

Neiva, 14 Septiembre de 2021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

ANDRÉS FELIPE MURCIA RIVERA, con C.C. No. 1'075.254.249,
_____, con C.C. No. _____,
_____, con C.C. No. _____,
_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o

titulado _PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE TRANSITO Y EMERGENCIAS IMPLEMENTANDO TECNOLOGIA WEB CON MONITOREO

presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

CARTA DE AUTORIZACIÓN



CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____ No aplica _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____ No aplica _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____ No aplica _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 1 de 4 |
|--------|--------------|---------|---|----------|------|--------|--------|
|--------|--------------|---------|---|----------|------|--------|--------|

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE TRANSITO Y EMERGENCIAS
IMPLEMENTANDO TECNOLOGIA WEB CON MONITOREO

AUTOR O AUTORES:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| MURCIA RIVERA | ANDRÉS FELIPE |

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| MOLINA MOSQUERA | JOHAN JULIAN |

ASESOR (ES):

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| BRAVO OBANDO | MARTIN DIOMEDES |
| SENDYA LOSADA | DIEGO FERNANDO |

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO ELECTRÓNICO

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: ELECTRÓNICA

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2020 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 77

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas o Cuadros

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



MATERIAL ANEXO: Registro único de variables para estudio de flujo vehicular, Presentación circuitos de desarrollo para ATMEGA 2560, Circuitos de comunicación módulo bluetooth, Presentación de prototipo para control semafórico

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

| Español | Inglés | Español | Inglés |
|--|----------------|---------|--------|
| 1. Interfaz Interface 6. | | | |
| 2. Flujo saturado | Flow saturated | 7. | |
| 3. Flujo vehicular Flow traffic 8. | | | |
| 4. Regulador de tráfico Traffic Regulator 9. | | | |
| 5. ITS ITS 10. | | | |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En este proyecto de investigación se desarrolla un prototipo para mejorar la movilidad de los vehículos de emergencia, mediante la optimización del flujo y manipulación del tráfico en cruces semafóricos. Primero, el flujo vehicular de cada troncal es censado y almacenado en una base de datos Firebase por medio de una tarjeta Raspberry Pi. Segundo, utilizando un microcontrolador ATMega 2560 se establecen funciones binarias con los datos adquiridos para el procesamiento en conjunto con los datos en los semáforos. Por último, el sistema implementa un mecanismo que compara el resultado del tráfico en el cruce entre calle 21 y carrera 16 de la ciudad de Neiva. El prototipo en general es administrado a través de recursos e interfaz web y una aplicación móvil diseñada para sistemas Android.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In this research project and mobile application, it is developed a prototype system to improve the mobility of emergency vehicles by the optimization of flow and manipulation of traffic-jams at crosses where there are traffic lights. Firstly, the vehicle's flow on every avenue is monitored and stored into a database Firebase by using a Raspberry Pi board. Secondly, a micro-controller ATMega 2560 sets binary functions with gotten data for the processing with the traffic lights' data. Finally, the whole system uses a method that compares the result of traffic at 21th Street with 16th Avenue in Neiva city. In conclusion, the prototype is managed through resources, a web interface and a mobile application designed for Android systems.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 4

APROBACIÓN DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: JOHAN JULIAN MOLINA MOSQUERA

Firma:

Nombre Jurado: MARTIN DIOMEDES BRAVO OBANDO

Firma:

Nombre Jurado: DIEGO FERNANDO SENDOYA LOSADA

Firma:



PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO Y EMERGENCIAS IMPLEMENTANDO TECNOLOGÍA WEB CON MONITOREO

**PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO Y EMERGENCIAS
IMPLEMENTANDO TECNOLOGÍA WEB CON MONITOREO**

**PRESENTADO POR:
Andrés Felipe Murcia Rivera
Código 2009179634**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA, HUILA
2020**

**PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO Y EMERGENCIAS
IMPLEMENTANDO TECNOLOGÍA WEB CON MONITOREO**

**PRESENTADO POR:
Andrés Felipe Murcia Rivera**

**DOCUMENTO PRESENTADO PARA:
Optar por el título de ingeniero electrónico**

**DIRECTOR:
Johan Julián Molina Mosquera
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
NEIVA, HUILA
2020**

Nota de aceptación:

Firma del director del proyecto

Firma del primer jurado

Firma del segundo jurado

Neiva, 7 de febrero de 2020

DEDICATORIA

A mis padres, Ulises y Sandra, por su incondicional e imprescindible apoyo en cada una de las etapas de mi vida.

A mis hermanos y demás familiares por su afecto, calidez y muestra de solidaridad.

ANDRÉS FELIPE MURCIA RIVERA

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al ingeniero Johan Julián Molina Mosquera, director y mentor de tesis, por brindar su experiencia, conocimientos y orientación en la realización de este proyecto de investigación. Al profesor Diego Sendoya por permitirme mejorar mis criterios de evaluación y el profesor Martín Diomedez por su íntegra comprensión; así también agradezco al cuerpo docente del programa de ingeniería electrónica de la Universidad Surcolombiana por contribuir de la mejor manera en mi formación académica y profesional.

También deseo expresar mi agradecimiento al ingeniero Juan Escobar del área de planeación del SETP por su hospitalidad y comprensión expresando la cordial acogida de los funcionarios de la Secretaría de Transito para la administración 2015-2019.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| 1. OBJETIVOS | 19 |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL | 19 |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 19 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 2.1. PARAMETRIZACIÓN DE VIAS | 20 |
| 2.1.1. Ingeniería de tráfico | 20 |
| 2.1.2. Esquema de nivel de servicio aplicado a una ciudad intermedia | 21 |
| 2.1.3. Estimaciones para la capacidad en intersecciones semaforizadas | 22 |
| 2.2. CARACTERIZACIÓN DE SEMÁFOROS | 23 |
| 2.2.1. Centro de monitoreo para el tráfico vehicular | 23 |
| 2.2.2. Semáforos inteligentes | 24 |
| 2.3. NUEVAS TECNOLOGÍAS ORIENTADAS A LA MOVILIDAD VIAL | 25 |
| 2.3.1. Foxway: Visualización para datos del tráfico de Bogotá | 25 |
| 2.3.2. Modificación de fases de los reguladores de tráfico vehicular desde vehículos de emergencia | 25 |
| 2.3.3. Sistema inteligente de detección y aviso de infracciones en semáforos mediante smartphones | 26 |
| 2.3.4. Sistema de comunicación TCP/IP para el control de una intersección de tráfico vehicular | 26 |
| 2.3.5. Procesamiento digital de imágenes estimación de velocidad y flujo vehicular | 26 |
| 2.4. BASES DE DATOS CON NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA MOVILIDAD | 26 |
| 2.4.1. Semáforo inteligente con conexión Bluetooth | 27 |
| 2.5. ANÁLISIS DE DATOS APLICANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS | 27 |
| 2.5.1. Simulación de algoritmos para regular el flujo vehicular y la comunicación entre vehículos móviles autónomos utilizando redes Ad-Hoc | 27 |
| 2.5.2. Control de semáforos para emergencias usando redes neuronales | 27 |
| 2.6. UNIDAD DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES | 28 |
| 2.7. UNIDAD DE CONTROLADORA DE TRÁNSITO VEHICULAR | 29 |

| | |
|---|----|
| 2.7.1. Protocolo de transmisión de imagen con HTTP | 30 |
| 2.7.2. Procesamiento de imagen con Open CV | 30 |
| 2.8. BASE DE DATOS CON FIREBASE..... | 30 |
| 2.9. COMUNICACIÓN DE SENSORES | 31 |
| 2.10. HISTORIA DE MOVILIDAD PARA LA CIUDAD DE NEIVA..... | 31 |
| 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 33 |
| 3.1. ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA | 33 |
| 3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL..... | 35 |
| 4. DESARROLLO DEL PROYECTO..... | 42 |
| 4.1. LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS | 42 |
| 4.2. FUNCIONALIDAD | 43 |
| 4.3. DESARROLLO SERVICIOS WEB | 46 |
| 4.3.1. Caracterización con OpenCV | 48 |
| 4.3.2. Comunicación de datos HTTP | 49 |
| 4.3.3. Comunicación de datos Firebase | 49 |
| 4.3.4. Administración de usuarios en Firebase | 50 |
| 4.3.5. Comunicación de datos con Android | 51 |
| 5. FUNCIONAMIENTO | 54 |
| 5.2. COMUNICACIÓN DE DATOS..... | 55 |
| 5.2.1. Parametrización del controlador de tránsito vehicular..... | 55 |
| 5.2.2. Secuencia funcional aplicación móvil..... | 56 |
| 5.3. CARACTERIZACIÓN Y SIMULACIÓN..... | 57 |
| 5.3.1. Parámetros de simulación..... | 58 |
| 6. RESULTADOS..... | 60 |
| 6.1. VALIDACIÓN DE RESULTADOS..... | 62 |
| 7. CONCLUSIONES | 67 |
| 8. RECOMENDACIONES | 68 |
| 9. DISCUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS..... | 69 |
| BIBLIOGRAFÍA | 70 |
| APÉNDICE 1: REGISTRO ÚNICO DE VARIABLES PARA ESTUDIO DE FLUJO VEHICULAR | 73 |
| APÉNDICE 2: PRESENTACIÓN CIRCUITOS DE DESARROLLO PARA ATMEGA 2560..... | 74 |

| | |
|---|----|
| APÉNDICE 3: CIRCUITOS DE COMUNICACIÓN MODULO BLUTETOOTH... | 75 |
| APÉNDICE 4: PRESENTACIÓN DE PROTOTIPO PARA CONTROL SEMÁFORICO..... | 76 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Caracterización de vías de doble calzada..... | 22 |
| Tabla 2. Relación de flujos de saturación estimados por métodos HCM | 23 |
| Tabla 3. Detalles técnicos Raspberry Pi 3 modelo B+ | 29 |
| Tabla 4. Resumen datos técnicos del Controlador de luces semafóricas | 29 |
| Tabla 5. Actores viales lesionados de accidentes Neiva | 32 |
| Tabla 6. Descripción visual de secuencia para semáforos en sitio | 37 |
| Tabla 7. Esquema de tabla con datos aleatorios para cálculos de tiempo en luz roja..... | 39 |
| Tabla 8. Requerimientos funcionales del sistema para control de tráfico vehicular | 43 |
| Tabla 9. Requerimientos funcionales del sistema para usuarios | 43 |
| Tabla 10. Evaluación de servicios del controlador de tráfico con Raspberry | 44 |
| Tabla 11. Descripción de elementos | 45 |
| Tabla 12. Vistas de interfaz para la aplicación móvil | 53 |
| Tabla 13. Estimación de tráfico vehicular promedio cada 8 horas | 58 |
| Tabla 14. Resultados encuesta de aceptación realizada..... | 63 |
| Tabla 15. Referencia y relación de funcionamiento de semáforos..... | 66 |
| Tabla 16. Esquema para registro de parámetros de cada controlador de tráfico... | 73 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Criterio de nivel de servicio con curvas "Flujo-Velocidad" | 21 |
| Figura 2. Semáforos inteligentes con procesamiento de imágenes | 24 |
| Figura 3. Especificaciones RAPSBERRY pi modelo B+ | 28 |
| Figura 4. Modelación de Sustracción de Fondo | 30 |
| Figura 5. Relación histórica de accidentes en el 2019 para la ciudad de Neiva | 33 |
| Figura 6. Flujo de tráfico vehicular del día viernes en el sitio de estudio | 33 |
| Figura 7. Representación gráfica del área seleccionada de estudio | 34 |
| Figura 8. Ocurrencia de accidentes semanal 2019 | 34 |
| Figura 9. Ocurrencia de accidentes por franja horaria 2019 | 35 |
| Figura 10. Etapas del sistema semafórico implementado en sitio de estudio | 36 |
| Figura 11: Esquema del sistema actual del controlador de tráfico | 38 |
| Figura 12. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Norte – jueves | 40 |
| Figura 13. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Sur – jueves | 40 |
| Figura 14. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Oeste – jueves | 40 |
| Figura 15. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Norte – viernes | 41 |
| Figura 16. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Sur – viernes | 41 |
| Figura 17. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Oeste – viernes | 41 |
| Figura 18. Esquema general de componentes propuesto para el sistema de tráfico. | 42 |
| Figura 19. Casos de uso para usuarios | 46 |
| Figura 20. Visualización web | 47 |
| Figura 21. Arquitectura Raspberry para procesamiento de imágenes | 47 |
| Figura 22. Diagrama de clases RASPERRY | 48 |
| Figura 23. Definición de parámetros para histogramas de imagen | 48 |
| Figura 24. Diagrama de flujo para evaluación HTTP | 49 |
| Figura 25. Configuración de datos Firebase | 50 |
| Figura 26. Acceso concesión Firebase y Android | 50 |
| Figura 27. Diagrama de flujo para la interfaz Android | 51 |
| Figura 28. Caso de uso aplicación Android | 51 |
| Figura 29. Diagrama de clases Aplicación móvil | 52 |
| Figura 30. Matriz alfa para sustracción de fondo | 54 |
| Figura 31. Diagrama de flujo para evaluación de histogramas | 54 |
| Figura 32. Diagrama de comunicación RAPSBERRY | 55 |
| Figura 33. Esquema funcional de controlador de tránsito | 56 |
| Figura 34. Diagrama de secuencia aplicación móvil | 57 |
| Figura 35. Interfaz de transmisión de datos para emergencias | 57 |
| Figura 36. Simulación de controladora de tráfico vehicular | 58 |
| Figura 37. Bloques de transferencia para los tiempos de saturación | 59 |
| Figura 38. Respuesta impulso de las funciones de los bloques de transferencia .. | 59 |
| Figura 39. Prueba de funcionamiento de procesos para la detección de tráfico.... | 60 |

| | |
|---|----|
| Figura 40. Exploración de archivos dentro del fichero en “Raspberry” | 60 |
| Figura 41. Transmisión conteo de 1 motocicleta..... | 61 |
| Figura 42. Transmisión con conteo de 3 automóviles medianos | 61 |
| Figura 43. Proceso de validación aplicación móvil..... | 62 |
| Figura 44. Comparación de error entre los datos..... | 64 |
| Figura 45. Cambio de datos en carril norte por solicitud de Aplicación “Pitraf” | 65 |
| Figura 46. Terminal Bluetooth desde un celular..... | 66 |
| Figura 47. Archivos de visita en campo y Oficio del SETP | 73 |
| Figura 48. Placa DF Robot para AT Mega 2560 | 74 |
| Figura 49. UART AT Mega 2560..... | 74 |
| Figura 50. Interfaz serial para comunicación Bluetooth | 75 |
| Figura 51. Prototipo Semáforo con detección por ultrasonido | 76 |
| Figura 52. Presentación exterior de controlador, placa DF-ROBOT + Xbee..... | 76 |
| Figura 53. Caja negra para montaje interno Raspberry + Cámara+ Extractor..... | 77 |

GLOSARIO

ANDROID: Sistema operativo para dispositivos de telefonía inteligente, que ofrece la capacidad para desarrollar una variedad de servicios por medio de herramientas que interactúan con el usuario, a través objetos de diseño programados y estructurados con controles de interfaz humana.

CARACTERIZACIÓN VEHICULAR: Proceso donde se presenta o describe singularmente las características determinadas por el tráfico vehicular.

CONGESTIÓN DE FLUJO: Índice que representa la condición temporal que constituye la congestión vehicular en aumento progresivo hasta convertir el flujo vehicular en flujo saturado.

CONGESTIÓN VEHICULAR: Condición que afecta el tránsito vehicular debido a que el flujo es reducido.

CONTROL DE TRÁNSITO: Administración o regulación de la ocupación de las vías terrestres aplicando la semaforización de carriles cruzados.

COORDENADAS UTC: También conocido como GMT, es el estándar para el posicionamiento de objetos a través del plano terrestre, medido por referencias de líneas de latitud y longitud.

FIREBASE: Proyecto de servicio de Industrias Google que mediante una serie de librerías permite conectar y mantener suscritos a los cambios de los datos.

FLUJO: *movilidad.* Capacidad con respecto a la cantidad de vehículos que pueden moverse con libertad por una vía terrestre de acceso urbana o rural.

FLUJO SATURADO: Condición respecto al límite total de vehículos presentes en una vía de acceso sin libertad de movimiento.

HCM: *abreviatura.* Manual de Capacidad de Carretera. Contiene conceptos, directrices y procedimientos para el cálculo de la capacidad y calidad de servicio de las diferentes instalaciones de la carretera.

GEH: Fórmula matemática utilizada en ingeniería y modelado de tráfico, para comparar dos conjuntos de volúmenes de tráfico. Recibe su nombre de Geoffrey E. Havers, quien lo inventó en la década de 1970, a pesar de ser empírica ha demostrado ser útil para una variedad de propósitos de análisis de tráfico.

Interfaz: En el ámbito tecnológico es el medio que permite la interacción de actividades entre una máquina y el ser humano; o entre dos o más sistemas tecnológicos.

IoT: *abreviatura.* En inglés “Internet of Things” o Internet de las cosas es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con internet.

ITS: *abreviatura.* En inglés Intelligent Traffic System” o “Sistema Inteligente de Tráfico” conjunto de aplicaciones informáticas y sistemas especializados en el control de variables físicas como estudio determinístico para la densidad de flujo vehicular dado un sistema de transporte terrestre.

MIMO: *abreviatura.* Acrónimo en inglés de “Multiple Input Multiple Output” se refiere a la forma como son manejadas las diversas señales de transmisión para sistemas electrónicos con varias señales de salida en respuesta.

MISO: *abreviatura.* Acrónimo en inglés de “Multiple Input Singular Output” se refiere a la forma como son manejadas las diversas señales de transmisión para sistemas electrónicos con una salida en respuesta.

NIVEL DE SERVICIO: Es la calidad del servicio ofrecido por una carretera de dos carriles a sus usuarios, reflejada en el nivel de satisfacción o de contrariedad experimentada por los mismos al usar la vía.

PCU: *abreviatura.* Acrónimo en inglés de “Passenger Conductor User” se refiere a la estimación de la cantidad de usuarios conductores por vehículo en una determinada vía.

PYTHON: Lenguaje de programación de software libre independiente de plataforma y orientado a objetos, preparado para realizar cualquier tipo de programa. Es un lenguaje interpretado, lo que significa que no se necesita compilar el código fuente para poder ejecutarlo, lo que ofrece ventajas como la rapidez de desarrollo e inconvenientes como una menor velocidad.

RILSA: *norma.* Norma europea de planeamiento de tráfico vehicular que sirve de guía de funcionamiento para condicionar el flujo de tráfico. Actualmente utilizada en la ciudad de Bogotá.

SCAT: *abreviatura.* En inglés “System Adaptive Traffic Control” Estrategia de control automatizada, en tiempo real y sensible al tráfico, que se rige por la lógica de control basada en computadora.

SEMAFORIZACIÓN: *adj.* Proceso que regula o administra el tiempo en las fases de circulación de vehículos y da preferencia según criterios o funciones por condiciones estudiadas.

SISO: *abreviatura.* Acrónimo en inglés de “Singular Input Singular Output” se refiere a la forma como es manejada una señal de transmisión para sistemas electrónicos con única señal de salida en respuesta.

SISTEMA DE CONTROL DE TRÁNSITO: *abreviado SCT,* sistema que determina según condiciones, acciones para control de un conjunto de varios semáforos permitiendo desarrollar acciones en cascada para el tráfico vehicular.

TRÁNSITO VEHICULAR: Tránsito o tráfico se refiere a la ocupación en las vías terrestres de acceso urbanas o rurales que permite el movimiento de vehículos con respecto a una velocidad límite o condiciones dadas por los vehículos circundantes en las vías principal y adyacentes.

