

# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

## **SEDE CUENCA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Trabajo de titulación previo a  
la obtención del título de  
Ingeniero de Sistemas.

Proyecto Técnico:

“DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA INTELIGENTE DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO POR EXCESO DE VELOCIDAD APLICADO AL TRANSPORTE INTERPROVINCIAL”

**AUTORES:**

ROMMEL GERMÁN PAREDES MORALES

ADRIAN ESTEBAN BERMEO UREÑA

**TUTOR:**

ING. PABLO GALLEGOS

**CUENCA – ECUADOR**

**2018**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, **Rommel Germán Paredes Morales** con documento de identificación N° 0302557186 y **Adrian Esteban Bermeo Ureña** con documento de identificación N° 0105265094, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“Diseño y elaboración de un prototipo para un sistema inteligente de prevención de accidentes de tránsito por exceso de velocidad aplicado al transporte interprovincial”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio de 2018

  
**Rommel Germán Paredes Morales**

C.I: 0302557186

  
**Adrian Esteban Bermeo Ureña**

C.I: 0105265094

## CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**Diseño y elaboración de un prototipo para un sistema inteligente de prevención de accidentes de tránsito por exceso de velocidad aplicado al transporte interprovincial**”, realizado por Rommel Germán Paredes Morales y Adrian Esteban Bermeo Ureña, obteniendo el Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio de 2018



Ing. Pablo Leonidas Gallegos Segovia  
C.I: 0102593589

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Rommel Germán Paredes Morales** con número de cédula 0302557186 y **Adrian Esteban Bermeo Ureña** con número de cédula 0105265094, autores del trabajo de titulación “**Diseño y elaboración de un prototipo para un sistema inteligente de prevención de accidentes de tránsito por exceso de velocidad aplicado al transporte interprovincial**” certificamos que el total contenido de este Proyecto técnico, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio de 2018



**Rommel Germán Paredes Morales**

C.I: 0302557186



**Adrian Esteban Bermeo Ureña**

C.I: 0105265094

## DEDICATORIA

*A mi mamá, el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, quien sembró en mí buenos valores y me enseñó con su ejemplo a superar cada reto que se nos presenta; fue el motor de apoyo y la motivación que tuve a lo largo de este camino. A ella, quien hoy puede sentirse orgullosa de tener cuatro hijos profesionales. A mis hermanos por estar siempre conmigo y ser la inspiración que necesité para hacerle frente a las obligaciones que me llevaron a terminar este ciclo en mi vida; a ustedes, en quienes vi un espejo de sacrificio, responsabilidad y trabajo. Finalmente, a todas las personas que creyeron en mí y que en el transcurso de mi Carrera Universitaria supieron llenarme de energía para no decaer.*

**Rommel Germán Paredes Morales**

# AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana; nuestro docente Tutor, el Ing. Pablo Gallegos por ser guía y fuente de conocimientos que impartidos en nosotros permitió culminar satisfactoriamente nuestra Carrera.

A mi compañero de tesis por el apoyo y esfuerzo brindado en el desarrollo de este proyecto; el tiempo invertido al final dio sus frutos.

A nuestros familiares y amigos más cercanos que siempre tuvieron una voz de aliento hacia nosotros en este difícil pero no imposible camino; siempre gracias a todos los que hicieron posible cumplir esta meta.

***Adrian Esteban Bermeo Ureña***

***Rommel Germán Paredes Morales***

## RESUMEN

En el siguiente documento se detalla el desarrollo de un sistema embebido compuesto por hardware y software, dedicado al monitoreo de la velocidad y ubicación geográfica aplicado en el transporte interprovincial, donde se recolecta datos provenientes de un módulo celular con sensores, los cuales son analizados para detectar patrones que puedan contribuir a mitigar el índice de accidentes de tránsito.

Siendo el exceso de velocidad la segunda causal de infracciones vehiculares se propone como solución, el sistema de monitoreo en línea que engloba conceptos de Internet de las Cosas enfocados, hoy en día, al desarrollo de Ciudades Inteligentes, con el fin de mejorar el resguardo de los usuarios que hagan uso de estos medios de transporte.

De igual manera se indica la arquitectura del sistema en cuestión y de todos sus elementos que conforman el hardware construido para su implementación. El sistema está constituido por un prototipo inteligente, una plataforma web con un Servicio Web Rest y una base de datos relacional (MySQL). El prototipo consta de sensores que monitorean la velocidad (km/h), la posición geográfica y el estado de la puerta (abierta/cerrada). Todos estos datos son enviados a la plataforma web a través de la red de comunicaciones celulares GSM/GPRS para luego ser procesados y de esta manera bajo un análisis tomar futuras decisiones correctivas con el fin de combatir este problema. Además, se presenta un escenario real en vías perimetrales y autopistas, sobre las cuales se realizan las pruebas respectivas con el fin de mejorar el margen de error de la información recibida, simulando las infracciones e incidentes más comunes.

Finalmente, el trabajo expuesto se complementa con histogramas que, apoyándose en los resultados obtenidos desde el monitoreo en línea, aportan una mejor interpretación del comportamiento del vehículo a lo largo del recorrido con el fin de cumplir los objetivos planteados.

## **ABSTRACT**

The following document details the development of an embedded system of hardware and software, dedicated to monitoring the speed and geographic location applied in the interprovincial transport service, where data was collected from a cellular device with sensors, which are analyzed for patterns that can help mitigate the rate of traffic accidents.

The excess velocity is the second cause of vehicular infractions, that's why the following solution is proposed such as the online monitoring system that encompasses Internet of Things concepts focused, nowadays, on the development of Smart Cities, to improve the protection of users who do use of these means of transport

In the same way, the architecture of this system and all the elements that compose the hardware built for its implementation are detailed. The system consists of an intelligent prototype, a web platform with a Rest Web Service and a relational database (MySQL). The prototype consists of sensors that monitor the speed (km/h), a GPS and the status of the door (open/closed). All these data go to the web platform through the GSM/GPRS communications network to be processed and combat the problem with corrective decisions. In addition, a real scenario in perimeter roads and highways is presented, on which the respective tests are carried out in order to improve the margin of error of the information received, simulating the most common infractions and incidents.

Finally, the exposed work is complemented with histograms that, based on the results obtained from the online monitoring, providing a better interpretation of the behavior of the vehicle along the route in order to reach the objectives.

# INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. PROBLEMA.....	4
2.1. ANTECEDENTES .....	4
2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCE.....	5
2.3. DELIMITACIÓN.....	6
3. OBJETIVOS.....	6
3.1. GENERAL .....	6
3.2. ESPECÍFICOS.....	6
4. TRABAJOS RELACIONADOS.....	7
5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	10
5.1. ¿QUÉ ES EL INTERNET DE LAS COSAS?.....	10
5.2. SMART CITIES.....	10
5.3. PROTOCOLOS USADOS PARA TRANSMISIÓN DE DATOS EN IoT.....	11
5.3.1. <i>CoAP</i> .....	11
5.3.2. <i>MQTT</i> .....	12
5.3.3. <i>XMPP</i> .....	12
5.3.4. <i>RESTFUL SERVICE</i> .....	13
5.3.5. <i>AMQP</i> .....	13
5.3.6. <i>WEBSOCKETS</i> .....	13
5.4. BASES DE DATOS RELACIONALES .....	13
5.4.1. <i>MySQL</i> .....	14
6. MARCO METODOLÓGICO .....	15
6.1. ARQUITECTURA.....	15
6.2. FASES DEL PROYECTO .....	16
6.3. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS .....	17
6.3.1. <i>ARDUINO UNO</i> .....	17
6.3.2. <i>MÓDULO SIM900 GPRS/GSM</i> .....	20
6.3.3. <i>MÓDULO GPS UBLOX 6M</i> .....	20
6.4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.....	22
6.4.1. <i>ESQUEMA DE CONEXIÓN ELECTRÓNICA</i> .....	23
6.4.2. <i>CONEXIÓN GPRS A TRAVÉS DE LA RED CELULAR</i> .....	25
6.4.3. <i>CONEXIÓN HTTP A TRAVÉS DE LA GPRS</i> .....	26
6.4.4. <i>CONFIGURACIÓN DE GEO POSICIONAMIENTO</i> .....	27
6.4.5. <i>CONFIGURACIÓN DEL SENSOR DE VELOCIDAD</i> .....	30
6.4.6. <i>CONFIGURACIÓN DEL SENSOR PARA LA PUERTA</i> .....	30
6.4.7. <i>CONFIGURACIÓN DE RASPBERRY</i> .....	31
6.5. SERVICIO WEB REST .....	33
6.6. DESARROLLO DE LA PLATAFORMA WEB .....	34
6.6.1. <i>BASE DE DATOS (DIAGRAMA DE CLASES)</i> .....	35

6.6.2.	<i>DIAGRAMAS UML</i> .....	36
6.6.3.	<i>INTERFACES GRÁFICAS DE LA PLATAFORMA</i> .....	38
7.	<b>EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS</b> .....	<b>47</b>
7.1	<b>EXPERIMENTACIÓN</b> .....	47
7.2.	<b>RESULTADOS</b> .....	49
8.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>57</b>
9.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>59</b>
10.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>60</b>
11.	<b>ANEXOS</b> .....	<b>62</b>

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Uso de los DBMS en el mercado [11].....	14
Fig. 2. Arquitectura del proyecto .....	15
Fig. 3. Placa Arduino etiquetada [14].....	19
Fig. 4. Arduino IDE .....	19
Fig. 5. Módulo SIM900 GPRS/GSM [16] .....	20
Fig. 6. Módulo NEO-6M GPS [18] .....	21
Fig. 7. Arquitectura del módulo u-blox 6 [19].....	22
Fig. 8. Esquema electrónico de Arduino, Sim900 y GPS .....	23
Fig. 9. Esquema electrónico de Raspberry y Cámara.....	24
Fig. 10. Esquema de Almacenamiento de Datos y Suministro Energético.....	25
Fig. 11. Mensajes NAV PVT en modo interactivo .....	29
Fig. 12. Configuración de Raspberry PI.....	31
Fig. 13. Inserción de datos con Servicio Web Rest .....	33
Fig. 14. Verificación del funcionamiento del Servicio Web Rest.....	34
Fig. 15. Diagrama de Clases .....	35
Fig. 16. Diagrama de Casos de Uso del Usuario .....	36
Fig. 17. Diagrama de Casos de Uso del Administrador .....	37
Fig. 18. Interfaz principal para un Usuario común .....	38
Fig. 19. Menú principal de Usuario.....	39
Fig. 20. Gráfica del comportamiento del recorrido.....	39
Fig. 21. Menú de consultas.....	40
Fig. 22. Gráfica del monitoreo del prototipo móvil.....	40
Fig. 23. Interfaz principal del Administrador de la plataforma Web.....	41
Fig. 24. Menú principal del Administrador .....	42
Fig. 25. Interfaz de LogIn .....	42
Fig. 26. Menú para creación de registros.....	43
Fig. 27. Interfaz para la creación de registros .....	43
Fig. 28. Menú para la administración de registros .....	44
Fig. 29. Interfaz para la administración de registros.....	44
Fig. 30. Gráfica del comportamiento del recorrido.....	45
Fig. 31. Menú para consultas de reportes.....	45
Fig. 32. Gráfica del monitoreo del prototipo móvil.....	46
Fig. 33. Sectorización de zonas a monitorear.....	48
Fig. 34. Área de parada autorizada .....	48
Fig. 35. Prototipo móvil en vehículo para pruebas.....	48
Fig. 36. Muestreo de datos del prototipo móvil.....	49
Fig. 37. Acercamiento a muestro de datos.....	50
Fig. 38. Ubicación del incidente .....	50
Fig. 39. Comportamiento del recorrido en experimentación.....	51
Fig. 40. Detalle del chofer con incidentes registrados.....	51
Fig. 41. Lista de incidentes generados en la experimentación .....	52
Fig. 42. Lista de paradas registradas en la experimentación.....	53

Fig. 43. Gráfica del comportamiento de los incidentes con respecto al tiempo .....	54
Fig. 44. Gráfica para el análisis de paradas realizadas .....	55
Fig. 45. Gráfica del estado de la puerta.....	56

# 1. INTRODUCCIÓN

La convivencia entre elementos dentro de un ecosistema conformado por una región urbana y una infraestructura tecnológica orientada a la sostenibilidad y desarrollo de la sociedad promueve un nuevo concepto para la transición hacia Ciudades Inteligentes, principalmente sustentado bajo el paradigma del Internet de las Cosas.

La idea de una “Ciudad Inteligente” es mostrar una visión futurista de soluciones a problemáticas cotidianas mediante herramientas del IoT como son los microcontroladores y sensores utilizados en la mayoría de equipos tecnológicos y de uso común que permiten el envío de información de un host a otro mediante protocolos de comunicación.

El objetivo del IoT es la interconexión de los dispositivos de nuestro entorno para mejorar la forma de interpretar el ambiente que nos rodea en diversas situaciones como clima, vialidad, geolocalización o como es el caso de este proyecto, el transporte público.

En el Ecuador, este sistema de movilización intercantonal e interprovincial carece de una organización estructurada y eficiente para controlar el recorrido desde el origen hasta el destino y así mitigar los accidentes de tránsito provocados por el exceso de velocidad de los autobuses; esto representa un complejo comportamiento respecto al orden y distribución de rutas, cumplimiento de reglamentos de tránsito y consolidación de la seguridad tanto de transportistas como pasajeros.

Como usuarios recurrentes reiteramos ciertas irregularidades muy comunes respecto a puntos estratégicos para abarcar pasajeros, los cuales no son autorizados por alguna entidad de tránsito pero que han sido “aceptados” de alguna manera por la ciudadanía y sobre todo por las autoridades municipales y policiales evitando así la transacción de boletos como procedimiento aplicado a cualquier usuario sin excepción.

