición de periféricos, junto a los elementos de frontend y backend para la comunicación de la ubicación en tiempo real y video hacia la nube. Mediante la observación se pudieron realizar pruebas iterativas para ir integrando cada interfaz y a su vez, identificar las limitantes. La unidad inicial de pruebas fue un automóvil personal, en el cual fueron colocadas las placas de desarrollo de ESP, el uso del módem de un celular, y la cámara ESP32-CAM. Del lado backend, la creación de un proyecto en GCP para recolectar la data.

4.5 Recolección y validación de datos

Durante la etapa de investigación y revisión bibliográfica del presente trabajo, se recurrieron a diversas fuentes de información, que fueron seleccionadas debido a estar respaldadas por entidades comprometidas con la investigación científica, y cuyos filtros de revisión sobre los artículos están diseñados para detener información no verificada previamente. Además, se hizo la selección de encuestas realizadas previamente, de acuerdo con la imparcialidad que las casas encuestadoras han demostrado a lo largo del tiempo, y a la confiabilidad de los resultados que han presentado a lo largo de la historia. Como último parámetro de selección para casas encuestadoras, ha sido la realización frecuente de encuestas que miden los niveles de seguridad y el orden público

Para el caso de las encuestas realizadas en el marco de diagnóstico, los datos fueron recopilados automáticamente por la herramienta de Google Forms y se procesaron para mostrar la situación actual y aceptación ante una posible implementación de videovigilancia y control de ubicación GPS en unidades del transporte público. El método de presentación se hizo a través de gráficos de barras y circulares, pues son los más utilizados y gozan de la facilidad de resumir la información representada de forma amigable.

Finalmente, la entrevista se gestionó a través de los canales oficiales de las oficinas del VMT para concertar una cita con el Director General de Transporte Terrestre y los responsables adicionales en el área de planificación de mejora del transporte público, con el apoyo de la Universidad Don Bosco, quienes emitieron una carta introduciendo formalmente este esfuerzo como parte de un trabajo de investigación para optar al grado de Maestría en Arquitectura de

Software. La reunión se realizó a través de videollamada en Google Meets y estuvieron presente los involucrados convocados.

4.6 Resultados

En cuanto a la creación de un prototipo de sistema de videovigilancia y monitoreo GPS, se hizo una recopilación de dispositivos, herramientas, protocolos de comunicación, y parámetros de trabajos normales que se requirieron para implementar el sistema piloto. Mediante el uso en al menos una unidad del transporte, se pudo recopilar información acerca del funcionamiento del dispositivo, y se pudieron determinar los requerimientos mínimos de utilización, a la vez verificar que se cuenta con la capacidad física y tecnológica para poder cubrir la mayoría del AMSS con tales sistemas de vigilancia y monitoreo.

Finalmente se añadió un listado de aquellos inconvenientes u obstáculos que se enfrentaron durante la realización del trabajo, para poder emitir recomendaciones que faciliten la futura implementación generalizada del sistema.

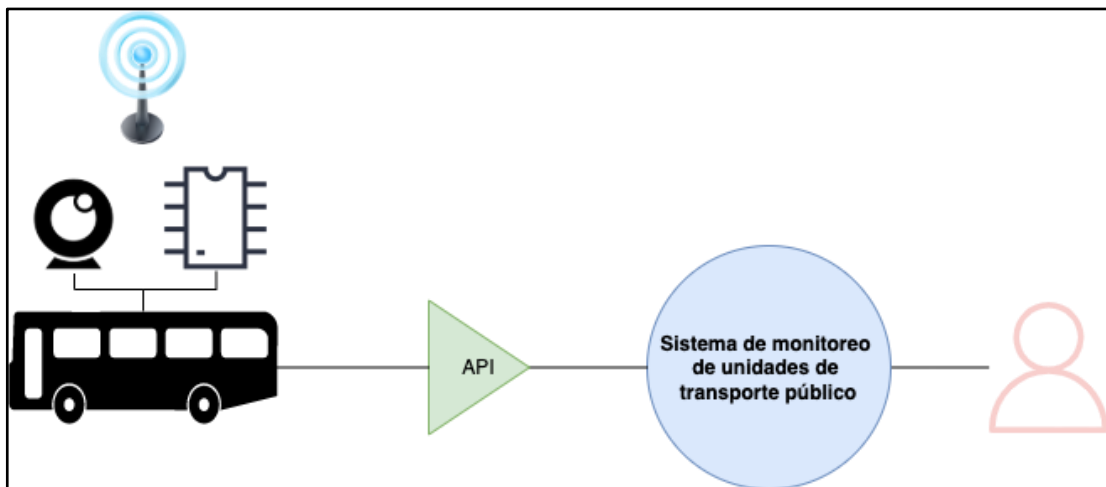
CAPÍTULO 5. PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN

5.1 Diseño del sistema

El proyecto pretende informar a los responsables del VMT constantemente de la ubicación en tiempo real de las unidades de transporte, mediante una opción de visualización práctica para la toma de decisiones. A su vez, se espera poder respaldar videos de vigilancia recolectados de cada recorrido realizado para aplicar medidas de seguridad en caso sea necesario según la ubicación de la unidad. Como se ha venido explorando en el documento, se integrarán elementos de hardware (frontend), software, integraciones, almacenamiento de datos (backend) y una visualización final al usuario. En alto nivel se podría representar mediante una unidad de transporte enviando información por medio de APIs y reflejando dicha información en un sistema de monitoreo para un conjunto de usuarios, ver Figura 17.

Figura 17

Diagrama general del sistema



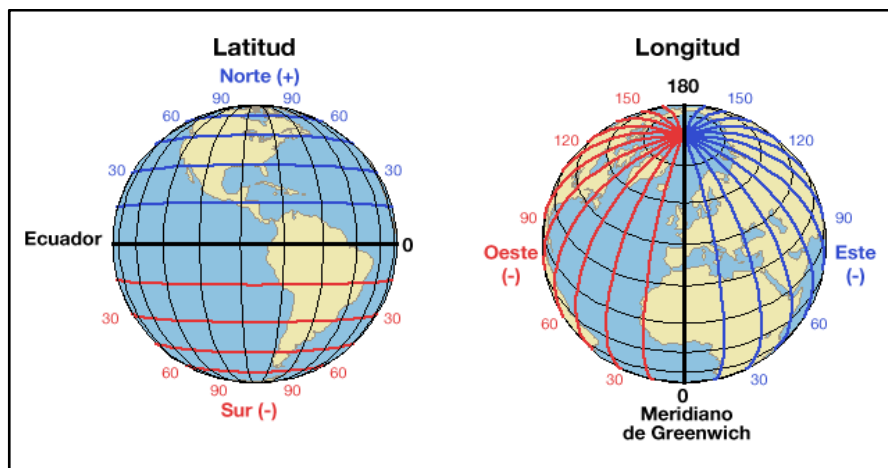
Nota. Elaboración propia, 2022.

5.1.1 Diagrama de comunicación: capa frontend

La posición de un elemento es única, está conformada por la latitud y longitud. La forma de definirla para que sea interpretada por el ser humano es a través de tres elementos básicos en geografía: el punto, la línea y la superficie. La **Latitud** es la distancia que existe entre un punto cualquiera y el Ecuador, que es tomado como línea de base y le corresponde la latitud de 0° . Las latitudes que se encuentren al sur del Ecuador reciben un signo negativo y la denominación S (Sur) mientras que los que se encuentren en el Norte, reciben el signo positivo y la denominación N (Norte). Estas latitudes son siempre menores a 90° . Por otra parte, la **Longitud** es la distancia que existe entre un punto cualquiera y el Meridiano de Greenwich, este meridiano se toma como punto 0° y es la línea de base. Todos los puntos ubicados en el Oriente del meridiano de Greenwich reciben la denominación E (Este), mientras los que se encuentran ubicados al Occidente reciben la denominación W (Oeste); estas longitudes se miden desde 0° a 180° , mientras que los polos no poseen longitud (Enzo, 2018), para visualizar lo descrito ver Figura 18.

Figura 18

Coordenadas geográficas



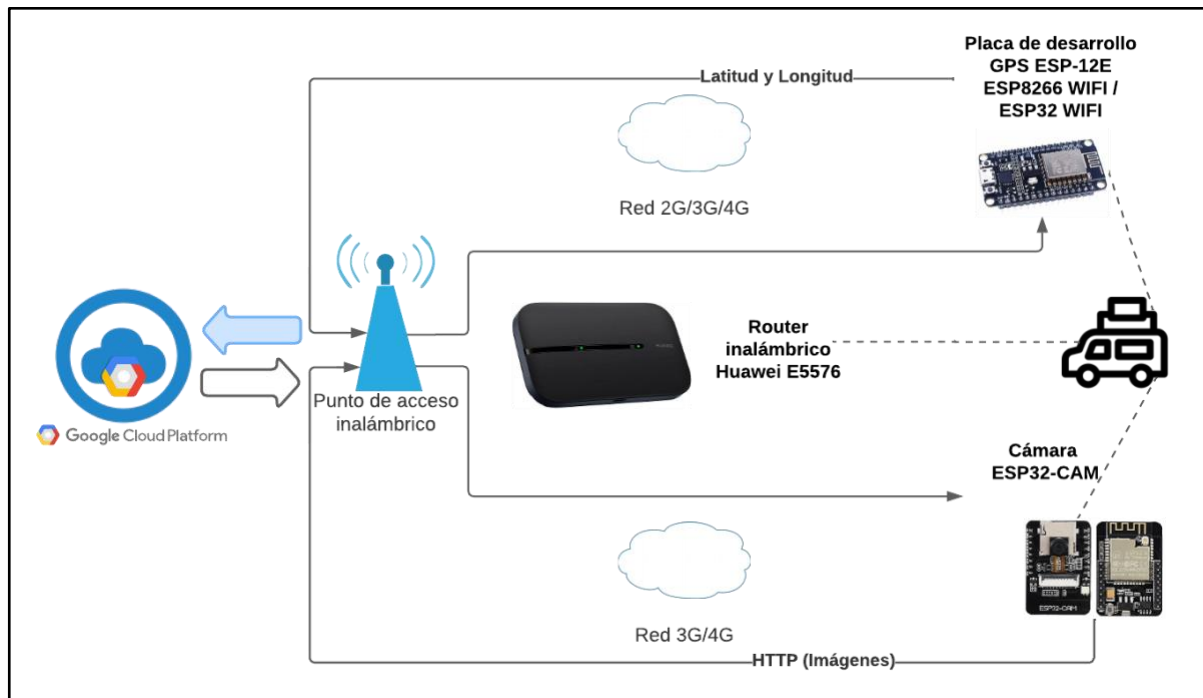
Nota. Tomado de Enzo, 2018.

La figura 19 muestra la primera capa de comunicación, del lado del frontend, donde se muestran los dispositivos que tendrán que ser instalados dentro de cada unidad de transporte:

- Placa de desarrollo GPS ESP-12E ESP8266 WIFI o como alternativa el módulo de desarrollo ESP32 WIFI.
- Router inalámbrico Router HUAWEI E5576 4G
- Cámara ESP32-CAM con un módulo integrado para acceso a WIFI.

Figura 19

Diagrama de comunicación dentro de un autobús, frontend



Nota. Elaboración propia, 2022.

Para la geolocalización, se enviarán los datos de la posición de la unidad, mediante las placas de desarrollo usando los módulos de WIFI y GPS. Dicha información viajará a través de Internet mediante el uso de un router inalámbrico Router HUAWEI E557 instalado al interior de la unidad de transporte, que transmitirá dicha información utilizando una conexión 3G/4G a

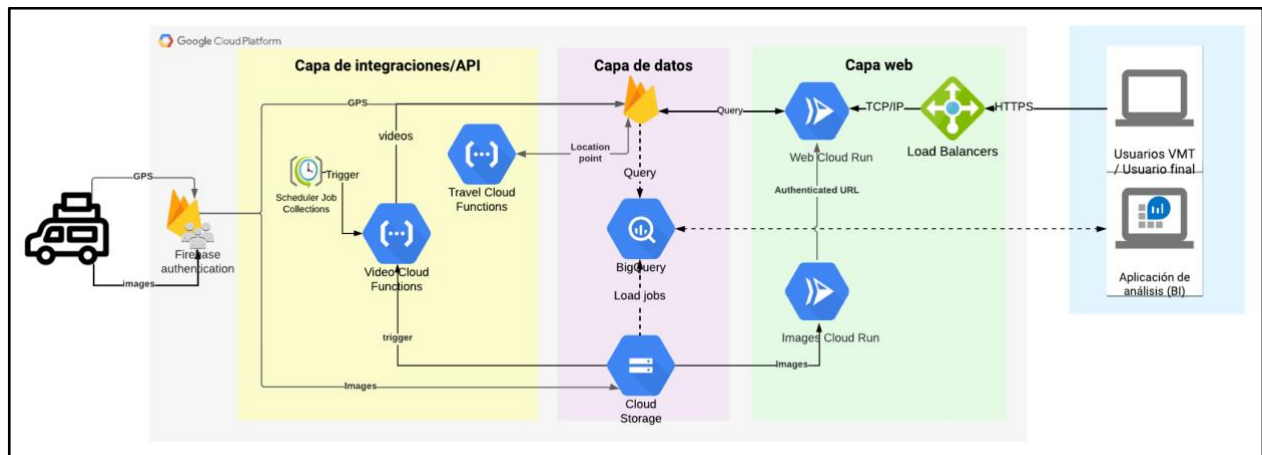
través de distintos puntos de acceso de un proveedor de telefonía. Para la generación de video, debido a que son archivos de alto volumen de almacenamiento, y la capacidad de almacenamiento en una placa de desarrollo es bastante baja, se propone la captura y el envío de imágenes de baja resolución, mediante el protocolo HTTPS y autenticación para garantizar la seguridad en la comunicación hacia la nube de GCP. Al ser recibida la información, estos serán almacenados según su naturaleza en distintas opciones de almacenamiento, como se mencionó en el marco teórico, para posteriormente ser visualizados mediante una interfaz web.

5.1.2 Arquitectura del sistema

Después de presentar la comunicación que existirá en el frontend, se han diseñado las distintas capas del lado del backend que recibirán la información de este proyecto. El bus con los componentes integrados enviará la información a la primera capa de integración o directamente a la capa de datos, y posteriormente esta fluirá entre los demás componentes hasta llegar a la capa web, ver Figura 20.

Figura 20

Diagrama de arquitectura e infraestructura, backend



Nota. Elaboración propia, 2022.

La comunicación de la información inicia desde las unidades de transporte. Cada placa de desarrollo ESP se autenticará a través de Firebase Authentication, que permite validar credenciales de forma segura. El módulo de ESP para GPS enviará la información directamente a la base de datos que está en Firebase. Por la naturaleza de captura del posicionamiento para múltiples unidades se sugiere el uso de una base realtime (en tiempo real) que registre cada dispositivo con su latitud, longitud en un tiempo determinado.

Para el almacenamiento de videos/multimedia, se utiliza frecuentemente el protocolo de mensajes MQTT, que es un protocolo de mensajería estándar de OASIS para el Internet de las cosas (IoT) y está diseñado como un transporte de mensajería de publicación/suscripción extremadamente ligero, sin embargo resulta en alto costo el procesamiento y mantenimiento de un flujo continuo de imágenes en períodos cortos para las bondades ofrecidas en la nube, por lo que se hará envío de imágenes capturadas cada cierto tiempo y serán registradas en el Cloud Storage. Cada 20 minutos se hará una revisión de las imágenes guardadas para cada kit de cámara ESP32-CAM y se hará una conversión a vídeo a través de una Cloud Function. Finalmente, cada video transformado registrará la información en dos componentes:

- Base de Datos Firestore, capturará un registro único de cada video y asociará estos a las unidades de transporte.
- Cloud Storage, guardará los archivos estáticos de video en su formato multimedia para una revisión posterior.

La capa web, funcionará como UI o interfaz gráfica que lee de las bases de datos (realtime y firestore) para mostrar las rutas, recorridos, unidades y un mapa con el posicionamiento en tiempo real, al seleccionar una unidad específica de transporte y los videos capturados que serán

autenticados mediante una API en Cloud Run. Cloud Run es uno de los recursos más flexibles de GCP ya que permite combinar el concepto de containers para empaquetar cualquier aplicación desarrollada en cualquier lenguaje y ofrecer un punto de entrada público que es accesible a través de Internet. Es una forma más económica y liviana de desplegar aplicaciones que tendrán un tráfico escalable, ya que permite definir cuántas réplicas serán necesarias para suplir la concurrencia de peticiones. Frente a la aplicación, se sugiere el uso de un balanceador de carga, que brinde una capa adicional de seguridad y que sirva de punto de entrada para las interacciones del usuario.

5.1.2.1 Componentes sugeridos

En la capa de datos se muestra como sugerencia el componente de BigQuery, para el análisis estadístico de los recorridos. BigQuery permite transformar un conjunto de datos en estructuras relacionales y realizar consultas/queries de alto nivel y a gran velocidad. Este no será parte del prototipo, sin embargo, se refleja en el diagrama general ya que cuenta con una capacidad alta de procesamiento de datos, que al ser combinado con herramientas de análisis estadísticos, como Power BI, Google Data Studio, Tableau, podrán apoyar en la toma de decisiones mediante reportería que compare variables de interés en el monitoreo de las unidades, según el VMT considere conveniente.

5.1.3 Diagrama de clases

Los diagramas de clases permiten modelar el tipo de datos para un sistema de una forma simple y clara. Cada clase representa una entidad en la realidad que generará información. La terminación en flecha indica el tipo de relación 1..* que se tendrá entre ambos objetos y cuando

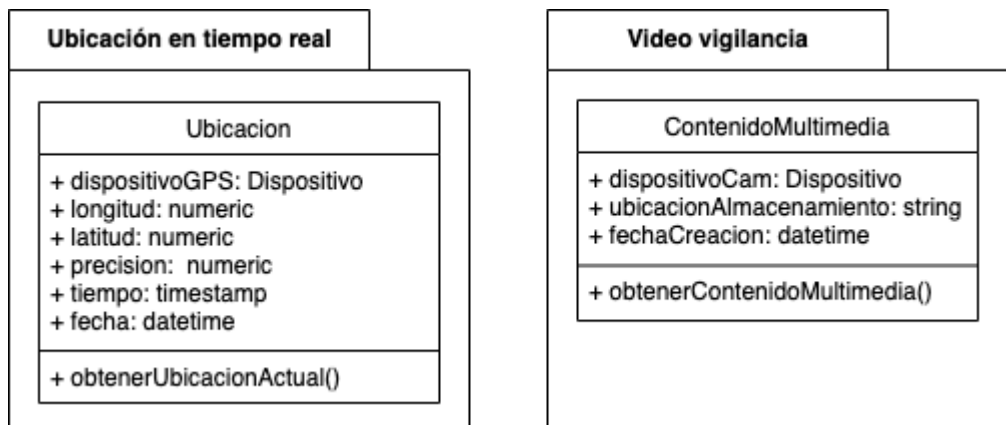
no existe una terminación en flecha, significa que la relación es directa. La Figura 21 se muestra cómo se han organizado las clases según su relevancia:

Ubicación en tiempo real: representa el registro de puntos específicos de ubicación en un tiempo dado para un dispositivo dado. Se definirá una frecuencia de 15 segundos para su captura y un registro exclusivo.

Videovigilancia: es el segundo componente relevante en el proyecto, se representa mediante una clase de contenido multimedia que registrará archivos en un almacenamiento de archivos estáticos para cada dispositivo.

Figura 21

Diagrama de clases para la ubicación en tiempo real y video vigilancia



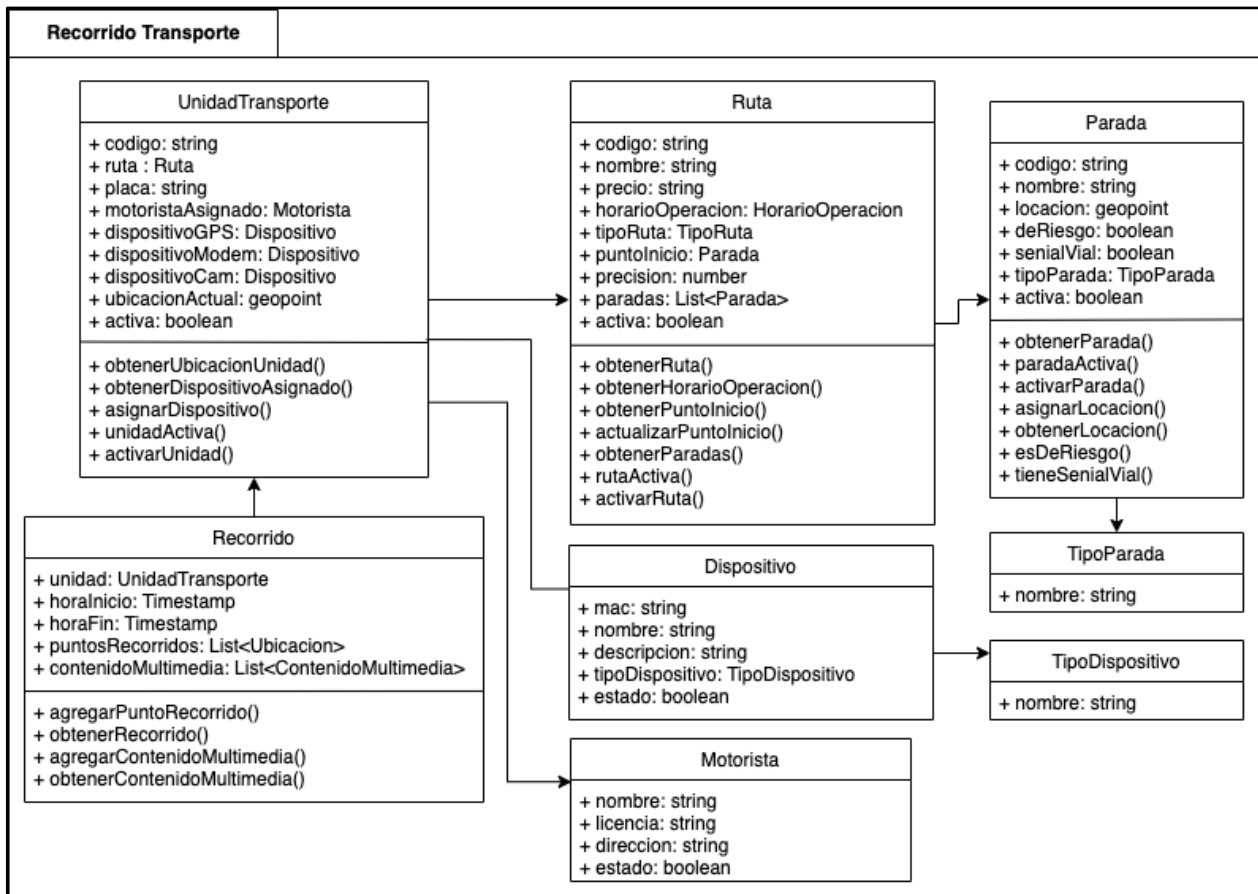
Nota. Elaboración propia, 2022.

Recorrido transporte: incluye una serie de clases que representan la trayectoria recorrida por cada unidad de transporte público. Para ello cada ruta deberá contar con un registro actualizado de paradas, estas contarán con un punto de locación que permitirá identificarlas en un mapa geográfico. Las unidades de transporte deberán contar con la asignación de los dispositivos únicos para GPS, router con módem incorporado para Internet y cámara, de esa

forma se podrá conocer su ubicación en tiempo real y a su vez generar una colección de puntos de ubicación para cada recorrido. A la clase recorrido, ver Figura 22, se le asociará el contenido multimedia grabado en un periodo de tiempo.

Figura 22

Diagrama de clases para el recorrido del transporte público



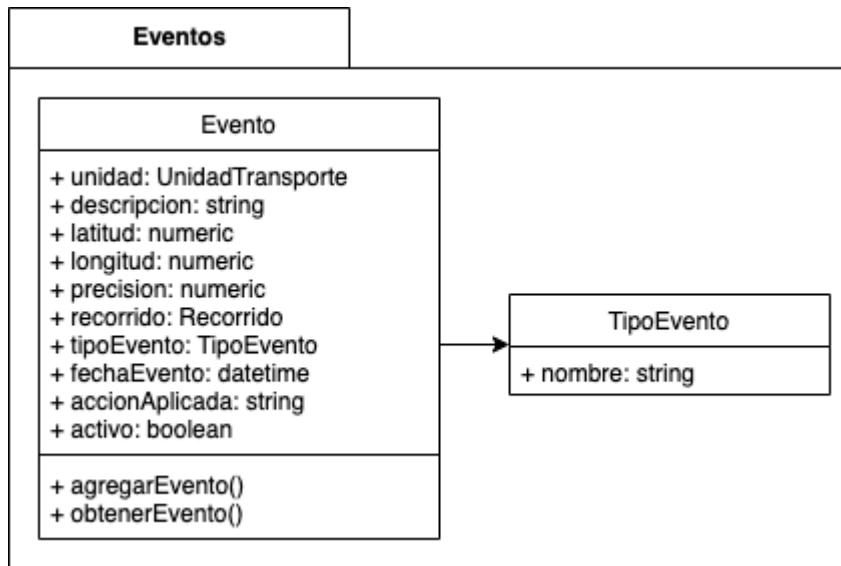
Nota. Elaboración propia, 2022.

Eventos: uno de los objetivos del monitoreo y videovigilancia es poder identificar eventos que alerten al VMT en la aplicación de acciones de mejora en la seguridad y experiencia en la movilización dentro de las unidades. Se propone una clase eventos, ver Figura 23, que permita el registro de sucesos como robos, asaltos, buses fuera de ruta, accidentes, entre otros. Podrían ser

asociados a un recorrido específico y de esa forma reportar a otros departamentos como a la Policía Nacional.

Figura 23

Diagrama de clases para el registro de eventos



Nota. Elaboración propia, 2022.

5.1.4 Base de datos

Se ha elegido Cloud Firebase para el almacenamiento de datos. Existen dos tipos de almacenamiento según la naturaleza de la aplicación:

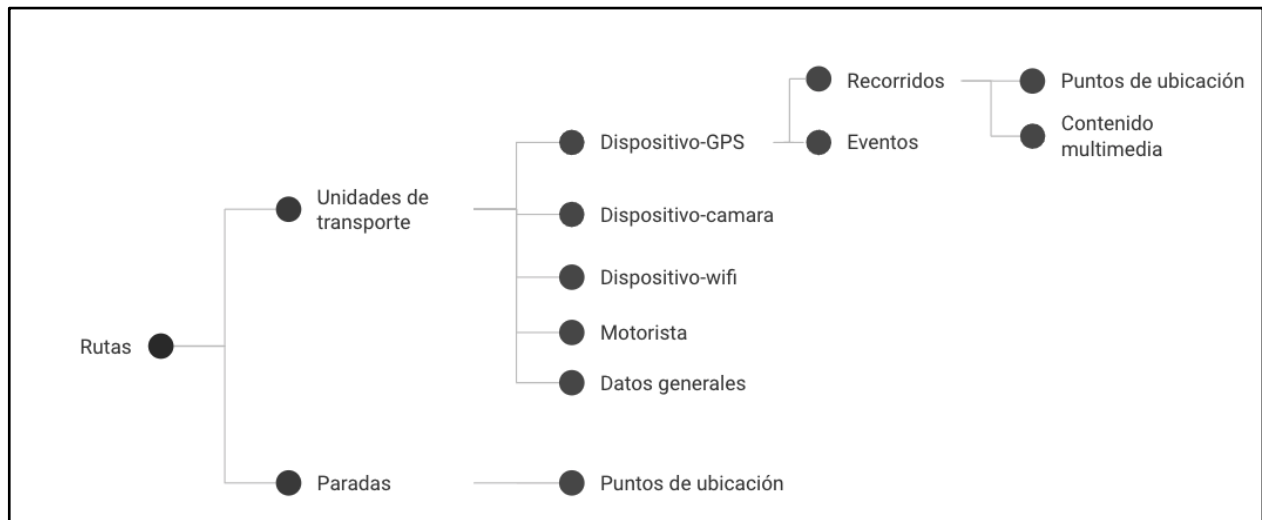
- Firestore: base de datos para aplicaciones web y móviles.
- Realtime database: base de datos eficiente con latencia baja para clientes que requieren información realtime.