VANET: *abreviatura.* En inglés “Vehicular Access Network”. Es un tipo de red de comunicación que utiliza a los vehículos como nodos de la red. El alcance del canal de comunicación es de hasta 1 km.

RESUMEN

En este proyecto de investigación se desarrolla un prototipo para mejorar la movilidad de los vehículos de emergencia, mediante la optimización del flujo y manipulación del tráfico en cruces semafóricos. Primero, el flujo vehicular de cada troncal es censado y almacenado en una base de datos *Firebase* por medio de una tarjeta *Raspberry Pi*. Segundo, utilizando un microcontrolador *ATMega 2560* se establecen funciones binarias con los datos adquiridos para el procesamiento en conjunto con los datos en los semáforos. Por último, el sistema implementa un mecanismo que compara el resultado del tráfico en el cruce entre calle 21 y carrera 16 de la ciudad de Neiva. El prototipo en general es administrado a través de recursos e interfaz web y una aplicación móvil diseñada para sistemas Android.

Palabras clave: Interfaz, ITS, Flujo saturado, Flujo vehicular, Regulador de tráfico

ABSTRACT

In this research project and mobile application, it is developed a prototype system to improve the mobility of emergency vehicles by the optimization of flow and manipulation of traffic-jams at crosses where there are traffic lights. Firstly, the vehicle's flow on every avenue is monitored and stored into a database Firebase by using a Raspberry Pi board. Secondly, a micro-controller ATMega 2560 sets binary functions with gotten data for the processing with the traffic lights' data. Finally, the whole system uses a method that compares the result of traffic at 21th Street with 16th Avenue in Neiva city. In conclusion, the prototype is managed through resources, a web interface and a mobile application designed for Android systems.

Keywords: Interface, ITS, Flow traffic, Flow saturated, Traffic Regulator

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el crecimiento de las poblaciones urbanas ha causado grandes problemas de movilidad y congestionamiento en los sistemas de transporte. En ciudades intermedias y grandes es recurrente la falta de fluidez vehicular y la congestión desmedida en las vías principales, que afectan notablemente el desempeño del tráfico vehicular y a su vez, desmejoran la calidad de vida de los usuarios de la vía. La ausencia de normatividad en el sector y de desarrollo en esta materia, han dejado ver que la caracterización de los sistemas semafóricos y su respectiva gestión operacional es deficiente.

Una alternativa que ha mostrado eficiencia ante la problemática de congestión vehicular es la optimización de los sistemas semafóricos mediante la temporización de carriles basados en el comportamiento de la malla vial. La aplicación de semáforos inteligentes usando diferentes sistemas como los SCAT (*Sistema para Control Automático de Tráfico*) así como los sistemas con comunicación VANET (*Vehicular Access Network*) han permitido mejorar el flujo en espacios urbanizados de alta congestión y han aumentado la calidad de la movilidad por la malla urbana. Sin embargo, estos sistemas no contemplan la priorización requerida para el tráfico de emergencias. En ese mismo sentido, la implementación de tecnología IoT (*Internet of Things* o *Internet de las cosas*) ofrece alternativas de integración de cara a esta problemática, pues con ella es posible tener un control remoto de la semaforización.

A través de este trabajo se estudia la optimización del tránsito para vehículos de emergencia (p.ej. ambulancias y carros de bomberos), enfocados en cruces viales con semáforos, mediante una aplicación móvil administrada.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un prototipo para la optimización del tránsito vehicular de emergencia en cruces viales con semáforos, a través de tecnologías con visualización en la web.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el tráfico de vehículos considerando parámetros de proximidad que permitan la medición en un cruce semafórico dado, a partir de datos de congestión de flujo.
- Implementar un dispositivo electrónico con comunicación inalámbrica asociado a una aplicación móvil que, en conjunto, proporcionen una alternativa de solución a los problemas de movilidad vehicular de emergencia y permitan el tráfico de información hacia un servicio de almacenamiento tipo *Firebase*.
- Diseñar un modelo de datos para control y registro de usuarios que permita asignar los permisos asociados a cada participante, usando tecnología de manejo de datos.
- Comunicar el servidor de datos armonizando una relación con los usuarios que implemente la ejecución adecuada de instrucciones y registre el control de cambios realizados en el prototipo.
- Caracterizar el desempeño de la aplicación web a través de una interfaz que permita reproducir el tránsito vehicular por medio de una interfaz de visualización de las condiciones de tránsito reales vistas desde el prototipo.

2. MARCO TEÓRICO

Para comprender algunas de las técnicas, mecanismos y funcionamientos generales de sistemas de tráfico se deben establecer las bases teóricas y técnicas para la comprensión del trabajo desarrollado a lo largo de este proyecto.

2.1. PARAMETRIZACIÓN DE VIAS

Para explorar y analizar conceptos acerca del tráfico vehicular o su control es necesario comprender el funcionamiento y operación de redes vehiculares modernas y con respecto a ella realizar coyunturas para mejorar el tránsito vehicular; esto se encuentra dependiente a los avances tecnológicos para procesar la información y los métodos del control para procesos derivados del flujo de tráfico vehicular relacionadas con este tipo de redes y según las necesidades; así mismo los flujos de tráfico difieren fundamentalmente de otras áreas de la ingeniería y las ciencias físicas, porque están se determinan basados en el comportamiento humano (Jovanis, F.D. Hobbs, 2019).

Por ello la ingeniería del tráfico evalúa nuevos mecanismos de control en medios urbanos, tales como semáforos autónomos; enfocados en criterios específicos de las zonas. En materia de comunicación de datos se han logrado diferentes avances para la estimación del flujo que trabaja las redes vehiculares VANET, las cuales varían según los enfoques norteamericano y europeo.

2.1.1. Ingeniería de tráfico

La ingeniería del tráfico es un concepto que desarrolla soluciones y estudia la optimización de tránsito vehicular permitiendo mejorar las condiciones de congestión de flujo, logrando flexibilidad en los sistemas de control para el flujo de tráfico vehicular. Además, el análisis de los flujos de transito constituye una herramienta para realizar estudios de capacidad de vías, rutas de control, cálculo de tiempos semafórico, pasos peatonales especiales, estaciones de bus. Toda implementación en el tránsito vehicular tiene como objetivo:

- Reducir y prevenir accidentes
- Reducir las demoras y congestiones
- Reducir el consumo de combustibles
- Reducir la emisión de contaminantes al aire.

También se estudia el transporte en conjunto a la movilidad para determinar, diagnosticar y proponer soluciones a la movilidad de personas y bienes; para

planificar, proyectar, diseñar, calcular, programar, construir, mantener, administrar, operar, explotar, controlar y prestar los servicios de asesoría, consultoría e interventoría en forma óptima a los sistemas de transporte y su infraestructura¹.

2.1.2. Esquema de nivel de servicio aplicado a una ciudad intermedia

En el caso colombiano y, específicamente en la ciudad de Manizales, un proyecto de investigación determinó el nivel de servicio para las vías de acceso a la ciudad, con el interés que el estudio se desarrolla para carreteras colombianas de múltiple-carril, donde se caracteriza la vía según las mediciones y condiciones; siguiendo los lineamientos del manual HCM 2000 (ver Figura 1).

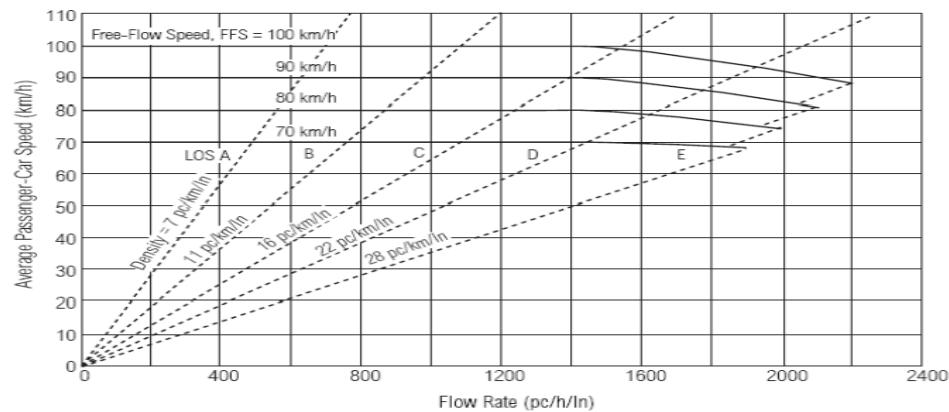
Se establecieron diferentes curvas para determinar la densidad de flujo y permitir la estimación del nivel de servicio; de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$D = \frac{V_p}{S}$$

Donde:

D: Densidad (pc/h/ln)
 V_p: Tasa de flujo (pc/km/ln)
 S: Velocidad promedio de viaje para autos con pasajeros (km/hr)

Figura 1. Criterio de nivel de servicio con curvas "Flujo-Velocidad"



Autor: NARANJO, Victor Hugo, 2008. p. 60

¹ Definiciones Programa de Ingeniería de Transporte y Vías, 2018

Se resume entonces que la capacidad vial de una vía terrestre de múltiple carril debe tener en cuenta el nivel de servicio para obtener correcta caracterización (Ej. ver Tabla 1)

Tabla 1. Caracterización de vías de doble calzada

| Ítem | V_{pico} | V | C_{60} | C_5 | Q/C_{60} | Q/C_5 | Nivel de servicio |
|------------------|------------|-------|----------|-------|------------|---------|-------------------|
| Vía Doble-Carril | 539.32 | 38.41 | 2095 | 1990 | 0.4 | 0.42 | B |

Autor: NARANJO, Op. cit., p. 83

Donde:

V_{pico} : Tasa de flujo en autos de pasajeros equivalentes máximo (pc/h/ln)

V : Volumen de demanda en la dirección de carril analizado (veh/hr)

C_{60} : Capacidad en vehículos mixtos por hora sin considerar variaciones aleatorias

C_5 : Factor de capacidad en vehículos mixtos por hora considerando variaciones aleatorias.

Q : Índice de relación del volumen total en ambos sentidos de la vía

Lo anterior es el modelo determinado para las vías urbanas de doble carril sencillo dentro de una ciudad intermedia.

2.1.3. Estimaciones para la capacidad en intersecciones semaforizadas

Las vías semaforizadas, deben tener en cuenta aquellas características puntuales que afectan los intervalos de flujo saturado los cuales empiezan después del cuarto vehículo en la cola de espera en un semáforo. Se registra el momento de entrada en la intersección del cuarto vehículo y también la entrada del último vehículo de la cola.

La diferencia entre los momentos de entrada registrados, dividida entre la diferencia de las posiciones, proporciona un estimativo del intervalo de saturación. Para las vías de doble calzada aplica la siguiente relación:

Tabla 2. Relación de flujos de saturación estimados por métodos HCM

| Tipo de acceso | Número de datos analizados | GEH | Máxima diferencia (%) entre flujos de saturación |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|--|
| Carril doble sencillo | 13 | <5 para 92% de accesos | 8.3% |
| | | Entre 5 y 10 para el 8% de accesos | 9.8% |
| Carril doble compartido | 12 | <5 para 75% de accesos | 6.5% |
| | | Entre 5 y 10 para el 25% de accesos | 11.6% |

Autor: SANCHEZ, Jorge Humberto. 2011.p. 36

Cabe destacar que, respecto a la medición de flujos de saturación, es recomendable utilizar la metodología del HCM, debido al conteo que se realiza de vehículos entrantes a un cruce del acceso y la cola de vehículos; dicho procedimiento permite descartar mediciones afectadas por condiciones esporádicas estableciendo que se contempla la variación máxima del tránsito (ver Tabla 2) por factores como detención de un vehículo, cambios de carril, entrada o salida de accesos a predios e interferencias peatonales fuera del semáforo, etc.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE SEMÁFOROS

Proceso que consiste en la prevención de accidentes y congestiones aplicando jerarquías semaforizadas que son manejadas a través de variables como el conteo de vehículos y control de la densidad del flujo de tráfico vehicular y conforme a esto variar los tiempos de espera entre los cruces de mayor congestión.

En otros casos se suele denominar semaforización inteligente, los cuales son aquellos arreglos de semáforos programados para el cambio secuencial atendiendo la demanda de un carril permitiendo mayor flujo entre secciones de semáforos, los cuales poseen algún tipo de gestión externa para la supervisión de su funcionamiento².

2.2.1. Centro de monitoreo para el tráfico vehicular

Los centros de monitoreo revisan el flujo vehicular a través de testigos que generalmente son oficiales supervisores para la atención de emergencias y/o seguridad. Los centros de monitoreo abordan una infraestructura que debe ser aprovechada para la posible implementación de un prototipo que se pretende abordar en este documento. Debido al gran avance de los gobiernos en los

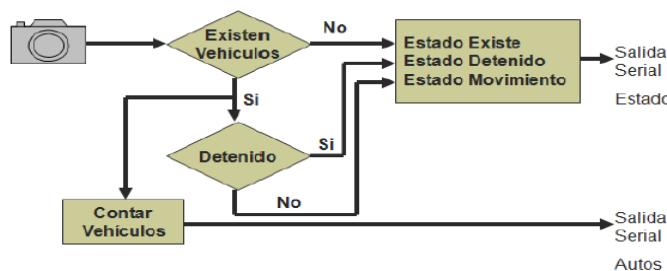
² Revista DYNA, Medellin. Perez , Bautista , Salazar, & Macias, 2013

Sistemas de Control de Tráfico y a la protección de las mismas, como Swarco y su producto Omnia³.

2.2.2. Semáforos inteligentes

Sistema que utiliza algoritmos complejos para poder sincronizar el movimiento del tráfico, tomando decisiones sobre el control de sus luces. De esta manera, el razonamiento sobre el que se sustentan es que el semáforo no tiene que mantener fijo el mismo periodo de tiempos⁴.

Figura 2. Semáforos inteligentes con procesamiento de imágenes



Autor: Martinez Anorozo, Manuel. 2014

Los semáforos inteligentes⁵ funcionan en conjunto con un “ITS”, acompañados generalmente de diferentes herramientas de software como “Scats”, “Lyzun” y “Trafiradar”, resulta la idea de desarrollo de controladores de tráfico a través de procesamiento de imágenes. Sobresalen varios trabajos realizados en este aspecto, los cuales se detallan en los siguientes numerales.

2.2.2.1. Sistema de semáforos Inteligentes utilizando sensores de presencia

Estudia y analiza los actores que representan factores como lo son el aforo vehicular, el aforo peatonal, las fases de semáforo y el levantamiento físico y geométrico desarrollando a través de HCM, la evaluación de servicio, así como la duración de tiempo como principal factor del mejoramiento del servicio⁶.

2.2.2.2. Control de tráfico basado en agentes inteligentes

Es el desarrollo de una metodología novedosa que permite incluir un modelo formal basado en agentes autónomos e inteligentes capaces de manipular las fases de los ciclos en una infraestructura de semáforos de acuerdo a las exigencias y

³ OMNIA Traffic Management Platform [sitio web], Consultado: octubre de 2019.

⁴ UNITEL, Semáforos inteligentes [sitio web], Consultado: octubre 2019

⁵ Martinez Anorozo, Manuel. 2014

⁶ Jacobo, Armando. 2015

limitaciones de la carretera. Este proceso mejora efectiva e inmediata de la calidad del servicio en una intersección, aumentando el rendimiento de la movilidad de los vehículos y mejorando la generación de emisiones, cuando los vehículos se paran en un semáforo rojo⁷.

2.2.2.3. Sistema centralizado para el monitoreo, control y gestión de semáforos

Se diseña y construye un prototipo de un sistema de control para semáforos que pueda ser manejado desde una central, lo que significa, que se debe utilizar un sistema de comunicación que permita dicho enlace. El diseño centralizado del control puedes obtener información en tiempo real sobre el funcionamiento de cada uno de los controles, y esto a su vez permitirá hacer modificaciones en la programación si es necesario⁸.

2.3. NUEVAS TECNOLOGÍAS ORIENTADAS A LA MOVILIDAD VIAL

Los ITS basados en IoT además de mejorar la densidad de flujo vehicular también deben ejercer progreso respecto la seguridad y eficiencia en el transporte terrestre, facilitando la labor de control, gestión y seguimiento.

Asimismo, un esquema general IoT consta de una capa física conformada por un conjunto sensores, una capa análisis de los datos y conexiones, y finalmente la interfaz del usuario. Basándose en referencias de estos sistemas aplicados según lo siguientes trabajos y proyectos desarrollados:

2.3.1. Foxway: Visualización para datos del tráfico de Bogotá

Es un de prototipo de software aplicado en Bogotá que permite visualizar la información de tráfico de la ciudad, generando una base de datos; mediante el análisis de información y el desarrollo del prototipo se logra generar un concepto de herramienta SIG que permite una fácil interpretación y acceso a los documentos del tráfico⁹.

2.3.2. Modificación de fases de los reguladores de tráfico vehicular desde vehículos de emergencia

Se sugiere un completo estudio respecto a las arquitecturas y funcionamiento de un regulador de tráfico y permite entender un poco la dinámica que rige el regulador de

⁷ Castán, Salvador, Laria, Guzmán & Castán, 2014

⁸ Puentes Rojas, Henao Palacios, & Gómez Tovar, 2007.

⁹ Zorro, Sánchez. 2015

tráfico explicando detalladamente los modos de operación para la interrupción balanceada de él ciclo de los reguladores de tráfico.¹⁰

2.3.3. Sistema inteligente de detección y aviso de infracciones en semáforos mediante smartphones

Es una moderna aplicación vial desarrollada mediante teléfonos inteligentes que detecta cuando un vehículo se salta un semáforo, avisando inmediatamente a los conductores cercanos con una notificación en tiempo real a todos los vehículos cercanos para informarles que hay otro vehículo a su alrededor cometiendo infracciones graves de tráfico con objeto de que dichos usuarios puedan estar prevenidos¹¹.

2.3.4. Sistema de comunicación TCP/IP para el control de una intersección de tráfico vehicular

El desarrollo de este prototipo permite el monitoreo de las luces del controlador de tráfico vehicular basado en la norma RILSA, en este estudio además se integra un componente a las rutinas de funcionamiento integrando una etapa de detección de vehículos de emergencia a través de señales de radio frecuencia, pero se observa en esto una debilidad de seguridad en la comunicación para el control de semáforos debido al uso de un espectro radioeléctrico no regulado.¹²

2.3.5. Procesamiento digital de imágenes estimación de velocidad y flujo vehicular

Es una técnica para procesamiento de imágenes, donde se realiza medición del flujo vehicular y estimación de la velocidad. Para determinar el flujo vehicular y la estimación de la velocidad que utiliza una operación de filtrado digital no lineal, una manipulación del histograma, una operación de segmentación y operadores morfológicos de dilatación, erosión, apertura, cerradura y etiquetado de imágenes binarias. Con el etiquetado de las imágenes, se consigue representar cada vehículo por un objeto de color blanco”¹³.

2.4. BASES DE DATOS CON NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA MOVILIDAD

Se refiere a todo el conjunto de información categorizada u organizada para la consulta y medición de valores a través de índices estadísticos obtenidos a través del constante muestreo u entrada de sistemas MIMO o MISO o SISO.

¹⁰ Martínez, Delgado. 2011

¹¹ Lakhani, Rushil. 2015

¹² Martínez, Hernandez Suárez, & López Sarmiento. 2013

¹³ Huamaní Navarrete & Rojas Vara, 2016

Esto depende del modelo organizacional que se plantea para satisfacer y proyectar las necesidades de los datos de alimentación del banco de datos que debe determinar las limitantes de los tipos de datos que se deben almacenar.