Una ruta que se cubre desde una ciudad A hacia una ciudad B puede incluir tramos que están sujetos a un límite de velocidad y que por motivos geográficos no es posible la intervención permanente de un patrullero o de la instalación de radares que midan la velocidad constantemente, entonces el riesgo de accidentes incrementa proporcionalmente respecto a la probabilidad de que el conductor exceda la velocidad. No obstante, el límite de velocidad es variable dependiendo del tipo de carretera, vía perimetral, autopista, recta o curva, así como también de la existencia de rangos moderados de velocidad en vehículos de transporte de pasajeros pero que a pesar de esto no se exoneran de ser considerados como una contravención de tránsito en caso de ser incumplidas.

Gran parte de los accidentes de tránsito relacionados con el transporte interprovincial tienen como resultados víctimas mortales. La ANT en el Ecuador es la Agencia Nacional de Tránsito encargada de la planificación y control terrestre, tránsito y seguridad, a través de la formulación y aplicación de leyes que garantizan la satisfacción de los usuarios. En un reporte del año 2017 se demostró que “Conducir un vehículo superando los límites máximos de velocidad” fue la segunda causa de los accidentes de tránsito generados a lo largo de ese año [1].

Existen mecanismos de prevención de accidentes tales como campañas de concientización, leyes más drásticas, entre otros, que promueven buenas prácticas al momento de conducir un vehículo, pero que aún no son suficientes para contrarrestar este problema.

Con estos antecedentes se desarrolla un sistema en línea que incorpora varias tecnologías que pueden ayudar a mitigar los accidentes de tránsito de autobuses interprovinciales en las principales vías del país. Con la ayuda de un Ente Regulador que gestione el monitoreo de los datos de sensores que se encuentran instalados en el vehículo se proporcionará información para que se aplique métodos gráficos para analizar la velocidad promedio, velocidad

máxima y velocidad mínima, las evasiones a la regulación de paradas, las paradas realizadas y la posición geográfica donde está ocurriendo el incidente.

Los resultados podrían aportar grandes cambios a la cultura de conducción y a una regulación y correcta aplicación de las leyes de tránsito que no se pueden controlar en todas las carreteras del país; pero, sobre todo, a disminuir la tasa de accidentes en el transporte de pasajeros.

Las herramientas que se incorporan a este proyecto son placas de hardware libre Arduino donde se integran módulos GPS, sensor de apertura de puerta y un módulo SIM900 de transmisión de datos a través de GPRS hacia la plataforma web consumiendo un servicio web tipo Rest para la almacenar los registros en la base de datos.

La plataforma web estará alojada en un servidor que pertenece al Grupo de Investigación GIHP4C de la Universidad Politécnica Salesiana.

## **2. PROBLEMA**

Cada día son múltiples los encabezados y noticias que reflejan la problemática que está viviendo el país con respecto a accidentes de tránsito, destacando sucesos ocurridos en vías interprovinciales, como los vividos en varias provincias del país en el 2017 específicamente en las vías de Pichincha, Santo Domingo, Santa Elena y Loja. La información referente a muchos de estos accidentes se puede encontrar en el diario El Universo, en su versión digital detallada; y que, a decir de testigos, la falta de un control en la velocidad es un factor que aporta a estos lamentables acontecimientos [2].

En el Ecuador, uno de los causales que a diario aumentan el índice de accidentes de tránsito en las vías, efectivamente, es el exceso de velocidad; tomando en cuenta que donde fallecen más personas son en accidentes causados por buses interprovinciales. Así lo indica la Agencia Nacional de Tránsito que coloca a “conducir vehículo superando los límites máximos de velocidad” como la segunda causal con mayor número de accidentes de tránsito, registrando en su último reporte del año 2017 la cantidad de 4.147 incidentes, siendo el 14.32% de los 28.967 ocurridos en este año [1].

### **2.1. ANTECEDENTES**

Cada día se busca contribuir a la Sociedad con proyectos innovadores que aporten al cambio social o científico para el bien de Empresas o de las personas en general. La Universidad Politécnica Salesiana ofrece espacios dedicados a la investigación con el enfoque antes mencionado. GIHP4C a través de la Carrera de Ingeniería de Sistemas, mención Telemática, plantea soluciones a problemáticas actuales aplicando diferentes tecnologías para proyectos de IoT. Y es así como este proyecto se origina a raíz de que se vio la necesidad de monitorear varios factores en las unidades de tránsito

interprovinciales debido a que se ha presentado un aumento en el número de accidentes de tránsito en las vías del país.

A pesar de que existen campañas de concientización, normas de seguridad y leyes acerca de este tema, los conductores de los buses interprovinciales no toman aun la responsabilidad del caso, y es aquí donde también nace la idea de mitigar el problema con un sistema que monitoree a cada uno de estos vehículos de transporte público, conjuntamente con un Ente regulador.

## **2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCE**

En el Ecuador y varios países del mundo el Sistema de Transporte Público es consumido a diario por miles de personas que buscan desarrollar sus actividades cotidianas. Por ejemplo, en Guayaquil, la urbe más grande del país, el Terminal Terrestre recibe a más de 65 mil viajeros en un día normal. Estos datos reflejan una proyección de lo que ocurre en otros terminales del Ecuador y la necesidad constante que se tiene de hacer uso de ellos [3].

Estas cifras indican que se debe prestar la atención adecuada a este tema no solo por la cantidad de personas involucradas sino por toda la historia que tiene cada una y que de esta manera no sigan ocurriendo los miles de accidentes que se registran al año en las carreteras ecuatorianas.

El conglomerado humano será el principal sector beneficiado y por eso la importancia de este proyecto que podría mitigar este problema mediante un monitoreo adecuado. Y así garantizar de alguna forma la tranquilidad de los usuarios.

## **2.3. DELIMITACIÓN**

Este proyecto implementará: un *prototipo móvil inteligente* en un vehículo capaz de generar datos a través de los sensores de velocidad, GPS y puerta para ser procesados posteriormente; un *Servicio Web Rest* que permitirá la inserción de la información en una base de datos relacional; una *plataforma web* que permitirá monitorear el prototipo y administrar usuarios, vehículos, cooperativas, choferes, salidas y rutas.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. GENERAL**

Diseñar y elaborar un prototipo para un sistema inteligente de monitoreo para prevención de accidentes de tránsito por exceso de velocidad aplicado al transporte interprovincial.

### **3.2. ESPECÍFICOS**

- ✓ Realizar una aplicación prototipo para la solución del problema planteado.
- ✓ Realizar un dispositivo prototipo para la solución del problema planteado.
- ✓ Desplegar una base datos en la nube que contenga registros con la información de los autobuses, choferes, cooperativas, usuarios, salidas y rutas.
- ✓ Construir un escenario real adaptado a un ambiente de pruebas que permita evaluar el funcionamiento de la aplicación y del dispositivo prototipo (hardware)

## 4. TRABAJOS RELACIONADOS

En nuestra revisión literaria hemos encontrado trabajos relacionados con nuestra propuesta de tesis:

Los autores de [4], detallan la iniciativa de mejorar el control de las condiciones de conducción y comportamiento del conductor a través de un sistema que compara la velocidad a la que se dirige un vehículo con un límite permitido en cierta zona de la carretera para identificar las infracciones cometidas. Con este sistema se pretende mejorar la disponibilidad de información sobre la flota de vehículos que se controla a fin de dar un seguimiento óptimo mediante localización de los mismos en tiempo real.

Por lo que en sus inicios el sistema tenía una orientación administrativa, al enfocarse en optimizar la conexión con los vehículos reduciendo los tiempos de brecha en las redes de comunicación mediante el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), dejando de lado los alcances sociales como buscar mejoras en la salud del conductor y prevenir que sea una causa de un posible accidente.

Del mismo modo se omitía los factores ecológicos y económicos al desfavorecer aspectos como el ahorro de combustible y reducción de los costos de mantenimiento.

Los autores de [2], presentan un prototipo de sistema de monitoreo vehicular de prevención de accidentes, la que está segmentada por capas en las que cada capa tiene una función específica. Con varios sensores haciendo este trabajo, además de los sensores para el vehículo y el entorno, la agregación de datos y la comunicación se convierten en otro desafío. Para hacer frente a la sensibilidad al tiempo de la comunicación de datos, se debe involucrar el paradigma de la computación de niebla.

La primera capa es la capa de percepción donde se realiza toda la adquisición de datos. Los sensores que participan en esta capa son de tres tipos: ambientales, vehículos y conductores. El medio ambiente abarca todo lo que está

fuera del vehículo y puede influir en la conducción y la seguridad vial. Consiste en: tipos de carreteras (carretera principal, carretera secundaria, autopista), obstáculos en la carretera, estado de la carretera, condiciones del tráfico, rutas y desvíos, condiciones climáticas (lluvia, nieve, lluvia helada, granizo, tornado, velocidad del viento, viento dirección, trueno, temperatura externa, humedad), condiciones de luz y visibilidad, límite de velocidad, emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Los sensores del vehículo incluyen: acelerómetro para la velocidad del vehículo, giroscopio para el ángulo del volante, movimiento, vibración y detección de dirección repentina, temperatura moderada del motor, compartimento del conductor o temperatura interna, humedad, nivel de oxígeno, detección de humo, freno repentino, aceleración repentina, combustible condición de luz y su contraste desde el exterior.

Así mismo en [3], presentan una aplicación basada en un teléfono inteligente que monitorea el comportamiento del conductor. Los autores afirman que hacer uso de los sensores incorporados en un teléfono inteligente es más asequible para monitorear los rasgos del conductor. En función de los datos recopilados a través de los sensores del teléfono inteligente, se realizan puntajes y perfiles. Para eventos de exceso de velocidad, se usa una aplicación basada en la web. La falla principal es que el monitoreo y la toma de decisiones no se realizan en tiempo real. La aplicación presentada se basa en la recopilación de datos y su postmortem posterior, que es un enfoque reactivo.

Por otra parte, en [4], también analiza la supervisión del controlador basada en el teléfono inteligente. Se proporciona una encuesta sobre varias aplicaciones basadas en teléfonos inteligentes para la supervisión del comportamiento de los conductores. Se discute la usabilidad de los sensores ya disponibles en la mayoría de los teléfonos inteligentes, como: acelerómetro, giroscopio, GPS, cámara, micrófono y magnetómetro.

Algo semejante ocurre en [5], afirman que, dado que el conductor es un individuo incierto, propenso a exhibir características de conducción inesperadas en

diferentes situaciones, por lo tanto, la supervisión del comportamiento del conductor es una parte esencial del transporte seguro. Los autores proporcionan una descripción general de las características de comportamiento del conductor para el control automotriz.

Mientras tanto hablar sobre los cambios de comportamiento del conductor basados en intervenciones externas se presenta un estudio sobre el sistema de transporte australiano centrado en los cruces ferroviarios. Los autores simulan un escenario en el que factores externos como el audio en el vehículo y la señalización en el camino se incorporan para influenciar al conductor a ser más cauteloso. El estudio concluye la mejora en la mitigación del error de juicio del conductor.

Dentro de este orden de ideas en [6], se presenta una encuesta de modelos para reconocer el comportamiento del conductor en su trabajo. El trabajo presentado se basa en los datos de conducción, como la posición del pedal de freno, la aceleración y el ángulo del volante. Posteriormente, las características del controlador se derivan del modelo del controlador y se integran en los sistemas de asistencia al conductor. Finalmente, en [7], los autores de una patente de E.E.U.U sobre la supervisión del comportamiento de los conductores enfatizan en el control del comportamiento del conductor al afirmar que, en los accidentes relacionados con el camión, el error del conductor ha sido diez veces más probable que sea la causa. Además, afirman que el control del comportamiento del conductor ayuda mucho a minimizar los riesgos de accidentes y a ahorrar costos de combustible y mantenimiento en una flota de vehículos. Sin embargo, el único elemento en tiempo real de la patente es el seguimiento del vehículo a través del GPS, que sin duda es insuficiente cuando hablamos de un enfoque holístico para proporcionar un STI en tiempo real con todas las características para la seguridad vial y el comportamiento del conductor.

## **5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **5.1. ¿QUÉ ES EL INTERNET DE LAS COSAS?**

Si bien es cierto este concepto de IoT ha ido evolucionando en conjunto con el desarrollo de las tecnologías, pero todos engloban una misma idea.

Tanjim T. Mulani y Subash V. Pingle citan: “El término Internet de las cosas (IoT) denota una tendencia donde una gran cantidad de dispositivos integrados emplean servicios de comunicación ofrecidos por los protocolos de Internet. Muchos de estos dispositivos, a menudo llamados "objetos inteligentes", no son operados directamente por humanos, sino que existen como componentes en edificios, vehículos o se encuentran dispersos en el medio ambiente” [5].

Entonces, el IoT, no es más que integrar diferentes tecnologías para enviar información por una red a diferentes aparatos de uso cotidiano y así hacer de su uso algo más automatizado y que no dependa en su totalidad de la intervención del hombre.

### **5.2. SMART CITIES**

Para establecer una definición clara de Ciudades Inteligentes se debe profundizar todo lo que abarca la palabra inteligente.

La Inteligencia de una ciudad es traducida como el desarrollo urbano a través de la innovación para crear una planificación ordenada de diferentes servicios que se tiene en una urbe. Con la ayuda del IoT se consigue realizar sistemas que aporten con esto.

De acuerdo con el artículo “Ciudades Inteligentes: La mitificación de las nuevas tecnologías como respuesta a los retos de las ciudades contemporáneas” según la AENOR<sup>1</sup>:

*«Una Ciudad Inteligente es aquella que aplica las TIC's para la mejora de la calidad de vida y la accesibilidad de sus habitantes y asegura un desarrollo sostenible económico, social y ambiental en mejora permanente. Una ciudad inteligente permite a los ciudadanos interactuar con ella de forma multidisciplinar y se adapta en tiempo real a sus necesidades» [6].*

### 5.3. PROTOCOLOS USADOS PARA TRANSMISIÓN DE DATOS EN IoT

Entre los protocolos comúnmente utilizados en Internet de las Cosas están:

- **CoAP**: Constrained Application Protocol
- **MQTT**: Message Queue Telemetry Transport
- **XMPP**: Extensible Messaging and Presence Protocol
- **RestFul Service**: Representational State Transfer
- **AMQP**: Advanced Message Queuing Protocol
- **Websockets**

#### 5.3.1. CoAP

Diseñado por la Internet Engineering Task Force (IETF) es un protocolo solicitud/respuesta síncrono. Se ejecuta sobre UDP<sup>2</sup> y usa comandos HTTP como GET, POST, PUT y DELETE para proporcionar recursos en una arquitectura

---

<sup>1</sup> AENOR: Asociación Española de Normalización y Certificación

<sup>2</sup> UDP: User Datagram Protocol

Cliente/Servidor. Se usa UDP para reducir la sobrecarga que genera TCP y porque los requisitos de ancho de banda son mínimos [7].