Debido a que Firebase es una base de datos no relacional, su forma de almacenamiento es a través de colecciones. Las colecciones no son más que la agrupación de objetos en formato JSON. Cada objeto es conocido como documento y sus tipos de datos pueden variar según se

necesite, es bastante común contar con colecciones anidadas para encapsular toda la información requerida por objetos, esto permite una obtención rápida de la información. La figura 24 muestra el diagrama de base de datos que permite visualizar la relación y anidación que se tendrá con los elementos identificados para el sistema de monitoreo.

Figura 24

Diagrama de base de datos NoSQL, alto nivel

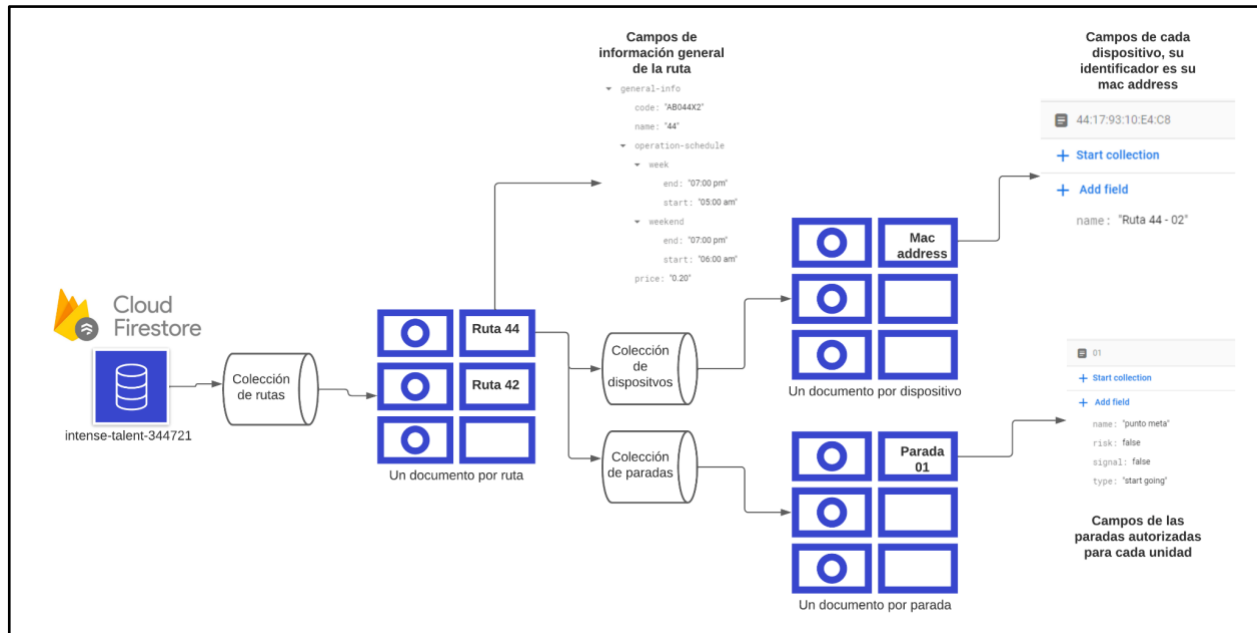


Nota. Elaboración propia, 2022.

La Figura 25 muestra un ejemplo de colecciones creadas en Firestore para representar los datos que se registrarían para la ruta 44 y adicional se menciona la ruta 42. Dentro del documento ruta se encuentra un conjunto de información general y luego dos colecciones para los dispositivos y para las paradas. Cada dispositivo contendrá su propio conjunto de información, siendo uno de los elementos clave la MAC address que sirve como llave/identificador del documento. Las paradas también cuentan con un código único, por lo que se utilizará como llave/identificador del documento para una obtención rápida.

Figura 25

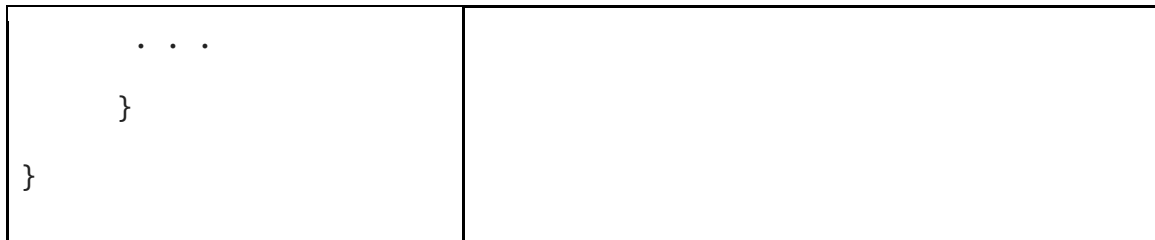
Ejemplo de base de datos en Firestore para el registro de rutas



Nota. Elaboración propia, 2022.

Para el almacenamiento de la geolocalización se ha definido una estructura simple dentro de la base realtime:

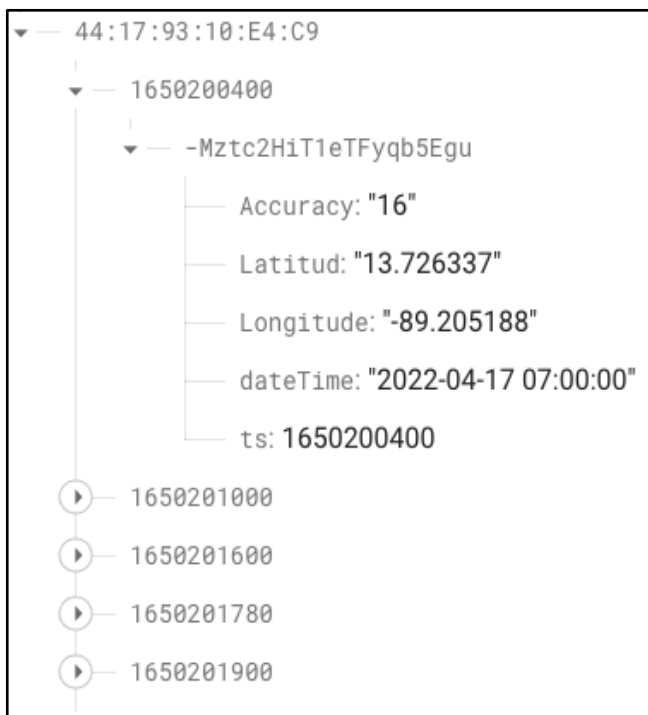
<pre> "Mac-address-device" : { "timestamp-1" : { "Accuracy" : "", "Latitud" : "", "Longitud" : "", "ts" : "", "datetime" : "" }, "timestamp-2" : { </pre>	<ul style="list-style-type: none"> ● Identificador único por cada dispositivo ● Tiempo de captura del punto de ubicación ● Precisión ● Latitud ● Longitud ● Tiempo en que fue capturado el punto ● Fecha de registro
---	---



La Figura 26 muestra cómo cada uno de los devices a utilizar tendrá su propia raíz dentro del JSON padre que encierra toda la data en Firebase correspondiendo a la MAC address de la placa de desarrollo que envía los datos GPS. Dentro de este JSON hijo para cada dispositivo se almacenarán los puntos de ubicación para una fecha y hora determinada.

Figura 26

Ejemplo de la estructura de datos para la geolocalización



Nota. Elaboración propia, 2022.

5.1.5 Funcionalidad en aplicación web

La aplicación web debe ser simple y permitir una navegación intuitiva entre los componentes de monitoreo y mantenimiento, por lo que se esperan los siguientes módulos funcionales como mínimo:

1. Página de login: deberá contar con autenticación segura y manejo de perfiles para autorización (opcional).
2. Página principal de monitoreo: deberá mostrar la información de cada ruta, permitir la selección de cada una y visualizar su ubicación en tiempo real más su recorrido.
3. Página de mantenimiento de catálogos: el VMT necesitará un espacio para el mantenimiento de las entidades definidas en el diagrama de clases (opcional).
4. Consulta de videos: por último, la consulta de videos podrá ser en tiempo real o posterior, filtrando por unidad de transporte los videos colectados en cada recorrido.

5.1.5 Diseño de frontend web

Para el sistema web, se tendrá una funcionalidad básica que permita navegar e interactuar con las funciones de monitoreo y de administración de rutas para futuras implementaciones. En total se trabajarán 2 pantallas principales (3 y 4), dejando abierta la opción para que se implemente en el futuro las adicionales (1, 2, 5 y 6):

1. **Login:** utilizando autenticación básica de usuario y contraseña. Con dos opciones de login y cancelar la acción, ver Figura 27.

Figura 27

Diseño propuesto para la página de login



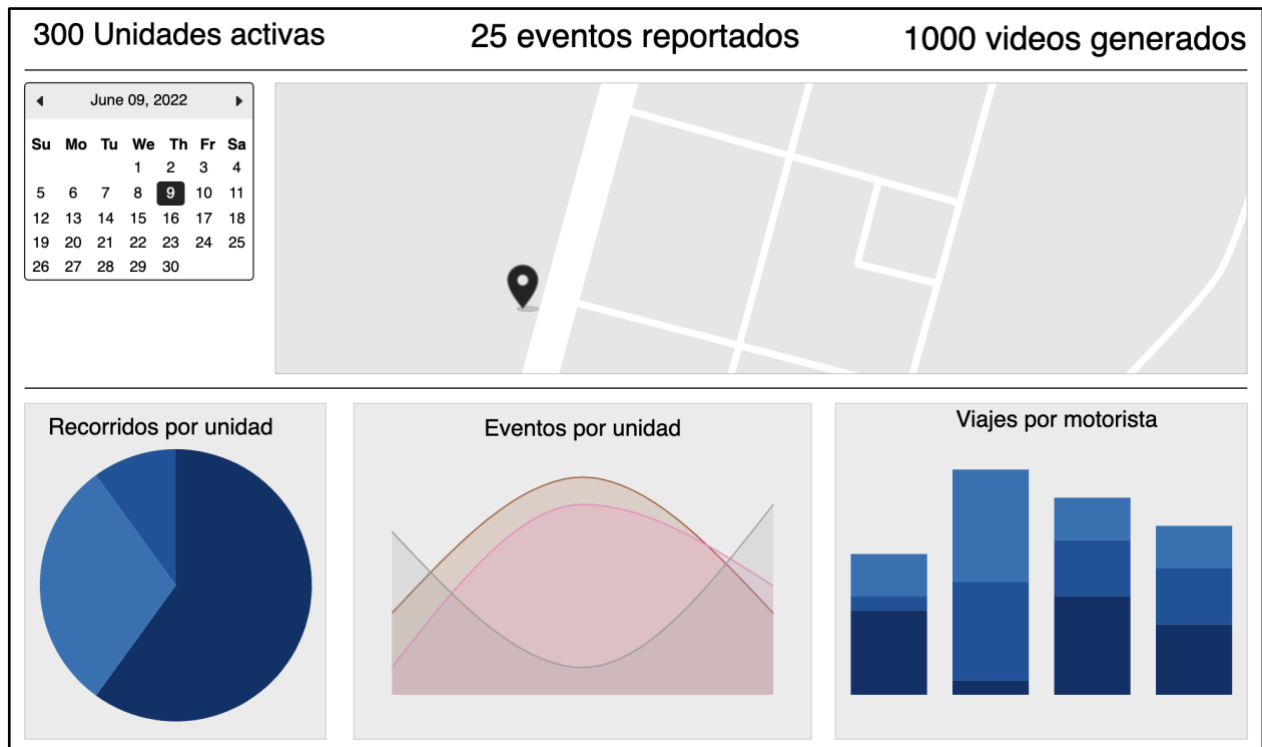
The image shows a proposed login form layout. At the top center is a square placeholder for a user profile picture, containing a dark silhouette of a person's head and shoulders. Below this are two input fields: the first is labeled 'Usuario' and the second is labeled 'Contraseña' with a small asterisk icon to its left. At the bottom of the form are two buttons: a dark 'Login' button and a light 'Cancelar' button.

Nota. Elaboración propia, 2022.

2. **Inicio:** se propone que la pantalla de inicio cuente con reportería actualizada, con gráficos que indiquen los recorridos realizados, las rutas activas, la cantidad de eventos registrados, entre otros, para que dicha información pueda indicar el estado general del monitoreo, ver Figura 28.

Figura 28

Diseño propuesto para la página de inicio

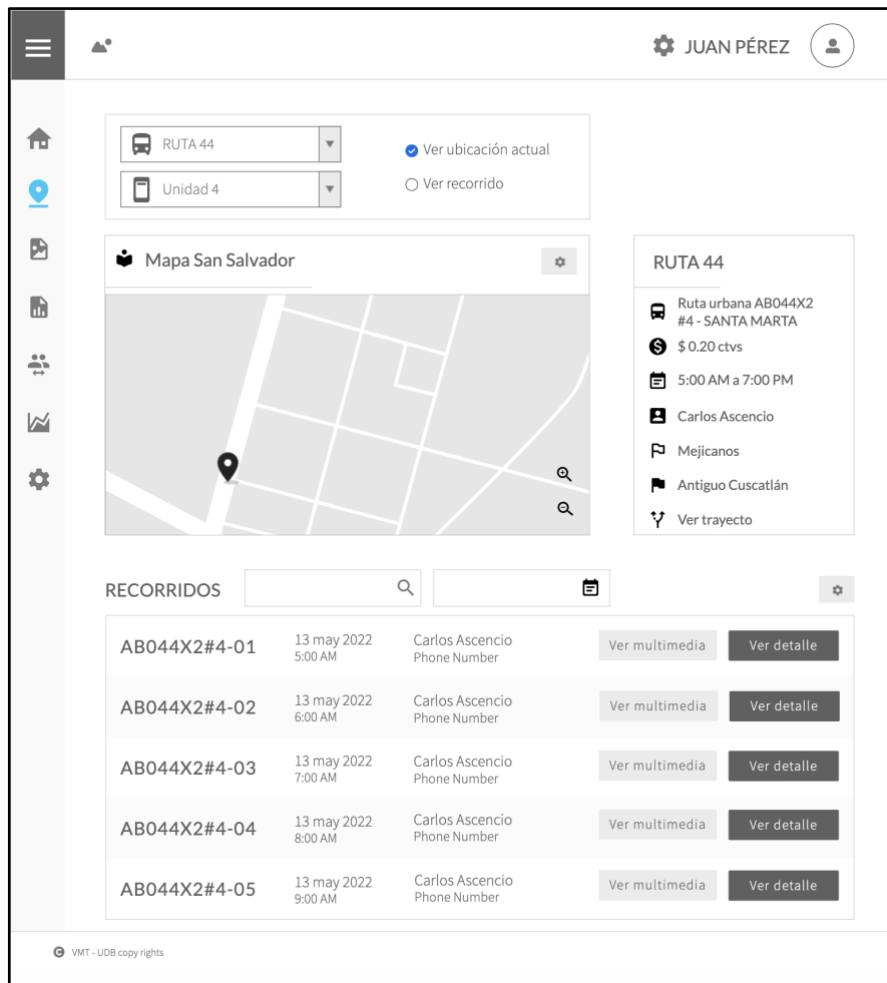


Nota. Elaboración propia, 2022.

3. **Monitoreo:** pantalla principal, que podrá ser accesible desde el menú izquierdo. En la parte superior se tendrá un conjunto de campos para seleccionar la ruta, la unidad de transporte y si se desea ver la ubicación actual o un recorrido específico de la unidad seleccionada. En la parte del centro se mostrará el mapa con el detalle y a su lado derecho la información de la ruta. En la parte inferior, se sugiere el poder elegir de una lista de recorridos completados, tomando en cuenta que se guardarán recorridos no mayores a 1 semana, ver Figura 29.

Figura 29

Diseño página de inicio y monitoreo

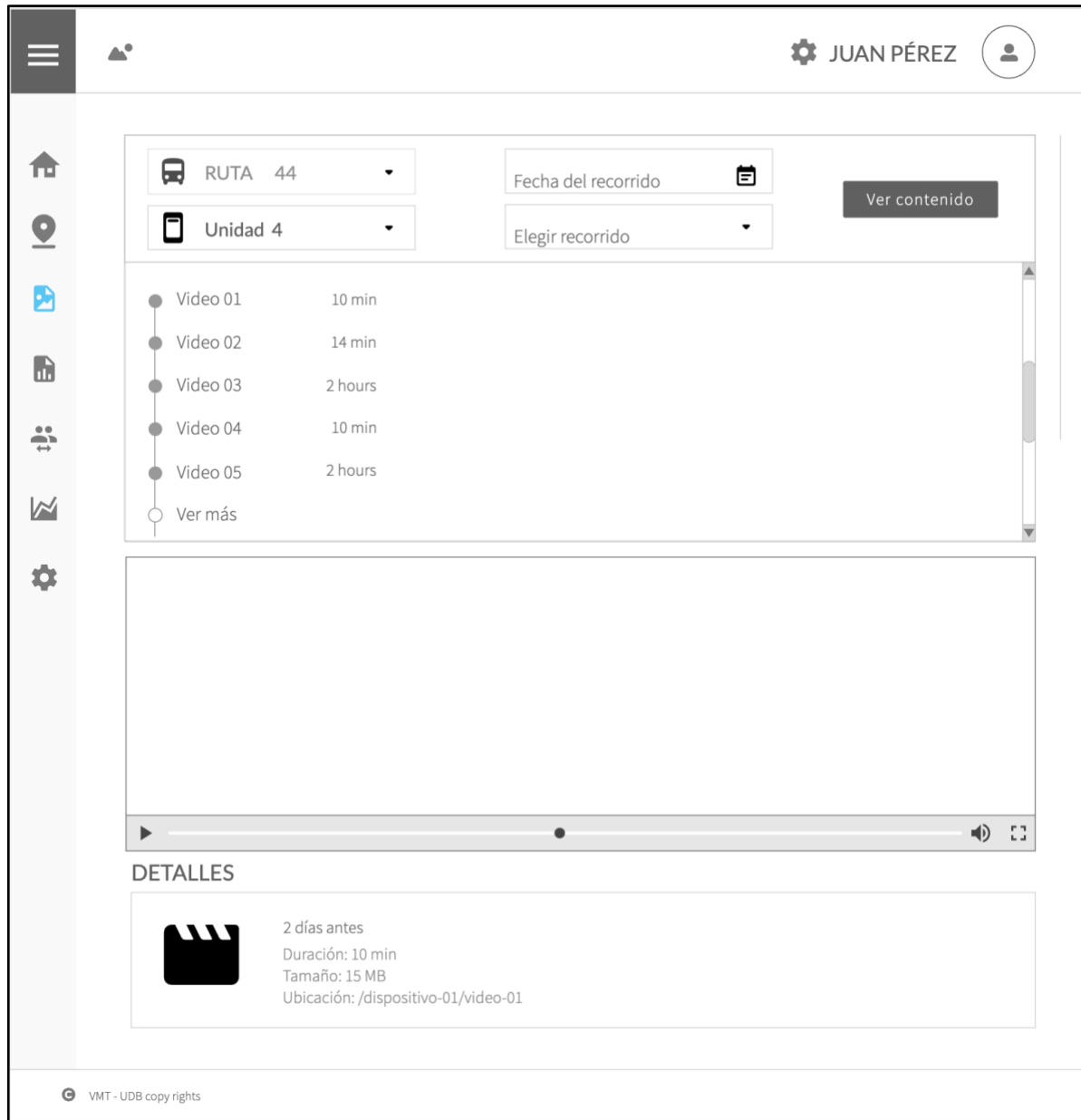


Nota. Elaboración propia, 2022.

- Multimedia:** La Figura 30 muestra el diseño de esta pantalla la mostrará una sección de filtro en la parte superior, similar a la de monitoreo y permitirá mostrar el contenido multimedia recolectado para un recorrido específico en la parte central de la pantalla. En la parte inferior se mostrarán detalles generales.

Figura 30

Diseño página de contenido multimedia



Nota. Elaboración propia, 2022.

5. **Eventos:** se propone un formulario para el registro de eventos durante los recorridos, los cuales deberán ser asociados a una ruta, unidad, fecha y recorrido. Se podrá indicar el punto

de ubicación del evento y detalles del mismo: descripción, tipo de evento y qué acción se aplicará para mitigar el suceso, ver Figura 31.

Figura 31

Diseño página de registro de eventos

The image shows a web application interface for creating a new event. The page is titled "Nuevo evento" and is divided into two main sections: "Nuevo evento" and "Punto de ubicación".

Nuevo evento

- Seleccionar ruta (dropdown menu)
- Fecha del evento (calendar icon)
- Descripción (text input field)
- Seleccionar tipo de evento (dropdown menu)
- Evento activo
- Seleccionar unidad de trans (dropdown menu)
- Seleccionar Recorrido (dropdown menu)
- Seleccionar acción aplicada (dropdown menu)

Punto de ubicación

- Mapa de ubicación con un marcador de ubicación.
- Elegir ubicación (button)

At the bottom of the "Nuevo evento" section, there are two buttons: "Guardar evento" and "Cancelar".

The top navigation bar includes a hamburger menu, a profile icon, and the name "JUAN PÉREZ" with a gear icon. The sidebar on the left contains icons for home, location, document, calendar, settings, and a gear icon. The footer contains the text "© VMT - UDB copy rights".

Nota. Elaboración propia, 2022.

6. **Configuraciones:** los catálogos para la administración de rutas, unidades, paradas, dispositivos y motoristas estarán dispuestos en esta pantalla. Cada una mostrará la lista de

elementos existentes según su clase y podrán ser agregados nuevos registros, modificar (editar) existentes, inactivar o ver detalles de estos, ver Figura 32.

Figura 32

Diseño página de configuraciones de catálogos del sistema

Código	Nombre	Ubicación	¿Riesgo?	¿Señal vial?	Tipo	Actions
01	PUNTO META	Lat, long, pre	No	No	Inicio ida	Editar , Inactivar , Ver
02	UCA	Lat, long, pre	No	Vertical	Intermedia	Editar , Activar , Ver
03	MELHER	Lat, long, pre	No	No	Intermedio	Editar , Inactivar , Ver
04	SANTA MARTA	Lat, long, pre	No	No	Fin ida	Editar , Inactivar , Ver

Nota. Elaboración propia, 2022.

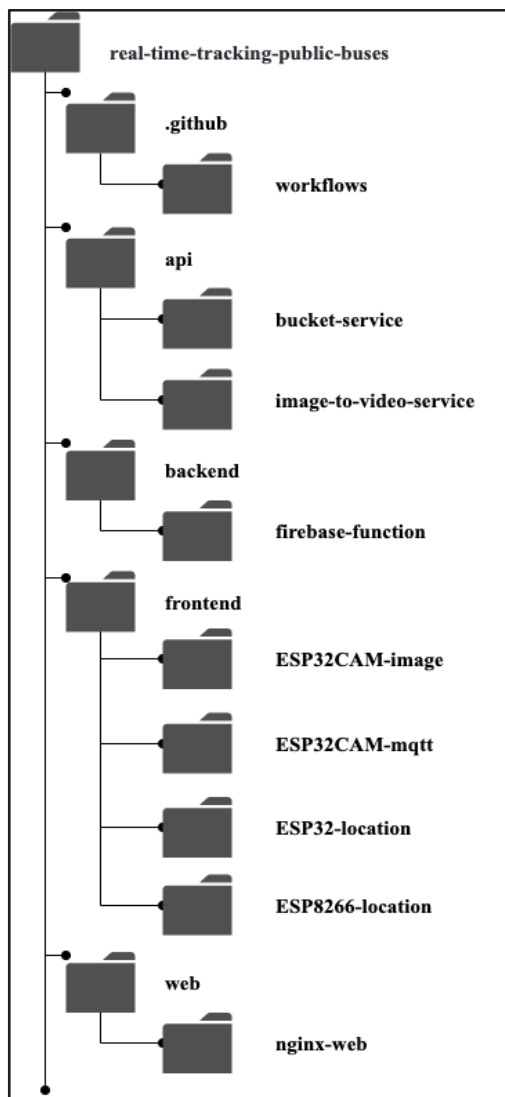
5.2 Desarrollo de la solución

5.2.1 Estructura general del proyecto

Se ha dispuesto en un repositorio con versionamiento el código con la solución construida para las distintas capas de la solución, en la Figura 33 del directorio se muestran los niveles principales y sus componentes.

Figura 33

Directorio del proyecto



Nota: Elaboración propia, 2022

Descripción de contenido.

- **.github/workflows:** este folder contiene los archivos con lenguaje declarativo (YAML), el cual define un flujo configurable para automatizar la integración y despliegue de cambios de la aplicación web.
- **api:** contiene soluciones de tipo API creadas por el equipo para procesar información y servirla en la aplicación web o en la capa del backend.
- **backend:** contiene el entorno de desarrollo de firebase SDK para cloud functions y la función que genera los recorridos completados por unidad de transporte.
- **frontend:** contiene las distintas rutinas codificadas para obtener información de geolocalización e imágenes desde las distintas placas de desarrollo:
 - ESP32CAM-image: contiene las rutinas para capturar imágenes usando firebase authentication y cloud storage.
 - ESP32-location: define un ejemplo de cómo obtener puntos de geolocalización usando el módulo de Espressif ESP32.
 - ESP8266-location: muestra un ejemplo de cómo obtener puntos de geolocalización usando el módulo de Espressif ESP8266.
- **web:** contiene el código referente al servidor web (nginx) y la aplicación que servirá de interfaz para mostrar las pantallas de monitoreo de las unidades de transporte.

5.2.2 Frontend

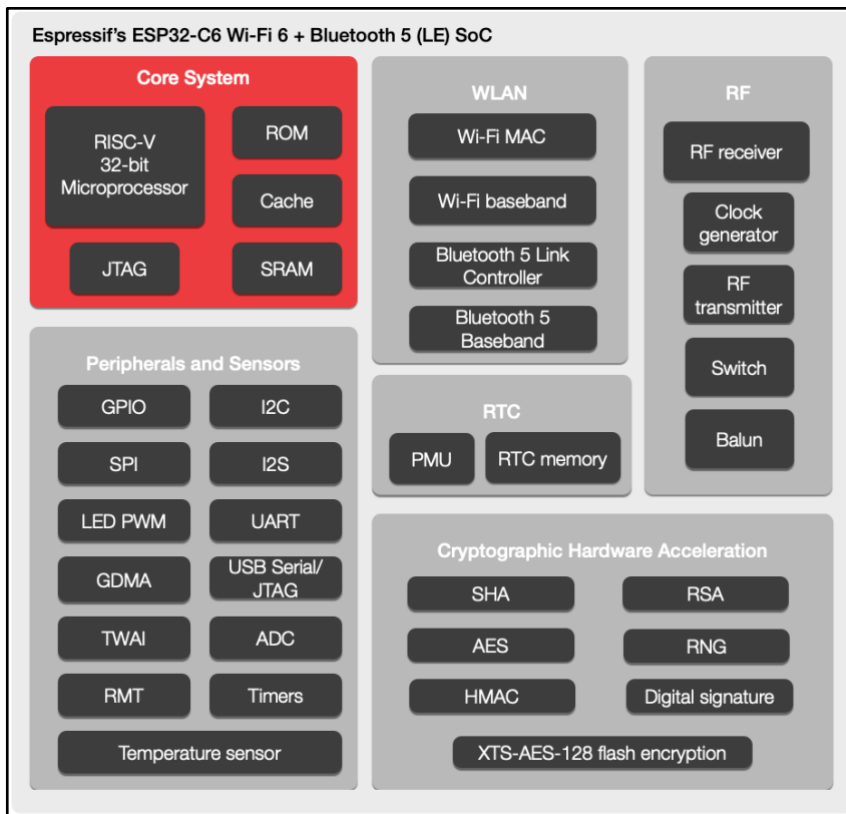
La mayor cantidad de procesamiento del sistema está relacionado a los dispositivos que están ubicados en las unidades de transporte: dispositivos de ubicación o GPS, y la captura de

imágenes y subirlas a la nube; ambas tareas realizadas por medio de placas de desarrollo de ESP, capaces de conectarse a la nube a través de interfaces Bluetooth y WiFi.