La consulta de las bases de datos y su alimentación de datos se podrían clasificar en tiempo real o en registros temporales dirigidos con subrutinas a la alimentación hacia un banco mayor de datos.

2.4.1. Semáforo inteligente con conexión Bluetooth

En este estudio se realizó la conexión de control para un oficial a través del protocolo Bluetooth, lo que permite verificar el rango de uso para un sistema centralizado de control semafórico usando este protocolo de comunicación para transmitir órdenes a los semáforos. Donde la distancia de alcance no supera de los 40 m en campo.¹⁴

2.5. ANÁLISIS DE DATOS APLICANDO NUEVAS TECNOLOGÍAS

Debido al modelo propuesto donde a través de datos relacionales se diseña el enlace y estructura para la alimentación de base de datos con Firebase se propone el análisis de los siguientes proyectos desarrollados con este enfoque.

2.5.1. Simulación de algoritmos para regular el flujo vehicular y la comunicación entre vehículos móviles autónomos utilizando redes Ad-Hoc

Demuestra la hipótesis de que para lograr una comunicación eficiente entre vehículos móviles autónomos son necesarios dos componentes: un flujo vehicular constante y un protocolo de comunicación que incorpore un algoritmo predictivo de los datos que inundan el sistema¹⁵.

2.5.2. Control de semáforos para emergencias usando redes neuronales

Presenta una estrategia a través de redes neuronales, donde se selecciona una población como los vehículos del Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú (abreviado CGBVP) consiste en preparar los semáforos con anticipación al paso de una unidad. Para ello se consideraron dos tipos de datos, ubicación y dirección, con el fin de activar los semáforos tiempo antes que el vehículo llegue a la intersección, durante una emergencia en el distrito de Surco, contribuyendo a la fluidez vehicular de las unidades en situaciones de emergencia¹⁶.

¹⁴ Giron Ruiz, Keller; Morales, Yeser Alfredo. 2016

¹⁵ Aquino Santos, y otros, 2009

¹⁶ Ayala Garrido, Brenda Elizabeth; Acevedo Bustamante, Felipe. 2015

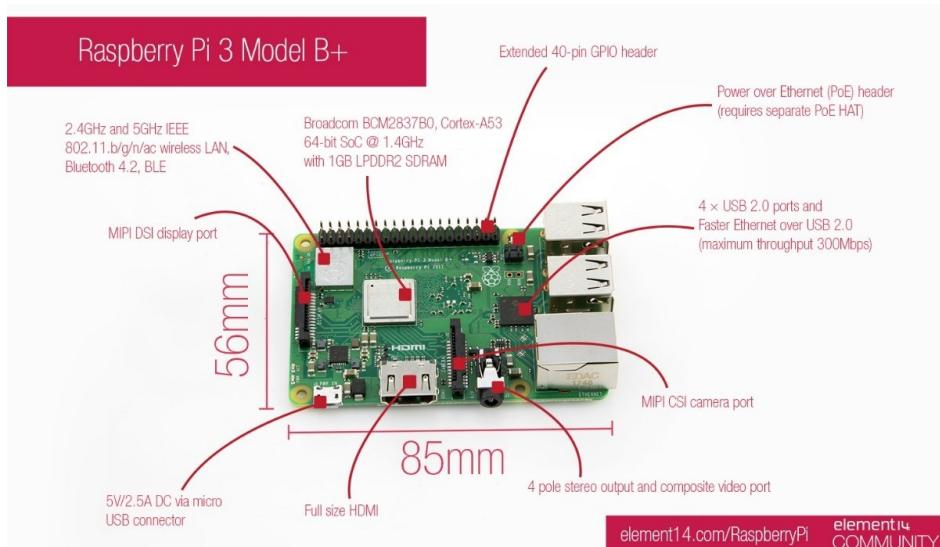
2.6. UNIDAD DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El sistema a proponerse es desarrollado para el reconocimiento de tráfico de vehículos, lo cual compone un ambiente propicio para trabajar a través de la GPU de la Fundación “Raspberry Pi” y su licencia de “Creative Commons Attribution License” usando su distribución “Debian- OpenGL”.

2.6.1. Raspberry Pi 3 modelo B+

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida, ordenador de placa única u ordenador de placa simple de bajo costo (ver Figura 3) desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation, con el objetivo de estimular la enseñanza de informática en las escuelas¹⁷.

Figura 3. Especificaciones RAPSBERY pi modelo B+



Autor: Memory Express, Raspberry Pi 3 Model B+ Starter Kit [en línea]

El proyecto se desarrolló configurando una interfaz para el procesamiento de imágenes a través de lenguaje Python¹⁸, con capacidades adaptadas a la placa “Raspberry” modelo B+ (ver Tabla 3).

¹⁷ Lopez Aldea, E. (2017). Raspberry pi. En *Fundamentos y Aplicaciones* (págs. 63-66). Madrid: Ra-Ma Editorial

¹⁸ Alvarez, M. A. (19 de Noviembre de 2003). *Desarrollo Web*. Obtenido de: Qué es cada tecnología <https://desarrolloweb.com/articulos/1325.php>

Tabla 3. Detalles técnicos Raspberry Pi 3 modelo B+

| | |
|---------------------------|---|
| SoC | Broadcom BCM2837 (CPU + GPU + DSP + SDRAM + Puerto USB) |
| CPU | 1.4GHz 64-bit quad-core ARMv8 |
| Instrucciones | RISC 64 bits |
| GPU | Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, MPEG-2 y VC-1(con licencia)1080p30 H.264/MEG-4 |
| Memoria SRAM | 1 GB (compartido con GPU) LPDDR2 |
| Puertos USB 2.0 | 4 |
| Entradas de video | Conecotor MIPI CSI que permite instalar módulo de cámara desarrollado por la RPF |
| Conectividad de red | 10/100/1000 Ethernet (RJ-45) vía hub USB Max 200 Mbit/s, Wifi 802.11n/ac, Bluetooth 4.2 BLE |
| Periféricos de bajo nivel | 17 GPIO y un bus HAT ID |
| Consumo energético | 800 mA (4 W) |
| Dimensiones | 85.60 mm x 53.98 mm |

Autor: WIKIPEDIA, Raspberry [en línea]

2.7. UNIDAD DE CONTROLADORA DE TRÁNSITO VEHICULAR

Para la interfaz de salida con semáforos, se opta por el uso de un prototipo que emula funciones de controlador de tráfico y en vista de estas utilidades, se implementa un controlador de luces de tráfico con licencia de desarrollo GPU LGPL.

Esto permite el control de las luces semaforizadas en el prototipo, ya que su interfaz I2C permite el uso de sensores de transmisión de información equivalente a los sistemas actuales¹⁹. Se escogió el microcontrolador AT Mega 2560 (AT Mega 2560, s.f.) por la cantidad de salidas necesarias en caso de optar por una expansión de las señales que emulan las actuales en los semáforos.

Tabla 4. Resumen datos técnicos del Controlador de luces semafóricas

| | | | |
|-------------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| Microcontrolador | ATmega2560 | I _{DC} por pin | 20 mA |
| Voltaje de operación | 5V | I _{DC} pines 3.3v | 50 mA |
| Voltaje de entradas | 7-12V | Flash Memory | 256 KB /wch 8 KB |
| V _{ENTRADA} (Límite) | 6-20V | SRAM | 8 KB |
| Pines Digitales I/O | 54 (15 para PWM) | EEPROM | 4 KB |
| Pines Analógicos | 16 | F _{CLK} | 16 MHz |

Autor: ATMEL, Microcontroller ATMEGA [en línea]

¹⁹ ATMEL, Microcontroller ATMEGA [sitio web] ; consultado Septiembre 2019

2.7.1. Protocolo de transmisión de imagen con HTTP

Un módulo HTTP es un conjunto de instrucciones usado en cada solicitud que se realiza en una aplicación basada en servicios web. Los módulos HTTP permiten examinar las solicitudes entrantes y salientes en un rol de servidor y tomar medidas en función de la solicitud. En el contexto de tránsito vehicular, el módulo HTTP no se usa directamente, pero se usa como base para construir servicios web que funcionen sin interrupciones²⁰.

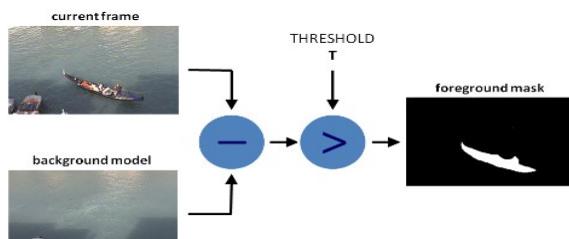
2.7.2. Procesamiento de imagen con Open CV

OpenCV es una librería de código abierto sustentada por su comunidad de usuarios, la cual viene incrementando su funcionalidad en sistemas embebidos, debido a que estos articulan plataformas de visión artificial.

Está legítimamente soportada para su uso, con una licencia BSD lo que permite utilizar y modificar el código; su funcionamiento está basado en lenguaje Python lo que lo hace muy versátil de usar.

La versión utilizada corresponde para este desarrollo es Python3, ya que es una versión que no dejara de ser soportada, como ocurre con su homónima Python2. A través de esta librería se utiliza una técnica de comparación de fondo de imagen que genera una máscara de la imagen de primer plano que contiene los pixeles concernientes para identificar objetos en movimiento en la escena (ver Figura 4)²¹.

Figura 4. Modelación de Sustracción de Fondo



Autor: OpenCV, Background Subtraction Methods. S.f.

2.8. BASE DE DATOS CON FIREBASE

Firebase es un proyecto de múltiples servicios, que para el caso particular es la herramienta para la gestión de datos; se tiene una serie de ventajas al usar esta plataforma:

²⁰ Python, Basic HTTP server. S.f.

²¹ OpenCV. Traducción, Background Subtraction Methods. S.f.

- Sincronizar fácilmente los datos de proyectos sin tener que administrar conexiones o escribir lógica de sincronización compleja.
- Usa un conjunto de herramientas multiplataforma: se integra fácilmente para plataformas web como en aplicaciones móviles. Es compatible con grandes plataformas, como Android y aplicaciones web.
- Usa la infraestructura de Google y escala automáticamente para cualquier tipo de aplicación, desde las más pequeñas hasta las más potentes.
- Crea proyectos sin necesidad de un servidor: Las herramientas se incluyen en los SDK para los dispositivos móviles y web, por lo que no es necesario la creación de un servidor para el proyecto (Firebase, Google Corporative, s.f.).

2.9. COMUNICACIÓN DE SENSORES

Con la comunicación I2C que funciona como puerto y protocolo de comunicación, define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales. El protocolo permite conectar hasta 127 dispositivos esclavos con esas dos líneas, con hasta velocidades de 100, 400 y 1000 kbits/s. El protocolo I2C es uno de los más utilizados para comunicarse con sensores digitales, ya que a diferencia del puerto Serial, su arquitectura permite tener una confirmación de los datos recibidos, dentro de la misma trama, entre otras ventajas.

2.9.1. Medición de distancias por ultrasonido

Lo más singular del sensor de ultrasonidos como la referencia HC-SR04 es quizás su capacidad, ya que usando un emisor y un receptor de ultrasonidos que trabajan a una frecuencia de 40KHz permite medir distancias de hasta 4 m.

2.9.2. Medición de temperatura y humedad relativa

La determinación de temperatura de funcionamiento es ideal para garantizar un correcto funcionamiento por medio de sensores digitales como la referencia DHT 22 debido a la integración de un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital.

2.10. HISTORIA DE MOVILIDAD PARA LA CIUDAD DE NEIVA

Según un reciente informe presentado por la Organización Mundial de la Salud, la buena actitud del conductor es el principal factor para evitar la presencia de accidentes en la vía. En Neiva, el principal elemento de los accidentes en la ciudad son las imprudencias cometidas por los infractores (Serrano, Mónica. 2018).

Para el Sistema de Seguridad Vial, existen diversos factores como la imprudencia y el estrés a la hora de conducir (Cifuentes, Paola. 2019); analizando el contexto Paola Cifuentes afirma que los retardos del flujo de tráfico exigen un análisis de sus condiciones de control semafórico para optimizar el flujo de saturación. Según el Observatorio Nacional de Seguridad Vial en lo corrido del año 2019 en Neiva los actores de accidentes ocurridos en ese año se representan:

Tabla 5. Actores viales lesionados de accidentes Neiva

| Condición | 2019 | Factor Total |
|----------------------|------|--------------|
| Peatón | 42 | 10.55 |
| Usuario en bicicleta | 25 | 6.28 |
| Usuario de moto | 315 | 79.15 |
| Usuario de vehículo | 16 | 4.02 |

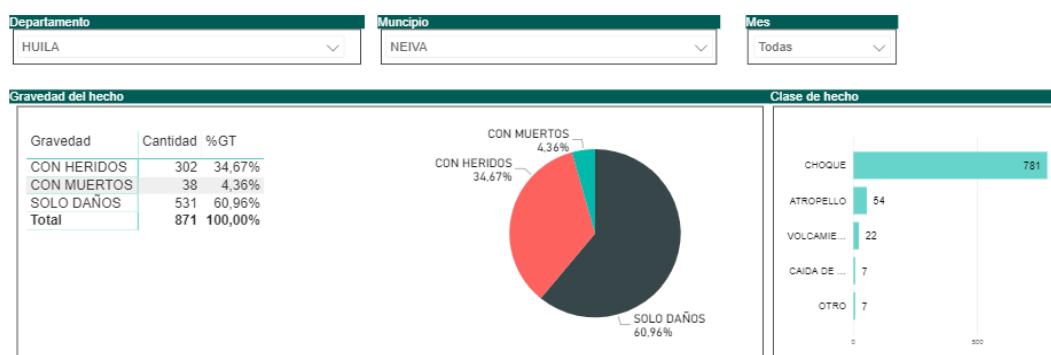
Autor: Observatorio Nacional de Seguridad Vial, Colombia. 2019

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1. ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA

Según un informe presentado por el (Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 2019), en la ciudad de Neiva 871 casos de accidentalidad según la información documentada (ver Figura 5)

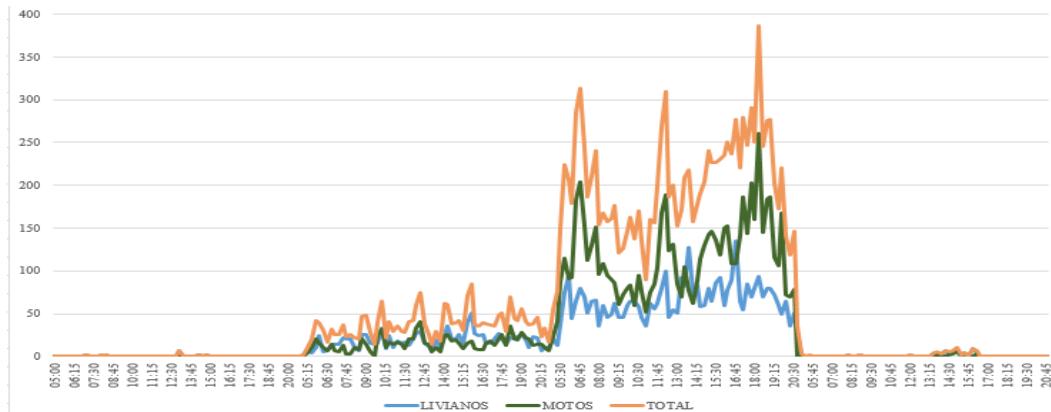
Figura 5. Relación histórica de accidentes en el 2019 para la ciudad de Neiva



Autor: Observatorio Nacional de Seguridad vial, Colombia. 2019 [en línea]

Por su parte, la Secretaría de Movilidad de Neiva, realizo un estudio de campo durante el año 2018 en diferentes cruces con semáforos con flujo de saturación controlada; dejando como resultado que la intersección entre la Calle 21 y la Carrera 16 presentaba una deficiente caracterización de su flujo vehicular, particularmente de su flujo de saturación (ver Figura 6).

Figura 6. Flujo de tráfico vehicular del día viernes en el sitio de estudio



Autor: Secretaría de Movilidad, Neiva. 2019

En tal virtud, el presente trabajo se centró en el modelo de intersección planteado, el cual se compone de 3 vías de doble calzada (ver Figura 7).

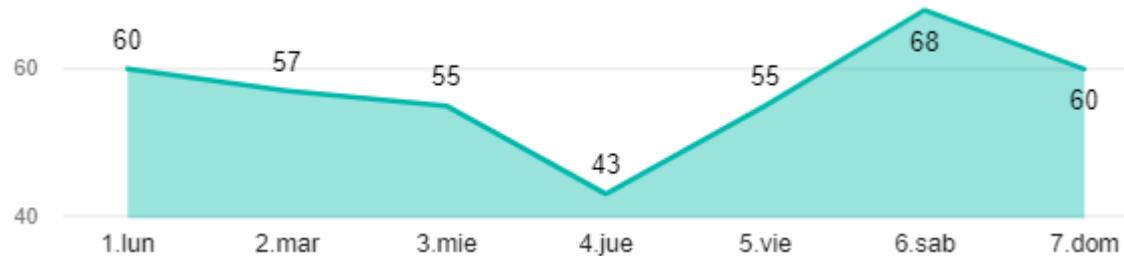
Figura 7. Representación gráfica del área seleccionada de estudio



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Es necesario evidenciar que la congestión del parque vehicular en estudio se asocia con el nivel de accidentalidad (ver Tabla 5), así como con la problemática del flujo de saturación presente en diferentes horarios, por esto se relaciona la accidentalidad respecto al volumen de tránsito vehicular en los días de la semana (ver Figura 8).

Figura 8. Ocurrencia de accidentes semanal 2019

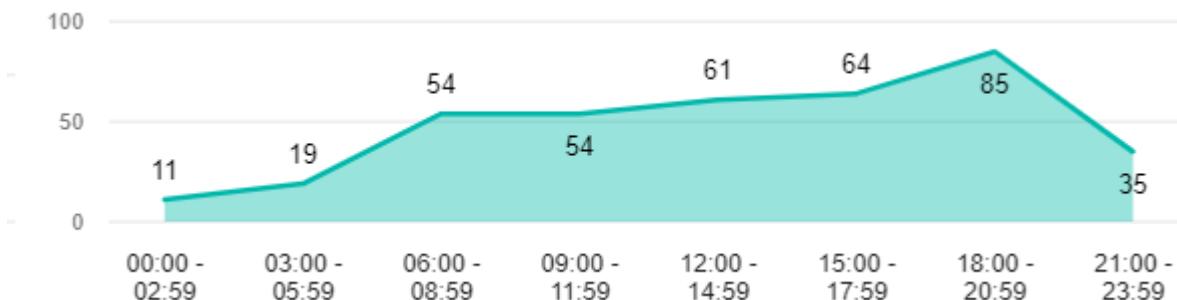


Autor: Observatorio Nacional de Seguridad Vial, Colombia. Informe semestral [en línea]

De hecho, una interpolación del flujo de tráfico vehicular y la ocurrencia de accidentes semanales, permite establecer que la carga de accidentalidad asociada

a motocicletas incide proporcionalmente en los niveles de congestión vial (ver Figura 9).

Figura 9. Ocurrencia de accidentes por franja horaria 2019



Autor: Observatorio Nacional de Seguridad Vial, Colombia. Informe semestral [en línea]

Determinando los días y horas de mayor ocurrencia, se identificó los días y horas de mayor incidencia de tráfico de emergencia. De lo anterior (ver Figura 9) se evidencian aquellos horarios con más accidentes y con ello con mayor demanda de tráfico de emergencia, significativo durante las franjas horarias de 15:00 a 21:00 horas, y con un comportamiento importante y lineal entre las franjas de 12:00 a 18 horas.