Tiene cuatro tipos de mensajes: Confirmado, No confirmado, Reconocimiento y Reset

### **5.3.2. MQTT**

También llamado Message Queue Telemetry Transport, es un protocolo liberado por IBM para comunicaciones machine-to-machine y tiene una visión hacia el sector móvil. Hace un uso eficiente de recursos y no especifica un formato de datos en particular. Provee seguridad en la transmisión de mensajes incluso si hay una clase de interrupción.

Tiene un broker (server) y este a su vez está conformado por varios topics. Cada cliente puede enviar información a un broker sobre un topic en específico a través del método publicación/suscripción para transmisión de los mensajes [7] [8].

### **5.3.3. XMPP**

Es un protocolo para intercambio de mensajes basado en XML. El Extensible Messaging and Presence Protocol se ejecuta sobre TCP y maneja dos sistemas para la transmisión de mensajes: publicar/suscribir (asincrónico) y búsqueda/respuesta (síncrono).

Posee seguridad TLS/SSL y debido a que no proporciona QoS en comunicaciones M2M no es muy práctico. El método publicar/suscribir es el más adecuado para IoT a diferencia del método solicitud/respuesta que usa CoAP.

Este protocolo está diseñado para trabajar con datos en tiempo real, presenta baja latencia y usa la arquitectura cliente/servidor descentralizada [7].

### **5.3.4. RESTFUL SERVICE**

El Representational State Transfer (REST) más que un protocolo es un estilo de arquitectura que usa métodos HTTP como GET, POST, PUT y DELETE para la transmisión de mensajes. Usa la cabecera de HTTP para definir el formato de datos con el que trabaja, estos pueden ser XML o JSON<sup>3</sup>. Rest es usado en plataformas M2M [7] [9].

### **5.3.5. AMQP**

Al igual que MQTT, este protocolo es muy usado en IoT y Cloud Computing. Es un estándar abierto para mensajería empresarial con orígenes en la industria financiera. Usa TCP como protocolo de transporte y como método para mensajes utiliza publish/suscribe asíncrono. Garantiza en envío de mensajes bajo tres condiciones: máximo una vez, al menos una vez, exactamente una vez. Advanced Message Queuing Protocol usa TLS/SSL [7] [8].

### **5.3.6. WEBSOCKETS**

Fue desarrollado por iniciativa de HTML 5 para comunicaciones sobre TCP. No es considerado como protocolo request/response ni como publish/subscribe. Reduce la sobrecarga de las comunicaciones en internet y proporciona comunicación full-duplex en tiempo real. Trabaja sobre TLS/SSL [7].

## **5.4. BASES DE DATOS RELACIONALES**

Vale recalcar que una base de datos en un concepto básico es un conjunto información que deberá permitir al menos dos operaciones: inserción y consulta de

---

<sup>3</sup> JSON: JavaScript Object Notation

los datos. Una base de datos relacional trabaja bajo un fundamento matemático llamado relación.

Conocido como relación a una estructura de dos dimensiones que resulta de cruzar filas y columnas de una tabla. Cada fila es conocida como tupla y cada columna representa un atributo. El modelo relacional detalla un conjunto preciso de datos que han sido manipulados a través de sentencias SQL de acuerdo a un concepto matemático. Existen tres tipos de relaciones en este modelo: OneToMany (1:M), ManyToMany (M:N) y OneToOne (1:1) [10].

Hoy en día este tipo de DB es muy utilizada para el procesamiento de transacciones con grandes almacenes de datos. Entre las que se destacan están Microsoft SQL Server, Oracle, MySQL, IBM DB2, PostgreSQL. A continuación, se presenta una tabla comparativa entre el uso de las bases de datos relacionales y no relacionales comúnmente utilizadas:

<b>Relational DBMSs</b>	<b>Percent Companies Using</b>	<b>Non-Relational DBMSs</b>	<b>Percent Companies Using</b>
Microsoft SQL Server	60-90%	MongoDB	10-15%
Oracle	40-80%	Hadoop	8%
MySQL	80%	Cassandra	4%
IBM DB2	15-30%	Riak	2%
PostgreSQL	15%	Couchbase	1%

*Fig. 1. Uso de los DBMS en el mercado [11]*

#### **5.4.1. MySQL**

Es un tipo de Base de Datos relacional, multihilo y multiusuario utilizado en aplicaciones web y que trabaja en plataformas como Linux, Windows, PHP, Perl. Es una base de datos muy rápida en la lectura. Entre algunas características tenemos: soporte multiusuario, escalabilidad, portabilidad [12].

## 6. MARCO METODOLÓGICO

### 6.1. ARQUITECTURA

Para el desarrollo de este proyecto se comenzó por definir la arquitectura, protocolos, dispositivos y elementos que van a intervenir en su implementación.

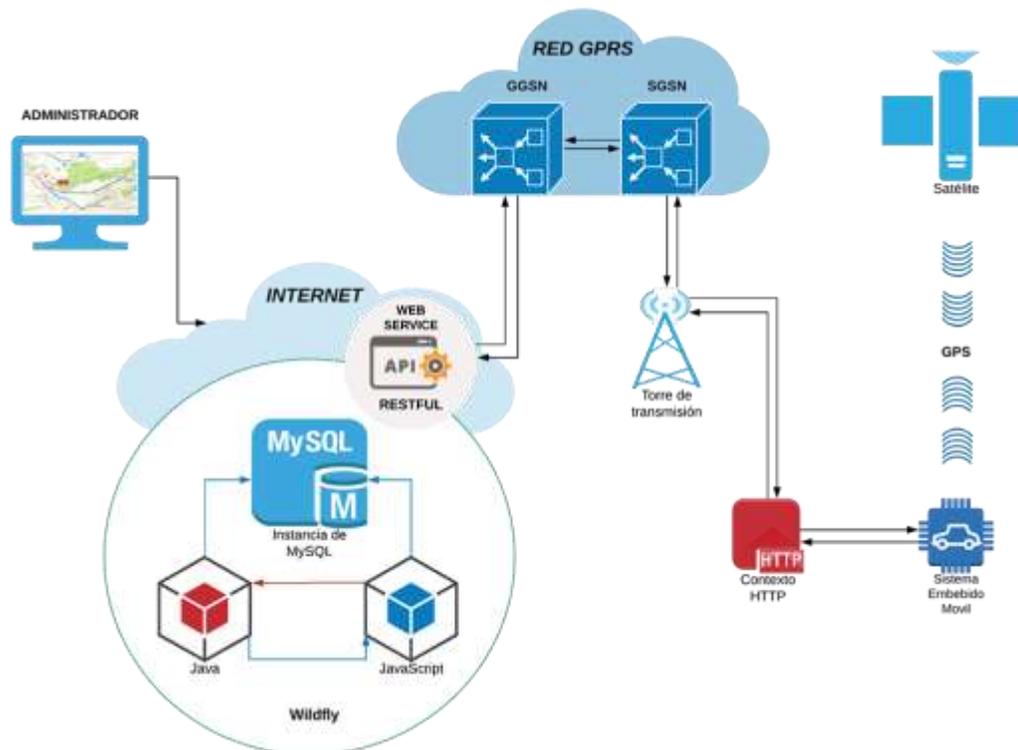


Fig. 2. Arquitectura del proyecto

Como se observa en la imagen, la arquitectura está conformada por los siguientes elementos:

- Prototipo móvil: dispositivo conformado por los diferentes módulos (velocidad, GPS, sensor puerta) que generarán la información necesaria para monitorear la velocidad de los vehículos.

- Servicio Web Rest: encargado de establecer la conexión con la base para la inserción de datos que provienen del prototipo móvil.
- Red GPRS: es el medio utilizado para el envío de datos generados desde el prototipo móvil hacia el servicio web Rest.
- MySQL: Base de datos relacional utilizada para almacenar registros.
- Plataforma Web: es la aplicación desde donde se administra usuarios, choferes, vehículos, cooperativas, salidas, rutas y monitorea los prototipos móviles.
- Admin: persona(s) encargada(s) de administrar la plataforma web.

## 6.2. FASES DEL PROYECTO

A continuación, se definen las fases que compone el proyecto para alcanzar los objetivos establecidos.

1. **Registro previo:** se tiene ya almacenado la información de usuarios, choferes, cooperativas, vehículos, salidas y rutas en nuestra base de datos.
2. **Recolección de datos:** como primera fase funcional del proyecto el prototipo comenzará a generar información de los diferentes módulos o sensores.
3. **Envío de datos:** el prototipo establecerá conexión con la red GSM/GPRS (medio de transporte) para el envío de los datos.
4. **Consumo del Servicio Web Rest:** ya establecida la conexión con la red GSM/GPRS, el prototipo comenzará a consumir el servidor web quien a su vez se encargará de almacenar la información en nuestra base de datos.

5. **Almacenamiento de datos:** realizado a través del servicio web creado.
6. **Administración y consumo de la información:** en esta fase la persona encargada de gestionar la información generada, mediante la aplicación web, podrá utilizarla para reportes y futuras correctivas en pro de la problemática planteada.

## 6.3. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

### 6.3.1. ARDUINO UNO

Arduino es una plataforma de código abierto utilizado para programar microcontroladores y construir productos electrónicos. Puede enviar y recibir información a dispositivos e incluso usa internet para controlar sistemas automatizados.

Utiliza un hardware llamado placa de circuito Arduino Uno y un software simplificado para programar dicha placa. Es muy utilizado para enviar información desde un programa informático al microcontrolador de Arduino y desde este hacia una máquina para ejecutar un comando en específico.

Esta plataforma puede ayudar a leer datos de entrada que llegan desde sensores, antenas, potenciómetros y enviar esta información hacia dispositivos de salida como LED's, pantallas LCD, Speakers, entre otros [13].

- **Placa de Arduino**

Debido a que Arduino cuenta con una placa hardware se utiliza un cable USB para cargar el código a ejecutar. La facilidad de programar se debe a que usa una versión simple de C++. La placa Arduino se divide en dos partes: Hardware y Software.

La parte de Hardware está compuesta por:

- Conector USB: trabaja a una energía de 5 voltios, sirve de alimentación de la placa y es usado para cargar un programa al microcontrolador de Arduino.
- Fuente de alimentación externa: también utilizada como alimentador de energía a la placa en caso de que el conector USB no proporcione la energía suficiente a la misma. Trabaja con voltajes de 9 a 12 voltios.
- Botón de Reset: restablece Arduino cuando el botón es presionado.
- Microcontrolador: dispositivo que recibe y envía información o comandos a un circuito respectivo.
- Pines Analógicos (0-5): son pines de entrada analógica que van desde A0 a A5.
- Pines de E/S digitales: van desde el 2 al 13.
- Circuito programador: es otra fuente para cargar programas en Arduino, también puede hacerse usando la salida TX y entrada RX.
- Pin de tierra Analógico y Digital
- Pines de energía: se cuenta con pines de 3.3 y 5 voltios.

La parte de Software o Arduino IDE (Integrated Development Environment) está compuesta por:

- Área de comandos: contiene elementos del menú como File, Edit, Sketch, Tools, Help e iconos como el Icono para Verificación, Cargar programa, Guardar y del Monitor serial para enviar y recibir datos entre el Arduino y el IDE.
- Área de texto: en esta área se escribe el código a ejecutar, bajo un lenguaje C++ simplificado.

- Ventana de mensajes: muestra los mensajes del IDE sobre verificación del código en el área negra.

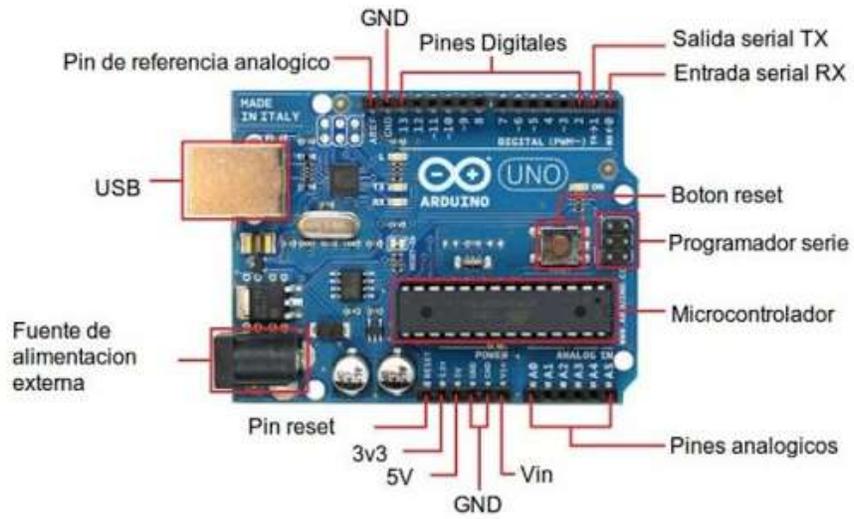


Fig. 3. Placa Arduino etiquetada [14]

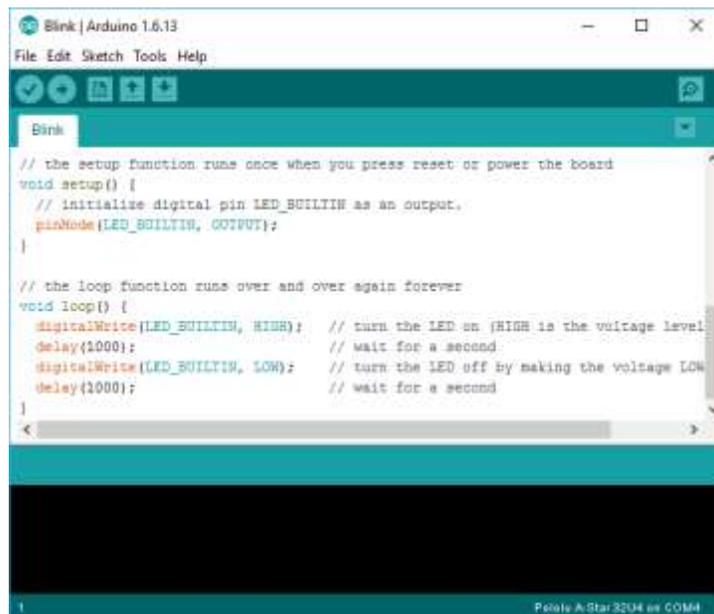


Fig. 4. Arduino IDE

### 6.3.2. MÓDULO SIM900 GPRS/GSM

Es una solución Quad-band en un módulo tipo SMT<sup>4</sup> que permite integrarse en aplicaciones cliente. Diseñado con un procesador potente y comúnmente utilizado en el protocolo de comunicación GSM. Tiene soporte para tarjeta SIM, un puerto serie RS232 para la conexión, una antena para enviar y recibir señales a la tarjeta SIM y un LED que muestra el estado de alimentación, señal y llamada entrante.