Para el proyecto se han utilizado los módulos ESP codificando las rutinas sobre la plataforma de código abierto ARDUINO IDE, con el lenguaje de programación C++, utilizando las librerías de soporte del dispositivo ESP32 propias de Espressif, cuya estructura se muestra en la Figura 34, quien es el fabricante de dicho tipo de dispositivos.

Figura 34

Estructura de librería ESP32 de Espressif



Nota: Tomado de Espressif, 2022.

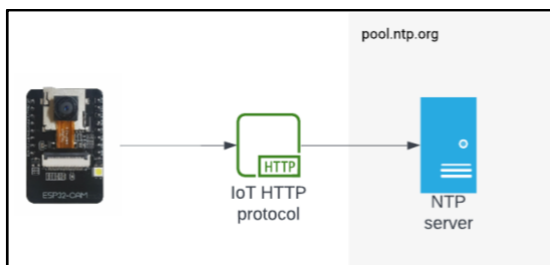
5.2.2.1 Librerías comunes de Arduino

Para la comunicación entre los dispositivos frontend y el almacenamiento de datos en Firebase, se utiliza la librería compartida Firebase-ESP-Client, desarrollada por mobitz. La librería funciona con ambos tipos de placas para ESP8266 y ESP32. La librería provee funcionalidad para crear los objetos que serán guardados en la base de datos no relacional, como elementos para conectarse al bucket de almacenamiento de archivos, donde se guardarán las imágenes y videos que se guardarán de los dispositivos de las cámaras.

Por otra parte, debido a que los microprocesadores no cuentan con un reloj interno propio y únicamente es capaz de contar los milisegundos desde que se inició por última vez, se utilizan las librerías provistas por las librerías estándar de Arduino para poder comunicarse con el servidor de tiempo “pool.ntp.org”, ver Figura 35, para poder determinar la hora actual del sistema, y poder sincronizar la información con el resto del sistema de monitoreo.

Figura 35

Comunicación entre placa de desarrollo y el servidor del tiempo



Nota: Elaboración propia, 2022

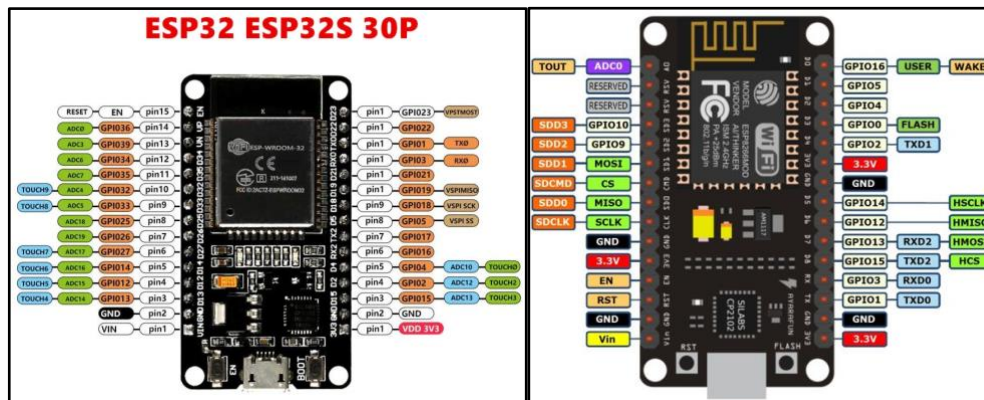
5.2.2.2 GPS Location

Para poder determinar la ubicación GPS en tiempo real, se ha optado por una solución de bajo costo, utilizando las placas de desarrollo ESP32 y ESP8266, ver Figura 36, que determinan la

ubicación de un elemento de forma dinámica, ya que cuentan con un módulo de WIFI y permiten asociar otras librerías de GPS para triangular la ubicación registrada por todas las redes inalámbricas alcanzables por el dispositivo. Una vez identificada la posición en términos de longitud, latitud y precisión, se consolidan en un documento y se sube a firebase a través de la librería compartida.

Figura 36

Representación física de los dispositivos ESP32 y ESP8266



Nota: Tomados de Aliexpress y ESP32 Shop, 2022

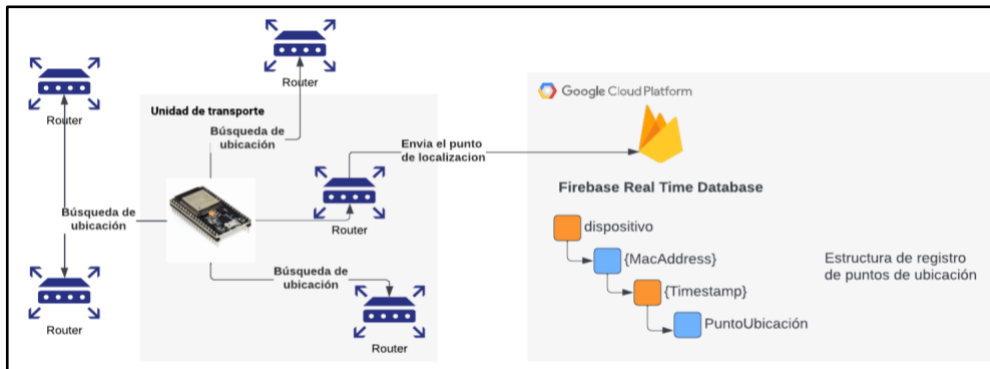
Estrategia de procesamiento de puntos de ubicación:

- Frecuencia de captura de GPS: 5 segundos.
- Nombre del punto de ubicación: /dispositivo/{MacAddress}, que finalmente es registrado como una colección de dispositivos y de puntos como se muestra en la siguiente figura.
- Información enviada en formato JSON: latitud, longitud, precisión, fecha, tiempo de captura. Como se muestra en la Figura 38 el método utilizado es PushJSON de firebase para insertar un nuevo punto al final de la lista para un mismo dispositivo, como se muestra en la Figura 37.

- Autenticación: se realiza mediante API Key con Firebase, dicha API key fue generada al momento de habilitar la API en el proyecto de GCP.

Figura 37

Diagrama de componentes para geolocalización



Nota: Elaboración propia, 2022

Figura 38

Código principal para el envío de puntos a Firebase real time DB

```

if (Firebase.ready() && signupOK && (millis() - sendDataPrevMillis > 15000 || sendDataPrevMillis == 0)) {
    sendDataPrevMillis = millis();

    timenow = setClock ();
    loc = location.getGeoFromWiFi();

    Serial.println("Location request data");
    Serial.println(location.getSurroundingWiFiJson());

    json.add("Latitude",String(loc.lat, 7));
    json.add("Longitude",String(loc.lon, 7));
    json.add("Accuracy",String(loc.accuracy, 7));
    json.add("dateTime",timenow);
    json.set("Ts/.sv", "timestamp");

    String keyPath = "/dispositivo/"+macStr+"/";
    keyPath +=globalTimestamp;

    if (Firebase.RTDB.pushJSON(&fbdo2, keyPath, &json)) {
        Serial.println(fbdo2.dataPath());
        Serial.println(fbdo2.pushName());
        Serial.println(fbdo2.dataPath() + "/" + fbdo2.pushName());

        String dataPath = fbdo2.dataPath() + "/" + fbdo2.pushName();
        Firebase.RTDB.setTimestamp(&fbdo2, dataPath + "/ts");
    }
}

```

Nota: Elaboración propia, 2022

5.2.2.3 Captura de imágenes usando Firebase

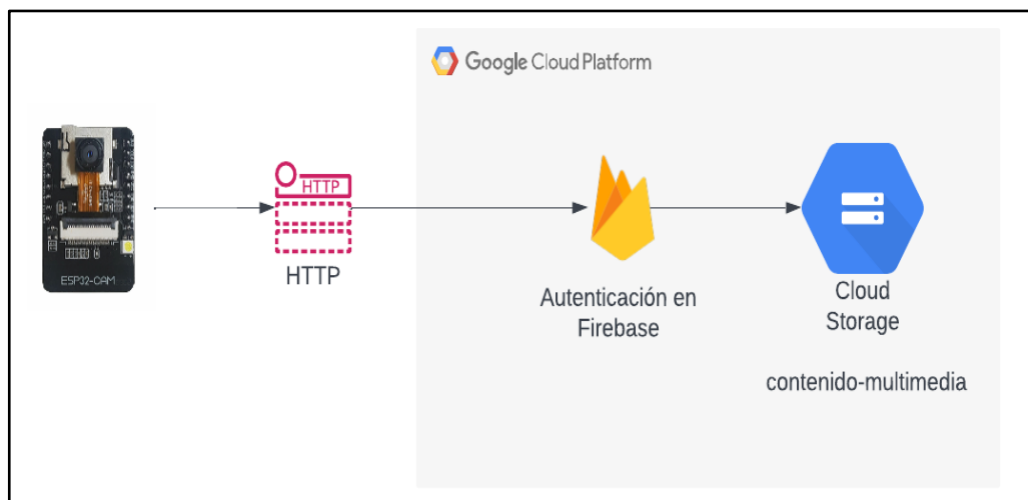
Para la captura de videos se optó por la captura de imágenes, como lo muestra la Figura 39, con una frecuencia de 5 segundos, que envíe cada archivo a un almacenamiento en la nube. Este almacenamiento es posteriormente procesado para generar un video. Es posible hacer streaming para procesar contenido en tiempo real, sin embargo, dicho proceso implica el uso de APIs con altos costos como: Cloud Vision, Video Intelligence API, IAStreamer.

Estrategia de procesamiento de imágenes:

- Frecuencia de captura de imágenes: 3 segundos.
- Nombre de imágenes: {MacAddress}_{timestamp_de_captura}.jpg
- Formato: OV2640 JPEG de baja resolución.
- Autenticación: básica con usuario y password en el autenticador de firebase.

Figura 39

Diagrama de componentes para la captura de imágenes con firebase



Nota: Elaboración propia, 2022

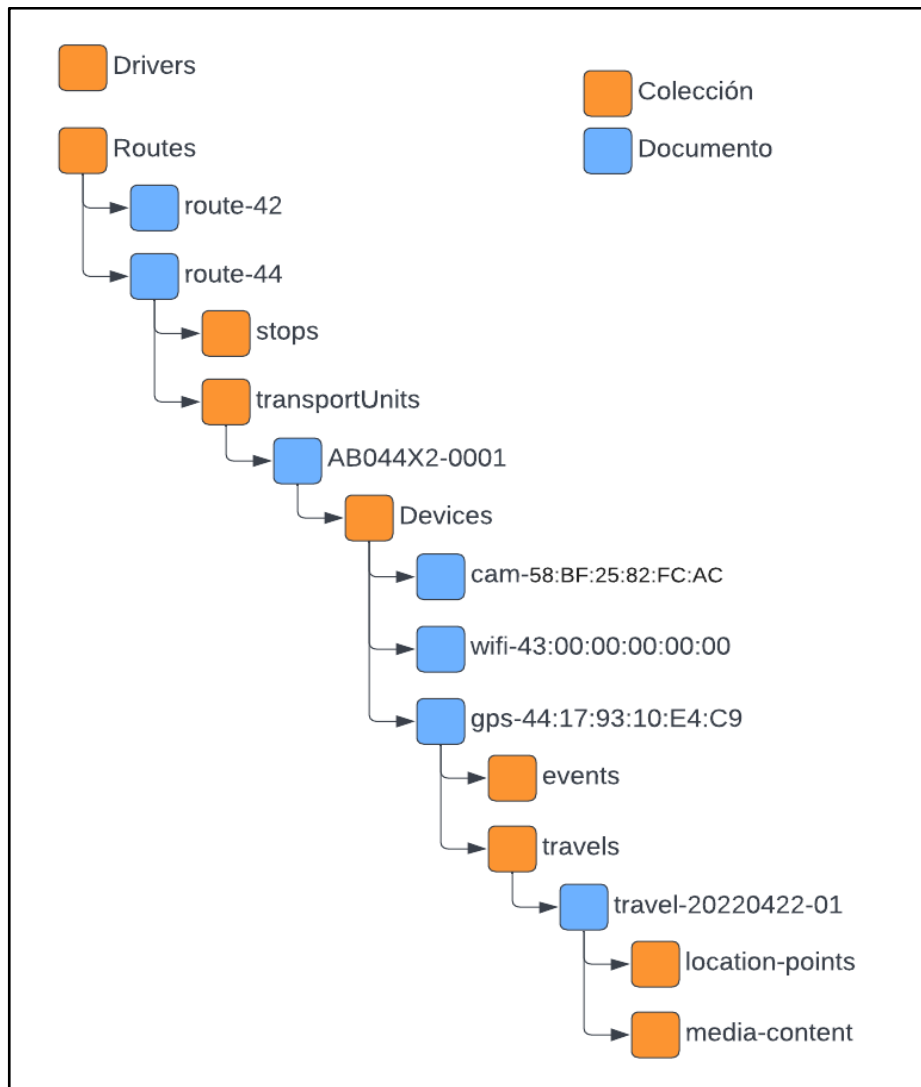
5.2.3 Backend

5.2.3.1 Bases de datos en Firebase

En la figura 40 se muestra una representación estructural de las colecciones y documentos creados para la base de datos en Firebase, así como el diccionario de datos detallado desde la tabla 7 hasta la tabla 17.

Figura 40

Diagrama de base de datos Firestore - colecciones y documentos



Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 7*Catálogo de colecciones definidas en Firestore*

Colección	Detalles
drivers: motoristas	Ubicación: drivers/ Propósito: registrar la lista de motoristas.
route: rutas	Ubicación: routes/ Propósito: registrar las rutas disponibles a monitorear.
stops: paradas	Ubicación: routes/{route-ID}/stops/ Propósito: registrar las paradas oficiales definidas por el VMT.
transportUnits: unidades de transporte	Ubicación: routes/{route-ID}/transportUnits/ Propósito: registrar las unidades de transporte para una ruta.
devices: dispositivos	Ubicación: routes/{route-ID}/{unitID}/devices/ Propósito: registrar los dispositivos asignados a una unidad de transporte, siempre serán tres tipos: kit para cámara, placa gps y router para wifi.
events: eventos	Ubicación: routes/{route-ID}/{unitID}/devices/{gps-MacAddress}/events/ Propósito: registrar los eventos ocurridos para una unidad de

	<p>transporte. Se asocia a un dispositivo GPS para identificar en qué posición ocurrió el evento.</p>
travels: recorridos	<p>Ubicación: routes/{route-ID}/{unitID}/devices/{gps-MacAddress}/travels/</p> <p>Propósito: registrar los recorridos realizados por una unidad.</p>
location-points: puntos de ubicación	<p>Ubicación: routes/{route-ID}/{unitID}/devices/{gps-MacAddress}/travels/{travel-datetime-ID}/location-points/</p> <p>Propósito: registrar los puntos de locación/ubicación de la unidad para cada recorrido completado desde la parada de inicio hasta el retorno a la misma.</p>
media-content: contenido multimedia	<p>Ubicación: routes/{route-ID}/{unitID}/devices/{gps-MacAddress}/travels/{travel-datetime-ID}/media-content/</p> <p>Propósito: registrar videos asociados a un recorrido.</p>

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 8*Diccionario de datos para motoristas*

Driver			
Key: licencia de conducir.			
Campos	Tipo de dato	¿Índice?	Ejemplo
name	String	No	Mario Canales
address	String	No	Residencial Moto...
driver-license	String	No	0614-121110-110-0
active	Boolean	No	true

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 9*Diccionario de datos para rutas*

Route			
Key: string, nombre oficial de la ruta.			
Campos	Tipo de dato	¿Índice?	Ejemplo
general-info	Map	No	{ code: 'AB044X2', name: 'Ruta 44',

			price: '0.20', route-type: 'urban' }
operation-schedule	Map	No	<ul style="list-style-type: none"> ▼ operation-schedule <ul style="list-style-type: none"> ▼ week <ul style="list-style-type: none"> end: "07:00 pm" start: "05:00 am" ▼ weekend <ul style="list-style-type: none"> end: "07:00 pm" start: "06:00 am"
prec	String	No	40 (mts)
start-point	Map		{location: {13.78542, -89.205146}}
active	Boolean	No	true
stops	Collection	Sí	Explicada en la tabla 11.
transportUnits	Collection	Sí	Explicada en la tabla 12.

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 10*Diccionario de datos para paradas oficiales*

Stop			
Key: string correlativo.			
Campos	Tipo de dato	¿Índice?	Ejemplo
name	String	No	Punto Meta (Mejicanos)
risk	Boolean	No	false
signal	Boolean	No	false
location	Map	No	{location: {13.78542, -89.205146}}
type	String	No	Posibles valores: start going, intermediate, end going, start return, end return.
active	Boolean	No	true

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 11*Diccionario de datos para las unidades de transporte*

TransportUnit			
Key: String, identificador único de la unidad.			
Campos	Tipo de dato	¿Índice?	Ejemplo
name	String	No	AB044X2-0001
license-plate	String	No	P123456
driver	Reference	No	Referencia a un documento de Driver. Ejemplo: drivers/ 0614-102120-120-1
actual-position	Map	No	{latitude: 13.78542, longitude: -89.205146}
active	Boolean	No	true
devices	Collection	Sí	Explicada en la tabla 12.

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 12*Diccionario de datos para los dispositivos en las unidades de transporte*

Device			
Key: String formado según el tipo de dispositivo:			
<ul style="list-style-type: none"> - cam-<code>{MacAddress}</code> - gps-<code>{MacAddress}</code> - wifi-<code>{MacAddress}</code> 			
Campos	Tipo de dato	¿Índice?	Ejemplo
name	String	No	ESP32-CAM
macaddress	String	No	58:BF:25:82:FC:AC
type	String	No	Tipos permitidos: cam, gps, wifi.
active	Boolean	No	true
events	Collection	Sí	Explicada en la tabla 13. Solo aplica para dispositivos de tipo gps.
travels	Collection	Sí	Explicada en la tabla 14. Solo aplica para dispositivos de tipo gps.

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 13*Diccionario de datos para los eventos de las unidades de transporte*

Event			
Key: timestamp.			
Campos	Tipo de dato	¿Índice?	Ejemplo
description	String	No	Accidente de buses
datetime	datetime	No	18/04/2022
type	String	No	Tipos permitidos: ACC, STO, DEV.
action	Boolean	No	Valores permitidos: none, covered.
location	Map	No	{accuracy: 14, latitude: 13.002562, longitude: -89.225001}
travel	Reference	No	Referencia a un documento de travels. Ejemplo: routes/route-44/transportUnits/AB044X2-0001/devices/gps-44:17:93:10:E4:C9/travels/travel-20220422-01
active	Boolean	No	true

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 14*Diccionario de datos para los recorridos de las unidades de transporte*

Travel			
Key: travel-{datetime}_{correlativo}.			
Campos	Tipo de dato	¿Índice?	Ejemplo
datetime	Datetime	No	18-04-2022
local-points	Collection	Sí	Explicada en la tabla 15.
media-content	Collection	Sí	Explicada en la tabla 16.

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 15*Diccionario de datos para los puntos de ubicación*

Local-point			
Key: timestamp.			
Campos	Tipo de dato	¿Índice?	Ejemplo
accuracy	String	No	16
latitude	String	No	13.7256852
longitude	String	No	-89.215623

datetime	Datetime	No	22-04-2022
----------	----------	----	------------

Nota: Elaboración propia, 2022

Tabla 16

Diccionario de datos para el contenido multimedia

Local-point			
Key: {MacAddress}_{timestamp}.			
Campos	Tipo de dato	¿Índice?	Ejemplo
creation-date	String	No	1650428868
path	String	No	/contenido-multimedia/videos/58:BF:25:82:FC:A C_1650428871.webm

Nota: Elaboración propia, 2022

5.2.3.2 Cloud Storage (bucket)

Para el almacenamiento de los archivos estáticos de multimedia se ha dispuesto de un bucket con las siguientes características:

Tabla 17

Cloud Storage (bucket) usado para el contenido multimedia

Nombre	contenido-multimedia
Ubicación de	Registro de imágenes: esp32-cam/

contenido	Registro de vídeos: videos/
Clase	Almacenamiento estándar, de uso frecuente
Ubicación	us-west2 (USA, Los Ángeles)
URL	https://console.cloud.google.com/storage/browser/contenido-multimedia
URI	gs://contenido-multimedia
Permisos	Privado, acceso mediante cuentas privadas de servicio GCP.

Nota: Elaboración propia, 2022

5.2.3.3 Firebase Function para creación de recorridos

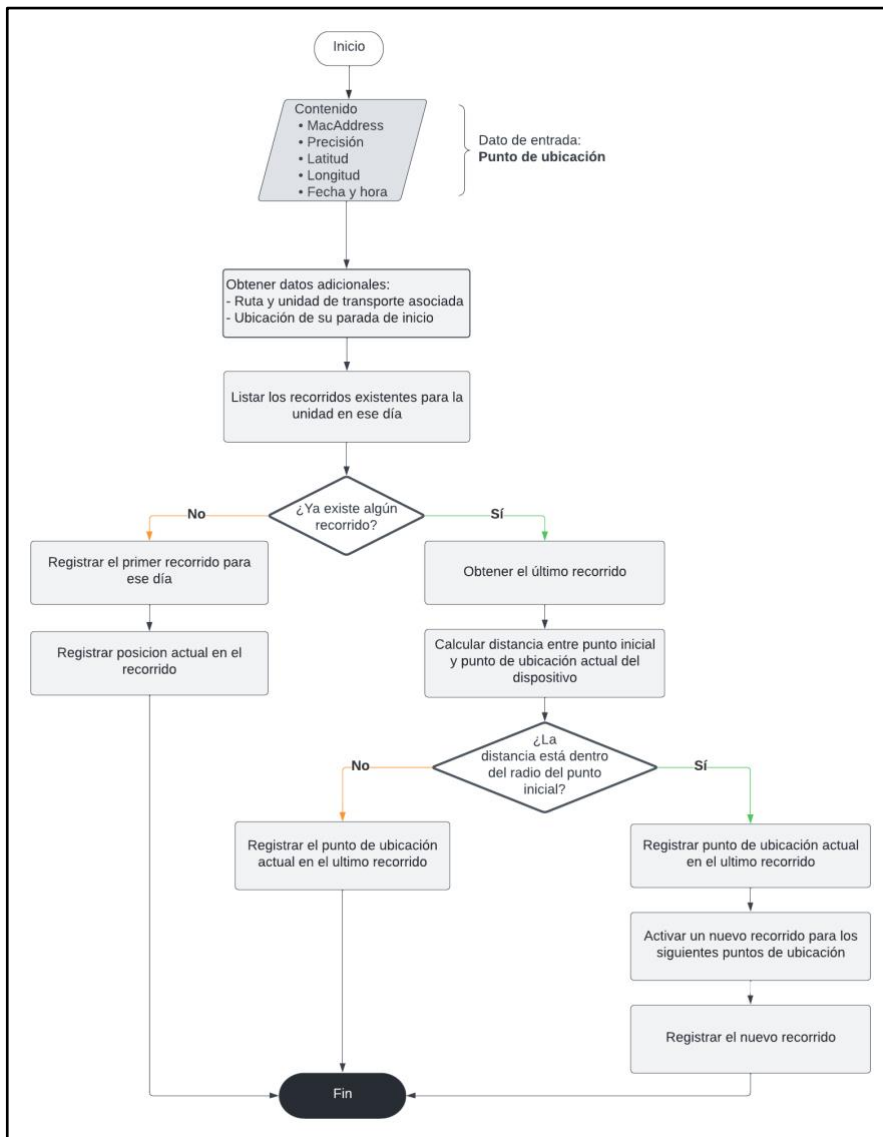
Para el monitoreo de localización se han dispuesto dos opciones: 1) ubicación de cada unidad de transporte en tiempo real; 2) ver recorridos completados para una unidad. La base de datos real time se encargará del punto 1 y la base de datos de Firestore del punto 2. Para crear y registrar un recorrido es necesario que existan puntos de ubicación, adicional a ello se debe contar con una ruta, unidad de transporte y la información de la ubicación de la parada inicial de esta para usarlo de referente en la comparación.

La Figura 41 muestra que lo primero que se realiza es listar los recorridos existentes, luego de haber completado la información de entrada. Si existe ya un recorrido, se toma el último y se calcula la distancia del punto actual de la unidad de transporte contra el punto de la parada de inicio. Si la diferencia está dentro del radio, esto indica que ese recorrido ha finalizado, pues ha regresado a su punto de origen y se debe cerrar dicho recorrido e iniciar uno nuevo. Si por el

contrario, la diferencia calculada está fuera del radio, entonces es otro punto intermedio de ubicación que debe ser registrado dentro del último recorrido activo para una determinada unidad de transporte. Si no existen recorridos para el día consultado, se crea uno nuevo y se agrega el punto de ubicación.

Figura 41

Diagrama de flujo para definir recorridos

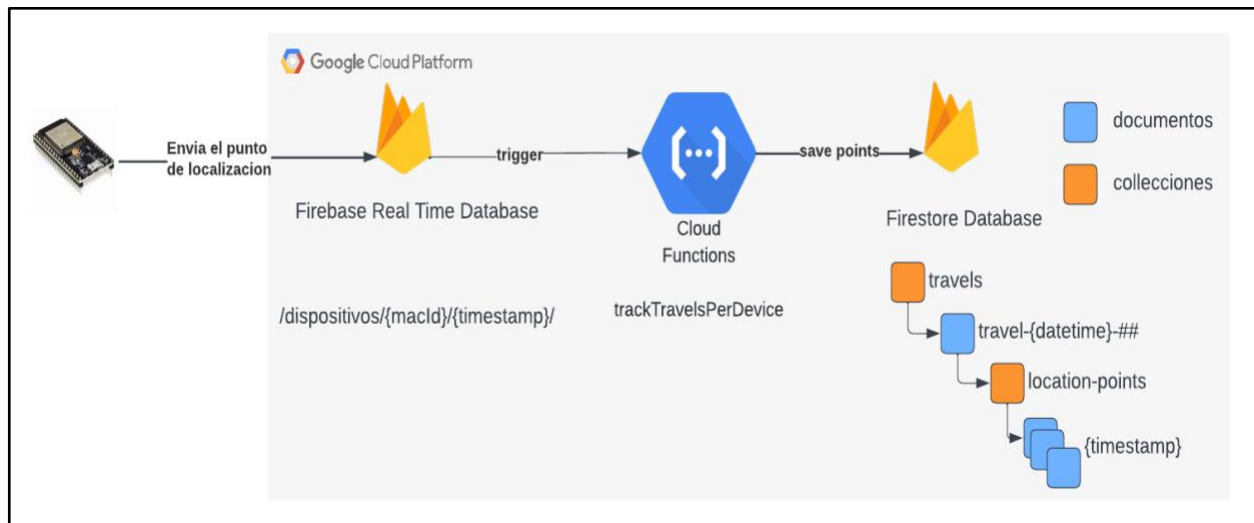


Nota: Elaboración propia, 2022.