Con esto se ratifica que el efecto de cuello de botella para el flujo de tránsito persiste con el actual control semafórico implementado en el sitio de estudio; a su vez, es evidente que la tasa de accidentalidad tiene la tendencia asociada al tráfico de emergencia para la atención de estos accidentes, se concluye que existe una relación directa entre la incidencia de tráfico de emergencia con el flujo de saturación en las horas de mayor congestión vehicular; lo cual afecta la atención perentoria de las situaciones vitales y, a su vez, el normal tránsito vehicular.

3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL

Para promover soluciones en el ámbito de la movilidad se deben caracterizar mecanismos eficientes con la capacidad de obtener datos relevantes del tráfico vehicular. Para la caracterización de las vías del presente caso, se promueve usando el estándar norteamericano, contemplando su alcance y reglamentación según definido por el HCM.

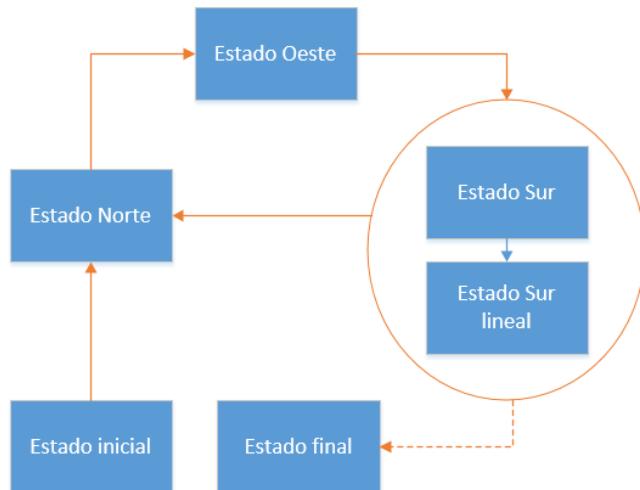
Se considera como optimización de tráfico vehicular, a aquellos conceptos de ingeniería que promueven, a través del mejoramiento de infraestructura, nuevas tecnologías para el manejo de tránsito vehicular como el estudio y aplicación de semáforos inteligentes y centrales de tráfico.

Las diferentes alternativas automatizadas incluyen el diseño de controladores de tráfico y análisis de variables realizados por hardware, así como su compatibilidad con sistemas avanzados basados en las nuevas técnicas de reconocimiento embebido.

Atendiendo los problemas asociados durante el ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA a la movilidad vehicular para tránsito de emergencia, se asociaron las tendencias al lugar de estudio la intersección de la calle 21 con carrera 16 (ver Figura 7).

La infraestructura de control de tráfico (Noticias al sur, 2015) actualmente implementado en la intersección de estudio se basa en una jerarquía de estados que fueron estudiados en campo a través de visitas organizadas en diferentes horarios, donde se identificó que el sistema modifica variables de tiempo según coordinación del centro de control implementado a través del OMNIA, sin embargo estos cambios no satisfacen los requerimientos cambiantes del tráfico vehicular en la zona.²²

Figura 10. Etapas del sistema semafórico implementado en sitio de estudio

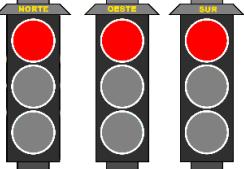
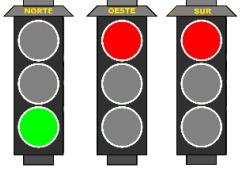
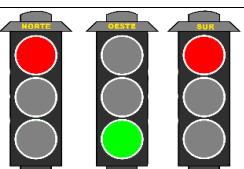
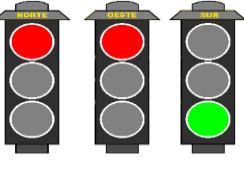
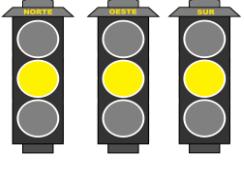


Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Como resultado de un análisis en el sitio de estudio se identificaron las etapas configuradas en el punto semafórico (ver Figura 10), las cuales ilustran las prioridades de tiempo en los semáforos según la siguiente secuencia:

²² Swarco Traffic Ltd., 2019

Tabla 6. Descripción visual de secuencia para semáforos en sitio

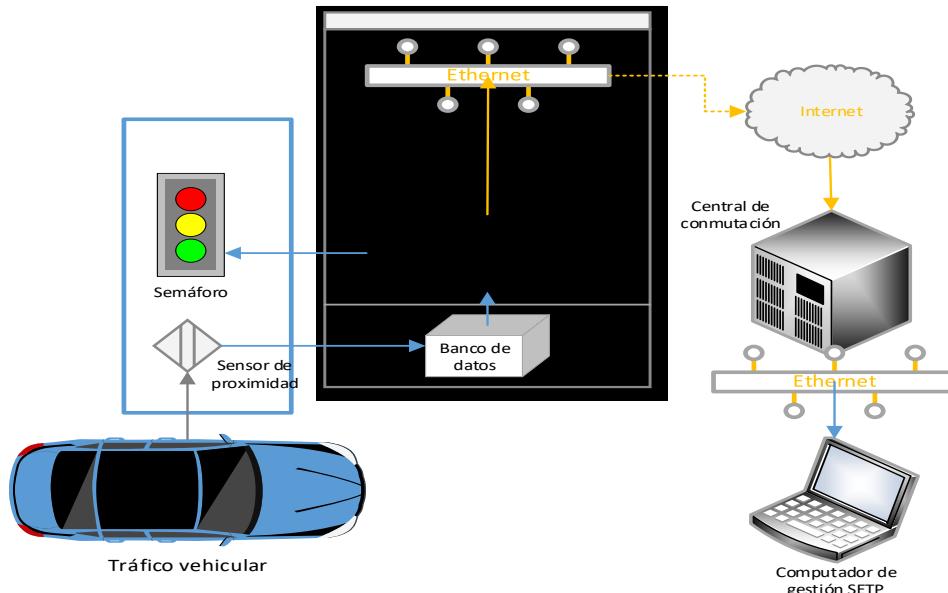
| Configuración Luminaria | Nombre |
|---|---|
|  | Estado Inicial: Es el ciclo inicial de todo el sistema semafórico, siempre se inicia con este estado. |
|  | Estado Norte: Ciclo de carril norte, permite el acceso a la intersección del tráfico que proviene del norte |
|  | Estado Oeste: Ciclo de carril oeste, permite el acceso a la intersección del tráfico que proviene del oeste |
|  | Estado Sur: Ciclo de carril sur, permite el acceso a la intersección del tráfico que proviene del sur. |
|  | Estado Final: Luminarias intermitentes que indican ciclo sin finalizar, funcionamiento fuera de horario programado, perdida comunicación. |

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Se propone que tecnología manipule las fases a implementar mejorando los tiempos de reacción actuales y así, satisfacer las necesidades en materia de movilidad vehicular, debido a que los sistemas actuales son de difícil mantenimiento y la gran mayoría de cámaras web o sensores asociados al sistema no funcionan con integridad.

El sistema semafórico en estudio, posee además la capacidad de comunicarse y atender la programación desde un centro de control, pero se evidencia un funcionamiento limitado de forma local (ver Figura 11).

Figura 11: Esquema del sistema actual del controlador de tráfico



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Por esta razón; se estudia el flujo del tráfico en cada una de las vías de acceso a la intersección, teniendo en cuenta las troncales.

En este espacio, se realiza la medición de volumen de tránsito vehicular y se calculan flujos de saturación, además se considera la información recopilada por la central de movilidad del SETP en Neiva. Se estudia la intensidad del flujo de saturación y mediante esto, se establecen los mejores parámetros de tiempo adecuados según la demanda de tráfico relacionada con la muestra (Sanchez Francesconi, 2011, pág. 15), se calcula el flujo de saturación como se muestra a continuación:

$$S' = \frac{3600}{H} = \frac{60}{H'}$$

Donde:

- S': Intensidad de saturación en pcu/h/carril
- H : Intervalo de saturación en segundos
- H': Intervalo de saturación en minutos
- 3600: Número de segundo por hora

Después con el conteo de vehículos se obtiene el factor de ajuste de la utilización de la vía:

$$F_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1}N}$$

Donde:

F_{LU} : Intensidad de saturación en pcu/h/carril
 V_g : Porcentaje de flujo de demanda sin ajustar para el grupo de carriles (veh/h)
 V_{g1} : Porcentaje de flujo de demanda sin ajustar en un solo carril, con el volumen más alto en el carril estimado por hora
 N : Número de carriles en el grupo de carriles, para el caso es 1

Aplicando estos términos para la medición del tráfico según las muestras dadas desde las 5:00 horas hasta las 21:00 horas, en espacios de muestras de 15 minutos de los días jueves y viernes, que son los que mayor volumen de tráfico presentan, se obtienen los tiempos que deberían configurarse en los semáforos para cada intervalo según la demanda de tráfico. Con esto se determinaron los siguientes resultados:

Tabla 7. Esquema de tabla con datos aleatorios para cálculos de tiempo en luz roja

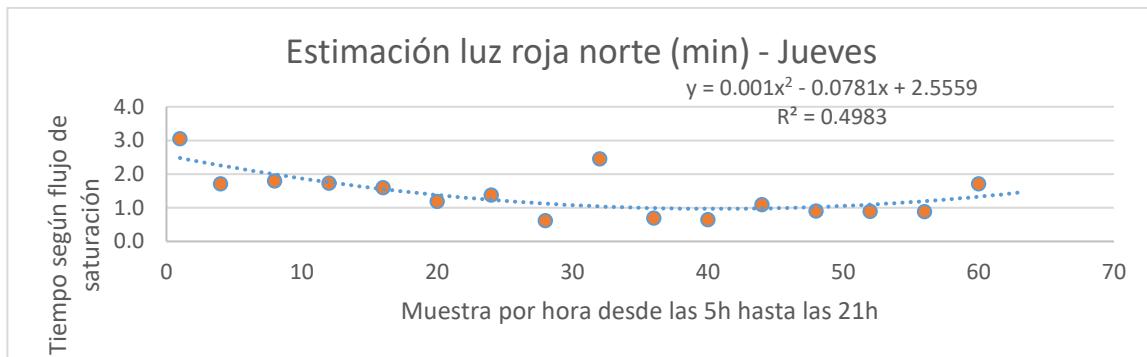
| Variable | Unidad de tiempo muestreada | Conteo de tráfico | Relación por muestra | Total | Relación totalizada | Tiempo luz roja | Tiempo luz roja |
|------------|---|-------------------|--|-------|--|-----------------|-----------------|
| Definición | $\frac{\text{muestra}}{\text{minutos}}$ | $U(t)$ | $\frac{\text{tráfico}}{\text{tráfico}_{\max}}$ | pcu | $\frac{\text{total}}{\text{total}_{\max}}$ | (seg.) | (min.) |
| Muestra 1 | 00:00 | 25 | 0.29 | 115 | 0.504 | 118.9565 | 1.736 |
| Muestra 2 | 00:15 | 22 | 0.26 | | | | |

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Con ello se definen gráficas según 64 muestras definidas por los días y los carriles; para algunos casos se aprecia la estimación de la variación del tráfico. Este es un proceso fundamental para un correcto funcionamiento del control de flujo vehicular; como se evidencia, algunos cambios de tráfico son imperceptibles bajo un estudio lineal ya que existe dispersión en algunas de las muestras para el sistema incorporado en la ciudad de Neiva, estas se consideran condiciones inusuales

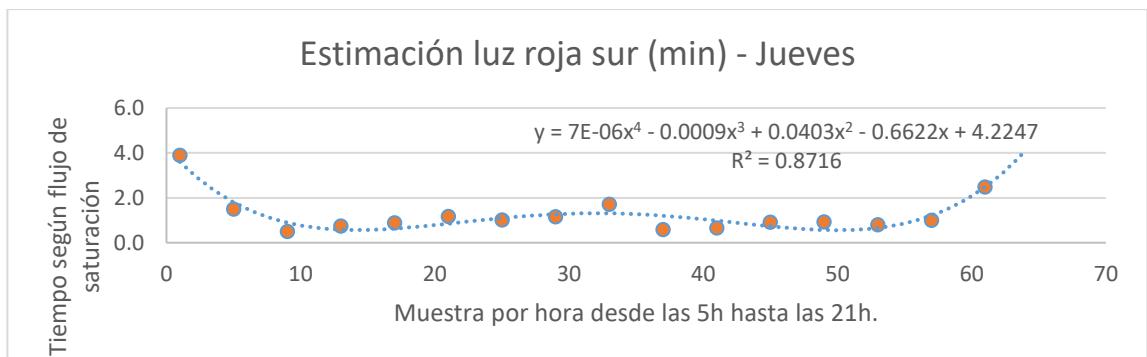
imprevistas, así como la afectación del tránsito generado para atención de emergencias.

Figura 12. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Norte – jueves



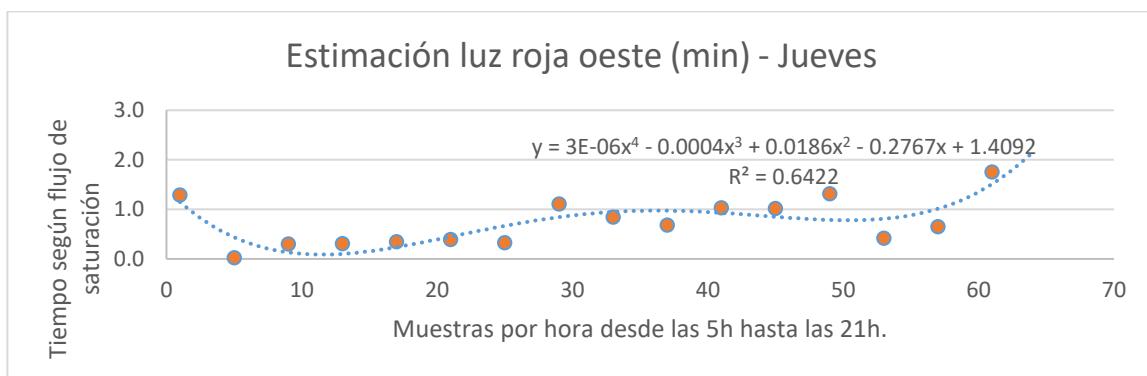
Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Figura 13. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Sur – jueves

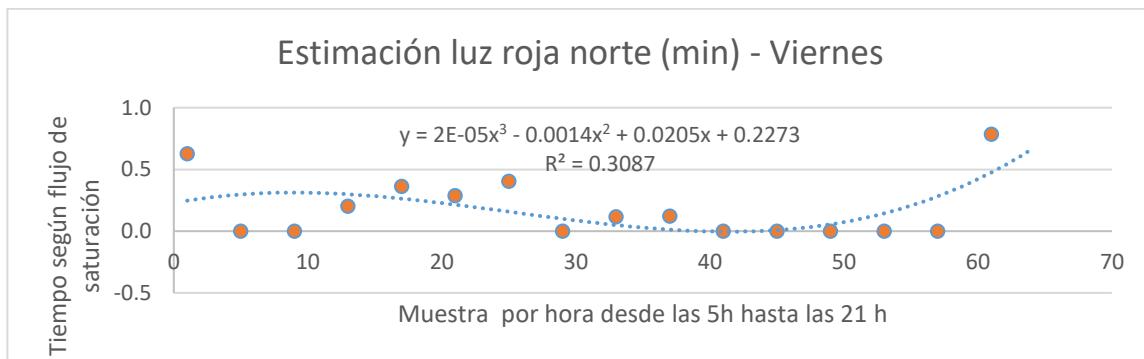


Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

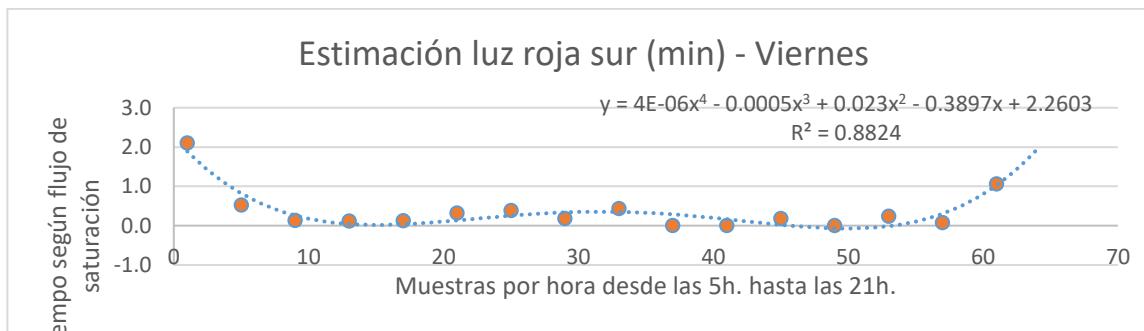
Figura 14. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Oeste – jueves



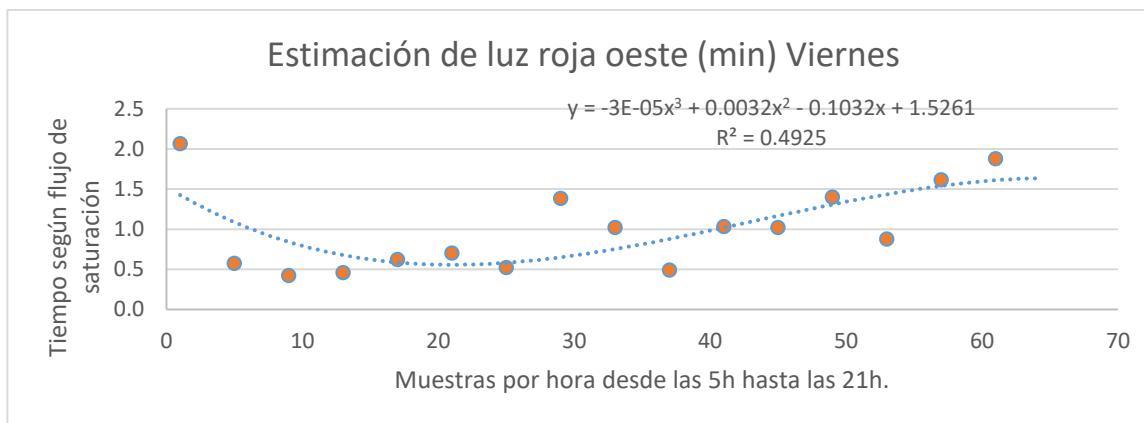
Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Figura 15. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Norte – viernes

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Figura 16. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Sur – viernes

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

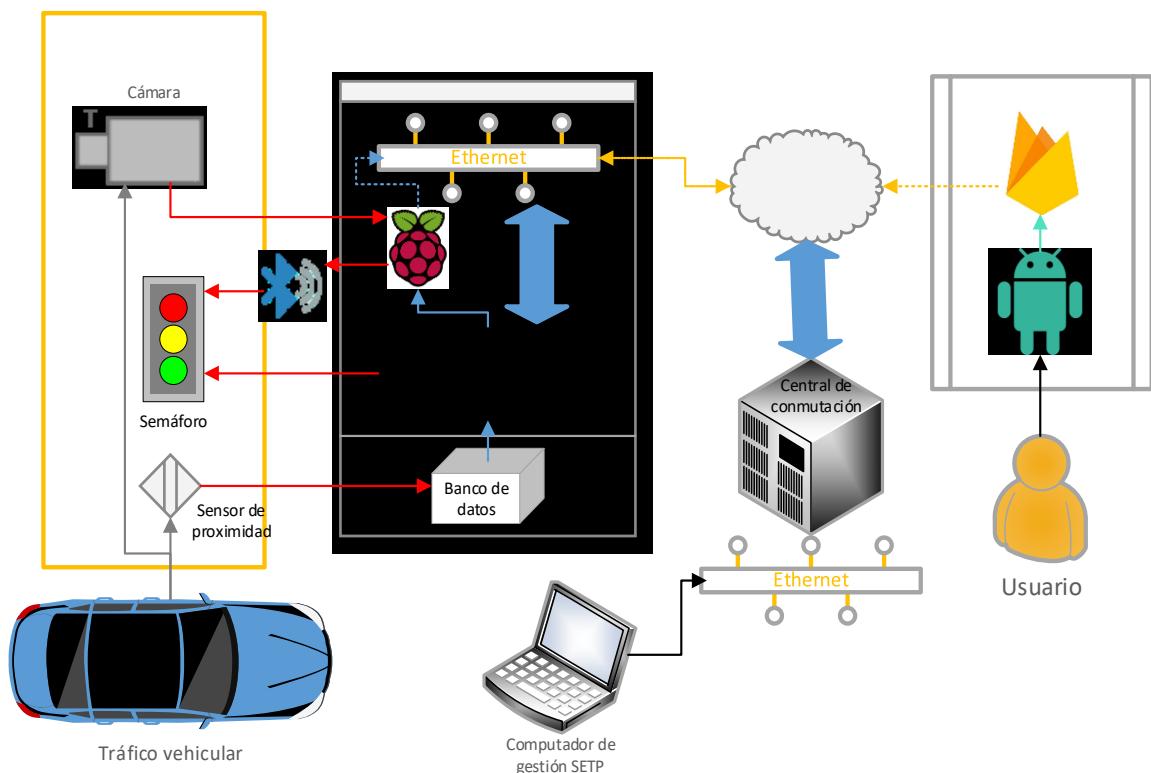
Figura 17. Gráfica de estimación de tiempo luz roja, Oeste – viernes

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

Se determina que para ajustar las nuevas tecnologías a las actualmente provistas (mostrada en la Figura 11), se debe realizar el reconocimiento de los vehículos y tomar medidas que promuevan el tráfico de vehículos de emergencia bajo el desarrollo de las soluciones planteadas con una nueva tecnología (ver Figura 18).