Con una interfaz estándar en el mercado, SIM 900 ofrece rendimiento GSM/GPRS 850/900/1800/1900 MHz para voz, datos y fax en un formato pequeño. Consume poca energía [15].



Fig. 5. Módulo SIM900 GPRS/GSM [16]

### 6.3.3. MÓDULO GPS UBLOX 6M

Los módulos de la serie NEO-6 pertenecen a la familia de receptores GPS de alto rendimiento u-blox 6. Son flexibles y rentables en costo ofreciendo varias

---

<sup>4</sup> SMT: Surface Mount Technology

opciones de conectividad en dispositivo pequeño (16 x 12.2 x 2.4 mm). Su arquitectura compacta, opciones de energía y memoria hacen de los módulos NEO-6 ideales para dispositivos móviles que funcionan con batería, costos y espacios limitados.

U-blox 6 cuenta con un Time-To-First-Fix (TTF) menor a un segundo, es decir el tiempo requerido para que un receptor de GPS adquiriera señales de un satélite, datos de navegación y calcule una solución de posición es muy baja [17].



*Fig. 6. Módulo NEO-6M GPS [18]*

- **Arquitectura del módulo U-blox 6**

Los módulos U-blox 6 constan de dos partes funcionales: la sección de RF y Baseband. El "RF Front-End"<sup>5</sup> incluye elementos de entrada, el filtro bandpass SAW, el RF-IC<sup>6</sup> u-blox y la fuente de frecuencia. La sección "Baseband" contiene

---

<sup>5</sup> RF Front-End: Circuito entre la antena y la etapa de mezclar las señales, es decir el receptor procesa la señal de RF original para convertirla en una frecuencia más baja.

<sup>6</sup> RF-IC: Radio Frequency Integrated Circuit

el procesador Baseband u-blox 6, el cristal RTC<sup>7</sup> y elementos adicionales como la memoria FLASH opcional para flexibilidad y programación mejorada [19].

A continuación se ilustra en la siguiente imagen la arquitectura destallada:

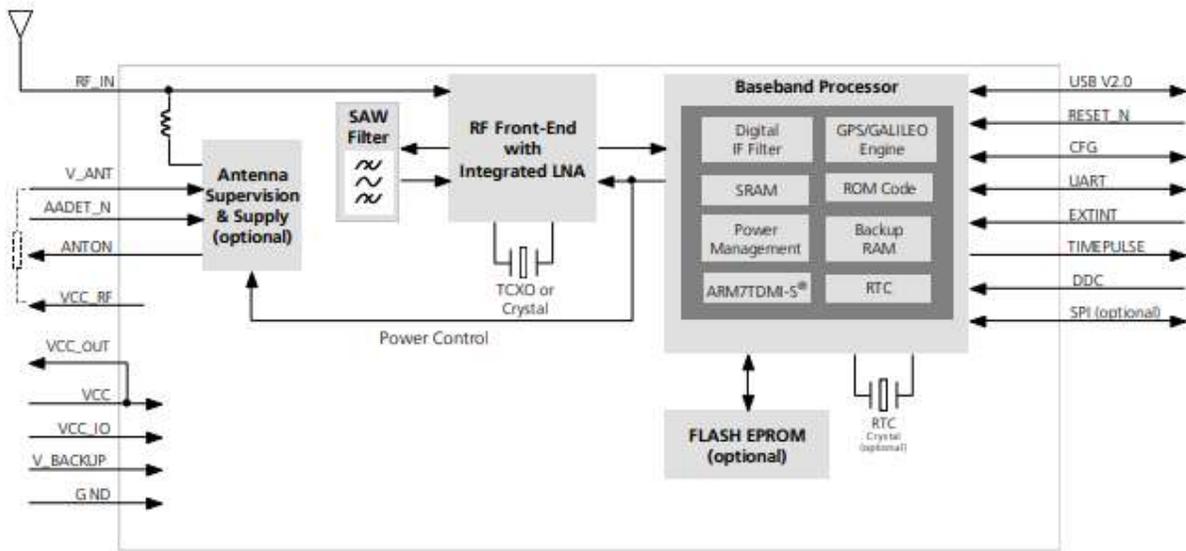


Fig. 7. Arquitectura del módulo u-blox 6 [19]

## 6.4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

La globalización de plataformas libres ha revolucionado la forma de interactuar con nuestro ecosistema, y la aplicación de estas tecnologías de software y hardware representan soluciones prácticas a problemas que un día parecieron incontrolables. Es así que haremos uso de la placa Arduino Mega 2560, el modulo SIM 900 GSM-GPRS del tipo sobrepuesto, el modulo GPS U-BLOX NEO 6M y un interruptor que simulara el botón de cierre y apertura de la puerta del autobús.

<sup>7</sup> RTC: Real Time Clock

### 6.4.1. ESQUEMA DE CONEXIÓN ELECTRÓNICA

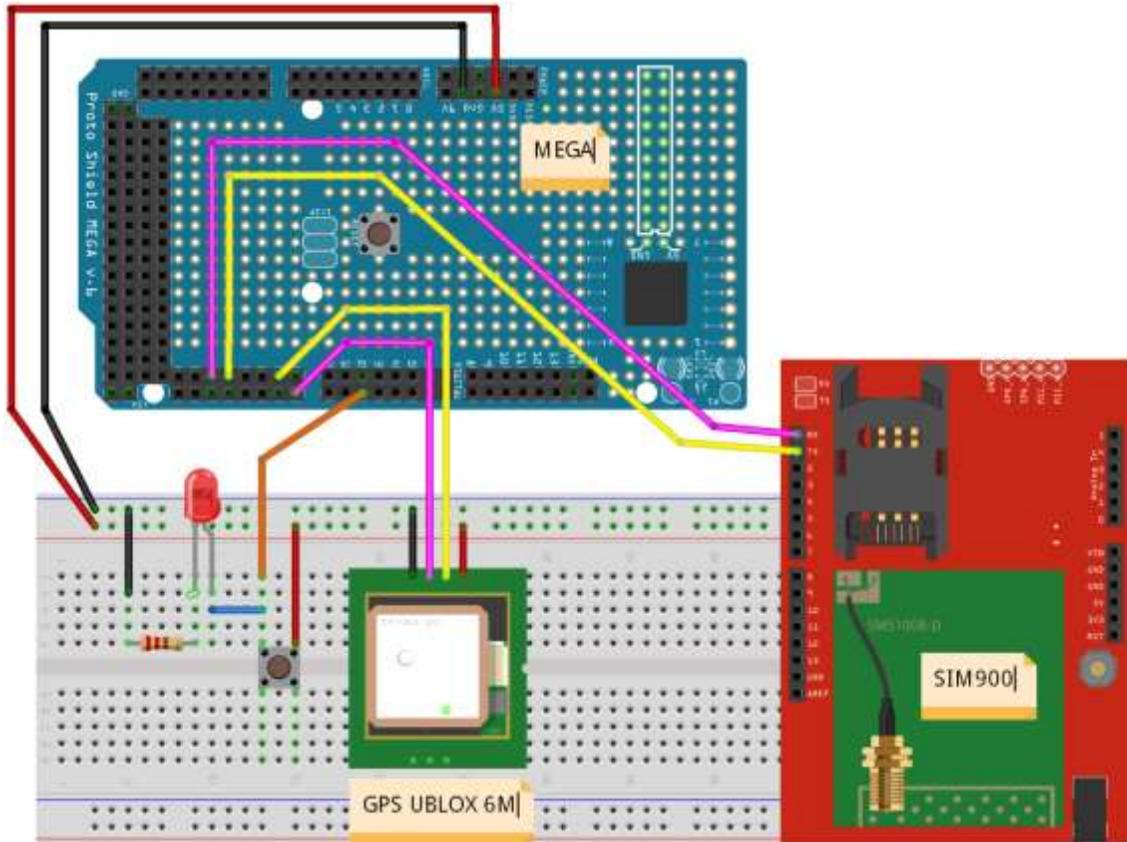


Fig. 8. Esquema electrónico de Arduino, Sim900 y GPS

La placa Arduino Mega permite hasta 3 comunicaciones seriales directas por lo que es muy versátil para este proyecto, evitando el uso de librerías como Software Serial que generan conflictos. El serial1 se comunicará mediante los pines RX1 – TX1 hacia RX1 – TX1 del módulo SIM900 respectivamente. El serial2 será destinado a imprevistos y el Serial3 se conecta de manera invertida, es decir, de RX3 – TX3 a TX – RX del módulo GPS respectivamente.

El módulo SIM900 trabaja en las bandas de 850 a 1900 MHz de GSM, soportado bajo el proveedor de servicios móviles, Claro Ecuador, pero dado que se trata de un envío de datos y no de voz, la tecnología GPRS permitirá establecer las comunicaciones a bajo costo económico.

Este Shell GSM utiliza una comunicación serial UART o Transmisor – Receptor Asíncrono Universal mediante un conjunto de comandos AT los cuales permiten establecer acuerdos de configuración para establecer un conjunto de conexiones vía radio. Cada instrucción AT será enviada desde el Arduino, respetando un orden de ejecución.

En coexistencia está el modulo GPS, que entrega, a más de la longitud y latitud, una serie de datos como: número de satélites conectados, tiempo UTC, orientación, velocidad de desplazamiento, entre otros. La exactitud de ubicación es proporcional al número de conexiones satelitales que se efectúen por lo que al iniciar el sistema es necesario otorgar entre 5 a 15 minutos. Como indicativo está el LED de estatus que será la referencia validad para desencadenar el resto del sistema.

Por otra parte, Raspberry Pi modelo 3B se encarga de monitorear y alimentar al Arduino. Incorpora una video cámara de 5 Mpx que ofrecen una calidad aceptable si se trata de grabar video de larga duración y es el centro de control si necesitamos recompilar el código fuente.

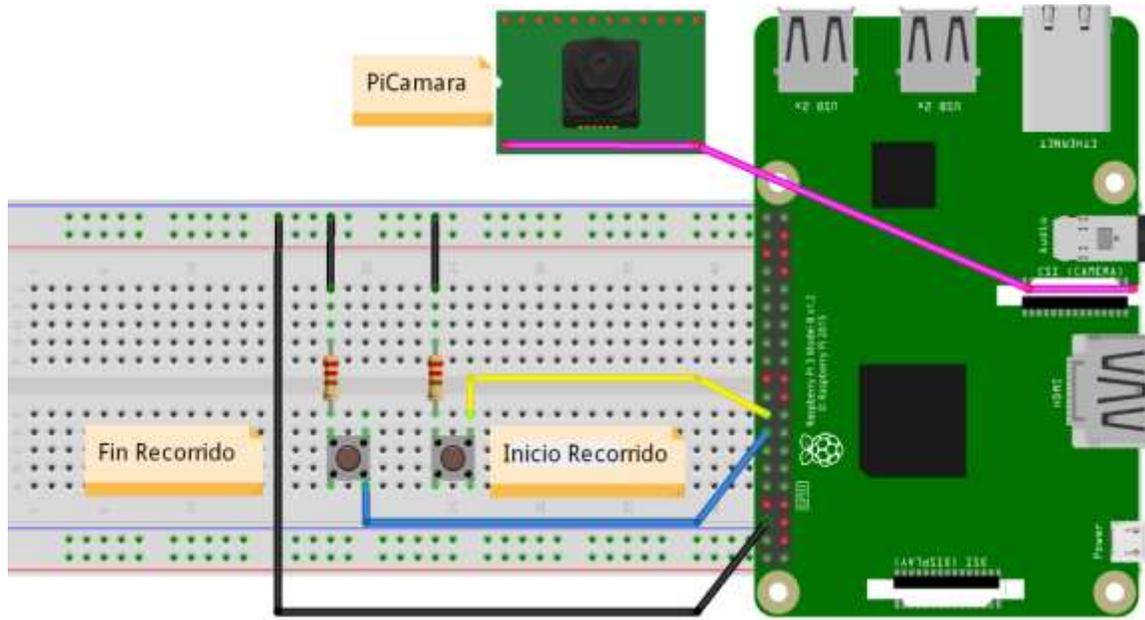


Fig. 9. Esquema electrónico de Raspberry y Cámara

Finalmente, la comunicación serial entre Arduino y Raspberry se realiza mediante USB. El almacenamiento externo se efectúa en un Disco Duro Externo SATA el cual es alimentado por una batería que reserva energía denominado *Power Bank*, el mismo que alimenta a Raspberry.