Los componentes de arquitectura utilizados están dentro de los recursos que ofrece GCP. Por un lado, la Firebase de real time dispara el evento que llama a una Cloud Function que aplica las reglas explicadas en el diagrama de flujo anterior. Esta registrará los cambios dentro de la estructura de colecciones y documentos en la base de Firestore respetando la sintaxis mostrada en la Figura 42.

Figura 42

Diagrama de componentes de arquitectura para el registro de recorridos



Nota: Elaboración propia, 2022.

Entre las funciones en Javascript principales se tienen:

- **distance:** calcula la distancia entre dos puntos de ubicación y lo retorna en formato de metros, ver Figura 43.

Figura 43

Código de cálculo de distancia en Cloud Function

```
//Retorna la distancia en metros entre dos puntos.
function distance(lat1, lon1, lat2, lon2, unit) {
  if ((lat1 == lat2) && (lon1 == lon2)) {
    return 0;
  }
  else {
    var radlat1 = Math.PI * lat1/180;
    var radlat2 = Math.PI * lat2/180;
    var theta = lon1-lon2;
    var radtheta = Math.PI * theta/180;
    var dist = Math.sin(radlat2) * Math.sin(radlat1) + Math.cos(radlat2) * Math.cos(radlat1) * Math.cos(radtheta);
    if (dist > 1) {
      dist = 1;
    }
    dist = Math.acos(dist);
    dist = dist * 180/Math.PI;
    dist = dist * 60 * 1.1515;
    if (unit=="K") { dist = dist * 1.609344 }
    return (dist*1000);
  }
}
```

Nota: Elaboración propia, 2022.

- **trackTravelsPerDevice**: rutina que se activa ante un registro nuevo en firebase y la cual contiene la lógica de identificación de recorridos por unidad de transporte, ver Figura 44.

Figura 44

Código de registro de recorridos en Cloud Function

```
// For each record added in the Realtime DB Firebase by the ESPx Arduino
// add a location point in the travels per Transport Units
exports.trackTravelsPerDevice = functions.database.instance('intense-talent-344721-default-rtdb').ref('dispositivo/{macId}/{timestampId}').set((snap) => {
  try{
    functions.logger.log('Input values mac-address: ', context.params.macId, ', timestamp: ', context.params.timestampId);

    //Get the Device Document by the ESPx Arduino Mac address
    const devicesCollection = firestore.collectionGroup("devices").where('macaddress', '=', context.params.macId);

    devicesCollection.get().then(function (querySnapshot){
      querySnapshot.forEach((macDocument) => {
        const macAddressPath = macDocument.ref.path;
        const routeDocument = macDocument.ref.parent.parent.parent; //Route

        console.log("Retrieving route start point from routeDocument");

        routeDocument.get().then(function(documentSnapshot){
          const startPointLatitude = documentSnapshot.get("start-point.latitude");
          const startPointLongitude = documentSnapshot.get("start-point.longitude");
          const accuracy = documentSnapshot.get("prec"); //in Meters
          console.log(documentSnapshot.data());

          if(!(startPointLatitude != null && startPointLongitude != null && accuracy != null)){
            functions.logger.log("Please verify if the Route has a valid startpoint latitude, longitude and prec.");
          }else{
            console.log("—Starting location point assessment—");
          }
        });
      });
    });
  } catch (error) {
    console.log(error);
  }
});
```

Nota: Elaboración propia, 2022.

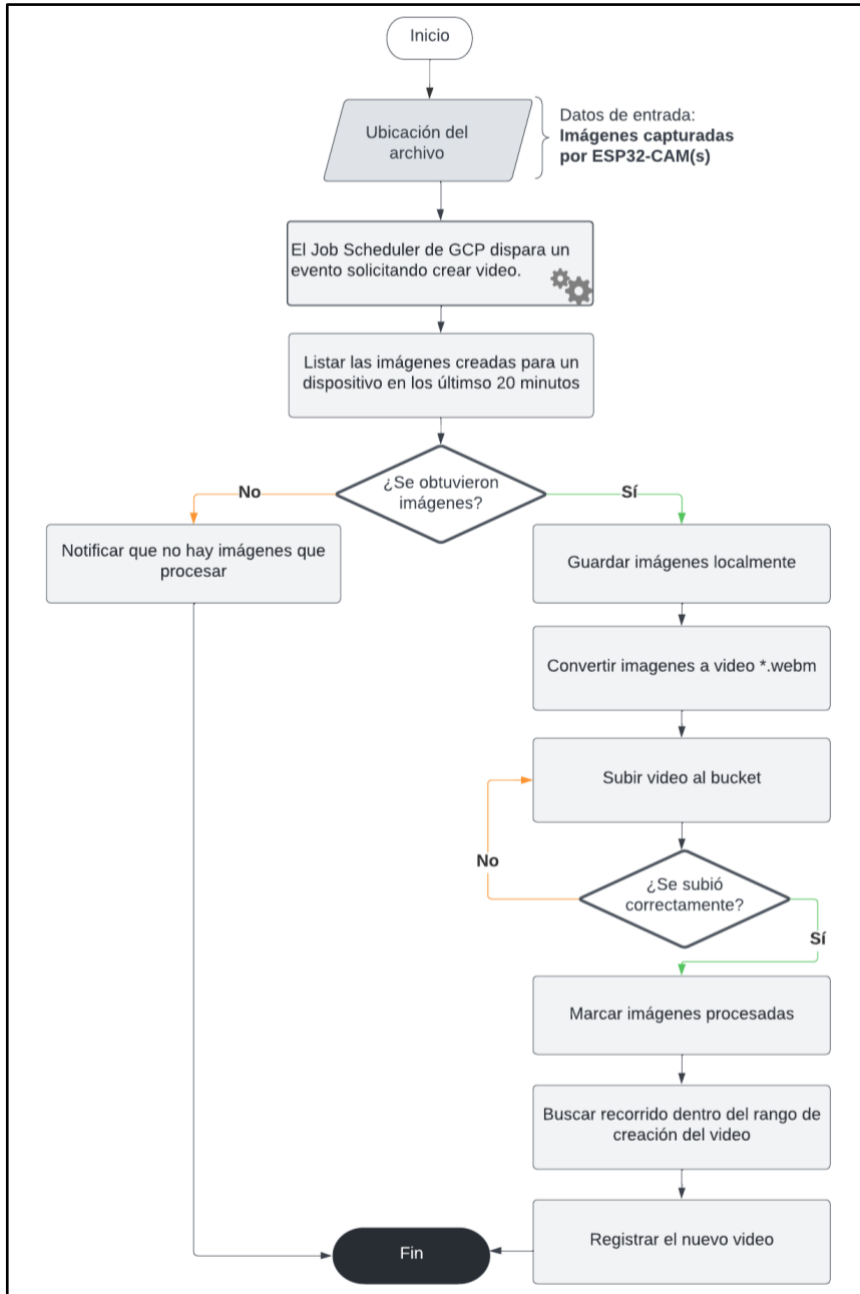
5.2.4 APIs

5.2.4.1 Conversión de imagen a vídeo

Para la generación de video se creó una API que transforma las imágenes capturadas por los dispositivos de ESP32-CAM en un video con duración de 20 minutos. En la Figura 45 se observa que el proceso inicia cuando un job scheduler de GCP es iniciado. Este está programado para ejecutarse cada 20 minutos. El job dispara un evento que invocará a la API para que esta consulte las imágenes existentes sin procesar para el período indicado. Si obtiene imágenes, las guarda temporalmente en una ubicación local y genera el video a partir de la colección de las mismas ordenadas por fecha. El video creado es subido a la nube en el bucket de contenido-multimedia bajo el folder “videos/” y se valida se haya completado este paso para poder marcar las imágenes como procesadas, así serán descartadas del proceso siguiente. La ubicación del video es registrada en Firestore, en el recorrido cercano a la fecha de creación.

Figura 45

Diagrama de flujo para la conversión de imágenes a vídeo



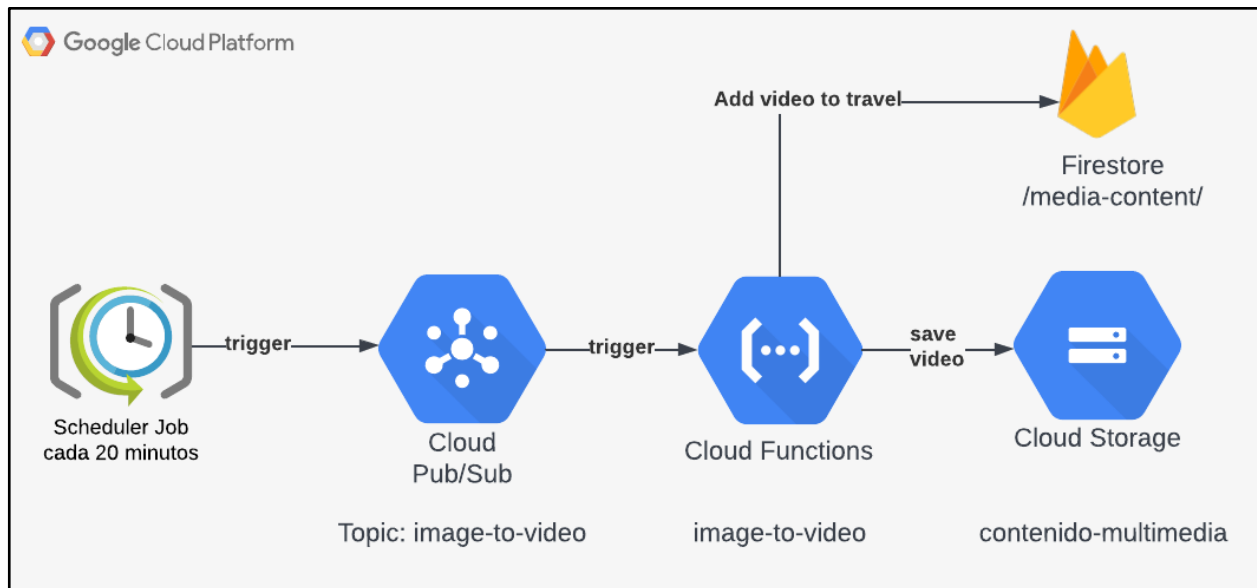
Nota: Elaboración propia, 2022.

La Figura 46 muestra el diagrama de componentes de arquitectura, en la nube de GCP, que se utilizaron, apegados a las necesidades de esta API. El Scheduler Job de GCP dispara un

mensaje a un topic en Pub/Sub solicitando la creación de un nuevo video. El Pub/Sub dispara un evento para invocar la Cloud Function, que contiene código escrito en Python para interactuar con las APIs de GCP y completar el flujo descrito en el diagrama anterior. El código se dispuso en la carpeta “api” del directorio general del proyecto, bajo el nombre: image-to-video-service/ y una segunda API para poner el video dentro de un recorrido (travel), bajo el nombre: video-to-travel/.

Figura 46

Diagrama de componentes de arquitectura para la creación y actualización de videos



Nota: Elaboración propia, 2022.

A nivel de código, las Figuras 47 y 48 muestran el código escrito para la creación del video y para adjuntarlo a un recorrido respectivamente, además de esto las Cloud Functions requieren las siguientes librerías:

image-to-video-service API

- Python en versión 3.8
- functions-framework versión 3.0.0 para crear una Cloud Function usando una cuenta de servicio con suficientes permisos en el proyecto de GCP.
- google-cloud-storage versión 2.1.0 por compatibilidad con Python > 3.0
- google-cloud-error-reporting versión 1.5.2 para la captura y reporte de errores en ejecución. Los logs son agregados dentro de la Cloud Function en la consola de GCP y pueden ser filtrados por fecha.
- opencv-python versión 4.5.2.5 para la conversión de imágenes a vídeo. Permite varios formatos de salida, se eligió *.WEBM debido a su compatibilidad con los navegadores.

video-to-travel-service API

- Python en versión 3.8
- functions-framework versión 3.0.0 para crear una Cloud Function usando una cuenta de servicio con suficientes permisos en el proyecto de GCP.
- google-cloud-storage versión 2.1.0 por compatibilidad con Python > 3.0
- firebase-admin versión 5.2.0 para autenticarse a la base de datos y obtener las colecciones de recorridos (travels) para adjuntar el video en base a la fecha en que se creó dicho video.

Figura 47

Código en python para la creación de video

```
def create_video(bucket_name, prefix, delimiter=None):

    storage_client = storage.Client()

    # Note: Client.list_blobs requires at least package version 1.17.0.
    blobs = storage_client.list_blobs(bucket_name, prefix=prefix, delimiter=delimiter)
    blobs_to_rename = copy.copy(blobs)

    print("Blobs:")
    count = 0
    for blob in blobs:
        print(blob.name)
        download_blob(bucket_name, blob.name, "/tmp/" + blob.name.split("/")[1])
        count += 1

    if count == 0:
        return print("No files to process")

    # Save video in the bucket
    video_name = convert_image_to_video(prefix.split("/")[1])
    source_file_name = "/tmp/" + video_name
    destination_blob_name = "videos/" + video_name
    if video_name != None:
        upload_blob(bucket_name, source_file_name, destination_blob_name)

    # Rename files as processed
    for blob in blobs_to_rename:
        print("Renaming: ", blob.name)
        rename_blob(bucket_name, blob)
        count += 1

    return print(f"Total images processed: {count/2}")
```

Nota: Elaboración propia, 2022.

Figura 48

Código en python para la adjuntar un video a un recorrido

```
def push_video_to_travel(request,file_name=None,mac=None):
    request_args = request.args
    file_name = request_args['file_name']
    mac = request_args['mac']
    db = firestore.client() # this connects to our Firestore database

    inserted = False
    timestamp = file_name[6:-5].split('_')[1]
    video_timestamp = int(timestamp)

    print(f'Searching camera: cam-{mac}')
    cam_devices = db.collection_group('devices').where('macaddress','==', mac).limit(1).stream()

    for camera in cam_devices:
        transport_unit = camera.reference.parent.parent
        transport_unit_path = transport_unit.path
        print(f'transport_unit_path: {transport_unit_path}')

        gps_device = transport_unit.collection(u'devices').where('type', u'==', u'gps').get()[0]

        if gps_device.exists:
            print(f'GPS data: {gps_device.to_dict()}')
        else:
            return print(u'No such GPS document!')

        travels = gps_device.reference.collection(u'travels').limit_to_last(10).get()

        for travel in travels:
            date_time = datetime.strptime(str(travel.get('timestamp')), '%Y-%m-%d %H:%M:%S+00:00')
            print(f"Compare timestamps: {int(date_time.timestamp())} : {video_timestamp}.")

            if int(date_time.timestamp()) <= video_timestamp:
                print(f'Camera timestamp is mayor than travel timestamp! {travel.reference.path}')
                media_content = travel.reference.collection(u'media-content')
                print(f'Adding a new document with ID: {file_name[7:-4]}')
                data = {
                    u'creation-date': timestamp,
                    u'path': file_name
```

Nota: Elaboración propia, 2022.

5.2.4.2 Microservicio para obtener el contenido multimedia (URL Authenticated)

Para mostrar el contenido multimedia en el sistema web se creó un microservicio que brinda un EndPoint el cual permite generar URLs autenticadas de cualquier elemento que se encuentre en el bucket creado, ver Figura 49 y Figura 50, de esta manera el sistema web nada más debe hacer uso de esas URLs a la hora de mostrar la información.

Este microservicio está dispuesto dentro de la carpeta “api” del repositorio principal, bajo el nombre: bucket-service/. Consiste de un mini-proyecto utilizando Node JS y express JS para generar las URLs temporales de acceso a los videos en el bucket de contenido-multimedia. Recibe como parámetros de entrada el nombre del bucket y la ubicación del archivo, para este proyecto se utilizan las siguientes librerías:

- Node JS version v16.13.1
- Node Package Management (NPM) version 8.1.2
- La librería cliente de Google Cloud Storage API que en este caso es un paquete de NPM: @google-cloud/storage
- Express, el cual es un marco de aplicación web de Node.js mínimo y flexible que proporciona un conjunto sólido de funciones para aplicaciones web y móviles, también es un paquete de NPM: express.

Figura 49

Desarrollo del servicio para la API de generación de URLs

```
const BUCKET_NAME = 'contenido-multimedia';

var express = require("express");
var app = express();
var cors = require('cors');
var URL_SIGNED = "null";
app.use(cors());

app.get("/getSignedURL/", async (req, res, next) => {

  var fileName = req.query.fileName;
  URL_SIGNED = await main(fileName);
  return res.jsonp({ url: URL_SIGNED });
});

app.listen(8080, () => {
  console.log("Server running on port 8080");
});
```

Nota. Elaboración propia, 2022.

Figura 50

Desarrollo de función para generación de URLs

```
function main(filePath) {  
  
  // Imports the Google Cloud client library  
  const {Storage} = require('@google-cloud/storage');  
  
  // Creates a client  
  const storage = new Storage({keyFilename: 'service-account-bucket.json'});  
  
  async function generateSignedUrl() {  
    // These options will allow temporary read access to the file  
    const options = {  
      version: 'v4', // defaults to 'v2' if missing.  
      action: 'read',  
      expires: Date.now() + 1000 * 60 * 60, // one hour  
    };  
  
    // Get a v2 signed URL for the file  
    const [url] = await storage  
      .bucket(BUCKET_NAME)  
      .file(filePath)  
      .getSignedUrl(options);  
  
    URL_SIGNED = url;  
  
    return url;  
  }  
  
  return generateSignedUrl().catch(console.error);  
}
```

Nota. Elaboración propia, 2022.

De esta manera el sistema web tiene la posibilidad de utilizar el API creado para enviar el nombre de cualquier elemento del bucket y obtener una URL para mostrar su contenido de manera visual.

5.2.4.3 Google Cloud APIs

La Tabla 18 muestra un resumen de cada una de las APIs que se habilitaron en el proyecto de GCP para el correcto funcionamiento del prototipo desarrollado.

Tabla 18

Listado de APIs utilizadas en el prototipo.

API	Descripción	Uso y/o integración
Cloud Build API	Crea y administra compilaciones en Google Cloud Platform.	Uso interno en el proyecto de Google Cloud Platform
Cloud Datastore API	Permite acceder a la base de datos NoSQL sin esquema para proporcionar un almacenamiento escalable, sólido y completamente administrado para la aplicación.	Uso interno en el proyecto de Google Cloud Platform
Cloud Firestore API	Permite acceder a la base de datos de documentos NoSQL creada para escalado automático, alto rendimiento y facilidad de desarrollo de aplicaciones.	A través de librerías clientes que permiten interactuar con dicha API en varios lenguajes de programación: Javascript, C++, etc.
Cloud Functions API	Permite administrar funciones livianas proporcionadas por el usuario que se	Uso interno en el proyecto de Google Cloud Platform

	ejecutan en respuesta a eventos.	
Cloud Logging API	Escribe entradas de registro y administra la configuración de Cloud Logging.	Uso interno en el proyecto de Google Cloud Platform
Cloud Pub/Sub API	Proporciona mensajería asíncrona confiable, de muchos a muchos, entre aplicaciones.	Uso interno en el proyecto de Google Cloud Platform
Cloud Resources Manager API	Crea, lee y actualiza metadatos para contenedores de recursos de Google Cloud Platform.	Uso interno en el proyecto de Google Cloud Platform
Cloud Run Admin API	Permite implementar y administrar imágenes de contenedores proporcionadas por el usuario que se escalan automáticamente en función de las solicitudes entrantes.	Uso interno en el proyecto de Google Cloud Platform
Cloud Storage API	Brinda un servicio RESTful para almacenar y acceder a los datos en la infraestructura de Google.	A través de librería cliente específicamente utilizando Node JS. (@google-cloud/storage)

Compute Engine API	Crea y ejecuta máquinas virtuales en Google Cloud Platform.	Uso interno en el proyecto de Google Cloud Platform
Firebase Web API.	Provee paquetes que permiten la manipulación de los datos almacenados en Firebase.	<p>Por medio de dos paquetes web:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Firebase APP API. Este paquete coordina la comunicación entre los diferentes componentes de Firebase. ● Cloud Firestore API. Este paquete proporciona un cliente para leer y escribir en una base de datos de Cloud Firestore.
Geolocation API	Devuelve una ubicación y un radio de precisión en función de la información sobre las torres de telefonía móvil y los nodos WiFi que el cliente móvil puede	A través de librerías clientes para los diferentes lenguajes de programación.

	detectar.	
Identity Toolkit API	Permite usar estándares abiertos para verificar la identidad de un usuario	Uso interno en el proyecto de Google Cloud Platform
Maps Javascript API	Permite personalizar mapas con imágenes y contenido propio para mostrarlos en páginas web y dispositivos móviles	A través de librerías cliente para la parte del sistema web: <script async src="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?key=YOUR_API_KEY&callback=initMap">

Nota. Elaboración propia, 2022.

5.2.5 Aplicación web

5.2.5.1 Servidor Nginx

La aplicación web es desplegada haciendo uso de Docker, tecnología que permite empaquetar aplicación con las configuraciones mínimas necesarias para desplegarlas, en este caso la aplicación web hace uso del servidor web Nginx, el Dockerfile con el que se crea el contenedor para este servidor web es mostrado en la Figura 51.

Figura 51

Dockerfile para la imagen del servidor Nginx

```
FROM nginx:1.17.1-alpine
WORKDIR /usr/share/nginx/html
COPY src/ /usr/share/nginx/html
```

Nota. Elaboración propia, 2022.

FROM: especifica la imagen base (principal). La versión de Alpine de Nginx es la imagen de ventana acoplable mínima basada en Alpine Linux, es una de las imágenes más ligeras para crear contenedores.

WORKDIR: este comando especifica el directorio sobre el cual los demás comandos van a correr, en este caso el path `/usr/share/nginx/html` es el root del servidor Nginx.

COPY: este comando copia el contenido del folder `src`, el cual contiene todo el código relacionado con la aplicación web que se ha creado, al root del servidor Nginx para ser servido a través de este.

5.2.5.2 Principales funciones en Javascript

Los datos recolectados a través de los dispositivos físicos antes descritos, viajando a través de internet y almacenados en la nube son mostrados a manera de información a los usuarios a través del prototipo de la aplicación web para la cual se desarrollaron varias funciones listadas en la Tabla 19.

Tabla 19

Listado de las principales funciones Javascripts creadas para el funcionamiento del prototipo.

Tipo	Nombre	Descripción	Dependencias
Firestore	firebase-functions.js	Inicialización de la conexión y definición de todos los componentes relacionados con las	Firestore APP API

		bases de datos Nosql de Firebase: Realtime database y Firestore Database	
	initializeRouteData	Inicia el sistema con la información general de la ruta seleccionada desde la base de datos Nosql.	firebase-functions.js
Funcionalidad del sistema	initializeSelects	Inicia una serie de elementos en el sistema web como lo son: las rutas disponibles, unidades, dispositivos, etc. Esto con información proveniente de firebase	firebase-functions.js
	getSignedURLInitialize	Función que dispara el evento para obtener la	Microservicio URL Authenticated

		URL autenticada de cualquier elemento multimedia almacenado en el bucket.	
	getMediaContent	Obtiene el contenido multimedia (los nombres y la ubicación de estos en el bucket) de cualquier viaje de cualquier ruta específica.	firebase- functions.js
	populateVideosSection	Actualiza el DOM con la información obtenida desde la base de datos de Firebase con el contenido multimedia para un viaje en específico.	firebase- functions.js

Google Maps	initMap	Inicia el mapa mostrado en el sistema web	firebase-functions.js Maps Javascript API
	getCurrentLocation	Permite obtener la geolocalización exacta de una unidad seleccionada en el sistema web.	firebase-functions.js initializeSelects
	initMapMultiplePoints	Permite mostrar el recorrido de una unidad seleccionada en el sistema web.	firebase-functions.js Maps Javascript API

Nota. Elaboración propia, 2022.

5.2.5.3 Páginas principales para monitoreo

En esta sección se presentan las principales pantallas desarrolladas para el sistema de rastreo GPS y videovigilancia.

Pantalla de monitoreo GPS

En la Figura 52 se muestra la pantalla que permite el monitoreo de las unidades de transporte, aunque el proyecto se ha delimitado para la ruta 44, el sistema cuenta con la opción de poder

monitorear más rutas si estas se agregan en un futuro, además se muestra información general de la ruta a ser monitoreada en la parte derecha de la pantalla, para el uso de esta pantalla se selecciona la ruta, la unidad y el tipo de monitoreo a realizar; por recorrido o ubicación actual.

En caso de que sea ubicación actual el sistema muestra el punto en el mapa donde la unidad de transporte se encuentra, mismo punto que se actualiza en tiempo real cuando el dispositivo en la unidad envía la ubicación actual. Por otro lado, si el tipo de monitoreo a realizar es recorrido se habilita un tercer campo con los diferentes recorridos finalizados por la unidad de transporte, una vez que se selecciona el recorrido a monitorear el sistema despliega la ruta seguida por la unidad para el recorrido seleccionado.

Figura 52

Pantalla de monitoreo GPS

The screenshot displays the 'Tracker GPS - UDB - Project' interface. On the left is a dark sidebar with navigation options: Inicio, Monitoreo (selected), Multimedia, Eventos, Reportes, Usuarios, and Configuraciones. The main content area features a top navigation bar with a user profile 'Charles Hall'. Below this is a form with four dropdown menus: 'Ruta' (Seleccione una ruta), 'Unidad' (Seleccione la unidad), 'Tipo de monitoreo' (Posición actual), and 'Recorrido' (Seleccione recorrido). The central part of the screen shows a map titled 'Mapa San Salvador' with a placeholder image. To the right of the map is a 'Ruta 44' details panel containing a table with the following information:

Código	AB044X2
Tarifa	\$ 0.20
Ida	Antiguo Cuscatlan / Mejicanos
Vuelta	Mejicanos/Antiguo Cuscatlan
Horario de servicio	
Lunes-Viernes	05:00 am - 07:00 pm
Fin de semana	06:00 am - 07:00 pm
Conductor	
N° de plazas	

Below the map is a search bar for 'Recorridos' and a date input field 'mm/dd/yyyy'. At the bottom, a table lists route data:

Ruta	Fecha	Encargado	Acciones
AB044X2#4-01	19 abril 2022	Carlos Ascencio	Ver multimedia Ver detalle

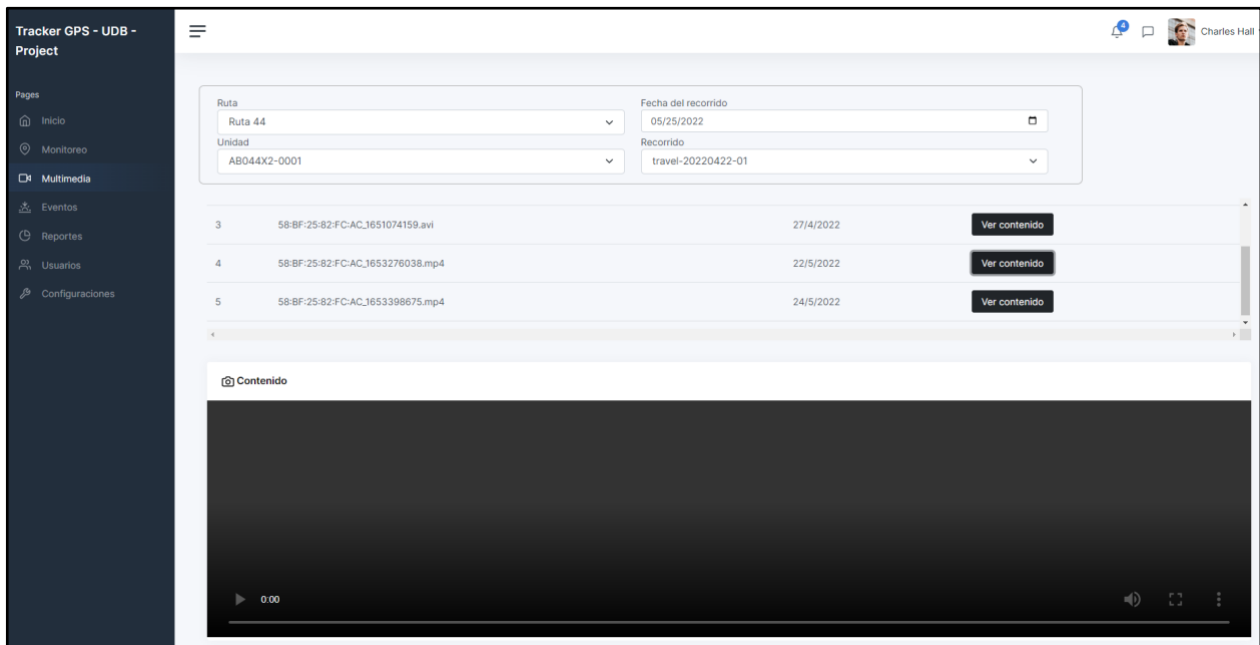
Nota. Elaboración propia, 2022.