Figura 18. Esquema general de componentes propuesto para el sistema de tráfico.



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

4.1. LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS

Para el diseño del sistema de controlador de tráfico se reconocen las principales funciones que debe poseer el sistema, se eligieron funciones para el procesamiento de imágenes enfocadas la detección de tráfico. Aprovechando esta infraestructura, se propone adiciones al sistema que implementan una visualización del tráfico y permite la comunicación de control semafórico.

Para abarcar en totalidad con las funcionalidades del sistema propuesto, se diseña en diferentes enfoques para los bloques funcionales implementados. Por ello se consideran los siguientes requerimientos funcionales para la aplicación en el semáforo (ver Tabla 8) y los usuarios (ver Tabla 9); que se componen a continuación:

Tabla 8. Requerimientos funcionales del sistema para control de tráfico vehicular

| ID | Nombre | Especificación Requerimiento Sistema | Prioridad |
|------|-----------------------------|---|-----------|
| RF0 | Lectura de tráfico | Módulo detector de tráfico | Alta |
| RF05 | Lectura salidas de semáforo | Módulo para reconocimiento de estado en los semáforos | Media |
| RF06 | Visualización | Módulo para visualización del tráfico | Alta |
| RF07 | Almacenamiento de datos | Módulo para escritura de información local | Alta |
| RF08 | Transmisión de datos | Módulo para escritura de información en la nube | Alta |
| RF09 | Transmisión de usuario | Módulo para leer la información del usuario | Media |

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Las señales consideradas desde el controlador de tráfico hacia el semáforo y sus sensores se consideran de transmisión digital como referente a la tecnología actualmente implementada.

Tabla 9. Requerimientos funcionales del sistema para usuarios

| ID | Nombre | Especificación Requerimiento Sistema | Prioridad |
|------|----------------------|---|-----------|
| RF01 | Gestión de usuario | Clase para validación de usuarios y permitir el acceso a la intranet del sistema. | Alta |
| RF02 | Gestión de ubicación | Clase para lectura de coordenadas UTC | Alta |
| RF03 | Gestión de datos | Clase para la lectura de los datos suministrados por el usuario | Alta |

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

4.2. FUNCIONALIDAD

Como se deja evidencia según las presentes tablas se necesitan diferentes roles de interacción con el sistema para usuarios o servicios, por ello se establece diferente jerarquía para la configuración de variables; se considera fundamental definir debido a la visualización vía web del tráfico hace parte de un acceso inicial al sistema y el

acceso al controlador de tráfico se consideró en servicio final para usuarios con la aplicación móvil (ver Tabla 10).

Tabla 10. Evaluación de servicios del controlador de tráfico con Raspberry

| Servicio | Entidad de ejecución | Tipo de Interacción | Tiempo de evaluación |
|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Medición de tránsito vehicular | Sensor de proximidad | Lectura de variable local | Durante el periodo de luz roja |
| | Cámara de vídeo | | Durante el periodo de luz verde |
| Visualización de tráfico | Red local con HTML | | Ejecución programada |
| Escritura de datos | Python Write Files | | Ejecución programada |
| Transmisión de usuario | Sistema Android | | Ejecución espontanea |
| Lectura salidas de semáforo | Controlador de tráfico | Lectura de variable heredada | Estado perpetuo |
| Procesamiento de imágenes | Filtrado OpenCV con MOG ₂ | | Ejecución programada |
| Transmisión de datos | Pyrebase | | Ejecución programada |

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Adicionalmente, estos servicios actúan con criterios de funcionamiento y cumpliendo funciones propias (ver Figura 18), que aportan nuevos elementos comparados con el sistema inicial.

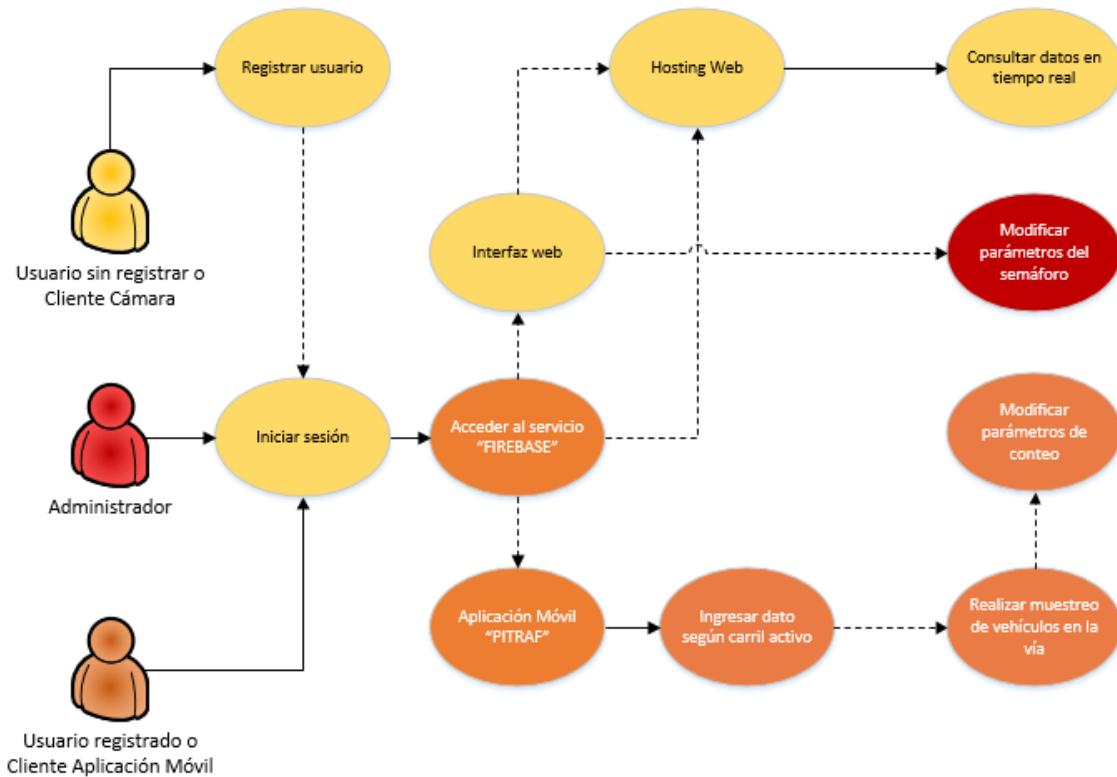
Tabla 11. Descripción de elementos

| Elemento de referencia | Lenguaje de programación | Elemento de hardware | Referencia comercial o de desarrollo | Descripción |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--|
| Procesamiento de imágenes | Python | Cámara Raspberry | OpenCV | Es un desarrollo para la solución de parametrizar el tráfico vehicular y el procesamiento para posterior visualización web |
| Base de datos | | | Google Firebase | Es un servicio de base de datos no relacional, con limitación de servicio gratuito |
| Entorno usuario | Java | Smartphone | Aplicación Android | Es una propuesta presentada a los usuarios. |
| Comunicación serial | C++/Java | Xbee Bluetooth | HC-06 | Es la tecnología de transmisión usada para el envío de instrucciones de control |
| | C++/Java | Sensor de ultrasonido | HC-SR04 | Emula la presencia inmediata del flujo normal del tráfico |
| | C++/Java | Sensor de temperatura | DHT-22 | Medición para condiciones de temperatura óptimas de funcionamiento |

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

A continuación, se describen los elementos que permiten la interacción de acuerdo a los servicios que se deben satisfacer según el desarrollo planteado en la arquitectura del sistema, los cuales tienen funciones correspondientes (ver Tabla 11) para la visión del tránsito vehicular y la activación del controlador definidos como servicios y usuarios:

Figura 19. Casos de uso para usuarios



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

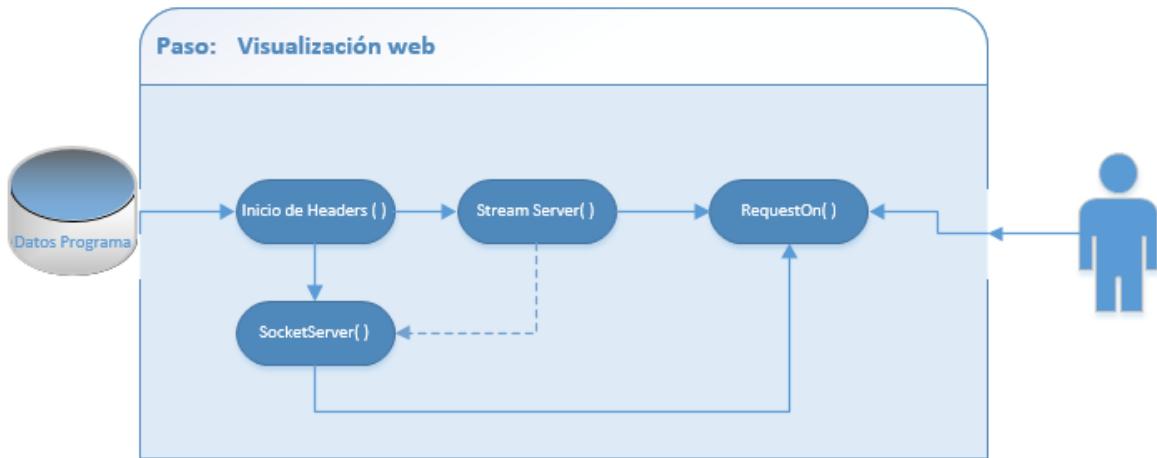
4.3. DESARROLLO SERVICIOS WEB

Durante el desarrollo del diseño se consideraron las condiciones de funcionamiento embebido sin intervención, lo cual considera un servicio de visualización de la cámara, donde finalmente se ofrece por medio de visualización Web que se compone de elementos programados para la transmisión de datos (ver Figura 20).

Además de esto se usan elementos que comprenden la ejecución por medio de los servicios usando la Interfaz Serial para Cámara (abreviado CSI²³), aprovechando las ventajas de comunicación (como el protocolo SMP²⁴) para la gestión remota, Bluetooth y Firebase para la transmisión de datos, apoyando su funcionamiento con la arquitectura de la placa Raspberry según información recopilada.

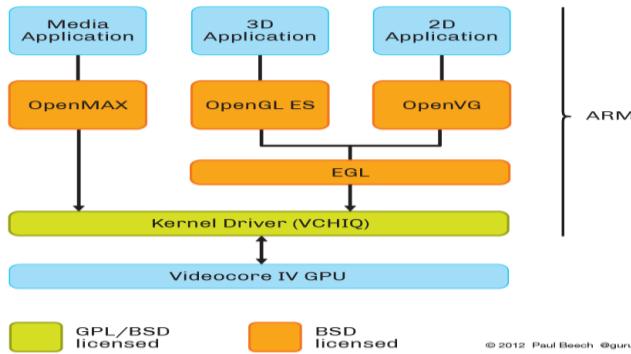
²³ WIKIPEDIA, Definición CSI [sitio web] ; consultado Agosto 2019

²⁴ WIKIPEDIA, Definición SMP [sitio web] ; consultado Agosto 2019

Figura 20. Visualización web

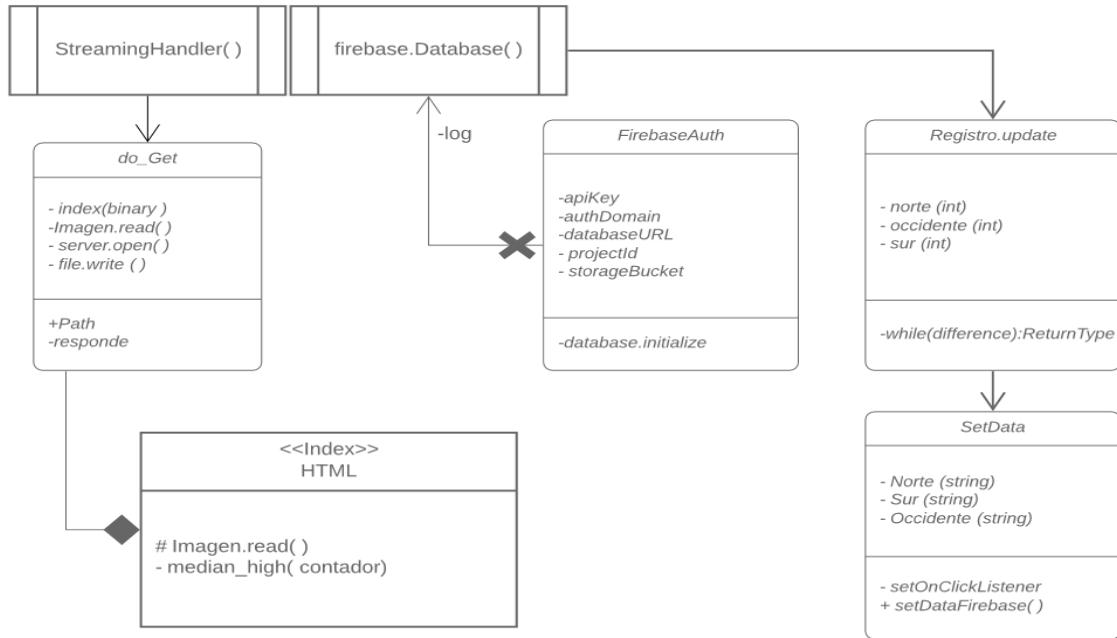
Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Para el conteo de tráfico, desarrollado por medio de la arquitectura Raspberry, el procesador de datos emplea funcionalidades de visión artificial, lo cual permite la transmisión y ejecución de datos adquiridos según el tráfico vehicular.

Figura 21. Arquitectura Raspberry para procesamiento de imágenes

Autor: GENBETA, La GPU de Raspberry ya es código abierto [sitio web] consultado Agosto 2019

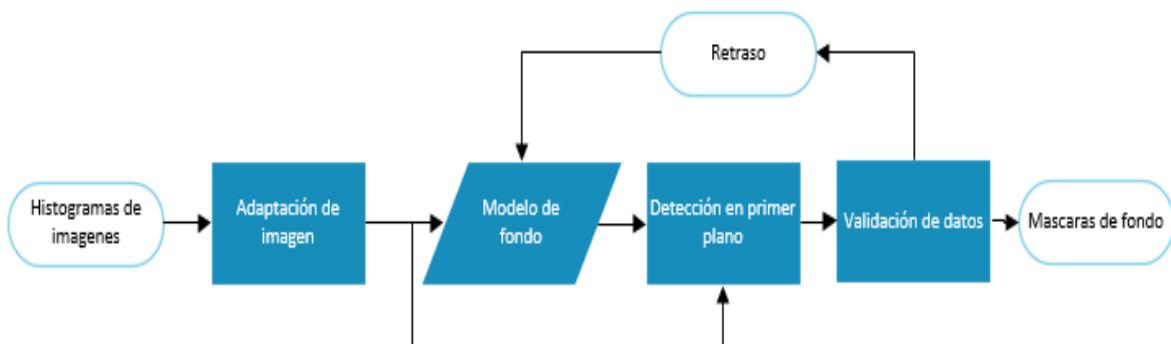
Por medio del uso de los datos obtenidos de flujo vehicular, estos son almacenados formando un registro en la base de datos del servicio Firebase. Se considera esta solución ya que se ajusta a las condiciones de usuarios, por lo cual la cantidad final estará determinada al máximo de ambulancias que pueden atender emergencias y/o carros de bomberos, determinando las clases funcionales para la configuración de parámetros (ver Figura 22)

Figura 22. Diagrama de clases RASPBERRY

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

4.3.1. Caracterización con OpenCV

Para permitir la visualización web se establecen algunos parámetros para el manejo de imagen, estableciendo en primera medida la matriz de histogramas para adquirir según las condiciones de luz que puedan existir en el medio de las vías analizadas sin congestión de tráfico (ver Figura 23).

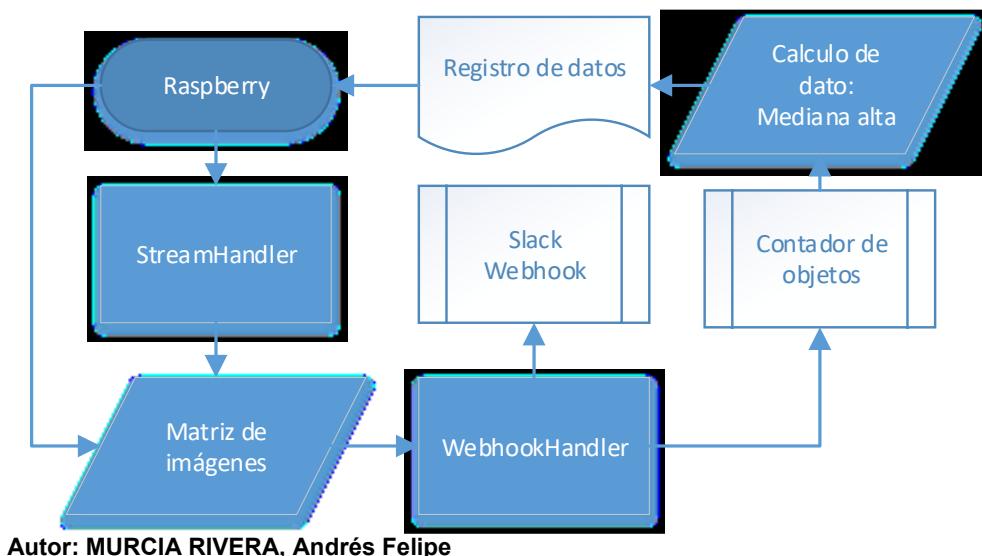
Figura 23. Definición de parámetros para histogramas de imagen

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

4.3.2. Comunicación de datos HTTP

Por medio de la unidad “RAPSBERRY” se acondiciona el conteo del tráfico y usando una cabecera “HTTP” como “HOST” es posible enviar los histogramas analizados en tiempo real visualizando así la identificación de vehículos y conteo de tráfico.