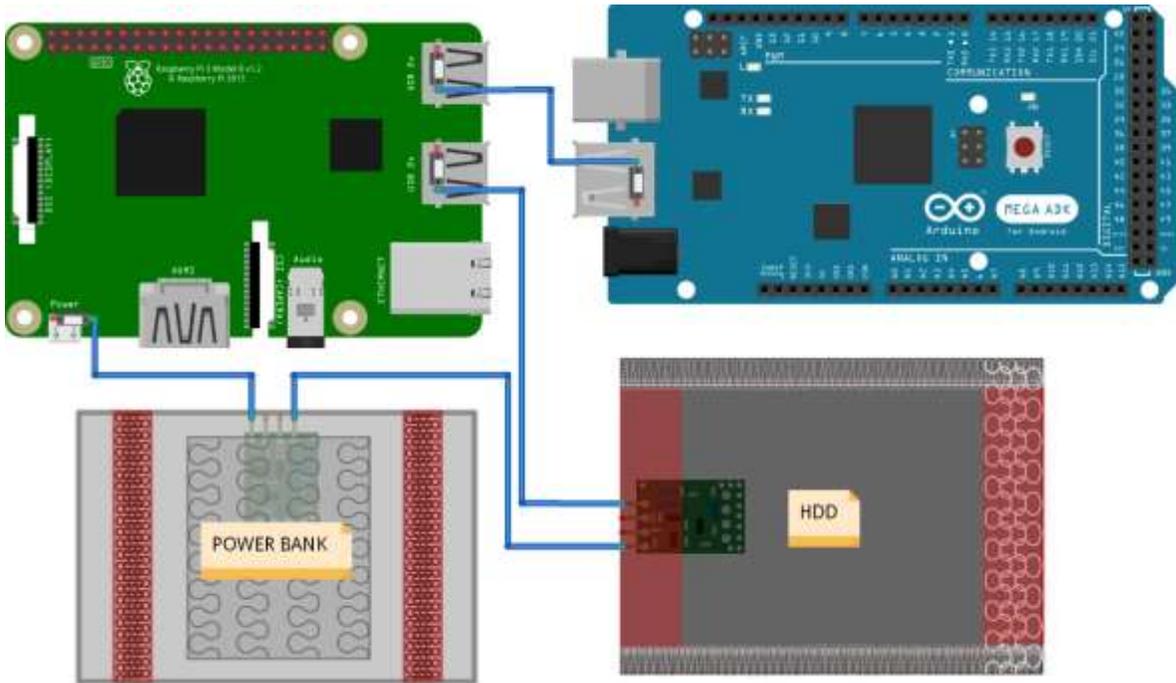


Fig. 10. Esquema de Almacenamiento de Datos y Suministro Energético

#### 6.4.2. CONEXIÓN GPRS A TRAVÉS DE LA RED CELULAR

En este punto se realiza la conexión entre Arduino Mega y SIM900 mediante los pines RX TX y haciendo uso de comandos AT. Para esto se utiliza una función que permite enviar un comando de configuración y estar a la escucha de una respuesta, la misma que es validada hasta que sea correcta, de lo contrario se intenta nuevamente.

En orden de ejecución el algoritmo secuencial de comandos AT para configurar SIM900 se determina por:

Tabla 1. Configuración de Acceso a la Red Celular

DEFINICIÓN	COMANDO
Consultar si ya se ha registrado en la red del proveedor Claro	<i>AT+CREG?</i> Se espera una respuesta transitiva de 0 a 1 Donde: 0 = no registrado en la red 1 = registrado en la red
De ser así, iniciamos la configuración GPRS	<i>AT+CGAT=1</i> Donde: 1 = Establecer contexto PDP <sup>8</sup> dentro de GPRS
Dicha conexión necesita parámetros de conexión como el APN y sus credenciales.	<i>AT+CSTT=\\internet.claro.com.ec\\,\\,\\,\\</i> Donde no se necesita usuario no contraseña.
Activados datos inalámbricos GPRS	<i>AT+CIICR</i>
Solicitamos una dirección IP	<i>AT+CIFSR</i>

Con este procedimiento ya se obtiene una conexión de red con salida a la GGSN que enruta los datos hacia otras redes de comunicaciones como internet. Esta será la fase de inicio del módulo SIM900, lo cual dará paso a la apertura del contexto TCP/IP para el consumo de servicios web y almacenamiento de datos en el servidor.

### 6.4.3. CONEXIÓN HTTP A TRAVÉS DE LA GPRS

Una vez instanciado la conexión GPRS, se crea un método que envía los datos censados al servidor mediante el consumo de un servicio web tipo REST con el método GET. Para esto seguiremos el siguiente algoritmo con los comandos AT respectivos.

<sup>8</sup> Contexto de Protocolo de Paquetes de Datos, hace referencia al contenedor de todos los parámetros que serán necesarios establecer la salida a internet.

Tabla 2. Configuración de Conexión a Internet

DEFINICIÓN	COMANDO
Consultar si ya se ha registrado en la red del proveedor Claro	<code>AT+CREG?</code> Se espera una respuesta transitiva de 0 a 1 Donde: 0 = no registrado en la red 1 = registrado en la red
De ser así, abrir una conexión TCP al servidor mediante su IP o su dominio y su puerto	<code>AT+CIPSTART=\TCP\,cloudcomputing.ups.edu.ec\,8085\</code>
En esta conexión, iniciar el envío de datos	<code>AT+CIPSEND</code> Se espera como respuesta la habilitación del prompter ">" que indica que se está a la espera de caracteres.
Dado el prompt, enviar la petición GET con el path estructurado del web service y los datos de los sensores	<code>&gt; GET /AppMonitoreo/monitoreo/prototipo/savedata/valores</code>
Una vez enviado, se cierra la conexión HTTP	<code>AT+CIPCLOSE</code>
Finalmente cerramos el contexto PDP	<code>AT+CIPSHUT</code>

En base a este algoritmo se agregan excepciones como el caso de respuesta errónea en el proceso de envío de petición GET, en la cual se procede al ejecutar el método de almacenamiento local en un fichero de extensión .csv mediante Raspberry.

#### 6.4.4. CONFIGURACIÓN DE GEO POSICIONAMIENTO

El módulo GPS UBLOX NEO 6M trabaja con 3 protocolos para la presentación de los datos, estos son NMEA que viene por defecto, UBX propietario de U-blox y RTCM. En este caso se utiliza el protocolo UBX debido a las especificaciones detalladas que el mismo fabricante pone a disposición para

comunicaciones vía serial. Cabe recalcar que este módulo tiene una memoria volátil que restablece su configuración de fábrica después de la descarga del condensador integrado.

Generalmente la configuración se puede realizar con el software U-Center, pero esto distorsiona totalmente la automatización del prototipo; en vista de esta desventaja, se opta por codificar la configuración en Arduino para que se aplica cada vez que inicia el sistema.

El código fuente se acredita al repositorio [github.com/1oginov](https://github.com/1oginov). Sus especificaciones indican, de manera resumida, que el protocolo UBX permite múltiples representaciones de los datos obtenidos por la comunicación con los satélites y que para las variables necesarias en este proyecto el formato de mensajes adecuado es NAV – PVT. NAV hace referencia a los mensajes de Navegación cuyos ítems son Posición, Velocidad y Tiempo principalmente.

Mediante U-center realizamos las siguientes configuraciones a nivel de interfaz gráfica:

- Desactivar los mensajes NMEA
- Habilitar los mensajes UBX – NAV PVT
- Establecer una frecuencia de navegación de 1Hz
- Quemar la configuración en memoria EEPROM

Una vez realizado este procedimiento, los mensajes se devuelven en formato geodésico y se presenta los resultados:

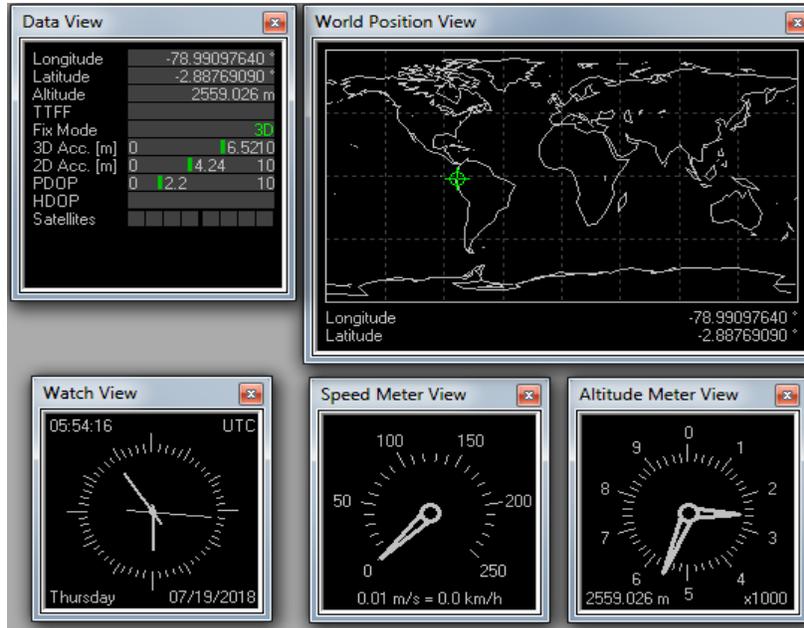


Fig. 11. Mensajes NAV PVT en modo interactivo

La astronomía geodésica tiene por objeto la determinación de las coordenadas geográficas astronómicas, Latitud y Longitud, de puntos de la superficie terrestre utilizando principalmente métodos de cálculo de trigonometría esférica y de álgebra matricial [20].

Para automatizar esta configuración, se envían códigos hexadecimales que representan el proceso realizado en U-center mediante un método que modifica la cabecera de la trama de UBX y asigna las variables al formato en cuestión:

Tabla 3. Desactivación de Mensajes NMEA

HEXADECIMAL	MENSAJE NMEA
0xB5, 0x62, 0x06, 0x01, 0x08, 0x00, 0xF0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x00, 0x24	Desactiva latitud en grados
0xB5, 0x62, 0x06, 0x01, 0x08, 0x00, 0xF0, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x01, 0x2B	Desactiva longitud en grados
0xB5, 0x62, 0x06, 0x01, 0x08, 0x00, 0xF0, 0x02, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x02, 0x32	Desactiva tiempo
0xB5, 0x62, 0x06, 0x01, 0x08, 0x00, 0xF0, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x03, 0x39	Desactiva velocidad en eje X
0xB5, 0x62, 0x06, 0x01, 0x08, 0x00, 0xF0, 0x04, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x04, 0x40	Desactiva velocidad en eje Y
0xB5, 0x62, 0x06, 0x01, 0x08, 0x00, 0xF0, 0x05, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x05, 0x47	Desactiva velocidad en eje Z

Tabla 4. Activación de Mensajes UBX NAV PVT

HEXADECIMAL	MENSAJE UBX
0xB5, 0x62, 0x06, 0x01, 0x08, 0x00, 0x01, 0x07, 0x00, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x18, 0xE1	Activa formato NAV-PVT

Tabla 5. Asignación de Frecuencia de Muestreo

HEXADECIMAL	FRECUENCIA DE MUESTREO
0xB5, 0x62, 0x06, 0x08, 0x06, 0x00, 0xE8, 0x03, 0x01, 0x00, 0x01, 0x00, 0x01, 0x39	NAV trabaja a 1 Hz en este proyecto

#### 6.4.5. CONFIGURACIÓN DEL SENSOR DE VELOCIDAD

Este parámetro es proporcionado por las variables del módulo GPS. Este valor es conocido como Velocidad en tierra y está en función de 3 ejes que son Norte, Este y Altura; además de la aceleración y la velocidad obtenida por la relación entre la distancia sobre el tiempo. Su unidad de medida originalmente esta en metros sobre segundo (m/s) por lo que es necesaria una transformación simple de unidades.

$$V\left(\frac{km}{h}\right) = V_{tierra}\left(\frac{m}{s}\right) * 0.0036$$

#### 6.4.6. CONFIGURACIÓN DEL SENSOR PARA LA PUERTA

La apertura de la puerta esta representa por un interruptor que simula un sistema de circuito mecánico que al presionar genera un valor positivo y consecuentemente se envía al servidor, por el contrario, el valor se mantiene en negativo si la puerta está cerrada.

## 6.4.7. CONFIGURACIÓN DE RASPBERRY

Se prioriza el uso de la distribución de Linux denominada Raspbian que viene precargado en la tarjeta de memoria SD de 32 GB. Al desplegar este boot, se instalan y actualizan todos los paquetes.

En este contexto se utiliza software como Arduino IDE, Python 3 IDE, además de la modificación de energía dedicada a los puertos USB, activación del slot de cámara, módulo de escritorio remoto, administración de discos externos y comunicación serial con Arduino.

- **Módulo de Videocámara**

Habilitamos el módulo de cámara en Raspbian mediante la configuración de Raspberry Pi > Interfaces.



Fig. 12. Configuración de Raspberry Pi

Se debe reiniciar el sistema para luego controlar el hardware desde Python mediante la librería *picamera*. En definitiva, se crea un script que se ejecuta al arrancar el sistema vinculando los pulsantes que inician y detienen la grabación manualmente en base a la duración del recorrido.

El formato de grabación es en crudo, denominado *RAW*, pero con la compresión del códec H.264 que entrega una resolución de 1080p. Con este resultado se puede realizar una vista rápida a 45 cuadros por segundo mediante el reproductor local *omxplayer*. Sin embargo, el sistema está diseñado para hacer una descarga posterior de la información de datos y video del disco duro a una

central de análisis para lo cual será necesario transformar el video a un formato MP4.

Para esto se hace uso del paquete GPAC disponible en los repositorios de Raspbian el cual convierte el video a un formato legible por un amplio repertorio de software. La ruta de almacenamiento esta en */media/VIDEOHD/* y cada multimedia es nombrada con el ID del prototipo más un contador que incrementa por cada fichero grabado con el siguiente formato: *adr00XZ.h264*, donde X es el número del autobús y Z es el número de fichero de video almacenado.

- **Respaldo de datos de sensores**

Uno de los principales problemas de la red móvil es la cobertura en zonas no pobladas y geográficamente irregulares con elevaciones y valles marcados notablemente. Esto representa una situación en la que los datos de sensores no pueden guardarse en la base de datos por lo que deben almacenarse localmente mientras se recupera la conectividad GPRS. Es por esto que por cada dato que no cumpla la petición GET en Arduino, se imprime por el puerto serial hacia Raspberry, el cual corre un script que está a la escucha de un mensaje y lo guarda en un fichero con extensión *.csv*, que permite representar los datos en columnas y que es compatible con múltiples programas de edición de texto.

La ruta de creación del fichero es */media/VIDEOHD/SENSORESDATA/* y el formato de nombre es: *adr00Xdat.csv* donde X es el número de autobús.