Pantalla de monitoreo multimedia

La figura 53 muestra la pantalla desarrollada para el monitoreo de videovigilancia y multimedia, la cual cuenta con opciones que permiten filtrar por la ruta que se quiere monitorear la fecha, la unidad específica, recordando que la ruta puede tener múltiples unidades de transporte, y por último el recorrido, ya que el contenido multimedia está asociado directamente a este.

Figura 53

Pantalla de monitoreo de videovigilancia y multimedia



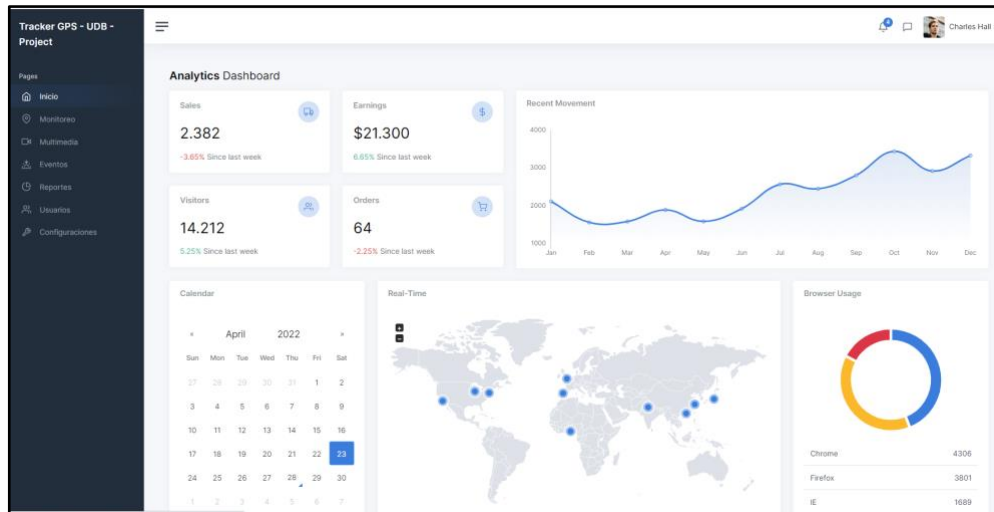
Nota. Elaboración propia, 2022.

5.2.5.4 Páginas sugeridas para desarrollar

Las siguientes pantallas son una propuesta de lo que se puede implementar en una segunda fase futura del proyecto de monitoreo de unidades públicas.

Figura 54

Pantalla de inicio con dashboards para reportes



Nota. Elaboración propia, 2022.

En la Figura 54 se puede observar un dashboard el cual puede ser de mucha utilidad para los usuarios del sistema para monitorear aquellas variables que sean de interés para el tipo de sistema.

5.2.6 Proceso de integración continua y despliegue continuo

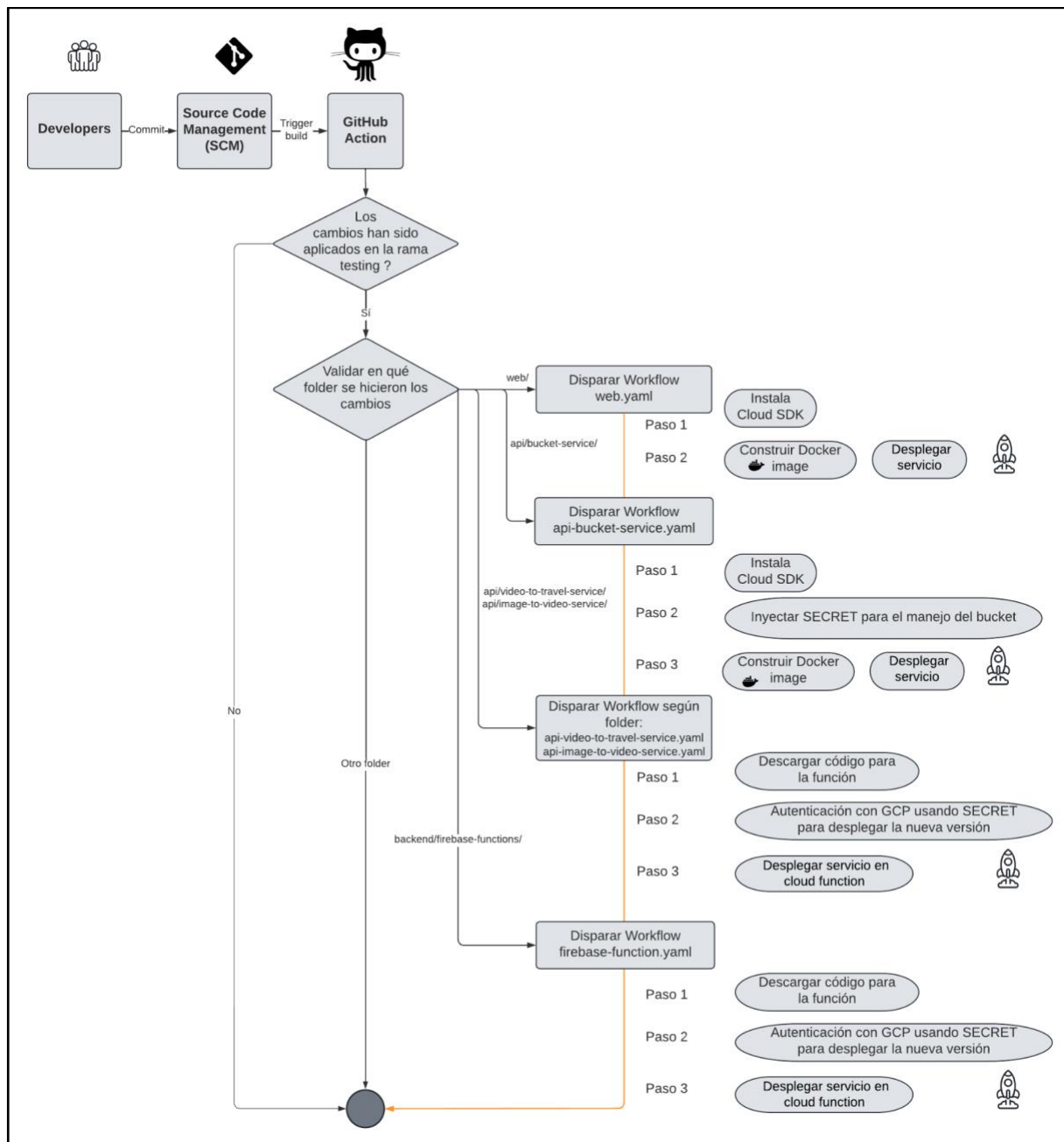
El proceso de integración y despliegue continuos es una excelente práctica de desarrollo de software, la cual viene a integrar todos los cambios realizados en una rama para un repositorio de código y despliega los nuevos cambios. Ante el uso de distintos componentes y microservicios, es clave que la integración sea rápida y continua para encontrar y arreglar errores con mayor rapidez.

Para la implementación de este, se han realizado distintos workflows en Github Action, que permite ejecutar acciones de forma automatizada en base a la rama (branch) donde se agregan cambios y folders específicos de funcionalidad. De esa manera se puede desplegar nuevas

versiones de forma independiente para cada componente: web, api y backend. La Figura 55 muestra el diagrama que ilustra dicho proceso.

Figura 55

Diagrama de flujo del proceso de CI/CD



Nota. Elaboración propia, 2022.

RESULTADOS

Dispositivos IoT

La implementación de dispositivos de geolocalización y videovigilancia en el transporte público de San Salvador es posible a través de placas con microprocesadores ESP de Espressif. Al ser dispositivos relativamente baratos, con capacidad de procesamiento limitada, permiten hacer tareas puntuales y de forma dedicada. En este proyecto, la captura de fotos, la transmisión de estas a la nube y la determinación de la posición geográfica de un elemento físico fueron posibles mediante el uso de dos placas, uno para GPS y otro para vigilancia dentro de la unidad. Las condiciones mínimas requeridas son:

- Voltaje de entrada: 7-12V, alimentado mediante cable USB.
- Voltaje de trabajo: 5V.
- Corriente por pin I/O: 40mA.
- 32 KiB RAM, 32 KiB RAM caché, para el módulo ESP8266 y RAM: 520 KB SRAM/4 MB PSRAM para ESP32-CAM.
- Memoria flash externa hasta 16MiB. En el caso del dispositivo para captura de imágenes, se tiene la posibilidad de extender la capacidad hasta 4GB usando un soporte incorporado para microSD.
- 80 KiB RAM para datos de usuario.
- Wifi 802.11 b/g/n 2.4GHz (soporta WPA/WPA2)

Se confirmó que el uso de redes móviles en celulares es una alternativa viable para conectar los dispositivos IoT a Internet, mediante plan de datos que usen velocidades entre 2G y 4G. Lo que se pudo observar, es que a mayor cantidad de puntos de red alrededor de una unidad de

transporte, más precisa es la obtención del punto de ubicación que retorna la API de Google Maps. Esto es debido a que tanto la placa de desarrollo de ESP8266 WIFI y la ESP32 utilizan módulos de WIFI para conectarse al SSID más cercano y así obtener una IP local; con ello, envían una solicitud a Google, preguntando por la ubicación de la IP asignada, que finalmente se recibe en formato JSON.

La transmisión de video (streaming) en tiempo real no fue posible debido a que la nube de GCP requiere autenticación mediante certificados (CA) que son validados por una entidad pública en Internet. Google ofrece una librería de integración entre placas de desarrollo de Arduino o Espressif, mediante el protocolo MQTT, y sus módulos de IoT, llamada “google-cloud-iot-arduino”; y pone a disposición sus certificados públicos, por región en el mundo. Esta librería aún está en desarrollo y aún tiene problemas como estabilidad de conexión, donde se establece la conexión inicialmente, pero la conexión se vuelve bastante inestable y poco confiable, especialmente después de experimentar una desconexión temporal. Por lo tanto, se evaluaron otras opciones, entre estas el uso de APIs de Google como: Video Streaming, Cloud Video Intelligence; o la creación de videos mediante la captura de imágenes en períodos cortos. En base a los costos del uso de APIs, se brindó preferencia a la creación de videos a partir de imágenes usando otras opciones en GCP.

Las imágenes tienen bajo tamaño de almacenamiento (21.5KB aprox.) y pueden ser enviadas en períodos cortos, es decir, en pocos segundos de diferencia. Estas son almacenadas en la nube y procesadas por una librería creada en python en una Cloud Function que se ejecuta cada 20 mins, para crear videos de 20 minutos de duración a partir del grupo de imágenes capturadas. A continuación, en la tabla 20, se listan las estadísticas de cantidad de videos generados por día.

Tabla 20*Estadísticas de videos generados por día, en períodos activos de 10 horas*

Total de imágenes	400 imágenes de tamaño 21.5 KB aproximadamente por cada 20 mins, a 3 segs de diferencia de capturas.
Tiempo de ejecución para convertir imágenes a video	5 minutos de creación de videos por cada unidad de transporte
Tamaño del video generado	Entre 10 MBs a 15 MBs
Total de horas monitoreadas por día	10 horas de movimiento activo, asumiendo que la unidad de transporte proporciona la fuente de energía para alimentar la energía requerida por las placas de desarrollo.
Total de videos creados en un período de monitoreo activo	30 videos máximo por unidad de transporte, asumiendo un período activo de 10 horas cubriendo varios recorridos.

Nota. Elaboración propia, 2022.

Firestore como almacenamiento

Para manejar concurrencia en el procesamiento de puntos de ubicación, la base de datos realtime de Firestore resultó ser una opción acertada al procesar la información en microsegundos, clasificándolos por la dirección MAC de cada placa ESP y organizando la información por tiempo (timestamp) de captura. Múltiples dispositivos IoT podrán enviar sus puntos de ubicación de forma simultánea y el objeto JSON puede extender o reducir la información contenida ya que es una base de datos no relacional que permite dicha flexibilidad.

Adicionalmente, se revisaron los límites de Google para estimar cuántas interacciones se pueden tener sin requerir bases de datos adicionales y proyectar usabilidad, y se incluyen en la tabla 21

Tabla 21

Límites generales en el uso de Realtime Firebase, base de datos

Operación	Límite	Descripción
Conexiones simultáneas	200,000	<p>Una conexión simultánea se refiere a un dispositivo móvil, una pestaña de navegador o una app de servidor que se conecta a la base de datos.</p> <p>Esto no es lo mismo que la cantidad total de usuarios, ya que no todos los usuarios se conectan a la vez. Por ejemplo, las apps con 10 millones de usuarios activos al mes suelen tener menos de 200,000 conexiones simultáneas.</p>
Respuestas simultáneas enviadas desde una misma base de datos	Alrededor de 100,000/seg	<p>Las respuestas incluyen operaciones de transmisión y lectura simultáneas que envía el servidor desde una misma base de datos en un momento determinado. El límite se refiere a los paquetes de datos que representan cada operación de lectura o transmisión individual, incluidas las notificaciones push, que se enviaron desde la base de datos. Esta orientación es para la carga</p>

		sostenida, pero la base de datos puede manejar picos de actividad más altos y ocasionales.
Cantidad de Cloud Functions que activa una misma escritura	1000	<p>Si bien no hay un límite para la cantidad de operaciones de lectura o escritura que puedes activar desde una misma función, la misma operación de escritura en la base de datos sólo puede activar 1,000 funciones.</p> <p>Las Cloud Functions solo se pueden activar mediante operaciones de escritura y cada función también puede activar más operaciones de escritura que activan más funciones (cada una con un límite propio de 1,000 funciones).</p>

Tamaño de un evento único activado por una operación de escritura	1 MB	<p>El tamaño de un evento se compone de los siguientes valores:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Los datos existentes en la ubicación de escritura 2. El valor de actualización o el delta en los datos necesarios para escribir los nuevos datos en la ubicación <p>Las operaciones de escritura que superan 1 MB se ejecutan correctamente en la base de datos, pero no activan una invocación de función.</p>
Transferencia de datos a Cloud Functions	10 MB/s sostenido	La velocidad de los datos de eventos que se pueden enviar a Cloud Functions.

Nota. Obtenido de Google Firebase, 2022.

Cloud Functions para ejecuciones basadas en eventos

Las Cloud Functions fueron seleccionadas por su facilidad de ejecutar tareas puntuales a gran velocidad, por cada vez que estas son llamadas. Por ejemplo, para la transformación de imágenes a video, cada dispositivo ESP32-CAM cuenta con una ejecución individual, obteniendo solo las imágenes de su MAC y utilizando los siguientes recursos mínimos para ello:

- 512 MB de memoria temporal
- 3600 segundos de tiempo máximo de ejecución (6 minutos)

- Cantidad mínima de réplicas: 0 (cero). Esto se dispuso de esta forma, ya que si no se ejecuta la Cloud Function, puede liberar recursos y solo generarse una nueva instancia cuando se requiere. Para mejores resultados donde la demanda es muy alta, se debería asignar una cantidad mínima mayor a 0 en base al promedio de ejecuciones estimadas en un período corto de tiempo.
- Cantidad máxima de réplicas: No fue definido ya que las pruebas se realizaron con pocos dispositivos. Se puede limitar, si se quiere tener control de costos en un máximo número de creación de instancias.

Para las otras APIs creadas, donde se registran recorridos o se obtienen las URLs firmadas para visualizar los videos en el portal web, se manejaron las mismas características pero con menos recursos, 256 MB de memoria y un límite de ejecución no mayor a un minuto.

En cuanto a costos, estas se miden en base al número de invocaciones más el costo de procesamiento en segundos, más el tamaño del disco, la memoria y el uso de red que se requiera. Para comprenderlo de mejor forma, se disponen las figuras 56 a 59 los detalles de costo según categoría.

Figura 56

Costos por invocaciones de Google Cloud Function (CF)

de invocaciones por mes	Precio por millón
Primeros 2 millones	Gratis
Más de 2 millones	\$0.40

Nota: Obtenido de Google Cloud Function, 2022.

Figura 57*Costos de procesamiento de datos por segundo, de Google Cloud Function (CF)*

Unidad	Precios del nivel 1	Precios del nivel 2
GB-segundo	\$0.0000025 (\$0.0000025 si la instancia está inactiva*)	\$0.0000035 (\$0.0000035 si la instancia está inactiva*)
GHz-segundo	\$0.0000100 (\$0.000001042 si la instancia está inactiva*)	\$0.0000140 (\$0.00000146 si la instancia está inactiva*)

Nota: Obtenido de Google Cloud Function, 2022.

Figura 58*Costos por nivel de aprovisionamiento (Memoria, CPU) de Cloud Function (CF), medidos en ms*

Memoria	CPU virtual ¹	Precio/100 ms (precio de nivel 1)	Precio/100 ms (precio de nivel 2)
128 MB	0.083 CPU virtual	\$0.000000231	\$0.000000324
256 MB	0.167 CPU virtual	\$0.000000463	\$0.000000648
512 MB	0.333 CPU virtual	\$0.000000925	\$0.000001295
1,024 MB	0.583 CPU virtual	\$0.000001650	\$0.000002310
2,048 MB	1 CPU virtual	\$0.000002900	\$0.000004060
4,096 MB	2 CPU virtuales	\$0.000005800	\$0.000008120
8192 MB	2 CPU virtuales	\$0.000006800	\$0.000009520

Nota: Tomado de Cloud Functions, GCP 2022.

Figura 59

Costos de transferencia (red) de datos salientes y entrantes, medidos en GB con tasa fija

Tipo	Precio/GB
Datos de salida	\$0.12
Datos de salida por mes	5 GB gratis
Datos de entrada	Gratis
Datos de salida a las API de Google en la misma región	Gratis

Nota: Tomado de Cloud Functions, GCP 2022.

Para la prueba de concepto realizada en este proyecto, los niveles de recursos utilizados, como se muestra en la tabla 22, fueron tan bajos que no sobrepasaron el nivel gratuito que ofrece Google: 2 millones de invocaciones, 400,000 GB por segundo y 200,000 GHz por segundo de tiempo de procesamiento) y 5 GB de tráfico de salida de Internet al mes. Sin embargo, para dar estimaciones proyectadas a la ruta 44 se tomarán las ejecuciones obtenidas por unidad de transporte y se asumirá una flota de 50 unidades.

Tabla 22

Valores de ejecución obtenidos para las tres APIs creadas en Cloud Function

API de gestión de recorridos	
Número de invocaciones	54,000 (cada 5 segs) al mes
GB-segundo	$(256\text{MB}/1024\text{MB}) \times 3 \text{ segs} = 40.5 \text{ GB-segundo al mes}$
GHz-segundo	$(400 \text{ MHz}/1 \text{ MHz/GHz}) \times 3 \text{ segs} = 64.800 \text{ GHz-segundo al mes}$
Uso de redes	52.734 GB al mes (<1MB por invocación)

API de creación de videos	
Número de invocaciones	900 (cada 20 mins) al mes
GB-segundo	$(512\text{MB}/1024\text{MB}) \times 300 \text{ segs} = 135 \text{ GB-segundo al mes}$
GHz-segundo	$(400 \text{ MHz}/1 \text{ MHz/GHz}) \times 300 \text{ segs} = 216 \text{ GHz-segundo al mes}$
Uso de redes	17.578 GB al mes
API de registro de videos por recorridos	
Número de invocaciones	900 (cada 20 mins) al mes
GB-segundo	$(128\text{MB}/1024\text{MB}) \times 1.5 \text{ segs} = 0.169 \text{ GB-segundo al mes}$
GHz-segundo	$(200 \text{ MHz}/1 \text{ MHz/GHz}) \times 1.5 \text{ segs} = 0.27 \text{ GHz-segundo al mes}$
Uso de redes	0.879 GB al mes

Nota. Elaboración propia a partir de los costos de uso de CF, 2022.

La sumarización de los valores obtenidos para las tres APIs aplicando los costos por métrica, genera el costo mensual estimado mostrado en la tabla 23, que tendría una unidad de transporte en el procesamiento de puntos de ubicación de recorridos y videos capturados en un periodo activo de 10 horas por día

Tabla 23

Costo mensual estimado para una unidad de transporte usando las tres APIs en CF

Métrica	Valor bruto	Nivel gratuito	Valor neto	Precio unitario	Precio total
Invocaciones	55,800	2,000,000	< 0	\$0.0000004	\$0.00

GB-segundo	175.669	400,000	< 0	\$0.0000025	\$0.00
GHz-segundo	281.07	200,000	< 0	\$0.0000100	\$0.00
Redes API recorridos	17.578	5	12.58	\$0.12	\$1.51
Redes API videos	52.734	5	47.734	\$0.12	\$5.73
1 instancia por API	1 tipo 256MB 1 tipo 512MB 1 tipo 128MB	0 0 0	1 1 1	\$2.74 \$5.48 \$1.37	\$2.74 \$5.48 \$1.37
Total/mes por cada unidad de transporte					\$16.82

Nota. Elaboración propia a partir de los costos de uso de CF, 2022.

El valor obtenido proyectado a **50 unidades de transporte**, da un total de **\$841.00** al mes.

DISCUSIONES

Análisis de viabilidad

Ya se han definido cada uno de los recursos necesarios para la implementación del presente proyecto, es necesario realizar un estudio de viabilidad que de una perspectiva al VMT en la toma de decisiones para adoptar una solución similar a la propuesta hecha en este proyecto. Se enfocará el análisis en el aspecto tecnológico, financiero, operativo y en la seguridad, cada uno de ellos es definido a continuación.

Tecnología e innovación

Las placas de desarrollo de Espressif cuentan ya con varios módulos predefinidos para establecer una funcionalidad, el código abierto del IDE de arduino contiene una variedad de ejemplos de cómo codificarlos, compilarlos y las dependencias que hay que instalar según el modelo de cada uno; por lo que pueden ser programados por cualquier personal con conocimientos en lenguajes de programación. El VMT cuenta ya con personal en el área de IT que ha trabajado anteriormente con elementos IoT, según mencionaron en la entrevista que se realizó, y podrían ser capacitados para adoptar con facilidad la responsabilidad de compilación y preparación de las placas y microcontroladores cuando se disponga a asignar a las unidades de transporte.

Por otra parte, no se tiene personal capacitado para trabajar con la nube de GCP, actualmente no han trabajado con dicha nube, su experiencia está orientada al mantenimiento de la infraestructura de data centers locales, que desean utilizar para un proyecto de esta naturaleza. Si bien la nube facilita las tareas de escalabilidad, velocidad, seguridad, resiliencia y observabilidad, desde cualquier computadora o celular, estas opciones no son aprovechadas si

no se tiene el conocimiento de cómo usarlas. Resultaría complicado y requerirá capacitación, incluso certificaciones, para garantizar un manejo adecuado de los recursos y así aprovechar al máximo el potencial que esta puede ofrecer ante un proyecto así. Desbloquear la limitante de no conocer de una nube puede traer más beneficios a la larga para el VMT, en la planificación de más proyectos a futuro y en el control interno de aprovisionamiento de soluciones escalables y seguras.

Financiera

El proyecto presenta una solución bastante económica en términos de dispositivos e infraestructura. Por un lado, las placas de desarrollo como capa frontend, presentan costos bastante bajos, más aún si se adquieren por lotes. La compra de ellos puede realizarse en línea en tiendas como Amazon o localmente, en la tienda Arduino Store SV, esta debe incluir sus periféricos mínimos (la placa base donde va ensamblado el microprocesador, cables USB para alimento de energía y para entrada de codificación), así como otros elementos que complementen la calidad de recepción de señal o almacenamiento como antenas, tarjetas de memoria auxiliares, entre otros.

En cuanto a la infraestructura, Google ofrece planes de costo basados en el modelo “Pay as you go”, que significa que se cargará solamente aquello que esté activamente en uso, aquellas ejecuciones, transferencias de datos o almacenamiento de información, como se mostró en los resultados. Cada módulo utilizado presenta sus mediciones de uso y costeo de los mismos, además de tener una interfaz gráfica que muestra la reportería de facturación mensual, esta puede ser comparada mes a mes para establecer proyecciones y utilizar otras opciones que ofrece google de ahorro cuando se adquieren planes de adopción mayores a 1 año. Además,

ofrece un saldo gratis inicial de \$400.00 por un período de 4 meses. Ante la flexibilidad de planes, lo importante es el definir reglas básicas de uso y las reglas de escalabilidad estableciendo límites para no repercutir en gastos no controlados y tener sorpresas al momento de recibir un cobro.

Es válido también contemplar los costos que se tendrían de instalación en cada unidad de transporte considerando la opción a adoptar para transferencia de datos Internet, si se considera un celular y su plan de datos, es de validar los planes disponibles por la tasa de transferencia, sobre todo en el envío de imágenes. Ante el escenario de enviar imágenes de 21.5 KB con una frecuencia de cada 3 segundos, en un período activo diario de 10 horas (se considera con máximo ya que en realidad puede ser un rango menor de horas), se tendrían aproximadamente 256 MBs de datos diarios, por 30 días al mes, se consumirán 7.4 GBs de datos al mes. Un plan de 10 o 20 GBs de navegación por unidad de transporte cumpliría con el objetivo. Tomando como referencia una de las compañías telefónicas que sirven planes de navegación, se tendrían estos costos (Tienda en línea Claro, 2022):

- Plan de navegación de 10 GB/mensuales - \$21.00 al mes
- Plan de navegación de 20 GB/mensuales - \$46.00 al mes

Existirán también entre sus opciones el pagar planes empresariales o dar subsidio a los transportistas para que estos puedan cubrir dicho gasto en caso se utilice navegación por celulares o adquirir routers inalámbricos que se instalen dentro de cada unidad.