Figura 24. Diagrama de flujo para evaluación HTTP

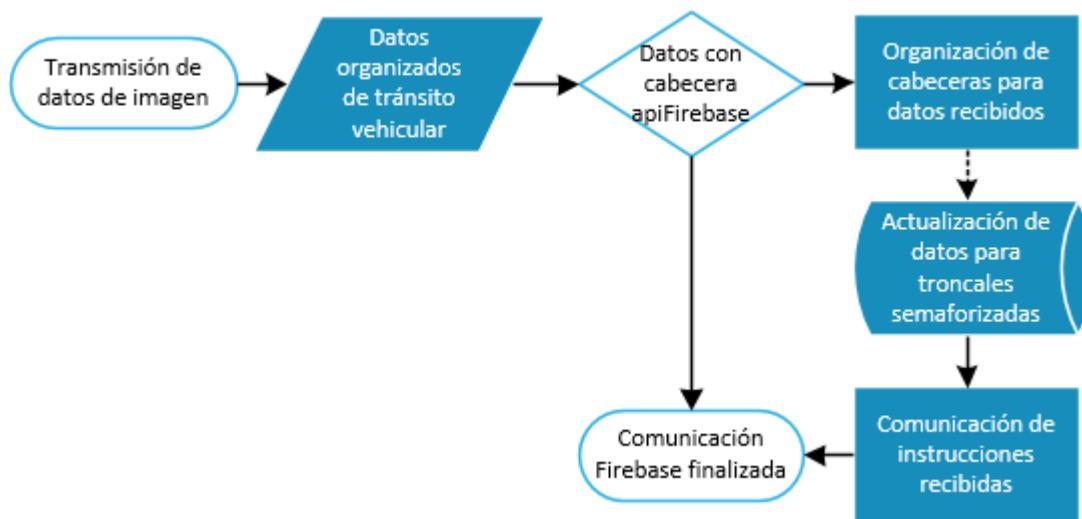


Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

4.3.3. Comunicación de datos Firebase

Los datos suministrados por la cámara son procesados y almacenados por la placa Raspberry por medio de un fichero temporal y luego son transmitidos a Firebase (ver Figura 24).

Mediante los paquetes JSON como estructura de información, se obtiene acceso a una base de datos ofrecida por Firebase; según la estructura implementada (Maidment, 2015) se configuran los parámetros de las aplicaciones que se usan para registrar y obtener la información correspondiente al tráfico vehicular (ver Figura 25).

Figura 25. Configuración de datos Firebase

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

4.3.4. Administración de usuarios en Firebase

Firebase permite la gestión de usuarios que usan la aplicación, ya que facilita el manejo de la información; en este proyecto se planteó la gestión con los siguientes usuarios donde su clave de acceso es un código alfanumérico de ocho caracteres.

Figura 26. Acceso concesión Firebase y Android

La captura de pantalla muestra la interfaz de usuario de la consola de Firebase. En el menú de navegación izquierdo, se seleccionó "Authentication". La sección "Usuarios" es la activa, mostrando una lista de usuarios registrados. Los datos de los usuarios son:

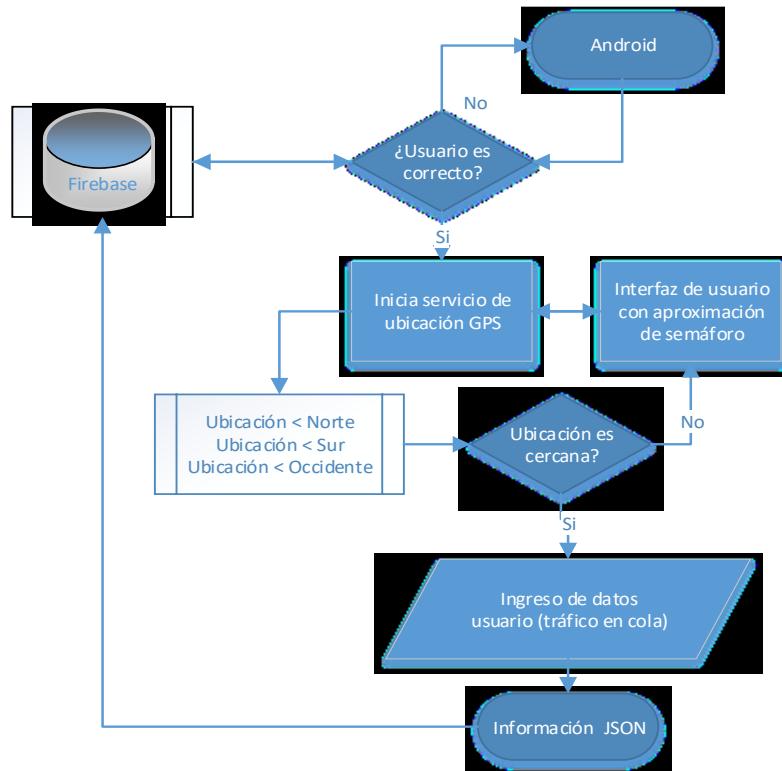
| Identificador | Proveedores | Creado | Accediste a tu cuenta | UID de usuario |
|---------------------------|-------------|-------------|-----------------------|------------------------------|
| martin.bravo@usco.edu.co | ✉ | 2 may. 2019 | | 9vEDmiT2hUMMUvN01TbOnEVoa... |
| diego.sendoya@usco.edu.co | ✉ | 2 may. 2019 | | E1fgn34PK3gLyCgrHdbgxh0bo0l1 |
| u2009179634@usco.edu.co | ✉ | 2 may. 2019 | 13 may. 2019 | PQY8l4xydqcPnYEtqC016QrvH9l1 |
| julian.molina@usco.edu.co | ✉ | 2 may. 2019 | | W5zYLBBSPfVoFYL2U4csz6ZTwN2 |

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

4.3.5. Comunicación de datos con Android

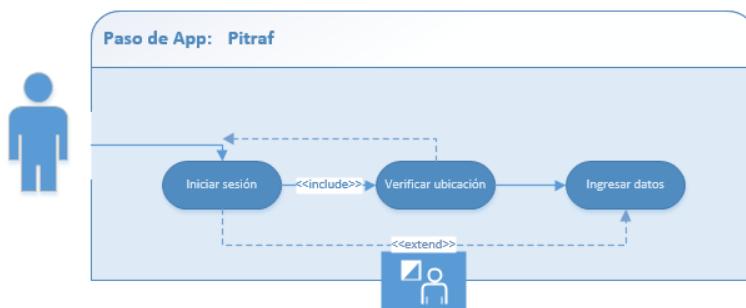
Definiendo el caso de uso que se planteó en la Figura 19, se propone el acceso mediante una aplicación móvil (ver Figura 27), aplicando el caso para uso específico.

Figura 27. Diagrama de flujo para la interfaz Android



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Figura 28. Caso de uso aplicación Android

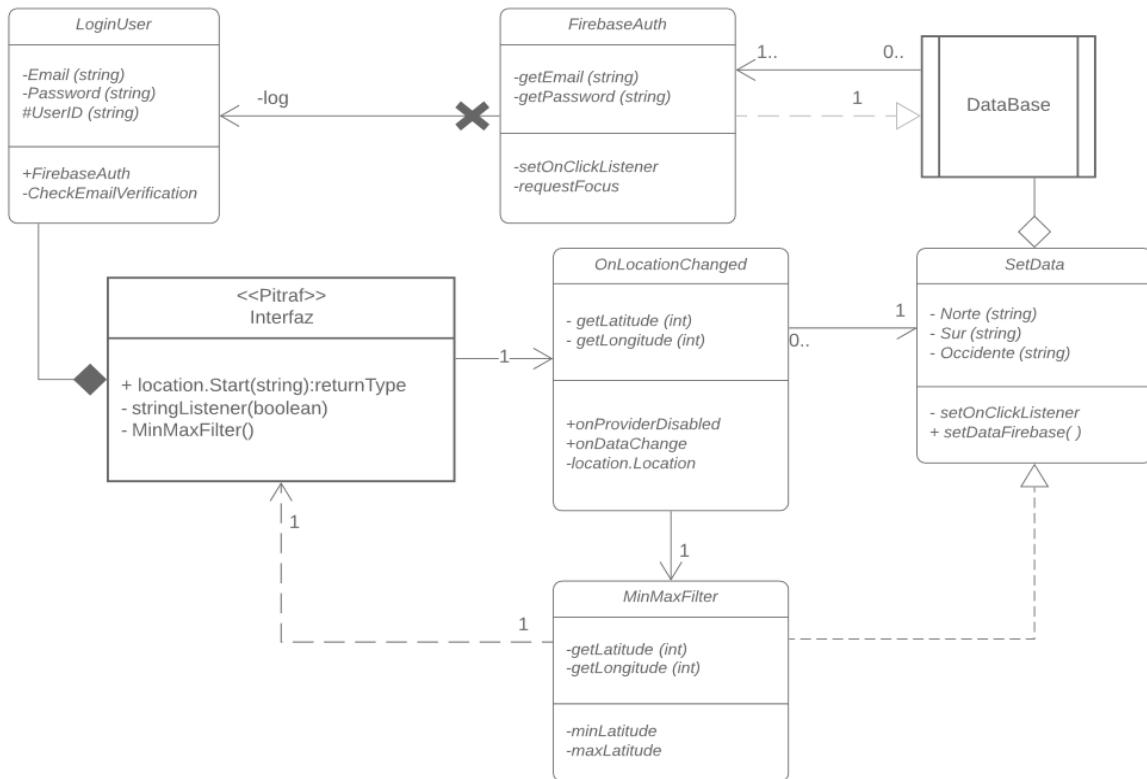


Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Las interfaces en Android se realizan mediante ficheros con etiquetas .xml (ver Figura 29) que definen elementos a los cuales se darán funcionalidades para la validación y posterior transmisión de la información.

Una vez que el usuario se identifica en la interfaz de aplicación (ver Figura 28) obtiene valores que permiten validar la situación geográfica y permite al usuario realizar un reporte de tráfico vehicular.

Figura 29. Diagrama de clases Aplicación móvil



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Tabla 12. Vistas de interfaz para la aplicación móvil

| Interfaz | Descripción de la vistas |
|---|--|
|  | <p>Al ingresar a la aplicación la primer vista que aparece es la siguiente, donde se ingresan los usuarios registrados y almacenados en Firebase</p> |
|  | <p>Cuando se ingresa a la aplicación la vista cambia a una donde se obtiene permisos de ubicación y se establece comunicación con los semáforos</p> |
|  | <p>Una vez esto finalizado según la georeferencia del usuario se le habilita el botón “Enviar” para la posterior activación del semáforo</p> |
|  | <p>En la esquina superior derecha aparece la información de desarrollo y la opción de “Salir” donde se finaliza la sesión.</p> |

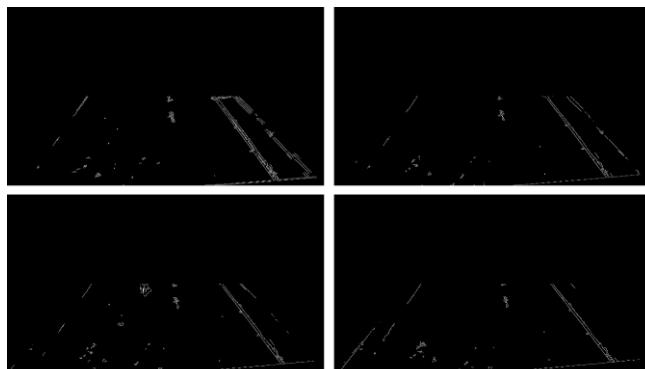
Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

5. FUNCIONAMIENTO

5.1. ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la adquisición de tráfico se realiza una matriz de imágenes alfa que determinan una media patrón para cada histograma en la imagen el cual después de ser obtenido permite definir un fondo de contraste (ver Figura 30).

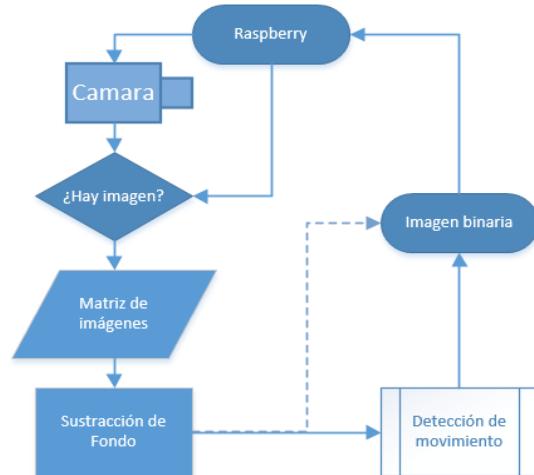
Figura 30. Matriz alfa para sustracción de fondo



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Realizando múltiples pruebas de sincronización y funcionamiento con la cámara para obtener los parámetros de tráfico vehicular en tiempo real según la ubicación de la cámara (ver Figura 31).

Figura 31. Diagrama de flujo para evaluación de histogramas



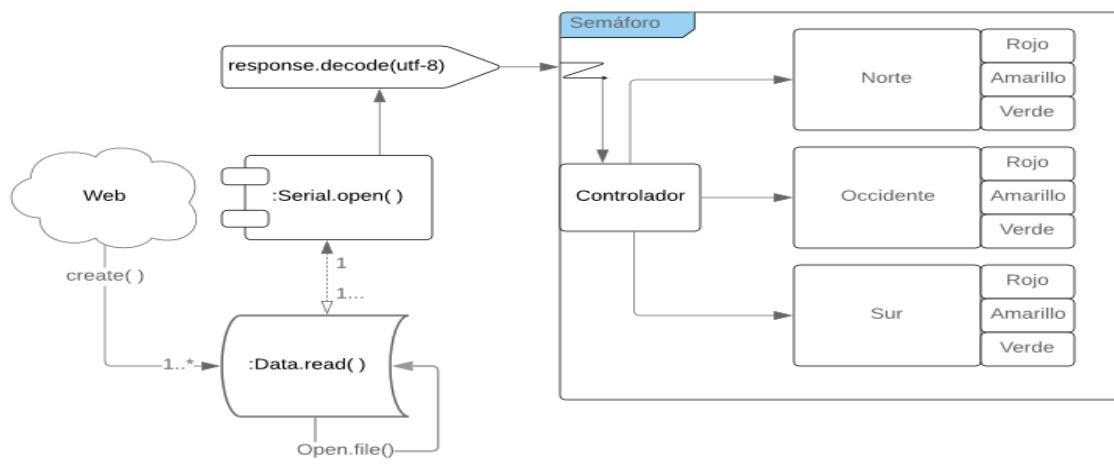
Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Cada parámetro debe ser diferente o muy parecido para la correcta lectura de variables desde la cámara (ver Figura 23) y se configuró siguiendo la clase definida para cumplir su función (ver Figura 22).

5.2. COMUNICACIÓN DE DATOS

Estos elementos componen el funcionamiento para la detección de tráfico vehicular; con la finalidad de dejar un registro de información y este se comunica al controlador del tráfico el cual recibe y ordena la jerarquía del carril a activar.

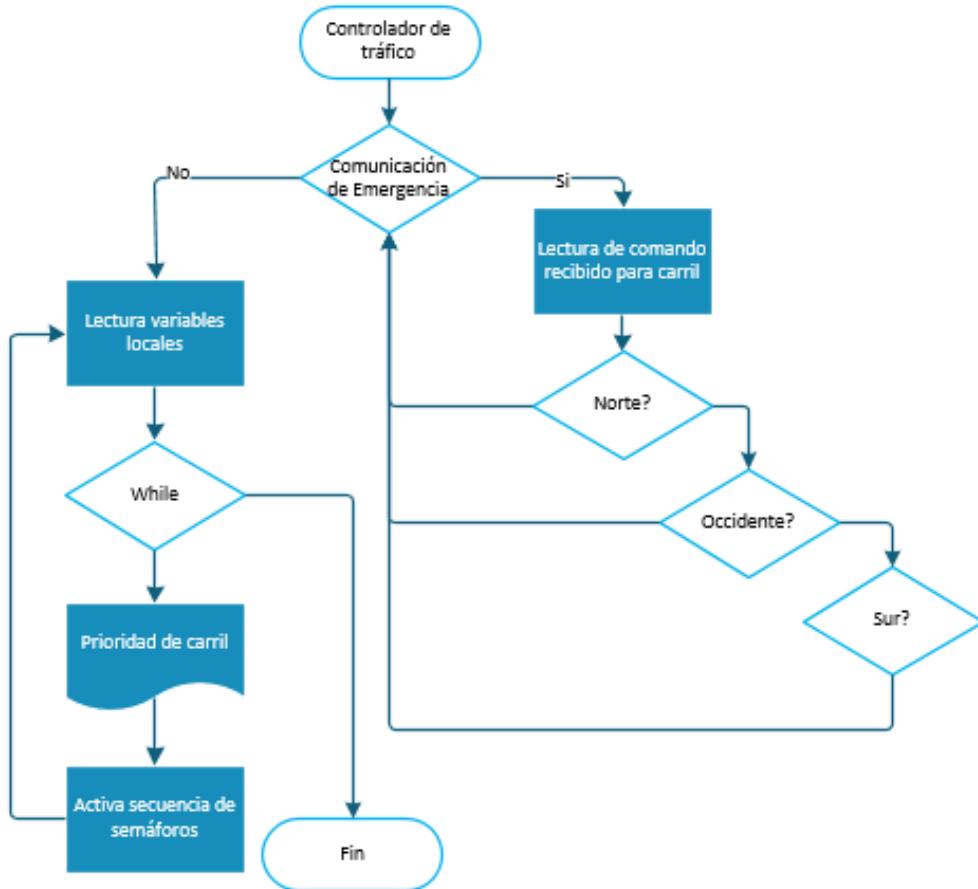
Figura 32. Diagrama de comunicación RAPSBERRY



5.2.1. Parametrización del controlador de tránsito vehicular

Se basa según la jerarquía ofrecida a través de ciclos “IF” anidados para la activación por emergencia y un ciclo “While” para mantener activo según condiciones de temperatura y humedad normales.

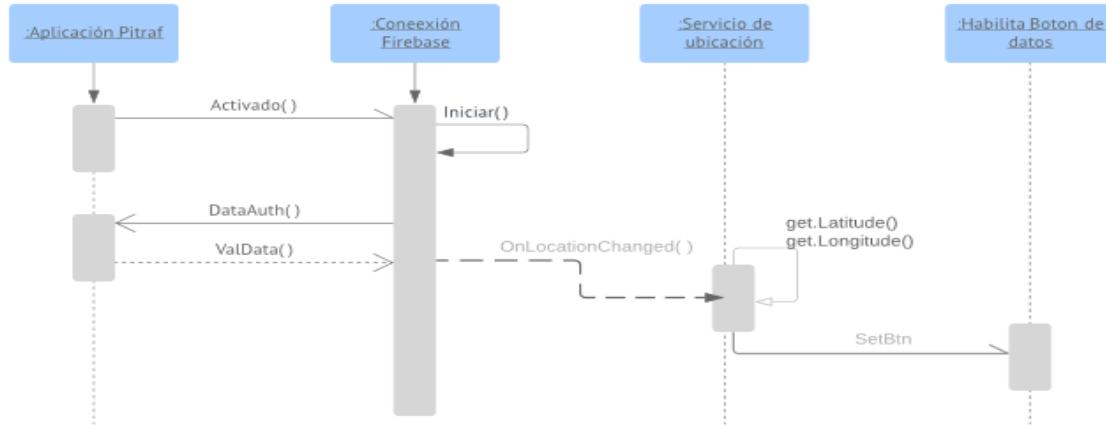
Figura 33. Esquema funcional de controlador de tránsito



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

5.2.2. Secuencia funcional aplicación móvil

La aplicación caracteriza parámetros de la posición del usuario usando coordenadas UTC y triangulando su posición al semáforo más cercano (ver Figura 34).