- **Administración de Discos Externos y Energía**

Una característica especial de un sistema embebido con sensores activos es el consumo energético. Raspberry debe alimentar, a más de la placa de Arduino Mega, al disco duro externo que permite almacenar el gran flujo de video que se graba durante el trayecto. Si bien los sensores se caracterizan por un

consumo energético bajo, un prototipo con estas prestaciones necesita una fuente de poder de gran capacidad.

Una opción aplicada a este sistema es el uso de baterías que permitan entregar flujos de corriente continua, estos se denominan Power Banks, que proyectaron resultados eficientes para las pruebas realizadas.

Sin embargo, Raspberry controla el amperaje entregado por cada puerto USB, entonces es necesario modificar estos valores preestablecidos de 600 mA a 1200 mA, suficientes para alimentar nuestro disco de 900 mA.

El procedimiento consta en editar el fichero *config.txt* ubicado en */boot* del sistema; para el cual agregaremos la siguiente línea:

```
max_usb_current = 1
```

Por consiguiente, se automatiza el proceso de montar el disco en el sistema operativo, mediante la agregación del UUID de nuestro disco en el fichero *fstab* ubicado en */etc/* y creamos la ruta de direccionamiento al disco en */media/VIDEOHD/*

## 6.5. SERVICIO WEB REST

El servidor Web Rest es utilizado como protocolo de comunicación para la inserción de la información que es enviada desde el prototipo hacia la base de datos (MySQL). Como se mencionó anteriormente Rest es un protocolo muy utilizado en Internet de las Cosas. En la siguiente grafica se muestra el funcionamiento del servidor web demostrado a través de la inserción local de datos de pruebas mediante un software cliente (Postman):

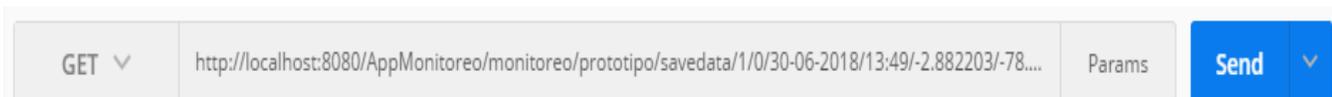


Fig. 13. Inserción de datos con Servicio Web Rest

Datos de sensores registrados									
Codigo	Serie del Prototipo	Estado de la puerta	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Velocidad	Velocidad excedida?	Nivel de Señal
1	1	0	30-06-2018	13:47	-2.886175	-78.992222	49	No	100
2	1	0	30-06-2018	13:48	-2.883753	-78.989858	55	SI	100
3	1	0	30-06-2018	13:49	-2.882203	-78.986257	0	No	100

*Fig. 14. Verificación del funcionamiento del Servicio Web Rest*

## 6.6. DESARROLLO DE LA PLATAFORMA WEB

Debido a que la plataforma Web cumpliría como función principal monitorear varios factores en los buses de transporte Interprovincial, se estableció denominar a la misma como "Monitoring". El desarrollo de esta plataforma fue realizado bajo el lenguaje JAVA apoyado de lenguajes como JSF y JavaScript debido a que son herramientas muy utilizadas en el desarrollo de aplicaciones y que ofrecen facilidad de implementación y soluciones rápidas a necesidades presentadas en la etapa de desarrollo.

### 6.6.1. BASE DE DATOS (DIAGRAMA DE CLASES)

El diseño e implementación de la Base de Datos a utilizar se determinó luego del análisis sobre la cantidad de información con la que se trabajaría y al ser grande se buscó una estructura de datos que permita tener tiempos de respuesta bajos al consultar información para que el rendimiento de la BD no se vea perjudicado. Esto se consigue con un esquema lo más simple y funcional posible. La estructura para la transacción de los datos quedó establecida de la siguiente manera tomando en cuenta lo anterior:

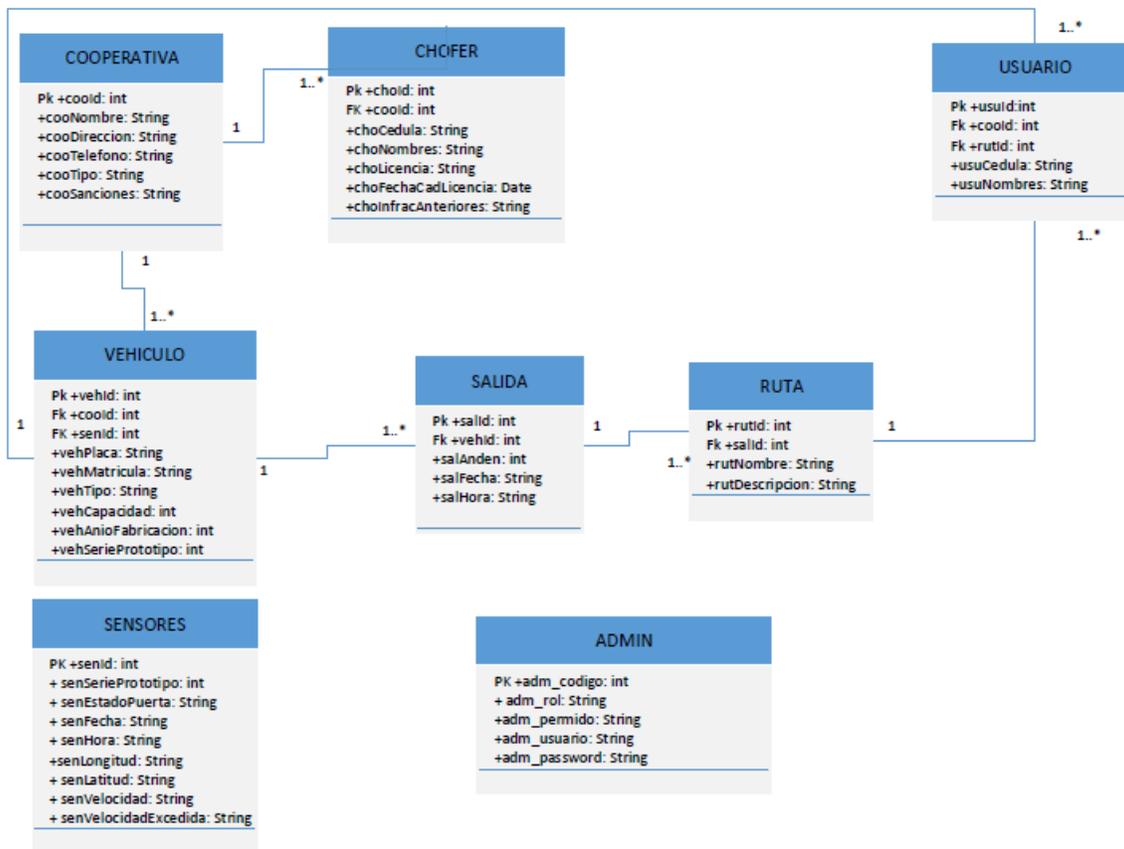


Fig. 15. Diagrama de Clases

## 6.6.2. DIAGRAMAS UML

### Casos de Uso

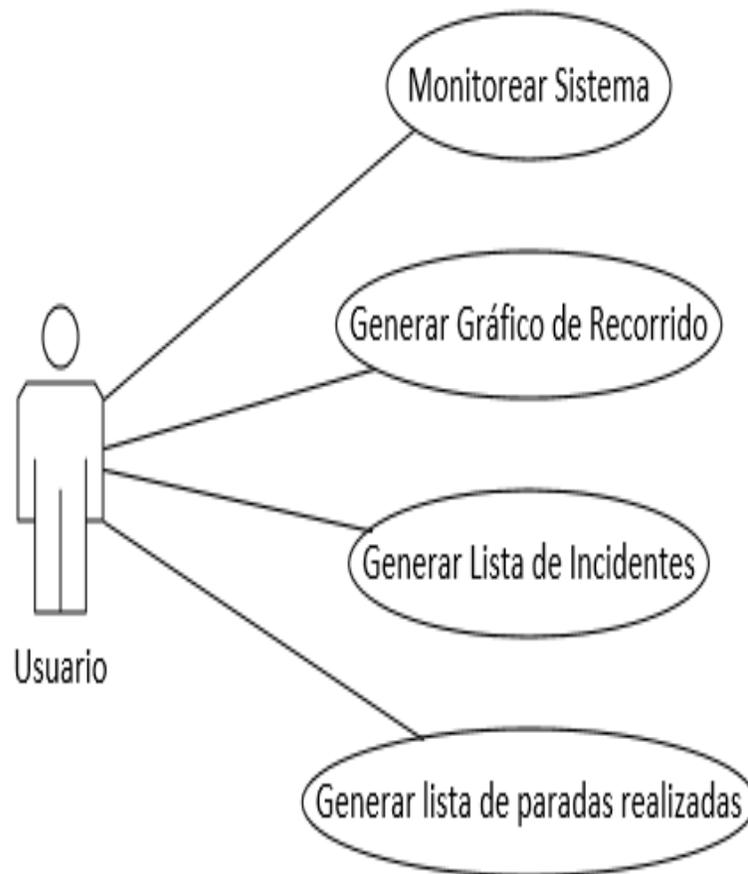


Fig. 16. Diagrama de Casos de Uso del Usuario

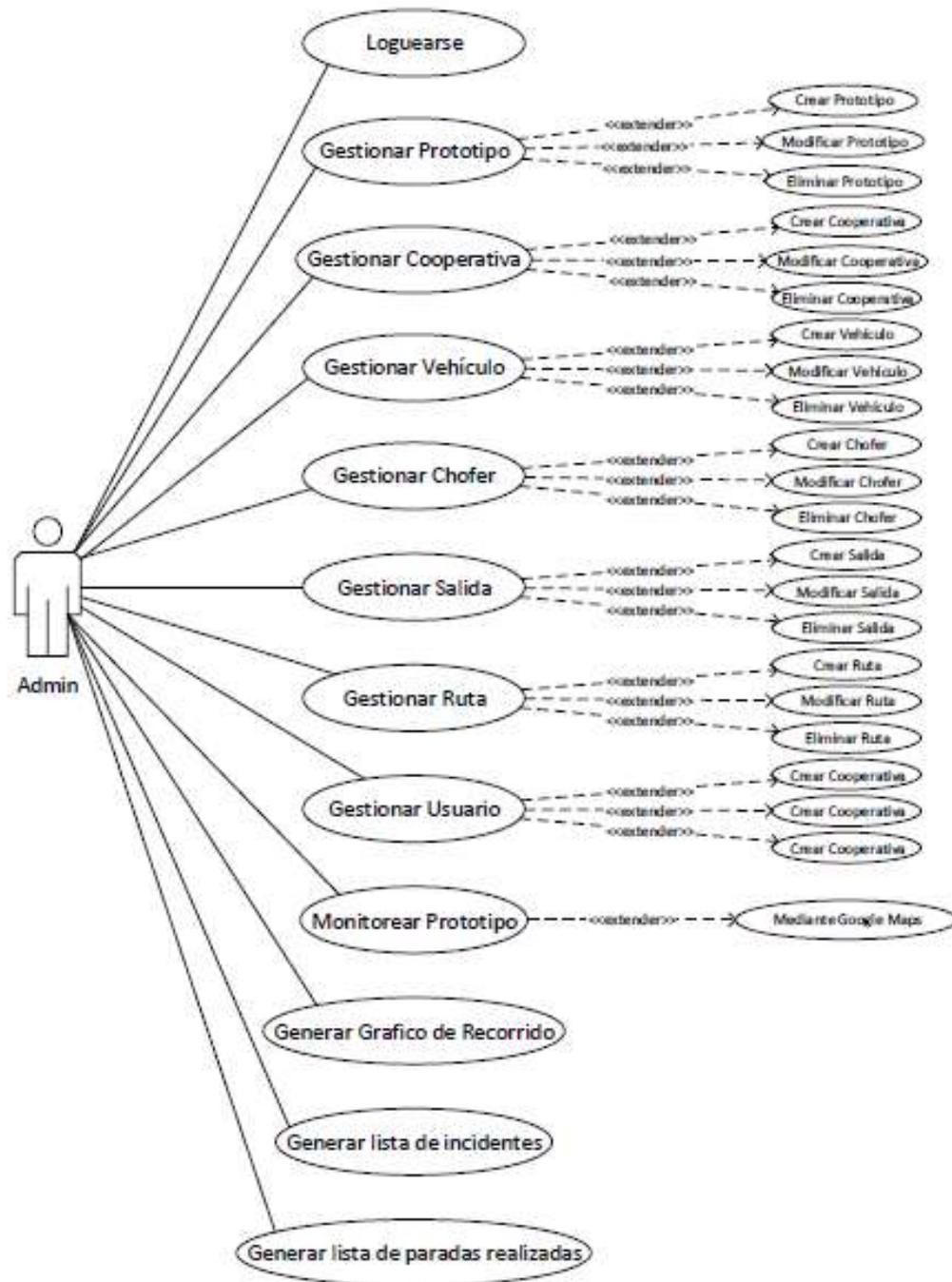


Fig. 17. Diagrama de Casos de Uso del Administrador

### 6.6.3. INTERFACES GRÁFICAS DE LA PLATAFORMA

A continuación, se detallan todas las interfaces gráficas que conforman la plataforma Web desarrollada para el presente sistema.

#### Interfaz para un Usuario común

- **Interfaz Principal**

En resumen, consta de una descripción informativa de "Monitoring", un menú principal, un "About Us" y una opción para el "Login". Esto es visible para cualquier persona que acceda a la plataforma.



Fig. 18. Interfaz principal para un Usuario común

- **Menú Principal**

Presenta opciones a las que puede acceder un usuario común tales como Gráfica de comportamiento del recorrido, Consultas y Monitoreo del Sistema.

### Que puedo hacer?

Listar/Editar/Eliminar un registro

Crear un nuevo registro

Gráfica/Recorrido

Consultas

**MONITOREAR SISTEMA**

Fig. 19. Menú principal de Usuario

- **Gráfica del comportamiento del Recorrido**

En esta se destallan aspectos importantes como la velocidad máxima, media y mínima que se generó en el transcurso del recorrido. Además de indicar la hora de salida y llegada al destino.