Con respecto al almacenamiento de imágenes y videos, Cloud Storage ofrece costos bajos cuando se elige un bucket de tipo estándar, que tendrá operaciones de entrada y salida de datos dentro de la misma región. Se estima un volumen de archivos de 1 TB al año, teniendo este un costo base de \$23.55 al mes. Ante los resultados y esta revisión final de costos se tiene una

estimación real mostrado en la tabla 24, de los gastos que se tendrían mensuales para un lote inicial de 50 unidades de transporte

Tabla 24

Costos de infraestructura backend en base a resultados

Elemento	Descripción	Cantidad	Costo mensual
Capa de datos - Base de datos Firestore	Almacenamiento orientado a objetos, tipo de datos: objetos JSON. 30 GB de almacenamiento al mes.	1	\$3.13
Capa de datos - almacenamiento de archivos	Cloud Storage: 1TB de capacidad de almacenamiento de archivos, proyectada	1	\$23.55
Capa web - Cloud Run	Solución:1 GB RAM y 1.2 GHz CPU. 100,000 solicitudes al mes	1	\$13.14
API para servir URL de videos	Solución: 1 GB RAM y 2 GHz CPU. 10,000 solicitudes al mes	1	\$19.71
API - Google Maps	API para la geolocalización. Tiene un free-tier inicial, dependiendo de la cantidad de mapas y concurrencia el plan puede variar.	1	\$0.00

APIs para procesar recorridos y videos	1 tipo 256MB para recorridos 1 tipo 512MB para videos 1 tipo 128MB para adjuntar videos a recorridos	3	\$841.00
Costo total backend por mes para 50 unidades			\$900.53

Nota. Elaboración propia a partir de los costos arrojados por la calculadora de GCP, 2022

Para finalizar la estimación de costos para una flota de 50 unidades del transporte público, se debe agregar los costos de dispositivos que estarán ubicados las unidades del transporte público, y se estableció que el primer mes de operación del proyecto tendrá un costo de \$4,000.53 dólares de Estados Unidos, tal como se muestra en la tabla 25

Tabla 25

Costos generales de una inversión inicial

Elemento		Costo
Frontend	50 placas de desarrollo compatibles con Arduino ESP8266 o ESP-32	\$700.00
	50 ESP-32 CAM kit	\$1,000.00
	50 planes de datos de 10 GB/mes	\$1,050.00*
Backend	GCP infraestructura	\$900.53*
Entrenamientos	Entrenamiento para adquirir dominio de GCP	\$250.00
Instalaciones	Técnicos instalando dispositivos	\$100.00
Total		\$4,000.53

Nota: elaboración propia, 2022. *Los costos son mensuales. Cabe mencionar que al menos los primeros 3 meses los costos podrían ser menores debido a los planes de descuento que se puedan negociar.

Operativa

En El Salvador, las unidades de transporte colectivo son propiedad de empresarios privados, y el gobierno aporta la base legal, obligaciones e incentivos para el correcto funcionamiento del sistema de transporte público. Para que un proyecto como el propuesto sea implementado, se debe incluir un equipo técnico capacitado y también las leyes y procedimientos gubernamentales que permitan el funcionamiento integral del sistema de forma clara y transparente.

Debido a la cantidad de configuraciones requeridas para cada dispositivo, surge la necesidad de tener personal de soporte técnico dedicado que tenga conocimientos en las tecnologías utilizadas. Se requiere de la configuración inicial de cada dispositivo, que forma parte del sistema, tanto para unidades de transporte nuevas, como para nuevos dispositivos que reemplazan a aquellos que han cumplido su vida útil o han sufrido desperfectos. También es necesario contar con personal capacitado para la instalación de los dispositivos de videovigilancia y geolocalización en cada unidad del transporte público, con conocimientos básicos de informática, electricidad y circuitos electrónicos.

Si avanzamos a la capa del backend, se requiere contar con el conocimiento técnico del lado de la infraestructura y automatización de procesos para despliegue de actualizaciones y mejoras, por parte del personal de IT. De lo contrario, existirá una dependencia de administrar dicho soporte por parte de empresas consultoras externas. Como ejemplo, si se desea mejorar la

calidad de imágenes capturadas o modificar la frecuencia de captura de datos o validaciones de escalamiento, se tendrá que actualizar y compilar cada microprocesador de ESP para reflejar las nuevas opciones y que sea homogéneo en todas las unidades. De igual manera, el monitoreo de los recursos es importante para garantizar que hay una asignación adecuada de escalabilidad para tener una infraestructura estable y que los tiempos de respuesta sean adecuados. Si se identifica que un recurso ya no es necesario, se debe contar con los procesos adecuados y el personal capacitado para dar de baja y documentar cualquier cambio en la arquitectura original.

Seguridad

Los interesados en el sistema de videovigilancia y geolocalización incluyen al Ministerio de Obras Públicas como entidad principal, a través del Viceministerio de Transporte para garantizar la movilidad de la población en general, la Policía Nacional Civil para garantizar la seguridad de los usuarios, la Fiscalía General de la República y la Corte Suprema de Justicia en aquellos casos donde sea necesario dar seguimientos a delincuentes o litigios legales, los empresarios transportistas, para poder rastrear sus unidades, y la población en general para optimizar el tiempo de su día a día a través de la mejora en la circulación. Debido a la heterogeneidad de los interesados, se debe poner especial atención en los niveles de acceso a la información desde los diferentes roles, para poder asegurar la estabilidad sistémica, y para velar por la seguridad y validez de la información presentada en todo momento.

En tanto a la opinión pública, la población podría aceptar la grabación de videos sobre las unidades de transporte público y no lo tomarían como una invasión a la privacidad. En general, la población se sentiría más segura al estar conscientes que la unidad cuente con videovigilancia.

Aunque actualmente, las imágenes no tengan ningún peso legal, la percepción de seguridad de las personas podría incrementar.

A pesar de existir dispositivos instalados en unidades de transporte, está la posibilidad de que estos sean robados o intencionalmente alterados para evitar el coleccionar información real. Quien tenga conocimiento de la instalación de ellos podría manipular los resultados desconectando los elementos con el objetivo de interrumpir la comunicación que se tenga hacia la nube. Esto puede ocasionar información parcial o inexacta, ante una falta de regulación en el uso de los elementos y horarios de monitoreo.

Retos

La legalización de la aceptación de imágenes y videos como instrumentos que puedan servir como evidencia en casos judiciales podría ser de gran ayuda para apoyar el funcionamiento legal del sistema, y podría brindar más herramientas a la PNC, FGR y CSJ en sus investigaciones, y de esta manera llevar a la justicia y castigar a los autores de hechos delictivos a bordo de las unidades de transporte. Sin embargo, llegar al nivel de establecer justicia mediante monitoreo, uso de imágenes y el uso de videos, puede resultar difícil por involucrar más temas de legislación y confrontación de la privacidad de las personas.

Aunque en la actualidad algunos empresarios del transporte público ya han iniciado, de manera proactiva, con la modernización de este servicio a través de la instalación de cámaras y sistemas de GPS para monitorear sus unidades, se tiene conocimiento de que estos son solo una pequeña parte de todo el sistema del transporte público, así como también se tiene la desventaja que la información obtenida a través de los dispositivos no está siendo compartida automáticamente con ninguna entidad como lo es el VMT o la PNC, situación que debería

cambiar; brindado a todas las entidades los medios necesarios para el monitoreo y también permitiéndoles a estas entidades, a través de los medios legales necesarios, el acceso a la información para integrar junto a este proyecto de monitoreo y así contar con una fuente centralizada que genere un beneficio común.

Por otra parte, será necesario poder discutir el proyecto con todos los interesados en su implementación, incluyendo empresarios, PNC, Fiscalía y las Alcaldías del Área Metropolitana de San Salvador a través de su unidad del cuerpo de agentes metropolitanos. Dichas áreas podrán sentirse en la necesidad de incluir personal dedicado al proyecto, y poder interactuar con el sistema directamente. Particularmente instituciones como la PNC o el Cuerpo de Agentes Metropolitano podrían dedicar recursos humanos para dar monitoreo en tiempo real a las unidades de transporte.

Los videos de la propuesta final de este proyecto no se muestran en la interfaz web en tiempo real, son procesados cada 20 minutos, por lo que existe un retraso aproximado de 20 minutos, durante el cual pueden suceder hechos vandálicos y la reacción de las entidades de seguridad puede verse de forma pasiva. También es válido inferir si los videos de monitoreo fueran procesados y mostrados en la interfaz web en tiempo real, si no existe personal suficiente monitoreando e identificando, es poco probable tener una reacción inmediata. Contar con un respaldo de los videos solo garantiza poder utilizarlos de prueba y confirmación de hechos, más no solventa en problema de evitar un hecho delictivo.

El monitoreo puede ser extendido hasta los usuarios finales, ya que uno de los más grandes beneficios que un sistema de seguimiento en tiempo real le aportaría a los pasajeros es la optimización de los tiempos de sus viajes en el sistema de transporte público, si ellos pueden

saber de primera mano la posibilidad de retrasos en las unidades que abordarán, podrían optar por rutas alternativas para ahorrar tiempos de espera. La infraestructura actual, está dispuesta para soportar grandes volúmenes de usuarios, el reto sería desarrollar las capacidades para ofrecer dicha funcionalidad a la población.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se implementó un prototipo funcional del sistema de monitoreo y videovigilancia en unidades de transporte público en la ciudad de San Salvador, basado en dispositivos IoT y GPS, que permite al VMT mejorar la seguridad y el ordenamiento del transporte público, a través de un sistema que captura imágenes al interior de las unidades de transporte y también que captura la ubicación en tiempo real de las unidades de transporte. Durante la ejecución, se estableció una guía de implementación del sistema para el Viceministerio de Transporte, que permitirá elaborar un plan de trabajo con fechas y presupuesto cercanos para una implementación enfocada mayormente en contar con una herramienta escalable que cumpla con los requerimientos de monitoreo, capturando, transformando y sirviendo la información mediante una interfaz amigable.

Se señalaron e identificaron los componentes de software y hardware en el frontend y el backend, necesarios para el diseño de la arquitectura y el levantamiento de la infraestructura del sistema de monitoreo y videovigilancia de las unidades de transporte público en la ciudad de San Salvador. Si bien existen ya implementaciones de monitoreo del transporte público en otros países, incluso en El Salvador, es importante resaltar que la parte más compleja de este proyecto es la escalabilidad y seguridad que se pueda ofrecer ante el tipo y volumen de información que los sistemas de observabilidad generan. Optar por la nube GCP y los componentes sugeridos en la infraestructura y arquitectura darán resiliencia y un control total al VMT para tener un control directo en el mantenimiento, escalabilidad y mejora continua a la solución.

El prototipo fue implementado a un bajo costo, instalando los dispositivos en una unidad de transporte, simulando recorridos y midiendo los tiempos de captura reflejados en la nube.

Ante los resultados se pudo concluir que el monitoreo mediante GPS es fácil, y se puede mostrar dicha información en tiempo real; sin embargo, para la videovigilancia, el mayor reto sigue siendo la selección de los elementos adecuados para el envío de imágenes en modo streaming. Los costos de transmisión en tiempo real de video siguen siendo altos, por lo que la alternativa de procesar lotes de imágenes resulta viable y ofrece videos de menor tamaño, con la opción de almacenarlos por más tiempo en la nube y usarlos en análisis posteriores.

Finalmente, ante el análisis de viabilidad que se realizó se pudo confirmar que el proyecto es viable y de gran beneficio para cumplir con las expectativas del VMT, ya que se alinea al proceso de planificación e evaluación de opciones que actualmente están realizando, además de mostrar aquellas condiciones para que este prototipo funcione y los retos a los que se enfrentarían en caso de adoptarlo. Está claro que existe una necesidad latente de monitorear las unidades de transporte para desbloquear los problemas actuales que se tienen aún en términos de ordenamiento y seguridad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda acompañar las placas de desarrollo con pequeñas estructuras para proteger la circuitería interna de los microcontroladores y los pines en las placas. Las estructuras pueden ser simples, por ejemplo, creados con una impresora 3D con fibras de color similar al interior del bus o microbus donde los dispositivos serán colocados.
- Debido a la naturaleza digital de la información, se deben crear las herramientas y procedimientos claros para poder garantizar la cadena de custodia de los datos de interés, pues pasarán a contar como evidencia. La intención es garantizar que no existan alteraciones deliberadas o accidentales.
- Se sugiere poder discutir de forma transparente, en espacios públicos o mediante plenarias, la inclusión de legalización del uso de cámaras y los efectos que esto puede tener con las imágenes obtenidas de los dispositivos colocados en las unidades. Esto con el fin de hacer partícipe a la población en los cambios e impacto que se busca con estos nuevos controles de monitoreo que realizará el VMT y la PNC.
- Se sugiere una cámara adicional por unidad de transporte, que vaya orientada hacia la parte externa delantera del automotor, cerca del área de ubicación del conductor. Dicha cámara aumentará la capacidad de monitoreo en paradas de buses, para estimar aquellas que cuentan con mayor afluencia en horarios críticos. Adicionalmente, las imágenes provenientes pueden ser de mucha utilidad, por ejemplo, a deducir responsabilidades sociales, actos delictivos en paradas de buses, accidentes de tráfico, entre otros.

- Se propone el uso de APIs inteligentes dispuestas por Google u otros proveedores, que realicen un escaneo de los videos para identificar, mediante patrones, actos delictivos. Si bien el personal puede monitorear, es clave contar con las nuevas tecnologías y opciones que ofrece el mercado para mejorar las labores de escaneo y seguridad mediante la identificación temprana.
- Definir políticas de retención de información es importante para controlar el crecimiento exponencial que la data podría tener, tanto para los puntos de ubicación por recorridos, como las imágenes y videos colectados por unidad de transporte. Existen ya controles en la nube que definen políticas de retención donde se puede definir el guardar la información por 6 meses y posterior a eso eliminarla.
- Se recomienda definir límites de uso de recursos en GCP para no tener facturaciones mensuales fuera del alcance del presupuesto del que dispone el VMT. Se puede limitar el escalamiento de recursos en los componentes de Cloud Run y de Cloud Function para que estos manejen un tráfico aceptable de peticiones y no se exceda sin necesidad. Esto ayuda también a identificar incremento en el uso y causas que pueden estar relacionadas a fallas en el sistema.
- Se sugiere trabajar en el futuro en los módulos adicionales que se propusieron en el diseño: el de gestión de eventos para tener una bitácora de los eventos ocurridos por unidad de transporte y sus acciones preventivas; así como también el módulo de análisis estadístico, donde con BigQuery se puede analizar, comparar y predecir patrones de comportamiento mediante la revisión de recorridos y videos monitoreados.

REFERENCIAS

Alibaba Group Holding Limited. (enero de 2022). *Wireless module CP2102 NodeMcu V2 Lua WIFI*

Internet of Things development board based ESP8266 ESP-12E Wireless.

https://www.alibaba.com/product-detail/Nodemcu-Esp8266-Esp8266-Wireless-Module-CP2102_1600318819547.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_title.ab1f5f32EKhgOl&s=p

Aliexpress. (enero 2022). *ESP-32 CP2102 Wireless WiFi Bluetooth Development Board Micro USB*

Dual Core Power Amplifier Filter Module

<https://www.aliexpress.com/item/32996463686.html>

Arduino Oficial. (febrero 2018). *What is Arduino?*

<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Arduino Store SV ESP32, (abril 2022). *(4020) MODULO DE DESARROLLO ESP32.*

https://www.facebook.com/commerce/products/4020-modulo-de-desarrollo-esp32/3892290924169418/?ref=mini_shop_storefront&referral_code=mini_shop_page_header_cta

Arduino Store SV NodeMCU, (abril 2022). *(4041) PLACA DE DESARROLLO NODEMCU CP2102*

https://www.facebook.com/commerce/products/4041-placa-de-desarrollo-nodemcu-cp2102/5561132677260064/?ref=mini_shop_product_details&referral_code=mini_shop_page_header_cta

Arduino Store SV OV2640, (abril 2022). *(2549) KIT CAMARA OV2640 ESP32 WIFI.*

https://www.facebook.com/commerce/products/2549-kit-camara-ov2640-esp32-wifi/4315269355226723?rt=54&referral_code=shops_pdp_share&marketplace_referral

_story_type=shop_pdp_share_deep_link

Banco Mundial. (Abril 2020). *Desarrollo Urbano*.

<https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#1>

Cadavid Parra. (noviembre 2017). *Videovigilancia, Historia*.

<https://www.americacomunicaciones.com/videovigilancia-historia/>

CloudStore. (15 de enero de 2022). *Google Cloud Platform (GCP), CloudStorage*.

<https://www.ucloudstore.com/en/google-cloud-platform/>

Data Commons. (2017). *DEMOGRAPHICS, Population in El Salvador*.

<https://datacommons.org/place/wikidataId/Q3110>

Dointech SAS. (enero 2022). Video Vigilancia IP: Sistemas de Seguridad con Cámaras IP.

<https://www.dointech.com.co/video-vigilancia-ip.html>

Educative. (2021). What is Firebase?. <https://www.educative.io/edpresso/what-is-firebase>

EFE. (2015). *Moovit, una manera inteligente de tomar el autobús*.

<https://historico.elsalvador.com/historico/143021/moovit-una-manera-inteligente-de-tomar-el-autobus.html>

Enzo. (2018). *Coordenadas Geográficas, Epicentro geográfico*.

<https://epicentrogeografico.com/2018/03/coordenadas-geograficas>

ESP32 Shop (2022). *ESP8266 NodeMcu Pinout*. [https://esp8266-shop.com/esp8266-](https://esp8266-shop.com/esp8266-guide/esp8266-nodemcu-pinout/)

[guide/esp8266-nodemcu-pinout/](https://esp8266-shop.com/esp8266-guide/esp8266-nodemcu-pinout/)

F., José. (3 de julio de 2021). *ESP32 vs ESP8266 ¿Cuales son las diferencias entre ambos módulos?*

<https://descubrearduino.com/esp32-vs-esp8266/>

Firebase. (2021). Cloud Firestore.

<https://firebase.google.com/products/firestore#:~:text=Cloud%20Firestore%20is%20a%20NoSQL,web%20apps%20%2D%20at%20global%20scale>.

Firebase Realtime. (2021). Firebase Realtime Database.

<https://firebase.google.com/products/realtime-database#:~:text=The%20Firebase%20Realtime%20Database%20is,app%20data%20at%20global%20scale>.

FUSADES (2015). Prevención del crimen en el transporte público en El Salvador.

<http://fusades.org/publicaciones/Prevenci%C3%B3n%20del%20crimen%20en%20el%20transporte%20p%C3%ABlico%20en%20El%20Salvador.pdf>

Geotab. (mayo 2020). *What is GPS?* <https://www.geotab.com/blog/what-is-gps>

Google Cloud. (febrero 2022). *Cloud Run*. <https://cloud.google.com/run>

Google Cloud BigQuery. (enero 2022). *BigQuery*. <https://cloud.google.com/bigquery>

Google Cloud Calculator. (enero 2022). *Google Cloud Pricing Calculator*.

<https://cloud.google.com/products/calculator/#id=4c126f83-6e6a-4567-9297-7cb1b3dfbbb6>

Google Cloud Storage. (febrero 2022). *What is Cloud Storage?*

<https://cloud.google.com/storage/docs/introduction>

GPSSatelital. (2018). *Sistema GPS, su historia y evolución en el tiempo*.

<https://gpssatelital.org/gps-historia-y-evolucion/>

Grande, Carlos. (Septiembre 2012). *Modernización del sistema de transporte masivo en el AMSS*.

Oportunidades de desarrollo local en un proyecto regional, el caso de San Salvador. ECA:

Estudios Centroamericanos, vol. 67, no 730, pp. 361 - 365, 2012

Hernandez Hernandez, Valenzuela Campos y Vela Funes. (Enero de 2003). *Evaluación de alternativas de transporte masivo en el área Metropolitana de San Salvador*. [Tesis de Ingeniería Civil]. Universidad de El Salvador

Kumar T., Gupta S. & Kushwaha D. S. (2017). *A smart cost effective public transportation system: An ingenious location tracking of public transit vehicles*. 2017 5th International Symposium on Computational and Business Intelligence (ISCBI), 2017, pp. 134-138, doi: 10.1109/ISCBI.2017.8053560

Miller A. (2015). *Constelación de 24 satélites*. https://www.researchgate.net/figure/A-GNSS-consisting-of-a-constellation-of-24-satellites_fig1_280133049

Moovit Blog. (2 de julio de 2018). *How do Transit Apps Know Bus and Train Arrival Times?* <https://moovit.com/blog/transit-apps-arrival-times/>

Morales, S., Pedraza, C., Restrepo-Calle, F., Vega, F. y Bastidas, V., 2018. *Análisis de requisitos para dispositivos de localización vehicular seguros para sistemas de transporte público terrestre en Colombia*. Ingeniería y Desarrollo, 36(2), pp.298-326.

Naylamp Mechatronic. (enero 2021). Módulo ESP-12E ESP8266 WIFI. <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/176-modulo-esp-12e-esp8266-wifi.html>

Ordorica I. (agosto 2020). Qué es Google Cloud y para qué sirve. <https://www.incentro.com/es-ES/blog/que-es-google-cloud-platform>

Perry Y. (febrero 2021). What is Google Cloud Big Data?. <https://cloud.netapp.com/blog/gcp-cvo-blg-google-cloud-big-data-build-a-big-data-architecture-on-gcp#:~:text=What%20is%20Google%20Cloud%20Big,big%20data%20processing%20and>

%20analysis.

PNUD. (31 de marzo de 2022). *Mujeres libres de violencia en el transporte público.*

https://www.sv.undp.org/content/el_salvador/es/home/projects/mujeres-libres-de-violencia-en-el-transporte-publico.html

Presidencia de la República de El Salvador. (29 de enero de 2021). *Gobierno hace llamado a usuarios del transporte público a no abandonar los protocolos contra el COVID-19 -*

Presidencia de la República de El Salvador. <https://www.presidencia.gob.sv/gobierno-hace-llamado-a-usuarios-del-transporte-publico-a-no-abandonar-los-protocolos-contra-el-covid-19/>

Professional Review. (12 de junio de 2022). *Mejores WiFi portátil del mercado.*

<https://www.profesionalreview.com/redes/mejores-wifi-portatil>

Red Hat. (enero 2019). *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?.*

<https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>

Sepúlveda Mora, Castro Correa, Medina Delgado y Guevara Ibarra. (20 de junio de 2018). *Servicio web para la geolocalización de los vehículos de transporte público en la ciudad de Cúcuta.*

Respuestas, vol. 23, no. S1, pp. 29 - 37, 2018. <https://doi.org/10.22463/0122820X.1498>

Sepúlveda Mora, Castro Correa, Medina Delgado, Guevara Ibarra y López Bustamente. (3 de febrero de 2019). *Sistema de Geolocalización de Vehículos a través de la red GSM/GPRS y*

tecnología Arduino. Revista EIA, 16 (31), 145–157.

<https://doi.org/10.24050/reia.v16i31.1269>

Siham Bouchelaghem, Mawloud Omar. *Computers and Electrical Engineering.* (Elsevier, 2020).

Secure and Efficient Pseudonymization for Privacy-Preserving Vehicular Communications

in Smart Cities. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03033609>

Subadra, K.G., Begum, J.M., & Dhivya, H. (2017). *Analysis of an automated bus tracking system for metropolitan using IoT.* 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), 1-5.

Tan Cherie. (8 de septiembre de 2021). *Esp32 vs Arduino: The Differences Simply Explained.* <https://all3dp.com/2/esp32-vs-arduino-differences>

Tienda en línea Claro. (junio, 2022). *Plan postpago 10GB de Internet, todo incluido \$21.00* https://tiendaenlinea.claro.com.sv/product/plan-todo-incluido--21/Z04_8120_000A

Tienda en línea Claro. (junio, 2022). *Planes postpago* <https://tiendaenlinea.claro.com.sv/categories/pospago/planespospago>

Ubica GPS El Salvador. (2018). *Rastreo Satelital Avanzado.* <https://ubica.com.sv/>

Velásquez, Ayala D., Arrúa G. (12 de octubre de 2018). *Monitoreo de unidades de transporte público de Ciudad del Este.* http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/73654/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

Viceministerio de Transporte, ArcGis. (9 de enero de 2019). *MUESTRA LA GEOREFERENCIACIÓN DEL RECORRIDO Y LA UBICACIÓN DE LAS PARADAS, CONTENIENDO DATOS OPERACIONALES BASICOS* <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=8874e62de6e54a608e64cb14070d9f49>

Vigilancia Inteligente. (2 de enero de 2022). *Cámara móvil Domo 1MP Audio Hikvision AE-VC123T-ITS.* <https://www.vigilanciainteligente.com/camaras-mobiles-hikvision-camara-movil-domo-1mp-audio-hikvision-ae-vc123t-its-p-202.html>

Vigilancia Inteligente. (2 de enero de 2022). *Cámara móvil 2MP WDR PoE micrófono dahua HAC-HM3200L-F*. <https://www.vigilanciainteligente.com/camaras-mobiles-dahua-camara-movil-2mp-wdr-poe-microfono-dahua-hac-hm3200l-p-755.html>

VMukti. (2021). *Transit Surveillance System Latest Trends 2021 – Value To Video Surveillance*. <https://www.vmukti.com/solution/bus-surveillance>

Waveshare (mayo 2022). *ESP32-CAM, Camera Module Based on ESP32*. <https://www.waveshare.com/esp32-cam.htm>

APÉNDICE A. Preguntas incluidas en la encuesta

Para medir el nivel de seguridad que los usuarios del sistema de transporte público, se ha diseñado una pequeña encuesta segmentada en 3 secciones principales, incluida en la tabla 26: demografía, para poder tener datos sobre usuarios del transporte público, el nivel de seguridad actual al que se están expuestos al utilizar el transporte público; y finalmente, las mejoras o detrimentos que podrían percibir al implementar un sistema de geolocalización y videovigilancia sobre las unidades de transporte que utilizan regularmente. Cabe mencionar que, a la fecha de realización de la encuesta, han transcurrido al menos dos años de pandemia global por COVID-19, por lo que se ha extendido el período de tiempo de estudio a 5 años.

Tabla 26.