Figura 34. Diagrama de secuencia aplicación móvil

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

El carril más cercano es señalado una vez se autentica las credenciales en la aplicación móvil y se permite enviar datos según la cercanía no mayor a 300 metros (ver Figura 35).

Figura 35. Interfaz de transmisión de datos para emergencias

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

5.3. CARACTERIZACIÓN Y SIMULACIÓN

De acuerdo a los tiempos de saturación para la luz roja, se pueden implementar diferentes métodos para la solución. Pero se aborda la forma más práctica,

obteniendo una aproximación lineal del tráfico vehicular característicos según horarios y muestras obtenidas a través del estudio realizado (ver DESCRIPCIÓN GENERAL) se destacan los algunos valores (ver Tabla 13).

Tabla 13. Estimación de tráfico vehicular promedio cada 8 horas

| Muestras | Norte | Sur | Oeste |
|----------|-------|-----|-------|
| Jueves | 343 | 249 | 88 |
| Viernes | 355 | 231 | 92 |

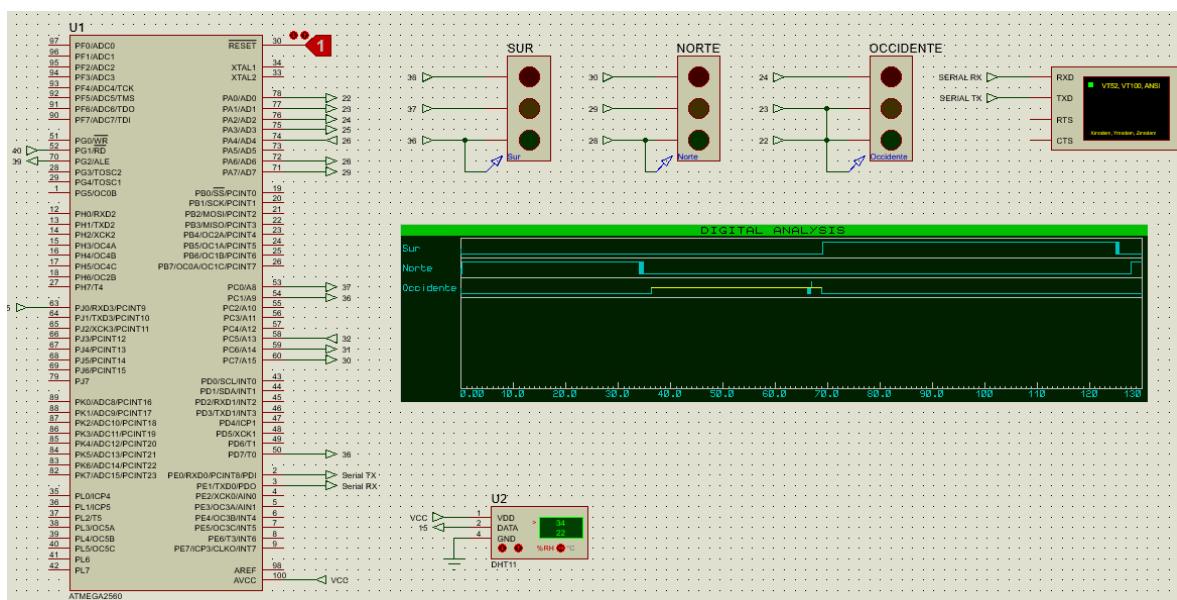
Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Donde se obtiene que la relación más lineal del flujo de saturación, corresponde al carril del Sur. Se elige la relación del jueves por que sus gráficas (ver Figura 12) son de mayor ajuste lineal para la regresión.

5.3.1. Parámetros de simulación

En esta sección se muestran los bloques de ecuaciones que identifican el flujo de tráfico, donde es necesaria una calibración de control de lazo abierto, para la ecuación del carril Occidente, el cual presenta una respuesta con retraso.

Figura 36. Simulación de controladora de tráfico vehicular

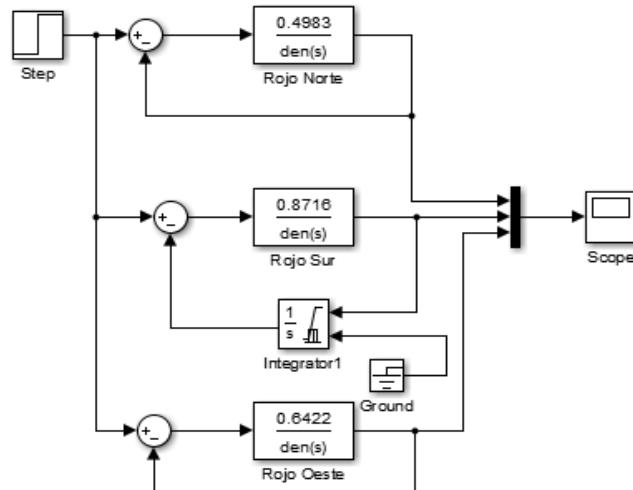


Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Durante la simulación de las ecuaciones para los flujos de saturación, resultaron respuestas de incongruencia matemática para el carril Occidente; por lo cual se

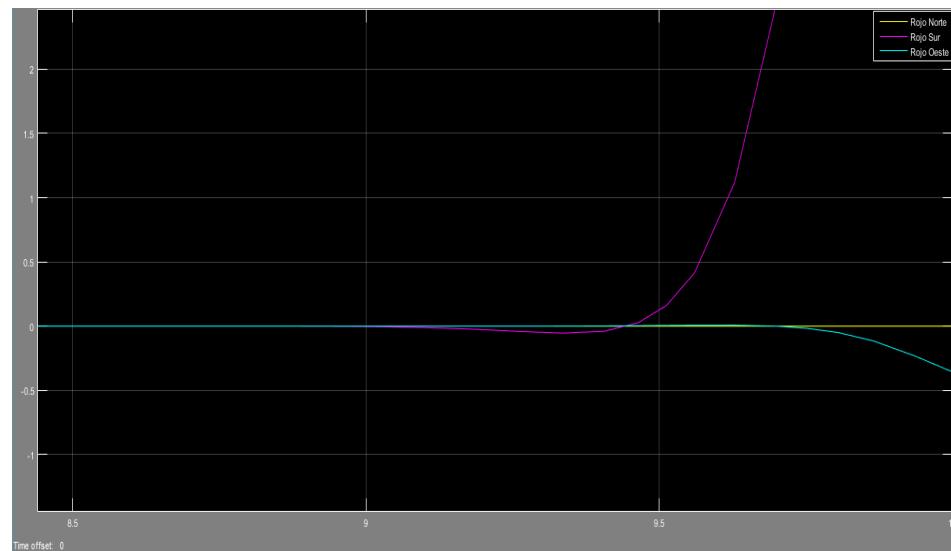
recurre a una respuesta con integrador retroalimentado, y se evidencia una calibración del tiempo.

Figura 37. Bloques de transferencia para los tiempos de saturación



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Figura 38. Respuesta impulso de las funciones de los bloques de transferencia



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

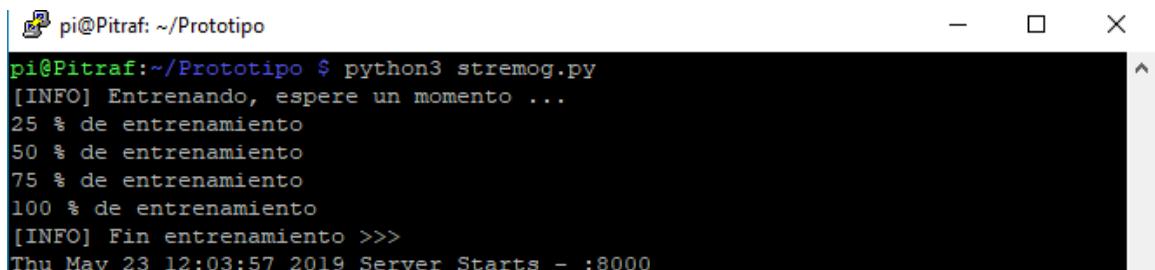
6. RESULTADOS

Los resultados son identificados accediendo a la red local de transmisión desde cualquier explorador Web, mismos que permiten evidenciar los procesos desarrollados sobre la imagen, y que se pueden catalogar como sigue a continuación:

- Lectura de imágenes para sustracción y aprendizaje del fondo: Proceso de entrenamiento de fondo de video, con el fin de poder identificar los objetos que se procesan a través de la imagen.
- Construcción de host-server para la visualización en la red local: Proceso de conexión para inicio de procesamiento de imágenes en tiempo real.

A través del siguiente comando (ver Figura 39) se pueden evidenciar los procesos donde la función realiza muestras de imágenes; el proceso inicia con un escalamiento de imágenes formando una matriz (ver Figura 30).

Figura 39. Prueba de funcionamiento de procesos para la detección de tráfico.



```
pi@Pitraf:~/Prototipo
pi@Pitraf:~/Prototipo $ python3 stremog.py
[INFO] Entrenando, espere un momento ...
25 % de entrenamiento
50 % de entrenamiento
75 % de entrenamiento
100 % de entrenamiento
[INFO] Fin entrenamiento >>>
Thu May 23 12:03:57 2019 Server Starts - :8000
```

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Una vez procesada la información del tráfico, se crea un archivo que contiene un arreglo de datos en forma de lista; con números enteros que son archivados a través de un fichero de texto plano “data.txt” (ver Figura 40).

Figura 40. Exploración de archivos dentro del fichero en “Raspberry”



```
pi@Pitraf:~/Prototipo
pi@Pitraf:~/Prototipo $ ls
1.png    data.txt    pytrraf.py  stremog.py    trafico3.mp4    trafico.mp4
Bocetos  __pycache__  registro  trafico2.mp4  trafico11.mp4
pi@Pitraf:~/Prototipo $
```

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Estos fichero o archivos contienen la información del conteo vehicular con respecto a la lectura dada en ese momento con la cámara (ver Figura 41).

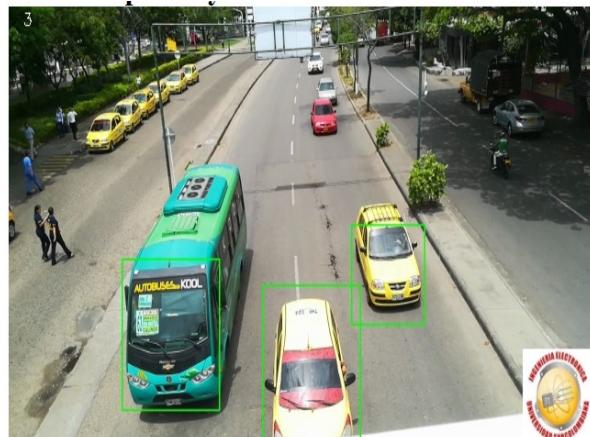
Figura 41. Transmisión conteo de 1 motocicleta



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Con la lectura de este archivo posteriormente se envían instrucciones, usando la interfaz Serial ATMega (véase APÉNDICE 3: CIRCUITOS DE COMUNICACIÓN MODULO BLUTETOOTH) por medio de comunicación Bluetooth que posee la placa Raspberry; en ejecución mientras exista conexión a internet mediante una red local:

Figura 42. Transmisión con conteo de 3 automóviles medianos



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Estos datos de conteo de vehículos, se toman posteriormente en Firebase, el cual también recibe comunicación de la interfaz del cliente con el dispositivo móvil de Android.

6.1. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Para determinar la validación, se evalúa el proceso de medición de tráfico que realiza el prototipo y visualizar a través de la web este cambio de variables.

Cuando se ejecuta una petición del usuario usando la aplicación móvil diseñada para dispositivos Android conocida como “Pitraf”, el proceso de validación consiste en verificar ambos casos; el conteo humano en comparación con el registro de tráfico del prototipo.

La aplicación móvil después de hacer su validación de usuario, solicitará información de la ubicación georreferenciada según la aplicación móvil del usuario para acceder a su ubicación; con el fin de garantizar cercanía al sistema. Según esto podrá ingresar datos cuando la aplicación haya ubicado el semáforo más cercano.

Figura 43. Proceso de validación aplicación móvil



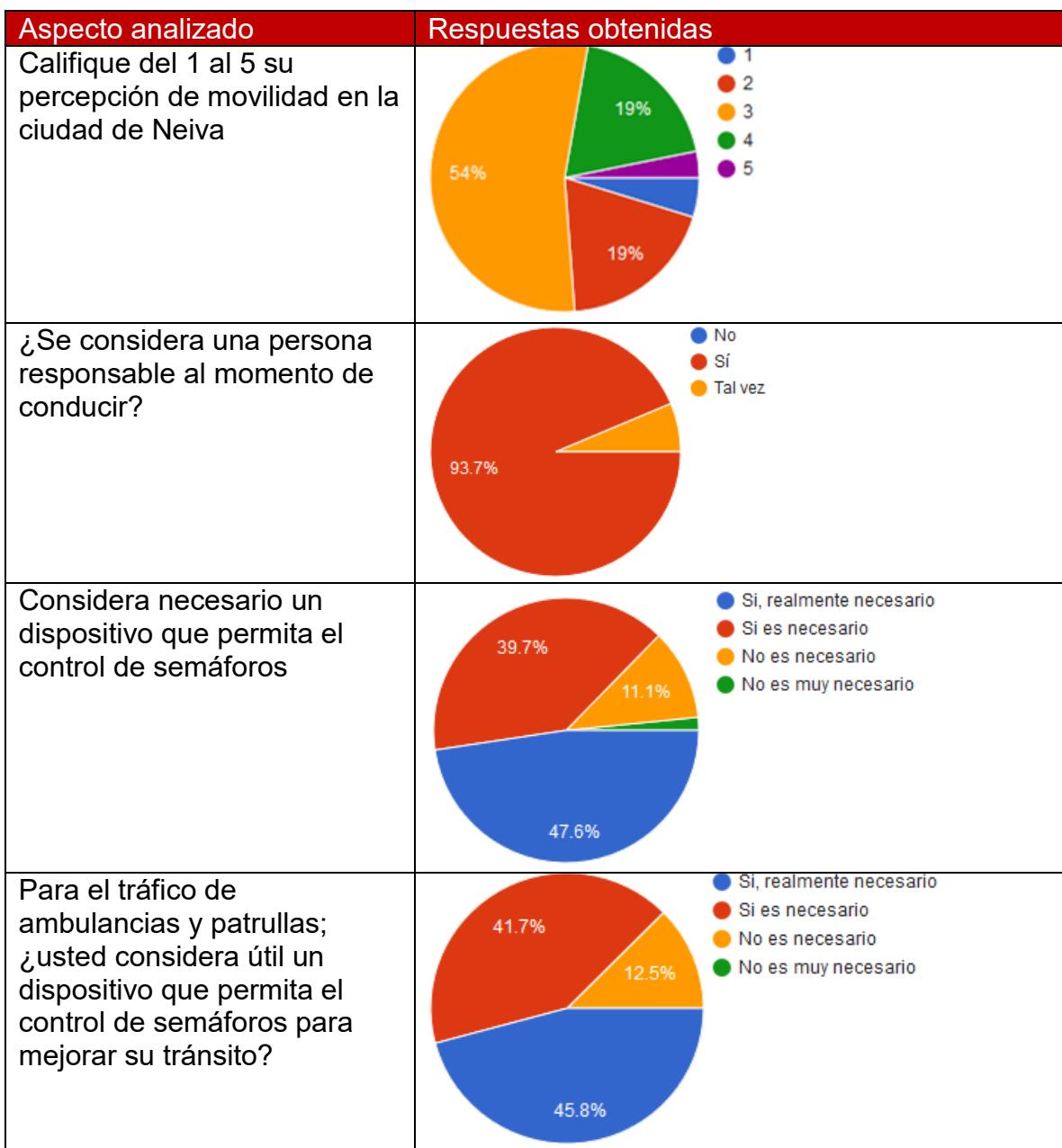
Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Además, se definió una encuesta como proceso de control para la validar los criterios de evaluación como lo es la aceptación de usuarios a través de un formulario que resulta de un grupo considerado de personas para la atención de emergencias.