Fig. 20. Gráfica del comportamiento del recorrido

- **Menú de consultas**

Aquí el usuario podrá verificar información detallada en tablas sobre los incidentes registrados y detalle de las paradas que el vehículo realizó.

Seleccione lo que desea ver:

Detalle de incidentes Registrados

Detalle de paradas realizadas

Fig. 21. Menú de consultas

- **Gráfica del monitoreo del prototipo móvil**

Quizás esta sea la interfaz más importante para el usuario ya que le permite ver bajo un sistema en línea la ruta que cubre un vehículo en particular, además de poder observar si comete o ha cometido un exceso de velocidad. Además se puede visualizar cuando un vehículo abre la puerta en un sitio no autorizado.



Fig. 22. Gráfica del monitoreo del prototipo móvil

## Interfaz de Administración

- **Interfaz Principal**

Presenta la misma información que la Interfaz principal para un Usuario común, pero se requiere de un inicio de sesión mediante un Usuario y Contraseña establecido para acceder a las funciones de administración del menú principal.



Fig. 23. Interfaz principal del Administrador de la plataforma Web

- **Menú Principal**

Al registrar previamente las credenciales solicitadas, el administrador puede acceder a todas las opciones que contiene el siguiente menú.

### Que puedo hacer?

Listar/Editar/Eliminar un registro

---

Crear un nuevo registro

---

Gráfica/Recorrido

---

Consultas

**MONITOREAR SISTEMA**

*Fig. 24. Menú principal del Administrador*

- **Interfaz de Login**

Para acceder a las funciones administrativas se debe proceder a un registro previo con un rol y privilegio asignado.

*Fig. 25. Interfaz de Login*



- **Menú para la administración de Cooperativas, Choferes, Vehículos, Salidas, Rutas y Usuarios**

Seleccione registro a  
Listar/Editar/Borrar

---

Chofer

---

Usuario

---

Cooperativa

---

Vehículo

---

Salida

---

Ruta

---

Admin

---

Datos de Sensores

*Fig. 28. Menú para la administración de registros*

- **Interfaz para la administración de un nuevo registro, en este caso una Cooperativa: en esta sección se puede editar o eliminar algún registro.**

*Fig. 29. Interfaz para la administración de registros*

- **Gráfica del comportamiento del Recorrido**

Al igual que un usuario, el administrador podrá visualizar las velocidades generadas en el transcurso del recorrido al igual que la hora de salida y llegada al destino.



Fig. 30. Gráfica del comportamiento del recorrido

- **Menú para consultas de reportes**

También verificará información sobre incidentes registrados y paradas realizadas con el fin de tomar dicha información y hacerle llegar a la Entidad competente para futuras correctivas ante esta problemática.

Seleccione lo que desea ver:

.....  
Detalle de incidentes Registrados  
.....

Detalle de paradas realizadas

Fig. 31. Menú para consultas de reportes

- **Gráfica del monitoreo del prototipo móvil**

Para el administrador del sistema esta será la interfaz de mayor importancia debido a que recibe información precisa sobre el comportamiento del vehículo en la carretera. Con esto, podrá ubicar con respecto a la ruta que cubre los datos del conductor que son registrados en la lista de los incidentes. Para que en caso de ser necesario se comunique con la autoridad más cercana si el incidente persiste.



*Fig. 32. Gráfica del monitoreo del prototipo móvil*

## **7. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS**

### **7.1 EXPERIMENTACIÓN**

En esta etapa se creó un escenario real de pruebas con el prototipo móvil previamente desarrollado e implementado como se lo expone en el apartado de Anexos.

Primeramente, se estableció bajo que parámetros y condiciones se iba a realizar la experimentación real luego de haber realizado pruebas a nivel local. Por ejemplo, tener una ruta de prueba pre establecida y al desarrollar e implementar un único prototipo fue necesario contar con la Información de la Cooperativa, Vehículo, Chofer, Salida y Ruta a la que pertenece dicho prototipo. Esto se consigue almacenando la información anterior en la base de datos.

La ruta a cubrir es Cuenca – Vía Azogues y se ha sectorizado áreas con su respectiva velocidad permitida. Estos datos no son reales y han sido utilizados únicamente para pruebas, sin embargo, estos parámetros pueden ser re programados en el sistema teniendo el mismo éxito. La primera área ha sido catalogada como zona urbana e impuesto una velocidad admitida de 55-60 Km/h hasta los 60Km/h; así mismo en la vía rápida hacia la ciudad de Azogues se ha impuesto una velocidad de 85Km/h como máxima permitida. También se controla el estado de la puerta (abierto/cerrado) en superficies en las que una parada es autorizada.

A continuación, se muestra las áreas sectorizadas y el prototipo móvil ubicado estratégicamente en un vehículo para realizar la experimentación:



Fig. 33. Sectorización de zonas a monitorear



Fig. 34. Área de parada autorizada



Fig. 35. Prototipo móvil en vehículo para pruebas

## 7.2. RESULTADOS

La información que es enviada desde el prototipo móvil (Geo posicionamiento, velocidad, sensor de puerta y otros) se va almacenando en la base de datos y mediante la correcta programación de las condiciones a monitorear en el mapa, se va graficando paulatinamente las coordenadas sobre la ruta que cubre el vehículo que está siendo monitoreado; y a su vez se va mostrando de manera visual cuando un vehículo ha cometido un exceso de velocidad o se registra un estado de la puerta en abierto sobre un lugar no autorizado.

En la siguiente figura se cuenta con un muestreo de datos provenientes del prototipo móvil y que serán usados para un posterior procesamiento y análisis.



*Fig. 36. Muestreo de datos del prototipo móvil*

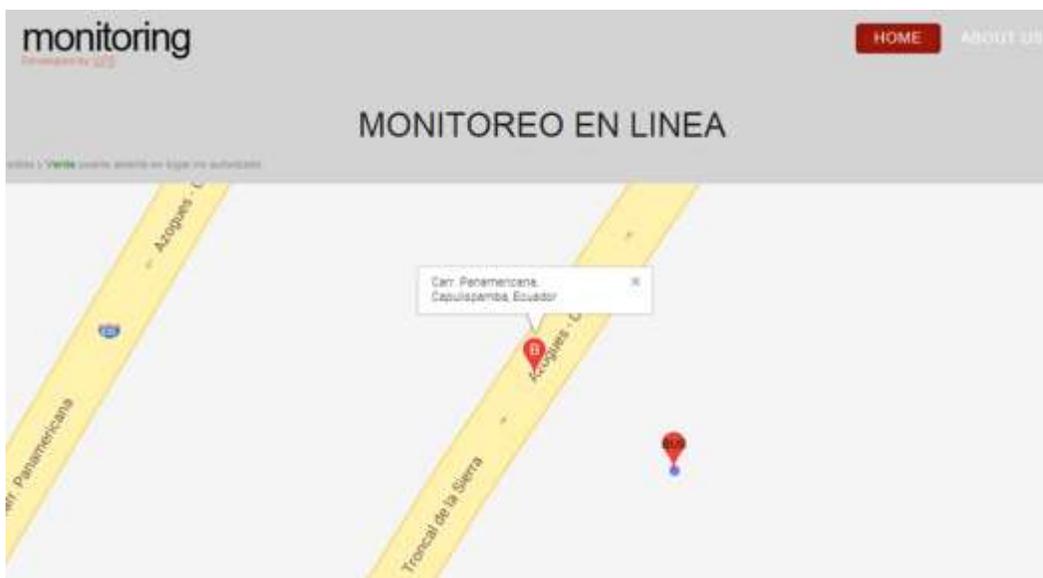
Con un acercamiento a la trayectoria se visualiza mejor los incidentes por exceso de velocidad que se ha cometido. Los puntos azules son indicadores de lo dicho anteriormente.



Fig. 37. Acercamiento a muestra de datos

Al dar clic sobre un marcador donde se registra un exceso de velocidad cometido se puede observar la ubicación que arroja Google Maps a través de una función realizada. En este caso localiza al incidente en “Carretera Panamericana, Capulispamba, Ecuador”.

Fig. 38.



Ubicación del incidente

Algo que se puede destacar es el comportamiento del recorrido a través de una gráfica con respecto al tiempo y la velocidad generada. En la misma se observan los picos máximos de velocidad en determinada hora, junto con datos como la velocidad máxima, mínima y media. Así mismo de la hora precisa de salida y llegada al destino.



Fig. 39. Comportamiento del recorrido en experimentación

Al monitorear el único prototipo a lo largo de la trayectoria se generaron 16 incidentes, los mismos que se van registrando en los datos del Chofer.

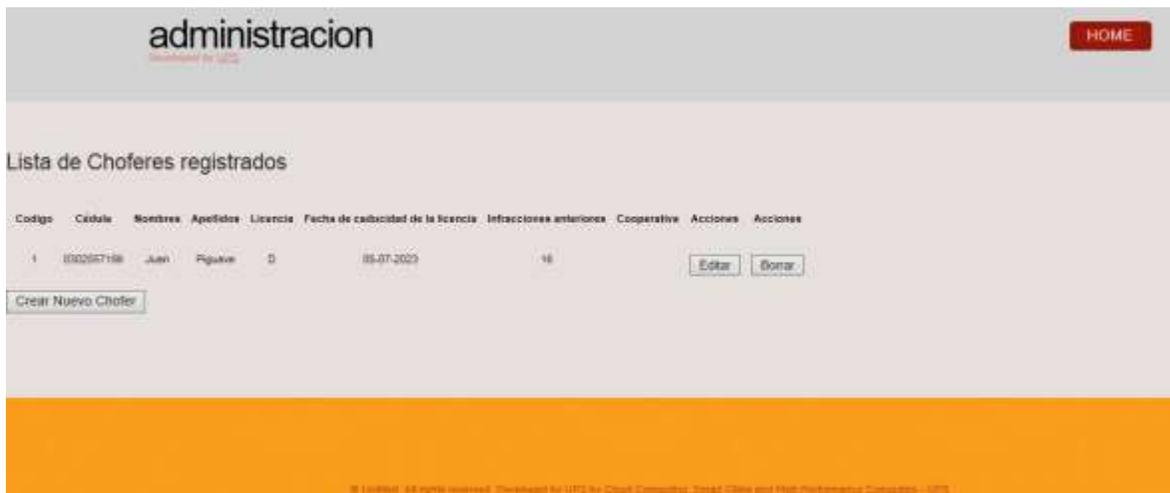


Fig. 40. Detalle del chofer con incidentes registrados

El detalle de todos los incidentes y paradas raizadas se pueden observar desde el apartado de “Consultas” en la interfaz principal. Para nuestro escenario se obtuvieron los siguientes resultados:

- La lista de incidentes cuenta con datos del Bus, Cooperativa, Chofer, Ruta, Fecha, Hora, Ubicación y total de Incidentes registrados. Cada uno con su detalle y ubicación exacta gracias a disponer de la latitud y longitud ya que debido a que Google Maps arroja una ubicación general para un punto específico no se podría identificar el punto exacto a intervenir ante medidas correctivas.

Nro de Bus	Nombre	Apellido	Cedula	Cooperativa	Ruta	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Ingraciones Totales
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:20:23	-2.8829816	-78.9884853	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:28:36	-2.8871313	-78.9505274	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:28:52	-2.8848315	-78.9477066	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:27:24	-2.8793043	-78.9438285	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:27:40	-2.8768987	-78.9412469	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:28:12	-2.8711079	-78.9375688	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:28:28	-2.8680991	-78.9357825	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:30:05	-2.8555424	-78.9210422	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:30:21	-2.8547679	-78.9173076	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:42:11	-2.8548097	-78.9184567	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:43:15	-2.8610488	-78.9276201	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:43:31	-2.8634341	-78.9302958	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:44:51	-2.8754006	-78.9402972	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:45:39	-2.8829744	-78.9468779	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:45:59	-2.8863363	-78.9494280	16
25	Juan	Figuave	0302657186	San Luis	Cue-Azo	11-07-2018	22:48:11	-2.8877720	-78.9668527	16

Fig. 41. Lista de incidentes generados en la experimentación

- El detalle de las paradas realizadas a lo largo de la trayectoria detalla el Bus, Cooperativa, Chofer, Ruta, Fecha, Hora, Ubicación donde se realizó. Esto como apoyo a medidas que se puedan tomar en caso de un accidente o evento grave. Apoyándose de los registros de la video cámara ubicada estratégicamente en el interior del vehículo.

monitoring  
Developed by GDS

HOME

### Lista de Paradas registradas

Nro de Bus	Nombre	Apellido	Cedula	Cooperativa	Ruta	Fecha	Hora	Latitud	Longitud
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:17:26	-2.9878578	-78.9911177
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:40:36	-2.9544192	-78.9165968
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:17:41	-2.9878620	-78.9911129
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:40:52	-2.9544079	-78.9165910
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:17:57	-2.9878643	-78.9911040
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:41:06	-2.9544152	-78.9165956
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:18:13	-2.9878690	-78.9910945
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:41:24	-2.9544123	-78.9165963
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:20:39	-2.9825148	-78.9875483
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:41:39	-2.9544096	-78.9165960
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:20:55	-2.9825169	-78.9873581
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:48:39	-2.9816068	-78.9749265
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:31:29	-2.9540966	-78.9117481
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:31:46	-2.9541043	-78.9117081
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:32:01	-2.9540977	-78.9116883
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:32:17	-2.9540981	-78.9116871
25	Juan	Piguave	0302557196	San Luis	Cue-Azo	11-07-2016	22:32:33	-2.9540740	-78.9116886

Fig. 42. Lista de paradas registradas en la experimentación

Analizando los resultados se puede interpretar mediante un análisis gráfico lo siguiente:

- **Gráfica del comportamiento de los incidentes registrados**

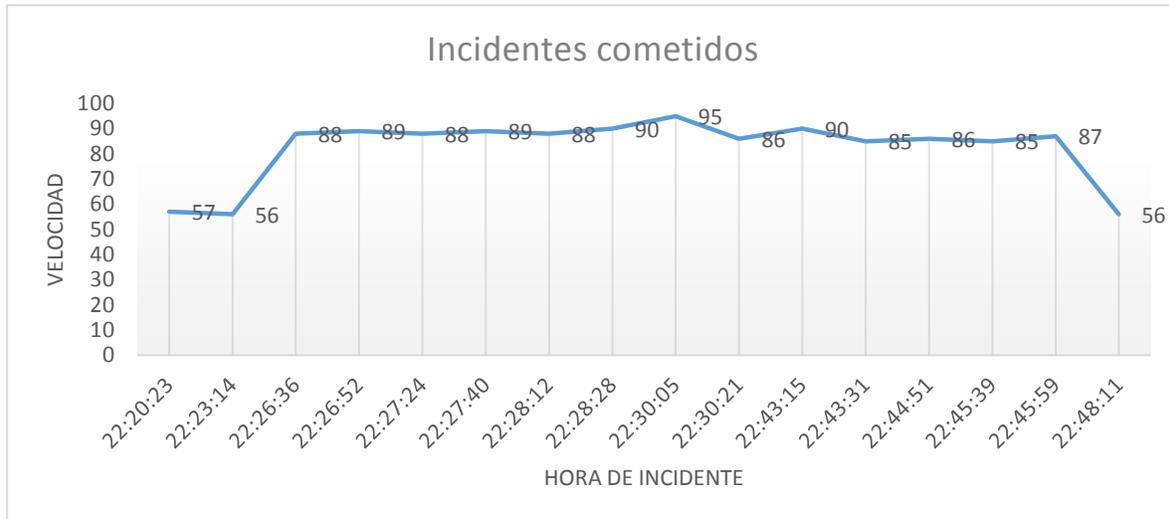


Fig. 43. Gráfica del comportamiento de los incidentes con respecto al tiempo

Dado una ruta origen – destino de 40 minutos de duración promedio, se detecta 16 incidentes de exceso de velocidad, tomando en cuenta que en los primeros 6 minutos, el autobús se dirige desde el terminal hacia una autopista mediante una vía perimetral donde la velocidad máxima permitida es de 50-60 Km/h y se registra picos de hasta 57 Km/h.