Encuesta realizada a la población para medición de percepción en la seguridad

Pregunta	Tipo de pregunta	Sección
Sexo	Opción Múltiple	Demografía
Rango de edad	Opción Múltiple	Demografía
Ocupación	Opción Múltiple	Demografía
Contacto (correo o número con Whatsapp)	Abierta	Incentivo
¿Qué tan seguido usas el transporte público?	Opción Múltiple	Demografía

¿Considera que las autoridades están haciendo lo necesario para aumentar la seguridad?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Ha sido víctima de robo o violencia a bordo del transporte público en los últimos cinco años?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Ha sido víctima de robo o violencia a bordo del transporte público en los últimos cinco años?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Ha sido testigo de robo o violencia a bordo del transporte público en los últimos cinco años?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Ha sido testigo de robo o violencia en paradas del transporte público en los últimos cinco años?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿De qué tipo de delitos has sido víctima o testigo mientras estás a bordo del transporte público?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Has reportado delitos cometidos en el transporte	Opción Múltiple	Nivel de

público a las autoridades?		seguridad actual
¿Las autoridades han dado respuesta al reporte de delitos?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Has estado involucrado en un accidente de tráfico que involucra una unidad del transporte público en el último año?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿En qué circunstancias estuviste involucrado en el accidente de tráfico? (como pasajero, peatón o abordo de vehículo privado)	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Cuáles fueron las causas del accidente?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Has observado unidades del transporte público salirse de las rutas predeterminadas?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Razones por las que la unidad se desvió de la ruta?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad

		actual
¿Sabes qué dispositivos de seguridad cuentan las que cuenta el transporte público que abor das?	Opción Múltiple	Nivel de seguridad actual
¿Te sentirías más seguro si las unidades de transporte público tuvieran dispositivos de seguridad adicionales? (Como GPS o videovigilancia)	Opción Múltiple	Cambios por sistema de GPS y videovigilancia proyectados
¿Crees que incluir videovigilancia en el transporte público sería una violación a tu privacidad?	Opción Múltiple	Cambios por sistema de GPS y videovigilancia proyectados
¿Te has sentido o te sentirías protegido si las unidades de transporte tienen cámaras de videovigilancia?	Opción Múltiple	Cambios por sistema de GPS y videovigilancia

		ia proyectados
¿Te sería de ayuda saber si tu bus o microbús está cerca de la parada?	Opción Múltiple	Cambios por sistema de GPS y videovigilancia proyectados
¿Utilizarías una aplicación que te permita saber la ubicación de tu bus y te brinde un estimado de la hora a la que podrás abordarlo?	Opción Múltiple	Cambios por sistema de GPS y videovigilancia proyectados

Nota. Elaboración propia a partir de encuesta realizada a la población en general

APÉNDICE B. Resultados de la encuesta

Al aplicar la encuesta descrita en el apéndice A, se obtuvieron 324 respuestas a través de la plataforma google forms, que también fue divulgada a través de Facebook. Como parte de la encuesta, se indagaba si el encuestado usa el transporte público y se detenía la encuesta en caso de que no lo utilizara. A continuación, los resultados:

B.1 Datos demográficos

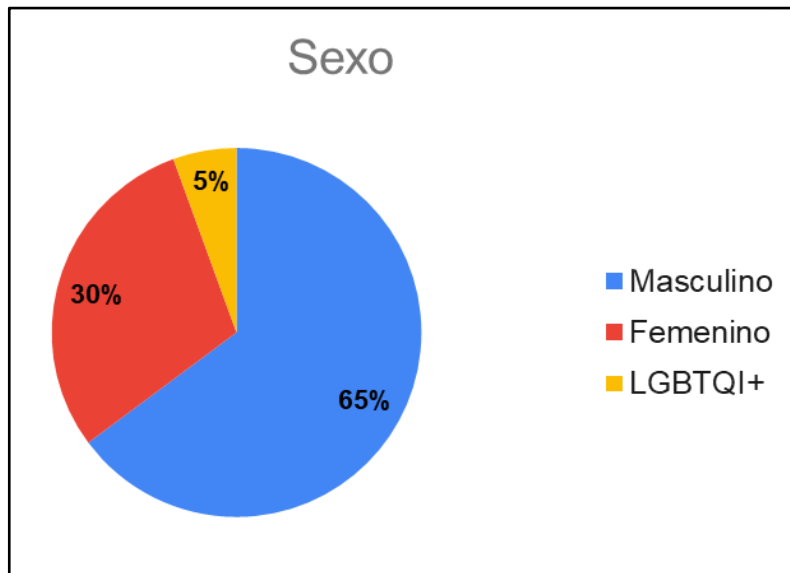
Del análisis de los datos demográficos podemos determinar que se ha alcanzado una población un tanto heterogénea en varios aspectos de la encuesta, hay un cierto balance entre las diferentes variables estudiadas. Debe notarse que la mayoría de usuarios del transporte público que respondió la encuesta son empleados, pero no utilizan el transporte a diario, pues cerca de la mitad de la población respondió que utiliza el transporte público los días de trabajo o con mayor frecuencia.

Sexo

El grupo que respondió la encuesta es predominantemente masculino. Aunque esto no va en línea con estudios sobre estudios previos ([PNUD], 2021), probablemente sea parte de los grandes cambios que se han introducido en la sociedad por la reciente pandemia del COVID-19.

Figura 60

Sexo de los encuestados



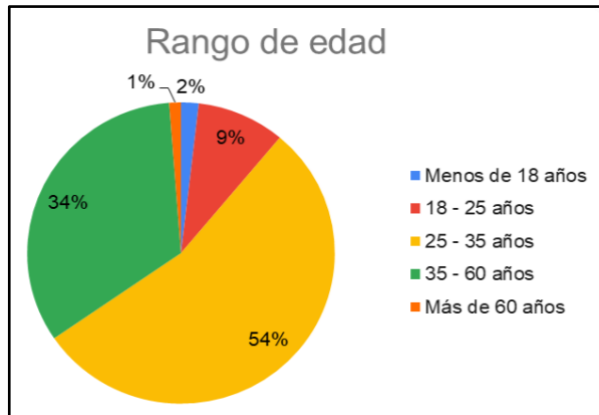
Nota: Elaboración propia, 2022

Edad

La participación en la encuesta fue muy heterogénea, y la mayoría de los encuestados corresponde al rango de edad entre 25 a 35 años, seguido de 35 a 60 años. Ésto corresponde a adultos jóvenes, que son más propensos a participar en encuestas.

Figura 61

Rango de edades de encuestados



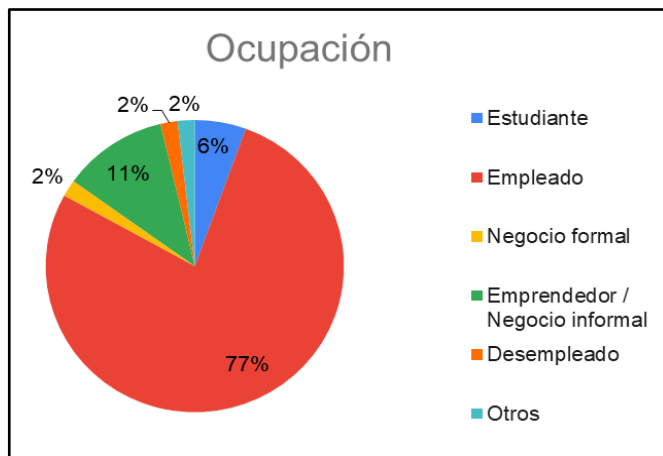
Nota: Elaboración propia, 2022

Ocupación

La mayoría de la población incluida en el estudio son empleados; sin embargo, la mayoría de los sectores económicos están representados dentro de las ocupaciones incluidos profesionales como doctores que respondieron dentro del 2% de otras ocupaciones.

Figura 62

Ocupación



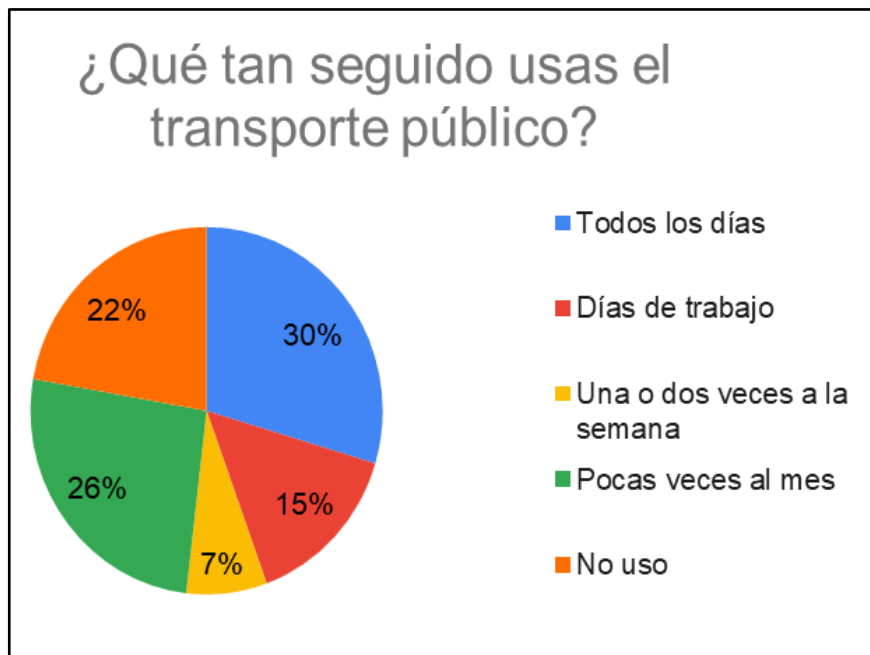
Nota: Elaboración propia, 2022

Frecuencia del uso del transporte

El transporte público es utilizado en diferentes frecuencias, y no sólo en días de trabajo, probablemente debido a las implicaciones del COVID-19, las necesidades de transporte para la población han cambiado mucho debido a la introducción de nuevas modalidades de trabajo como desde la casa. No obstante, cerca del 60% de la población utiliza el transporte público semanalmente, por lo que sigue haciéndolo un sistema de transporte al que se le debe dar mucha relevancia y atención

Figura 63

Rango de edades de encuestados



Nota: Elaboración propia, 2022

B.2 Nivel de seguridad actual

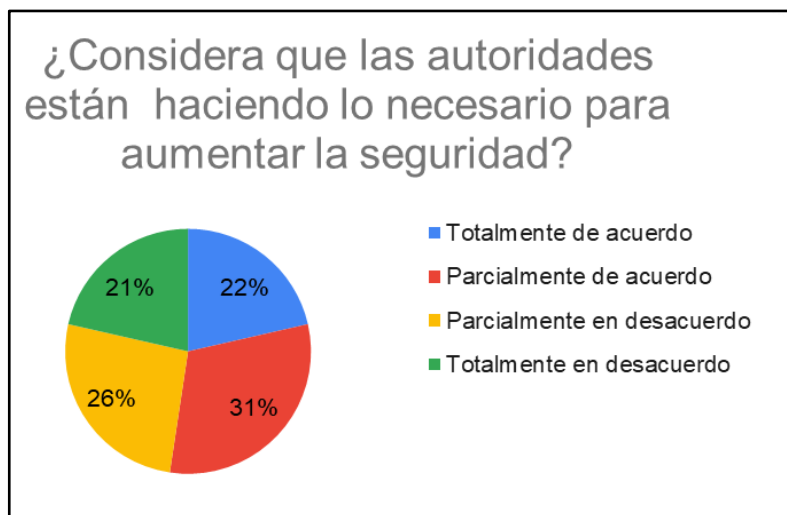
En general, se percibe un alto nivel de inseguridad en el transporte público, basado principalmente en niveles altos de violencia, en conjunto con el nivel de involucramiento de la población para detener dichos hechos de violencia.

¿Considera que las autoridades están haciendo lo necesario para aumentar la seguridad?

Se aprecia que aproximadamente el 52% de los encuestados coinciden que el gobierno está trabajando para mejorar los niveles de seguridad en el transporte público. Ésto da la apertura necesaria para que la población reciba bien proyectos como la adopción de sistemas de geolocalización y videovigilancia en las unidades del transporte.

Figura 64

Nivel de confianza en las autoridades en tema de seguridad



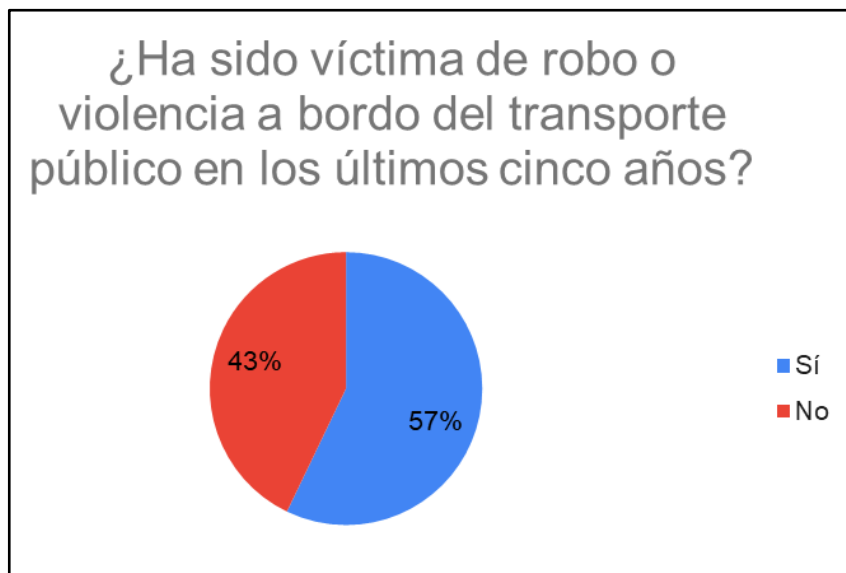
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Ha sido víctima de robo o violencia a bordo del transporte público en los últimos cinco años?

Más de la mitad de la población ha sido víctima o testigo de hechos delictivos dentro de las unidades de transporte público, por lo que es un área de mejora donde se puede mejorar la calidad de vida de la población en general

Figura 65

Tendencia de actos delictivos a bordo del transporte público



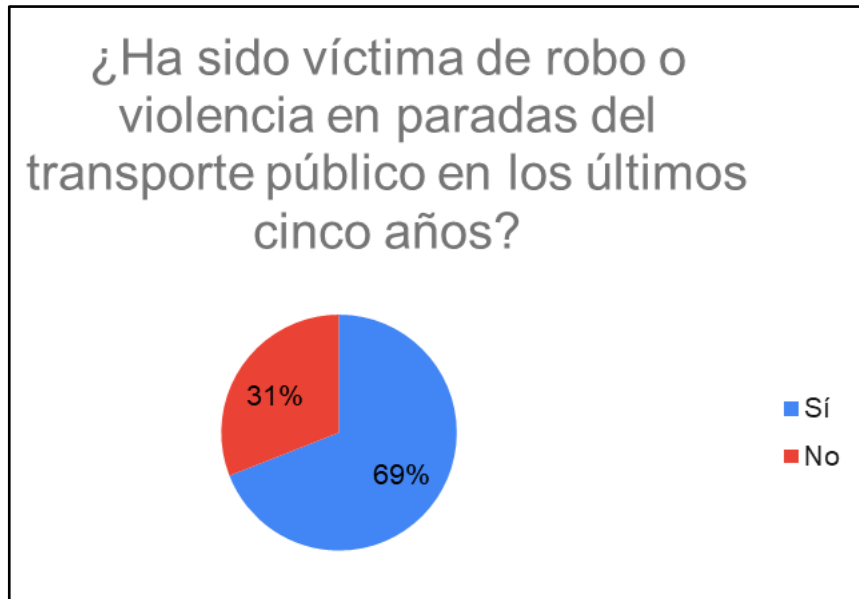
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Ha sido víctima de robo o violencia en paradas del transporte público en los últimos cinco años?

Debido al uso irregular que se le dió al transporte público durante la pandemia, y las restricciones de movilidad impuestas por el gobierno, fue necesario aumentar el rango de tiempo estudiado a 5 años. Durante dicho tiempo, la mayoría de las personas han sido victimizadas mientras esperan el transporte público en las paradas autorizadas por el VMT.

Figura 66

Tendencia de actos delictivos durante la espera del transporte público



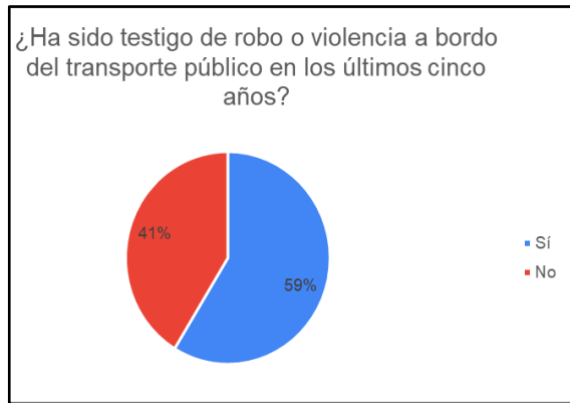
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Ha sido testigo de robo o violencia a bordo del transporte público en los últimos cinco años?

Cuando se trata de ser testigos de actos de violencia cometidos hacia otros, es un número similar al de quienes han sufrido los actos de violencia directamente. Al ser espacios reducidos, es bastante fácil identificar cuando otros usuarios están siendo víctimas de hechos delictivos

Figura 67

Visibilidad de hechos delictivos a bordo de buses y microbuses



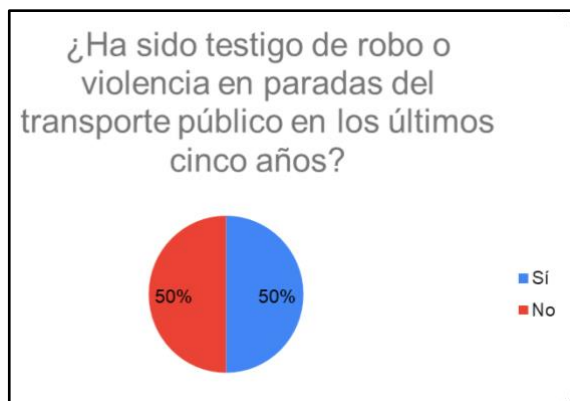
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Ha sido testigo de robo o violencia en paradas del transporte público en los últimos cinco años?

En cuanto a ser testigo de violencia en paradas de autobuses, el porcentaje de personas disminuye bastante, lo que indicaría que un porcentaje de los hechos delictivos cometidos en paradas de buses se realizan en zonas u horas de poca afluencia de personas, o lo realizan con la sutileza necesaria para que no sean hechos que llamen la atención

Figura 68

Visibilidad de hechos delictivos a bordo de buses y microbuses



Nota: Elaboración propia, 2022

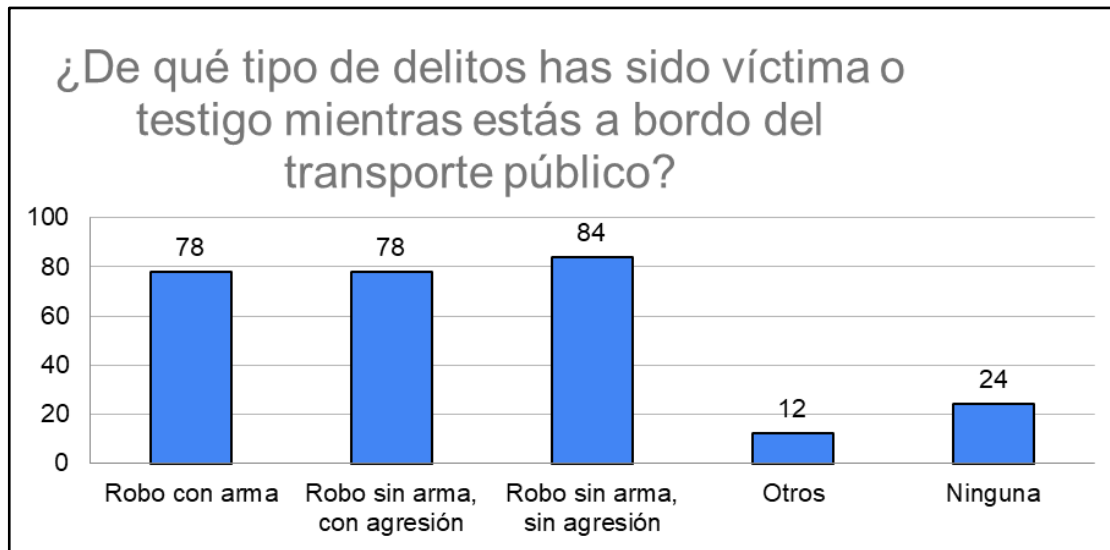
¿De qué tipo de delitos has sido víctima o testigo mientras estás a bordo del transporte público?

Los hechos delictivos más comunes son los robos en casi todas sus expresiones posibles.

Otros tipos de hechos delictivos aparecen como poco frecuentes en la encuesta realizada

Figura 69

Delitos comunes en el sistema de transporte público



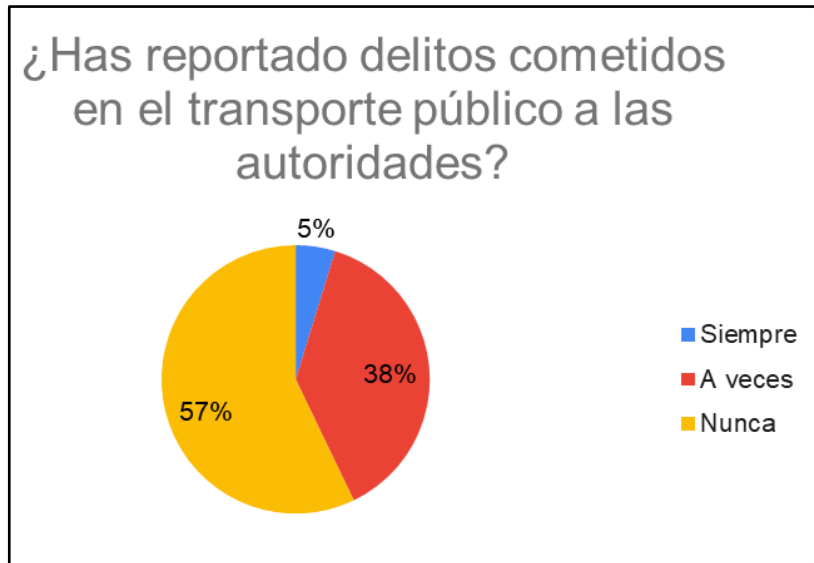
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Has reportado delitos cometidos en el transporte público a las autoridades?

Adicionalmente, también podemos observar que la población hace poca denuncia social al respecto de los hechos delictivos. Ésto demuestra que los usuarios tienen un bajo nivel de participación en la seguridad misma del transporte público. Para poder lograr implementaciones exitosas sobre los sistemas, se debe tener un nivel de involucramiento alto de los principales usuarios, por lo que se recomienda buscar soluciones que integren a la sociedad en general dentro de la búsqueda e implementación de soluciones.

Figura 70

Nivel de involucramiento de la población para resolver la delincuencia



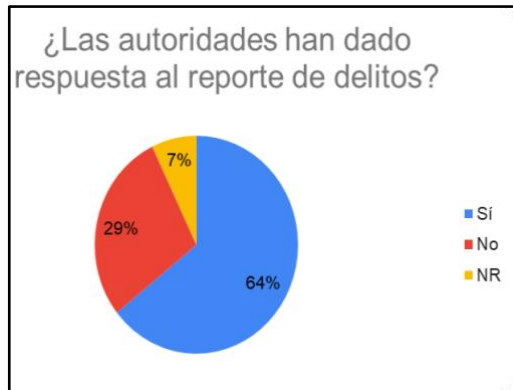
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Las autoridades han dado respuesta al reporte de delitos?

La mayoría de los encuestados han reportado que las autoridades les han dado respuesta a los delitos que han reportado. De acuerdo a los procedimientos para recuperar documentos perdidos como el DUI, se requiere que se reporte el evento a la PNC y se presente un comprobante para poder retirar los nuevos documentos. Sería interesante en futuras encuestas indagar los tipos de respuestas que las autoridades han provisto

Figura 71

Nivel de respuesta de las autoridades a reportes de violencia



Nota: Elaboración propia, 2022

¿Has estado involucrado en un accidente de tráfico que involucra una unidad del transporte público en el último año?

Se puede observar que las unidades de transporte público tienen una alta probabilidad de accidentes de tráfico, que conlleva a buscar alternativas para desplazarse a realizar las actividades regulares de los usuarios de dicho sistema

Figura 72

Visibilidad de hechos delictivos a bordo de buses y microbuses



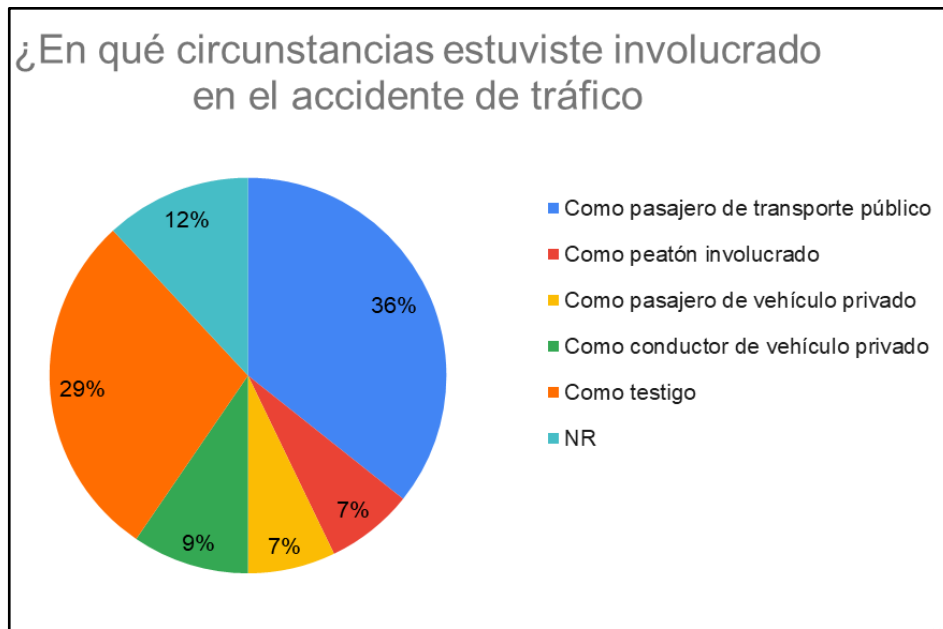
Nota: Elaboración propia, 2022

¿En qué circunstancias estuviste involucrado en el accidente de tráfico?(como pasajero, peatón o abordo de vehículo privado)

Únicamente el 16% de los encuestados respondieron estar involucrados en un accidente de tráfico mientras estaban a bordo de vehículos particulares. Se puede concluir que la mayoría de accidentes de tráfico están relacionados al transporte público, incluso en 36% de los involucrados han estado dentro de las unidades de transporte público.

Figura 73

Condición de encuestados en accidentes de tráfico



Nota: Elaboración propia, 2022

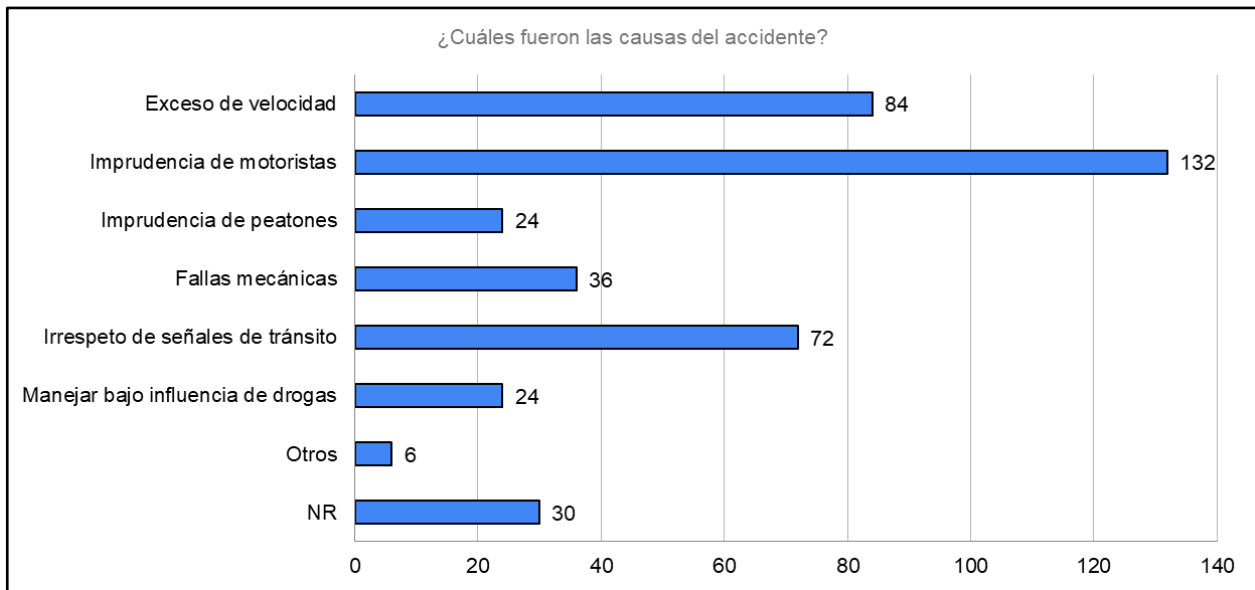
¿Cuáles fueron las causas del accidente?

Dentro de las causas de accidentes más recurrentes podemos señalar como sobresalientes la imprudencia de motoristas, el exceso de velocidad y el irrespeto a las señales de tránsito. Dichos problemas podrían ser manejados a partir de datos recopilados dentro del contexto de un sistema de ubicación GPS y videovigilancia: la ubicación GPS podría mostrar velocidades de

desplazamiento, y las cámaras servirán para aumentar el nivel de responsabilidad de parte de los motoristas y empresarios en casos de accidentes; y, al aumentar la prudencia al volante, el nivel de incidentes puede bajar.

Figura 74

Principales causas de accidentes de tráfico involucrando transporte colectivo



Nota: Elaboración propia, 2022

¿Has observado unidades del transporte público salirse de las rutas predeterminadas?

Adicionalmente, se ha observado que es muy común que las unidades de transporte se salgan de sus rutas designadas, principalmente debido a la saturación de las vías de transporte. Paradójicamente, al respetar la señalización de tráfico, las calles podrían estar menos llenas lo que implicaría una menor necesidad para circular fuera de la ruta designada.

Figura 75

Nivel de adhesión del transporte público a rutas designadas



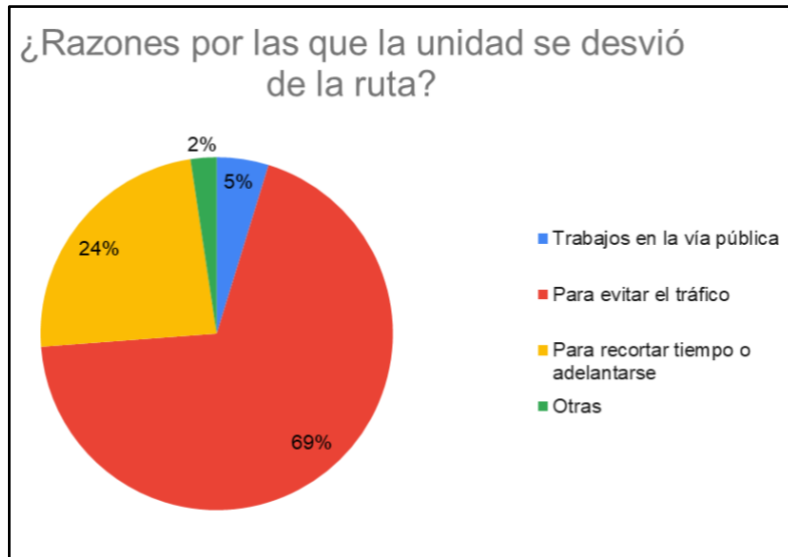
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Razones por las que la unidad se desvió de la ruta?

La causa más grande para salirse de las rutas establecidas es para evitar el tráfico en las vías indicadas. Esto, a su vez, crea tráfico en las zonas aledañas a las rutas tradicionales, haciendo el tráfico más complicado en los puntos donde los buses y/o autobuses regresan a la ruta tradicional y complican la búsqueda de rutas alternativas para los conductores de vehículos particulares, haciendo más grande el problema de tráfico más complejo de resolver.

Figura 76

Razones para el desvío de unidades de transporte



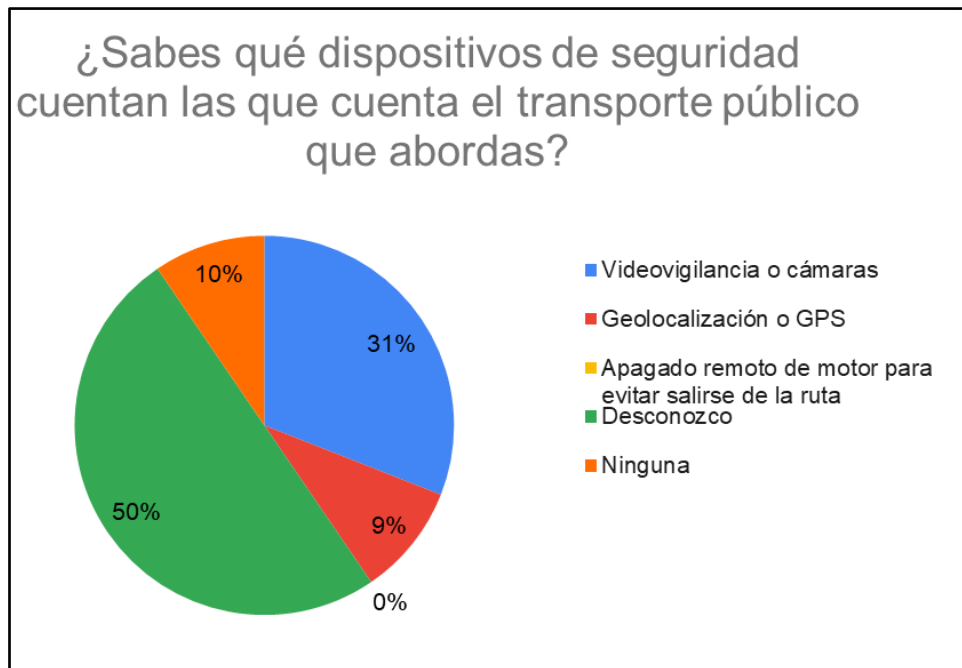
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Sabes qué dispositivos de seguridad cuentan las que cuenta el transporte público que abor das?

La mayoría de los encuestados no conocen si los autobuses tienen dispositivos de seguridad, por lo que sería bueno hacer campañas de concientización a los usuarios. Apenas el 9% de los encuestados, sabe seguramente que no tienen dispositivos de seguridad a bordo de las unidades. Un dato interesante es que el 31% de todas las unidades cuentan con sistemas de videovigilancia, lo que validan la viabilidad económica para introducir sistemas de tal tipo en las unidades de transporte que aún no cuentan con el sistema.

Figura 77

Nivel de uso y divulgación de sistemas de seguridad en transporte público



Nota: Elaboración propia, 2022

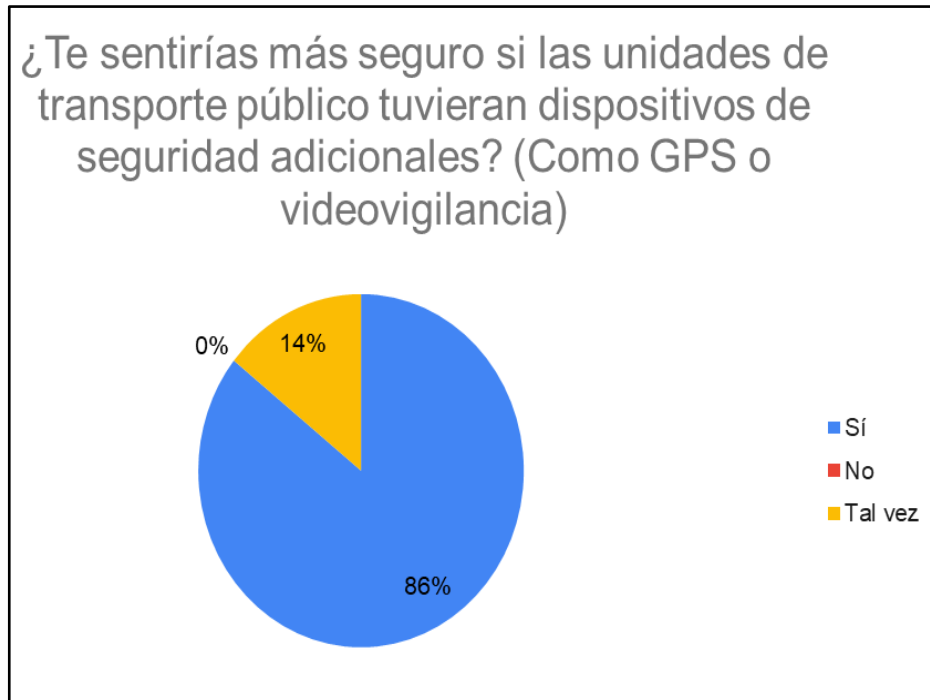
B.3 Cambios por sistema de GPS y videovigilancia proyectados

¿Te sentirías más seguro si las unidades de transporte público tuvieran dispositivos de seguridad adicionales? (Como GPS o videovigilancia)

La población concuerda que ayudaría a la percepción de la seguridad que se incluyera la videovigilancia a las unidades de transporte público. Aún si no aportaran muchos elementos para la prevención específica de hechos delictivos, sirve como un detractor para cometer delitos debido a la posibilidad de quedar registrado en algún video accesible a las autoridades, o pueden detectar patrones de comportamiento extraños debido al seguimiento GPS.

Figura 78

Confianza ante posibles medidas para aumento de seguridad en transporte masivo



Nota: Elaboración propia, 2022

¿Crees que incluir videovigilancia en el transporte público sería una violación a tu privacidad?

Aunque la implementación de un sistema de geolocalización y videovigilancia brinde un menor nivel de privacidad, la población no lo detecta de dicha forma o el beneficio que se puede obtener de tal sistema tiene mayor relevancia que proteger el nivel de privacidad ofrecido.

Figura 79

Nivel de rechazo de videovigilancia en espacios de transporte público



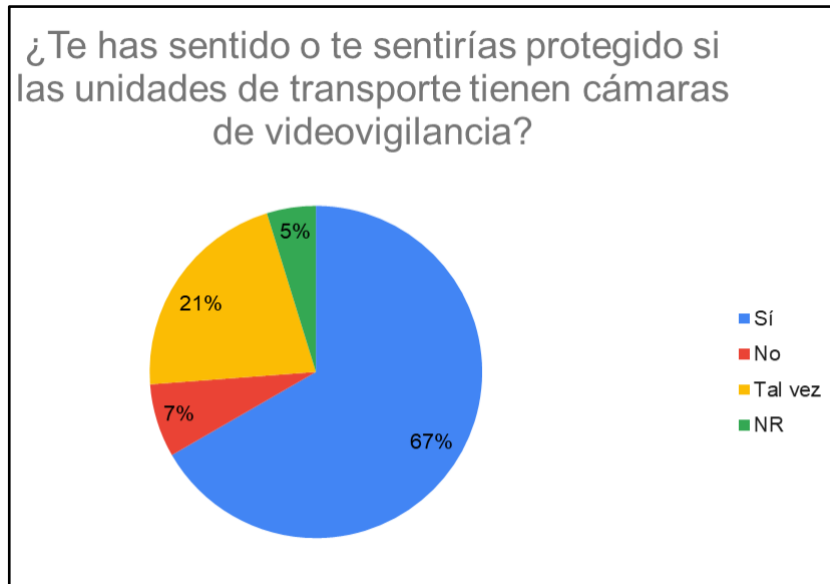
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Te has sentido o te sentirías protegido si las unidades de transporte tienen cámaras de videovigilancia?

La mayoría de la población está abierta a la idea que un sistema de videovigilancia será de beneficio para la percepción de la seguridad dentro de las unidades públicas. Apenas el 7% de los encuestados dicen que las cámaras no tendrían ningún efecto a la seguridad.

Figura 80

Nivel de aceptación de videovigilancia para el transporte público



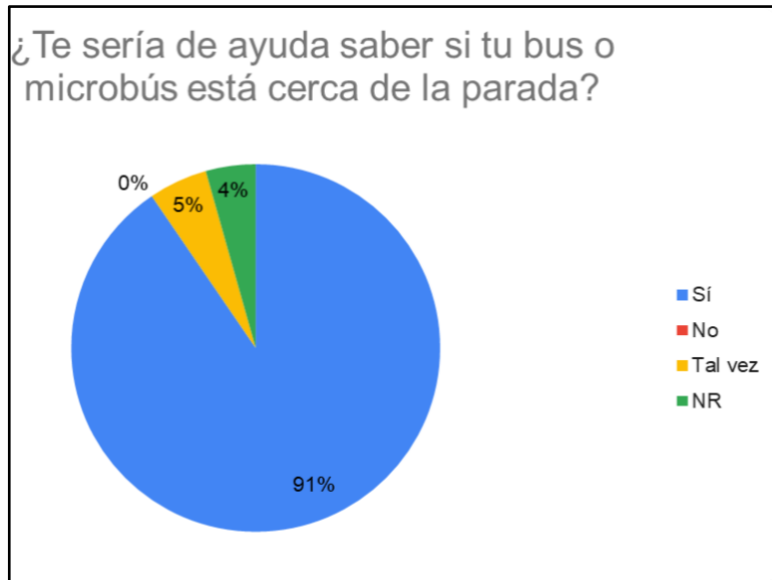
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Te sería de ayuda saber si tu bus o microbús está cerca de la parada?

En cuanto a la capacidad de saber el tiempo que las unidades de transporte llegarán a las paradas autorizadas, nueve de cada 10 participantes dijeron que será de beneficio. Esto puede ser para utilizar eficientemente el tiempo, mientras se minimizan los tiempos de espera. Adicionalmente, se disminuiría el tiempo y la cantidad de usuarios que esperan en las paradas autorizadas, minimizando así la probabilidad de ser víctima de cualquier hecho delictivo en las paradas.

Figura 81

Nivel de aceptación de rastreo GPS a unidades de buses y microbuses



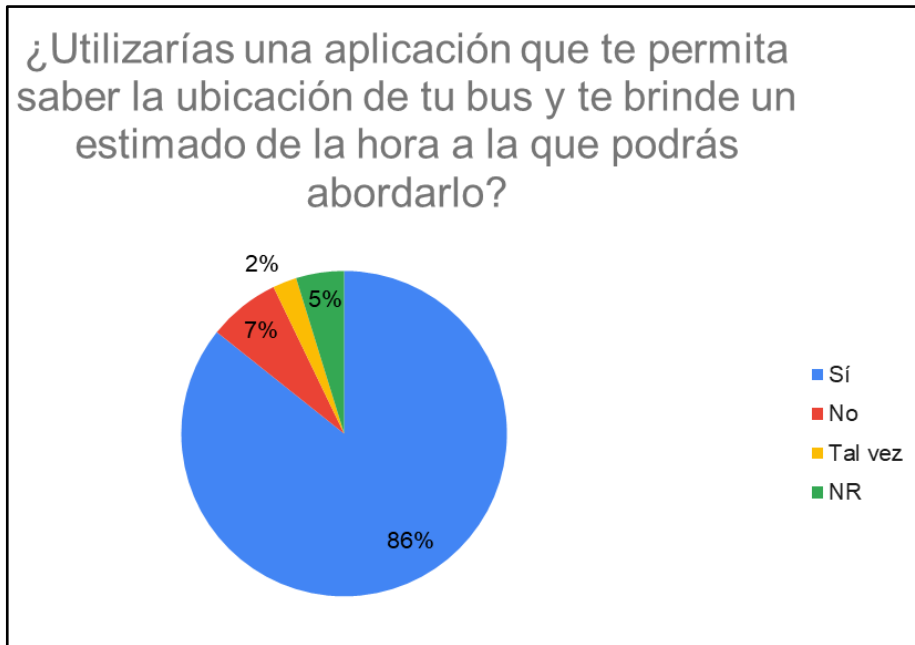
Nota: Elaboración propia, 2022

¿Utilizarías una aplicación que te permita saber la ubicación de tu bus y te brinde un estimado de la hora a la que podrás abordarlo?

Al tener la información de ubicación actual de unidades de transporte, será beneficioso si se puede complementar con una aplicación para mantener informada a la población en general, o compartir la información con sistemas similares ya establecidos como Moovit para tener una mejor experiencia de usuarios

Figura 82

Aceptación de posibles usos futuros de sistema de vigilancia en transporte público



Nota: Elaboración propia, 2022

APÉNDICE C. Guía de entrevista al director de Tránsito Terrestre

A través de gestiones, se logró concretar una entrevista con el Director General de Transporte Terrestre, el Ing. Francisco Raúl López Velado. También acompañaron a la reunión Carmen Hernández y Ena Martínez como asistentes, y William Vaquerano como coordinador de la unidad informática del VMT. Como parte de la Universidad, únicamente estuvo presente el equipo de trabajo del presente proyecto, se invitó a autoridades universitarias, pero no pudieron acompañar por motivos de fuerza mayor. Se abordaron temas sobre la situación actual de la videovigilancia y geolocalización, los esfuerzos que tienen registrados como subdivisión del VMT. Adicionalmente, se abordaron temas sobre los esfuerzos actuales desde el VMT para atender la seguridad de la población, particularmente con proyectos alineados a videovigilancia y geolocalización. A continuación, se agregan comentarios de la conversación acerca de cada pregunta propuesta. No se muestra una reproducción literal pues se indagaron los temas sin un orden en particular y de forma conjunta.

Antecedentes

1. De manera general, ¿existe algún proceso para monitorear las unidades de transporte?

Sí/No. En caso de responder sí, ¿qué información es relevante en ese monitoreo?

El problema del control de transporte es algo histórico en el país, por diferentes motivos a lo largo de los últimos 30 años el sistema de transporte en el país no se ha logrado ordenar. El GPS se ha visto como alternativa para mejorar el control, localmente más del 50% de la flota de transporte colectivo en el área metropolitana de San Salvador creen que tienen unidades de GPS, controladas y pagadas por los transportistas de forma

individual, para el control mismo de sus flotas. Esa información no es compartida con el VMT, con el ente rector. Desde el VMT se han hecho esfuerzos para acceder a dicha información, sin embargo, no se ha podido concluir el procedimiento de compartir información, debido a factores técnicos como regulatorios. Desde el punto de vista técnico, existen problemas como acordar el formato de la información a compartir y el canal adecuado, así como la búsqueda de un procedimiento estándar que cubra todos los dispositivos usados actualmente. Por el momento, se cuenta con la normativa aprobada para condicionar el subsidio que se recibe a compartir la información de ubicación. Existe un balance complicado para mantener los costos de funcionamiento bajos, para poder mantener una tarifa baja y mantener un nivel de rentabilidad aceptable para los transportistas

- 2. Con respecto a la seguridad en el transporte público, ¿cuentan con acciones puntuales para garantizar la seguridad? Como ejemplo, evitar robos/asaltos en paradas de buses, robos dentro de unidades de transporte, entre otros.**

La seguridad física sobre los usuarios recae en la PNC directamente. Desde el VMT se ha propuesto tener su propio centro de monitoreo y uso de videovigilancia para disminuir los robos y la violencia a las mujeres, que particularmente son los problemas más grandes dentro de las unidades de transporte colectivo, manteniendo lazos con la PNC. Se han investigado sobre varias alternativas, y los costos de diferentes sistemas son similares. Sin embargo, un problema recurrente es que la mayoría de los dueños de unidades de transporte son dueños de pocas unidades, por lo que conseguir el equipo de

vigilancia se complica en términos de coordinación, y probablemente no se pueda acceder a un precio bajo si se hiciera una compra consolidada.

3. ¿Tienen un control del promedio de recorridos diarios que debe realizar una unidad de transporte de la zona metropolitana de San Salvador?

No se tiene un censo o dato certero. Sin embargo, debido a que actualmente administran rutas como la 42 y 152, se puede hacer un estimado de 4 a 6 recorridos diarios en promedio para rutas como la 44, sería similar.

4. La Prensa Gráfica publicó en 2017 que se implementó un sistema de videovigilancia en buses interurbanos de Sonsonate, con la ayuda de la PNC. ¿Cuenta ésta iniciativa con apoyo, más allá del aval del funcionamiento? ¿Cuáles han sido los resultados?

Varias rutas tienen GPS y cámaras. Aunque no se tiene conocimiento de la noticia o de las rutas involucradas, se debe retomar que los transportistas están viendo la videovigilancia como una ventaja y lo están implementando a nivel individual o pequeñas cooperativas. Sin embargo, desde la Dirección General de Transporte Terrestre o VMT no tienen acceso a la información, y tampoco fueron consultados o incluidos en las propuestas de implementación de unidades.

Se puede rescatar el proyecto del SITRAMSS que contaba con estructura propia del VMT, donde se incluía vigilancia tanto en unidades como en las paradas de buses, pero el modelo económico y la presión financiera ejercida por la pandemia causó que dicho proyecto quebrara financieramente.

5. El 16-marzo se publicó una noticia en Diario La Página mencionando que desde la asamblea se estudia la obligatoriedad del uso de unidades de GPS y videovigilancia en

el transporte público. ¿Existen mesas de trabajo conjunto con la asamblea? ¿Existen acuerdos con otros sectores de la sociedad sobre éste tema?

La iniciativa en particular fue bloqueada desde la asamblea legislativa por los costos que pueden generar al estado y principalmente a los transportistas, en aras de mantener una tarifa de transporte baja y estable. Se está trabajando desde otro punto de vista, y se está trabajando internamente para reformar la ley general de transporte terrestre, tránsito y seguridad vial, donde éstos temas estén integrados desde las leyes, de una forma integral y ordenada.

6. ¿Existen iniciativas para incluir geolocalización en los autobuses de la zona metropolitana de San Salvador? Si las existen, ¿qué tipo de soluciones se han propuesto?

A nivel del AMSS, existen varios esfuerzos a título individual del lado de los transportistas. Desde el lado gubernamental, el punto de inicio para siguientes esfuerzos será la reforma de la ley, intentando integrar la heterogeneidad de sistemas implementados por los transportistas

7. ¿Existen iniciativas para incluir videovigilancia en los autobuses de la zona metropolitana de San Salvador? Si las existen, ¿qué tipo de soluciones se han propuesto?

Hay iniciativas en varias rutas como la 8, 101, 52, 52MB e incluso 42MB. Sin embargo, la implementación ha sido únicamente implementada por los transportistas sin incluir al VMT como un actor de dichos sistemas

Viabilidad de soluciones

8. ¿Cuál sería la mejor entidad para monitorear ubicación y cámaras de unidades de transporte (PNC, CAM local, VMT, empresarios)? ¿por qué?

Como primera iniciativa sería tener un centro de monitoreo desde el lado del VMT, que corresponde al centro de control ubicado en la que funcionó como terminal del SITRAMSS en Soyapango, porque está bien equipado, con sistemas instalados y funcionales; y es un recurso actualmente subutilizado. Desde el punto de vista oficial, sería ideal integrar videovigilancia primero en el Área Metropolitana de San Salvador, luego moverse hacia el transporte interurbano, y luego hacia zonas urbanas secundarias

9. ¿Es legal grabar y monitorear las unidades de transporte? ¿Los videos podrían ser utilizados ante una entidad de justicia, como evidencia, en caso de hechos delictivos, como robos?

No es un problema legal, y ya cuentan con sistemas funcionales que capturan videos. El interés es para que los transportistas compartan información y definir una reforma de la ley general que esté aprobada, para poder hacerlo de carácter obligatorio.

Nadie ha manifestado un problema con ese tipo de situación. Por el contrario, los usuarios o pasajeros viajan más seguros, en especial las mujeres se sienten más seguras en las unidades que tienen cámara, por lo que se busca la implementación generalizada

10. ¿La legislación actual soporta la regulación de un sistema de videovigilancia en unidades del transporte? (Podría mencionar algunas leyes).

Al momento, únicamente se cuenta con la ley de compensación o subsidios que le da un margen al VMT para condicionar el subsidio a cambio del uso de videovigilancia y localización a través de GPS.

Se están realizando esfuerzos para hacer una reforma a la ley general de transporte terrestre, donde se incluirá las generalidades del funcionamiento requerido del sistema. Los detalles particulares y decisiones técnicas que afectarán a un sistema integral se incluirán en la documentación secundaria del nivel adecuado. El objetivo es lograr centralizar la información para tomar decisiones en base a ellas, respetando la heterogeneidad y buscando soluciones viables para los transportistas.

En la reforma se incluye todos los segmentos de transporte público: buses y microbuses; transportes de especialidades que incluye turismo, viajes y escolares; taxis, mototaxis donde estén autorizadas.

11. En caso de implementar sistemas de videovigilancia, ¿Está de acuerdo con una implementación de sistema que registre la información en la nube? ¿Quién sería el dueño de la información? ¿Se podría contar con un presupuesto especial?

El VMT será el dueño de la información, se buscará suscribir convenios con alcaldías, Ministerio de Seguridad para que aprovechen la información. Un tipo de convenio que se anda buscando es con las alcaldías, para tener acceso a los feeds que estén relacionados a las paradas de buses del área metropolitana donde existan cámaras disponibles.

12. ¿Qué tipo de información le sería de utilidad de los recorridos realizados por las unidades? (Ej.: Cantidad de recorridos, trayectos realizados, eventos durante el recorrido)

Contabilizar la demanda en unidades de transporte, se preferiría contabilizar de forma remota debido al esfuerzo que implicaría enviar personal del VMT a hacer estudio de campo, se busca optimizar las unidades de transporte o la frecuencia de circulación del transporte público tanto en horarios pico o de alto tráfico, como en horarios valle o de poco tráfico.

También hay particular interés sobre la adhesión al funcionamiento esperado, como el cumplimiento de frecuencias o establecimiento de geocercas para cada ruta establecida. En general, el objetivo es cumplir el plan operativo para el transporte público, y darles un servicio eficiente a los usuarios

13. ¿Sería viable compartir la ubicación por rutas, a través de canales adecuados, a la población en general o a aplicaciones terceras como Moovit o Google maps? Por ejemplo, que un usuario pueda ver que la unidad más cercana de la ruta 42 está a dos cuadras de su ubicación actual, y estará en la parada en un estimado de 5 minutos.

Es posible, y se está trabajando en esa dirección. Se sostuvieron pláticas con Moovit para traerlo al país, y se está planificando compartir la información a través del formato GTFS soportado por la API de Google Transit. Esto permitirá a aplicaciones como Moovit y otras similares para poder brindar información del sistema de transporte público en tiempo real

14. ¿Considera de beneficio tener más de una cámara por unidades de transporte? ¿quizás, una externa al frente de la unidad, para registrar el exterior? Sí/No ¿Por qué?

Sí, confirmaron. También confirmaron que ya se ha hecho uso de tales cámaras, normalmente en casos de disputa de responsabilidades sociales en accidentes con peatones y unidades de buses y microbuses, donde en varios casos se ha concluido la imprudencia de los peatones para cruzar la calle en zonas no designadas e incluso donde hay pasarelas cerca del lugar de accidente.

Adicionalmente a la entrevista, se recibieron comentarios que desde la dirección de transporte terrestre se han buscado opciones para tales fines de videovigilancia y geolocalización que incluyen alternativas de desarrollo de rutinas utilizando el IDE de Arduino y Python, o comprar paquetes diseñados específicamente. Se buscan alternativas con bajos costos de implementación, pero que sean funcionales.

Como uso para los transportistas privados, se ha comprobado que es un mecanismo que ayuda para el control interno. A consecuencia, los empresarios están adoptando los sistemas de forma generalizada, donde cada empresario busca una solución propia y con acceso exclusivo a ellos. En tal sentido, intentar hacer una solución a nivel de flota completa es complicado por la diversidad de soluciones y necesidades de los empresarios.

También hicieron notar que ya hacen uso de herramientas ofrecidas por Google, como el GTFS o el uso de BigQuery para analizar la información recopilada por la aplicación Waze. Sin embargo, para la implementación de un sistema nuevo como la vigilancia y ubicación por GPS, preferirían realizarlo con el centro de monitoreo que se usó en el SITRAMSS debido a que está

adecuado para ser un centro de monitoreo, y ya cuenta con infraestructura informática propia que puede soportar inicialmente la aplicación, y luego buscarían escalar internamente en un esfuerzo de mantener bajos los costos operativos