Ya en una vía rápida, el sistema establece el nuevo rango de velocidad máxima permitida hasta 85 KM/h para vehículos de transporte de pasajeros. Se registra excesos de hasta 95 Km/h como el pico más alto de velocidad. Mediante el reporte generado con el listado de incidentes respecto a los valores de longitud y latitud tendremos el área geográfica determinada para analizar y tomar decisiones como por ejemplo, la de instalar un radar que mida la velocidad como advertencia para los conductores.

- **Gráfica del comportamiento del recorrido para analizar las paradas registradas**

Con el sistema en línea es posible contar con datos estadísticos reales a medida que el recorrido transcurre, es así que, con la experimentación se tuvo:



Fig. 44. Gráfica para el análisis de paradas realizadas

- Velocidad máxima: 95 Km/h
- Velocidad mínima: 0 Km/h
- Velocidad media: 41.4Km/h

Con una lectura general de la figura 44, es más fácil determinar los picos de velocidad registrados respecto al tiempo. Desde el punto de partida, pasando por vías perimetrales las cuales cuentan con semáforos, rotondas y tráfico dependiendo de la hora pico, la velocidad tiende a 0 en varias circunstancias. Esto es importante para el análisis de paradas de bus autorizadas, imperativamente el video local brindara una mayor relación de confianza para la toma de decisiones respecto a infracciones. Por el contrario, los puntos más altos de la gráfica representan los máximos de velocidad, que, en caso de accidentes, reflejara la causa total o parcial del hecho, de manera mucho más eficiente y precisa.

- **Gráfica del estado de la puerta**



Fig. 45. Gráfica del estado de la puerta

El sistema detecta como una parada de bus, la ubicación geográfica respecto a la velocidad cuando esta es 0 Km/h y al estado del sensor de apertura de puerta en 1. De manera pre establecida, el mapa considera como paradas autorizadas a áreas específicas delimitadas poligonalmente. La duración de la misma aportara validez a más del post análisis que se aplique al video que almacena todo el recorrido a nivel local.

Como se observa figura 45, existen dos alarmas de la apertura de puerta realizados en áreas autorizadas. De existir una apertura ilegal en otra ubicación geográfica, esta se registrará mediante un marcador verde en el punto del mapa donde ocurre la infracción y se almacenará como incidente para aplicar la respectiva justificación o sanción determinada por el analista de monitoreo.

## 8. CONCLUSIONES

Luego de someter a nuestro prototipo a diferentes pruebas y analizar los resultados de las mismas podemos concluir lo siguiente:

- La tecnología GPRS es una solución técnicamente viable para realizar investigación sobre el IoT, monitoreo vehicular y sistemas de redes de sensores, pues son una solución que abarata costos por su reducido consumo de recursos de red y adecuados tiempos de respuesta que permite mantener la conexión TCP para transportar y almacenar la información en el servidor.
- El uso de GPRS como medio de transporte de información demuestra que, pese a una velocidad de transmisión de 48 kbps, se puede establecer una frecuencia de muestreo de datos bastante pareja con un delay de 10 a 15 segundos de diferencia si tomamos en cuenta procesos como apertura de contexto HTTP, consumo de servicio web sobre TCP/IP, handover y negociación de reconexión automática en caso de pérdida de señal. Esto representa un total de solamente el 10% de pérdida de datos en transmisiones celulares.
- Para almacenar los videos se optó por el códec H264 que permite obtener una calidad muy aceptable de 1080p a 45 fps en relación a otros códec de uso común que brindan menos de 15 cuadros por segundo y la calidad de reproducción deja mucho que decir.
- Es importante ocupar el menor tamaño posible de almacenamiento en el disco duro por lo que las pruebas del códec H264 guardan el video en formato RAW, esto nos da una tasa de datos de 60MB por minuto de video aproximadamente. Para su reproducción local se utiliza el reproductor *omxplayer* de Raspbian vía terminal.
- Se eligió una cámara de 5 mega pixeles, que cumple con los requisitos del prototipo, ya que en fotografías captura un área de 2592 x 1944 pixeles, pero en grabación de video el área se reduce desde 1920 x 1080 pixeles.

Esto resulta ventajoso para reducir el tamaño en disco al mismo tiempo que se obtiene un amplio campo de visión frontal de la carretera.

- Al analizar las pruebas se puede indicar que la probabilidad de ocurrencia de infracciones marcadas por nuestro sistema de monitoreo acerca del exceso de velocidad ocurre en autopistas y carreteras a comparación de vías perimetrales y avenidas. A más de los justificados controles de tránsito y radares, es el tráfico en horas del día que imposibilita la acción de velocidad. No obstante, en horas de la madrugada la probabilidad de infracción es la misma en ambos tipos de vías.
- Se determina que este sistema es de media escalabilidad al contar con prototipos independientes basados en GPRS que pueden compartir el mismo canal. Además, la mayor parte del recorrido se establece una transmisión uplink sin descarga considerable de datos y que gracias a la metodología de trabajo del protocolo GPRS, el pago por consumo se ajusta por la parametrización de la información enviada y recibida y no por el establecimiento de conexión con la estación base de cada célula.

## 9. RECOMENDACIONES

- A pesar de que GPRS ya no es utilizado en el campo de las comunicaciones móviles por simple razón de que los dispositivos se convierten en obsoletos, las nuevas tecnologías como 4G y próximamente 5G permitirían ampliamente la escalabilidad de este proyecto ya que el ancho de banda incrementaría dejando abierta la posibilidad de realizar un monitoreo con streaming de video y una frecuencia de muestreo de datos, velocidad y posición vehicular en una conversión de sistema en línea a sistema de monitoreo en tiempo real.
- En un ámbito de implementación, la grabación de video con cámaras de 360 grados incrementaría la confiabilidad de monitoreo en un 100% ya que, a más de grabar el frente del vehículo, se podrá grabar la apertura de puertas y ubicación de pasajeros.
- De ser necesario, la exportación de video a una unidad de almacenamiento externa o transmisión streaming se puede efectuar mediante la conversión del formato de video a MP4 para una mayor compatibilidad con los dispositivos de reproducción comerciales.
- Facilitar el desarrollo la herramienta propuesta se complementaría con el trabajo en conjunto entre el Administrador del Sistema, Ente Regulador y Cooperativas de buses ya que el sistema se puede ajustar más a los objetivos finales con los requerimientos necesarios bien establecidos.
- Para mejorar la conducta de conducción en el país, las Entidades encargadas de la regulación y control de Tránsito deberían establecer aspectos importantes como el número de paradas permitidas en las vías, algo que no se cumple del todo en la actualidad y que de cumplirse el monitoreo sería más eficaz al tener áreas fijas (paradas) que se puedan controlar con el módulo GPS en el recorrido del bus. Así mismo debería existir regulaciones y sanciones operativas a los buses que no respeten horarios de salida, rutas, paradas establecidas, etc.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

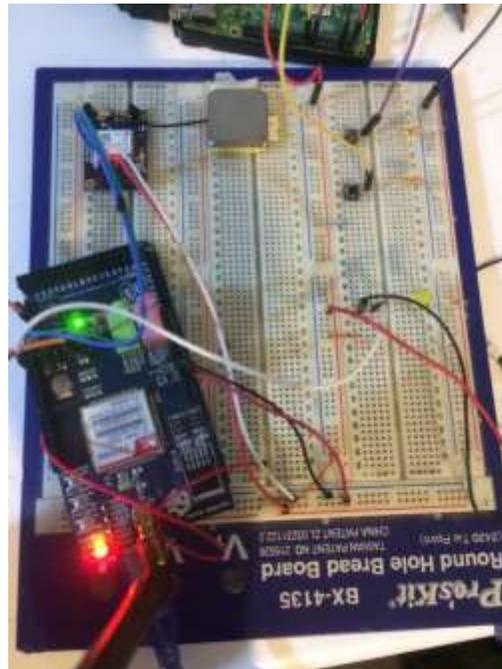
- [1] ant.gob.ec, «Agencia Nacional de Tránsito,» Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.ant.gob.ec/index.php/descargable/file/4959-siniestros-diciembre-2017>.
- [2] www.eluniverso.com, «El Universo,» 30 Junio 2017. [En línea]. Available: <http://www.eluniverso.com/noticias/2017/06/30/nota/6255262/24-muertos-12-dias-es-saldo-accidentes-vias-4-provincias>.
- [3] eluniverso.com, «El Universo,» Domingo Julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/07/02/nota/6258265/terminal-trajin-155-mil-personas-diario>.
- [4] S. McClellan, T. Follmer, E. Maynard, E. Capps, G. Larson, R. Ord, V. Eyre, C. Russon, V. Watkins, J. Litzinger y . S. Lawrence, «SYSTEMAND METHOD FORMONITORING VEHICLE PARAMETERS AND DRIVER BEHAVIOR,» West Valley City, UT (US), 2014.
- [5] T. Mulani y S. Pingle, «Internet of Things,» Pandharpur, 2016.
- [6] J. M. Fernández Guel, «Ciudades Inteligentes: Mitificación de las nuevas tecnologías como respuesta a los nuevos retos de las ciudades contemporáneas,» Madrid, 2015.
- [7] V. Karagiannis, P. Chatzimisios, F. Vazquez Gallego y J. Alonso Zarate, «A Survey on Application Layer Protocols for the Internet of Things,» Barcelona, 2015.
- [8] J. E. Luzuriaga, M. Perez y P. Boronat, «A comparative evaluation of AMQP and MQTT protocols over unstable and mobile networks,» Las Vegas, 2015.
- [9] G. Selvakumar y B. Jaya Kaviya, «A survey on RESTful web services composition,» Coimbatore, 2016.
- [10] C. Coronel y S. Morris, de *Database Systems: Design, Implementation, & Management*, Doceava ed., Boston, Cengage Learning, 2016, pp. 43-47.
- [11] J. L. Harrington, «Relational Database Design and Implementation,» Cuarta ed., Cambridge, Massachusetts: Elsevier Inc., 2016, pp. 6-11.
- [12] M. Fossati, «Todo sobre MySQL: Libro ideal para ingresar en el mundo de la base de datos MySQL,» 2014, p. 5.
- [13] B. Yusuf Abdullahi , «The working principle of an Arduino,» IEEE, Abuja, Nigeria, 2014.
- [14] N. Acordeón, «Arquitectura de las placas Arduino,» 27 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://arquitecturaplacasarduinomeza.blogspot.com/>.
- [15] T. Hamonangan Nasution, M. Anggia Muchtar y I. Siregar, «Electrical appliances control

- prototype by using GSM module and Arduino,» IEEE, Medan, Indonesia, 2017.
- [16] «micro4you.com,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.micro4you.com/store/sim900-gprs/gsm-module.html>.
- [17] u-blox.com, «NEO-6 U-blox 6 GPS Modules Data Sheet,» 2018. [En línea]. Available: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6\\_DataSheet\\_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf).
- [18] addicore.com, «Addicore,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.addicore.com/NEO-6M-GPS-p/231.htm>.
- [19] u-blox.com, «LEA-6 / NEO-6 / MAX-6 u-blox 6 GLONASS, GPS & QZSS modules Hardware Integration Manual,» 2018. [En línea]. Available: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/LEA-NEO-MAX-6\\_HIM\\_%28UBX-14054794%29\\_1.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/LEA-NEO-MAX-6_HIM_%28UBX-14054794%29_1.pdf). [Último acceso: 7 Julio 2018].
- [20] M. J. Sevilla, «Astronomía geodésica,» CSIC-UCM - Instituto de Astronomía y Geodesia (IAG), Madrid, 1984.
- [21] searchdatacenter.techtarget.com, «Search Data Center en Español,» Enero 2017. [En línea]. Available: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Internet-de-las-cosas-IoT>.

## 11. ANEXOS

### ANEXO 1

#### PROTOTIPO EN PROTOBOARD PARA PRUEBAS



### ANEXO 2

#### DISEÑO DEL PROTOTIPO



**ANEXO 3**  
**DESARROLLO DE LA CAJA PARA PROTOTIPO**



**ANEXO 4**  
**IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO**



**ANEXO 5**  
**PROTOTIPO MOVIL COMPLETAMENTE ARMADO**



**ANEXO 6**  
**PRUEBAS EN CARRETERA**