6.1.1. Encuesta de alcance y aceptación

Se realizó una encuesta sobre 63 usuarios viales en la ciudad de Neiva, comprendida entre el 5 de noviembre y el 25 de diciembre del 2019, para definir la aceptación de varias conclusiones obtenidas del estudio de investigación, la cual incluyó los siguientes cuestionamientos:

Tabla 14. Resultados encuesta de aceptación realizada

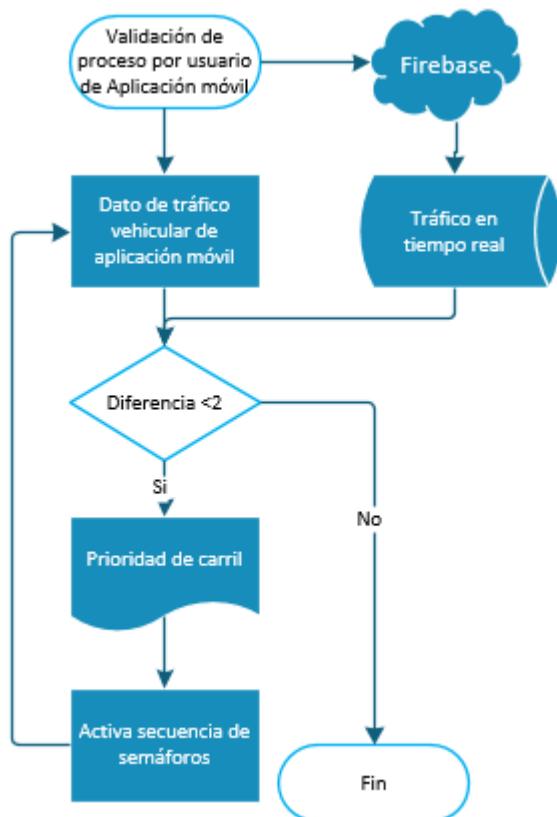


Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

6.1.2. Proceso de georreferencias con Firebase

Para la relación de usuarios con datos de georreferencia se aplica un esquema de base de datos no relacional usando de Firebase, donde los datos almacenados no requieren estructuras fijas como tablas y, habitualmente escalan bien horizontalmente.²⁵

Figura 44. Comparación de error entre los datos

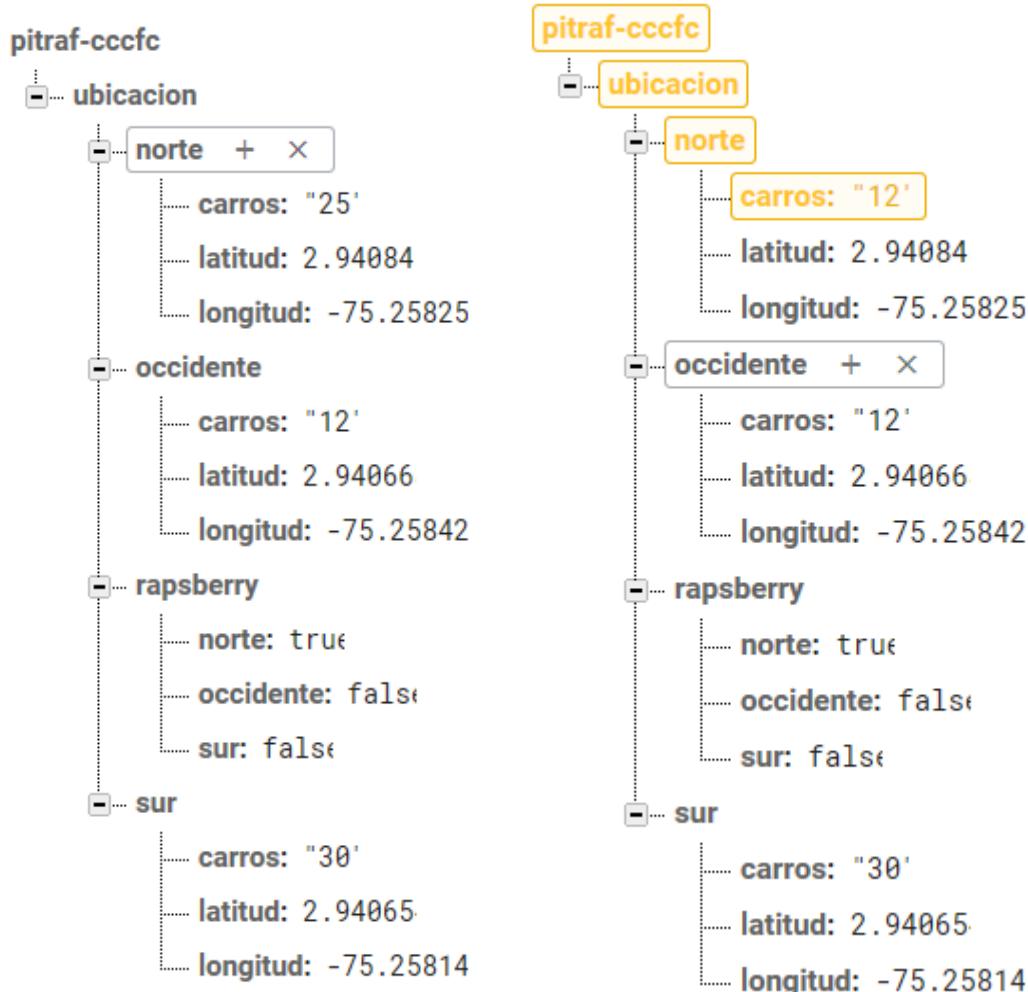


Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Para este caso se compara la variable que corresponde al tráfico vehicular en el carril georreferenciado con la aplicación. Este valor de comparación puede depender del valor de error estimado según la medición del tráfico vehicular.

²⁵ Definición recopilada en (Wikipedia, 2019).

Figura 45. Cambio de datos en carril norte por solicitud de Aplicación “Pitraf”



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Para la activación del controlador de tráfico realizado con la comparación entre los datos del usuario y los datos de conteo de tráfico provistos por la cámara, que después envía un byte de información, recibido por el prototipo a través del módulo “Xbee” ²⁶ y ejecutando la instrucción encendiendo el prototipo del controlador.(imagen flujo del proceso) ²⁷

Para determinar si las instrucciones funcionan correctamente, se implementó en el controlador de semáforos, respuestas a instrucciones numéricas, que a través de

²⁶ Véase APÉNDICE 3: CIRCUITOS DE COMUNICACIÓN MODULO BLUETOOTH

²⁷ Véase APÉNDICE 4: PRESENTACIÓN DE PROTOTIPO PARA CONTROL SEMÁFORICO

un terminal serial de comunicación Bluetooth ejercen funciones como transmisor de variables desde Firebase por la Raspberry.

Por medio de la inducción de valores numéricos permite la activación del semáforo indicado con la siguiente relación:

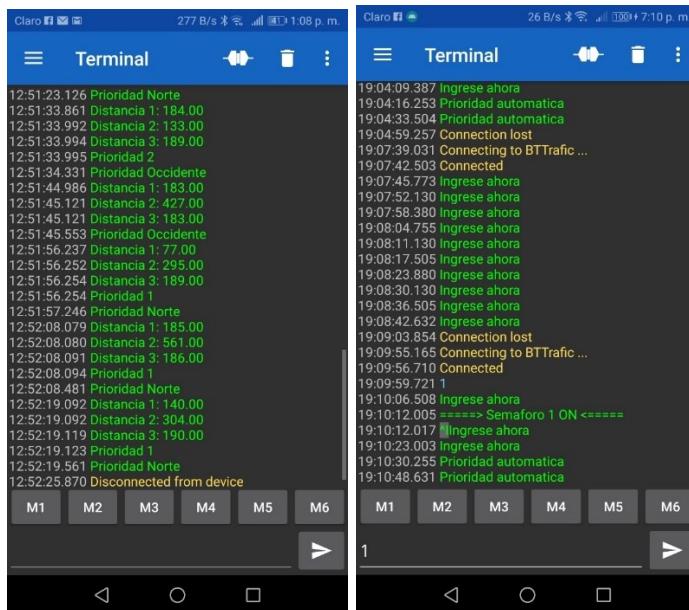
Tabla 15. Referencia y relación de funcionamiento de semáforos

| Sentido del carril | Instrucción |
|--------------------|-------------|
| Norte | 1 |
| Sur | 2 |
| Oeste - Occidente | 3 |

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Para el caso de la validación, el semáforo con mayor cantidad de vehículos en cola o flujo saturado, es el que se encontrara en funcionamiento según la aplicación móvil; pero al momento de recibir datos por conexión Bluetooth, el controlador detiene su continuo proceso y selecciona un semáforo según el numero ingresado desde la terminal; para este caso sería el semáforo en dirección norte (ver Figura 46).

Figura 46. Terminal Bluetooth desde un celular



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

7. CONCLUSIONES

En este trabajo de tesis se introdujo el procesamiento de imágenes vía detección de objetos en movimiento; se realizó un proceso de filtración previo para evitar la detección no deseada y enfocando la imagen en una zona de interés, lo que redujo notablemente el error de medición de tráfico.

La visualización HTML implementada con el proyecto de tesis proporcionó escalabilidad y compatibilidad para procesar videos con la cámara o con un archivo multimedia a través de redes internas; adicionalmente, se comprobó que la transmisión de fotogramas depende directamente del ancho de banda de la red interna sobre la que se encuentre en funcionamiento la Raspberry y que ello no representa una interferencia al algoritmo de medición o la detección de imagen.

Se estableció que la inducción de error por las condiciones de la imagen puede ser corregida estadísticamente a través de las librerías de Python; en el evento de que sucedieren problemas de compatibilidad con algunos estándares de cámara manejados en el mercado, la operatividad se logrará a través de la comunicación USB o lectura de archivo multimedia.

Se comprobó que la aplicación móvil y la capacidad de usuarios depende de las condiciones de servicio ofrecidas por Firebase, por ello en este trabajo se tomó como referencia una población reducida de usuarios a intervenir el controlador de tráfico vehicular, toda vez que no es un desarrollo comercial.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda emplear las estrategias de los sistemas de calidad de cada compañía junto con la debida capacitación, a fin de lograr que el usuario tome responsablemente el uso adecuado de la aplicación.

Durante la visualización se observan retrasos respecto al procesamiento de visualización HTML debido al *kernel* del sistema sobre el cual se ejecuta; se puede optar por mejorar la estructura o el uso de un procesador de mayor capacidad para la herramienta.

9. DISCUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

Pese a que a través del prototipo propuesto se logra una menor desviación en función a la velocidad del tráfico máxima, una mejora futura es identificar el cruce del semáforo de los vehículos de emergencias, toda vez que existen factores humanos no cuantificables asociados al comportamiento de los individuos, los cuales pueden aportar picos imprevistos dentro de la función de tiempos parametrizada. Otro aspecto a tener en cuenta es que el flujo se desacelere por algún accidente antes del cruce de vías en los puntos donde se ejerció la activación del semáforo.

Este trabajo finalmente presenta algunas limitantes para la detección de tráfico a bajo costo, ya que no se tienen en cuenta condiciones como:

- Horarios nocturnos con visión reducida, con baja caracterización de fotogramas.
- Funcionamiento ininterrumpido por falta suministro de energía eléctrica comercial.
- Estudio ampliado para la migración de servicios aplicado para entornos de desarrollo con Controlador Lógico Programable (PLC).

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, M. A. (19 de Noviembre de 2003). *Desarrollo Web*. Obtenido de Qué es cada tecnología : <https://desarrolloweb.com/articulos/1325.php>

Aquino Santos, R., González Potes, A., Villaseñor Gonzalez, L., Crespo, A., Sanchez, J., & Gallardo, J. (2009). Simulación de algoritmos para regular el flujo vehicular y la comunicación entre vehículos móviles autónomos utilizando redes Ad-Hoc. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 79-83.

AT Mega 2560. (s.f.). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/uploads/Hacking/PinMap2560big.png>

Ayala Garrido, B. E., & Acevedo Bustamante, F. (2015). *Control de semáforos para emergencias del CGBVP usando redes neuronales*. Lima: Universidad Ricador Palma.

Background Subtraction OpenCV. (s.f.). *OpenCV Background Subtraction Methods*. Obtenido de https://docs.opencv.org/3.1.0/d1/dc5/tutorial_background_subtraction.html

Basic HTTP server. (s.f.). *Documents Python 3*. Obtenido de <https://docs.python.org/3/library/http.server.html#module-http.server>

Castán, J. A., Salvador, I., Laria, J., Guzmán, J., & Castán, E. (2014). Control de tráfico basado en agentes inteligentes. *Polibits*, 61-68.

Castañeda, C. S. (2017). *Sistema de vigilancia para hogares*. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.

Catálogo DFRobot. (s.f.). *DF Robot*. Obtenido de <https://www.dfrobot.com/product-560.html>

Firebase, Google Corporative. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Firebase>

Giron Ruiz, K., & Morales, Y. A. (2016). *Semáforo inteligente con conexión bluetooth para oficiales de tránsito*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Huamaní Navarrete, P. F., & Rojas Vara, J. L. (2016). *Procesamiento digital de imágenes para estimación de velocidad y medición de flujo vehicular*. Lima: Perfiles de Ingeniería.

Jacobo, A. (2015). Sistema de semáforos inteligentes utilizado sensores de presencia. *Aplicaciones de la Ingeniería*, 147-152.

Jovanis, F. H. (10 de 11 de 2019). *Eciclopedia Britanica*. Obtenido de <https://www.britannica.com/technology/traffic-control>

La GPU de la Raspberry Pi ya es código abierto . (27 de 10 de 2012). *GenBeta*. Obtenido de <https://www.genbeta.com/desarrollo/la-gpu-de-la-raspberry-pi-ya-es-codigo-aberto>

Lakhani, R. L. (2015). *Sistema Inteligente de detección y aviso de infracciones en semáforos mediante smartphones*. La Laguna: Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología.

Lopez Aldea, E. (2017). Raspberry pi. En *Fundamentos y Aplicaciones* (págs. 63-66). Madrid: Ra-Ma Editorial.

Maidment, J. C. (2015). *Github*. Obtenido de <https://github.com/thisbejim/Pyrebase>

MARTINEZ ANOROZO, M. (2014). *Semáforos Inteligentes*. Asunción - Paraguay: Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.

Martínez Delgado, C. A. (2011). *Diseño e implementación de un prototipo para la modificación de fases de los reguladores de tráfico vehicular desde los vehículos de emergencia*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Martínez, L. F., Hernandez Suárez, C. A., & López Sarmiento, D. A. (2013). Sistema de comunicación TCP/IP para el control de una intersección de tráfico vehicular . *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 583-594.

Ministerio del interior, España. (28 de Noviembre de 2018). *Dirección general de Tráfico*. Obtenido de <http://www.dgt.es/es/prensa/notas-de-prensa/2014/20141128-la-DGT-realiza-una-demostracion-practica-del-nuevo-sistema-de-seguridad-eCall.shtml>

MURCIA RIVERA, A. F. (15 de Noviembre de 2019). Encuesta de proyección de servicios para vehículos de emergencia. Neiva, Colombia.

Naranjo Herrera, V. H. (2008). *Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales*. Manizales- Colombia: Universidad Nacional Manizales.

Noticias al sur. (26 de 03 de 2015). <http://noticiasalsur.co>. Obtenido de <http://noticiasalsur.co/en-funcionamiento-central-de-movilidad-para-neiva/>

Observatorio Nacional de Seguridad Vial. (2019). Obtenido de <https://ansv.gov.co>

Perez , F., Bautista , A., Salazar, M., & Macias, A. (3 de Julio de 2013). *Revisata Dyna*. Obtenido de Universidad Naciona de Colombia Medellin: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/38650/53943>

Puentes Rojas, O., Henao Palacios, J. A., & Gómez Tovar, J. M. (2007). *Diseño y construcción de un prototipo de sistema centralizado para el monitoreo, control y gestión de semáforos*. Neiva: Universidad Surcolombiana.

Raspberry Pi 3 Model B+ Starter Kit. (s.f.). *Memory Express*. Obtenido de https://media.memoryexpress.com/Assets/Products/MX72342/newark-8320181rk_starter_kit_1.jpg

Raspberry Pi. (Recuperado el 15 de Mayo de 2019 de s.f.). *En Wikipedia Enciclopedia Libre*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi

Sanchez Francesconi, J. H. (2011). *Estimación de la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.

Secretaria de Movilidad. (2018). *Estudio para SETP*. Neiva.

Serrano, Mónica. (01 de 2018). *Diario del Huila*. Obtenido de <https://www.diariodelhuila.com/accidentes-de-transito-problematica-que-no-cesa>

Swarco. (12 de Agosto de 2019). *Urban traffic management Omnia*. Obtenido de <https://www.swarco.com/products/traffic-light-controllers/itc-2-mini-traffic-controller>

UNITEL. (Octubre de 2019). *Semaforos Inteligentes*. Obtenido de <https://unitel-tc.com/smart-cities-semaforos-inteligentes/>

Universidad Pedagógica y Técnologica de Colombia. (24 de Julio de 2018). *Definiciones Programa de Ingeniería de Transporte y Vías*. Obtenido de http://www.uptc.edu.co/facultades/f_ingenieria/pregrado/transporte/inf_general/

Wikipeadia. (29 de Julio de 2019). *Definición Multiprocesamiento simétrico*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Multiprocesamiento_sim%C3%A9trico

Wikipedia. (08 de Agosto de 2019). *Definición CSI*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/CSI_\(bus_serie\)](https://es.wikipedia.org/wiki/CSI_(bus_serie))

Wikipedia. (12 de Agosto de 2019). *Definición NoSQL*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/NoSQL>

Zorro Sánchez, S. D. (2015). *Foxway: Prototipo para visualizar datos históricos del tráfico de Bogotá*. Bogotá: Pontifica Universidad Javeriana.

APÉNDICE 1: REGISTRO ÚNICO DE VARIABLES PARA ESTUDIO DE FLUJO VEHICULAR

Tabla 16. Esquema para registro de parámetros de cada controlador de tráfico



| REGISTRO ÚNICO DE VARIABLES PARA ESTUDIO DE FLUJO VEHICULAR | | | | | | | | Realizado por: | Andrés Felipe Murcia |
|---|---|-----|-------------------|----------------------------------|----------------|---|---------------------|----------------|----------------------|
| Realizado para: | Estudio de implementación "Prototipo para el control de tránsito y emergencias implementando tecnología web con monitoreo" | | | | | | | | |
| | La información registrada a través de este formato, indica mediciones y muestreos hechos de forma manual por el estudiante. | | | | | | | | |
| Fecha: | Día | Mes | Año | Intervalo de horario muestreado: | Desde: | : | Hasta: | : | |
| Sentido vial: | | | | | | | | | |
| Geolocalización: | Latitud: | | Longitud: | | Altura (Ft.) | | Conteo de vehículos | | |
| Medición eje vial semafórico: | Fase luz roja: | : | Fase luz amarilla | : | Fase luz verde | : | --- | | |

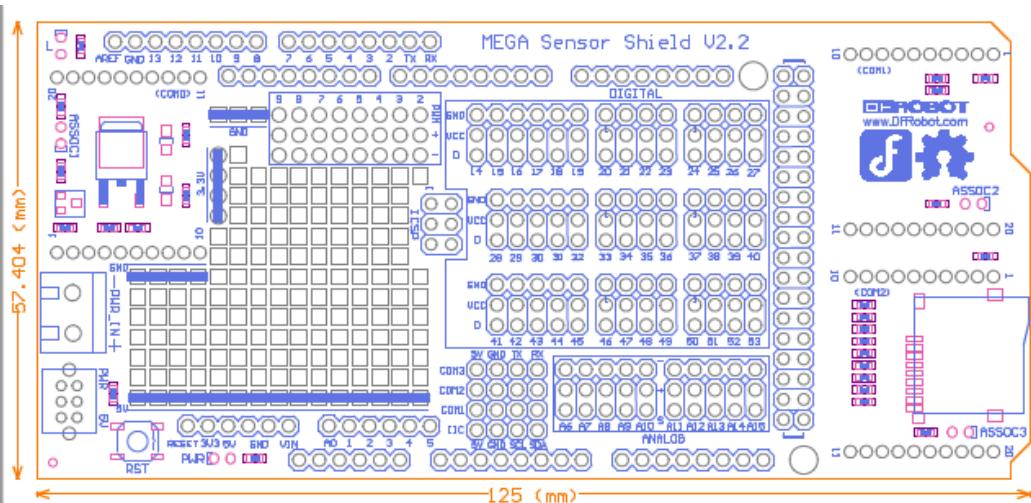
Figura 47. Archivos de visita en campo y Oficio del SETP

| Realizado para: | REGISTRO ÚNICO DE VARIABLES PARA ESTUDIO DE FLUJO VEHICULAR | | | | | Realizado por: | Andrés Felipe Murcia | |
|---|--|----------------------------------|-------------------|---------|-------|----------------|----------------------|--|
| | Estudio de implementación "Prototipo para el control de tránsito y emergencias implementando tecnología web con monitoreo" | | | | | | | |
| La información registrada a través de este formato, indica mediciones y muestreos hechos de forma manual por el estudiante. | | | | | | | | |
| Fecha de muestreo: | 11 de Diciembre del 2018 | Intervalo de horario muestreado: | | Desde: | 13:46 | Hasta: | 13:48 | |
| Geolocalización: | Latitud: 2,97055 | Longitud: -73,13474 | Altura: | 1443 ft | Motos | Particulares | Públicos | |
| Medición de eje vial semafórico: | Fase luz roja: 01.24.03 | Fase luz amarilla: 4.27 | Fase verde: 39.09 | 6 | 3 | 3 | | |
| Fecha de muestreo: | 11 de Diciembre del 2018 | Intervalo de horario muestreado: | | Desde: | 13:52 | Hasta: | 14:18 | |
| Geolocalización: | Latitud: 2,97463 | Longitud: -73,13472 | Altura: | 1442 ft | Motos | Particulares | Públicos | |
| Medición de eje vial semafórico: | Fase luz roja: 43.98 | Fase luz amarilla: 2.36 | Fase verde: 23.33 | 24 | 4 | 4 | | |
| Fecha de muestreo: | 11 de Diciembre del 2018 | Intervalo de horario muestreado: | | Desde: | 14:19 | Hasta: | 14:42 | |
| Geolocalización: | Latitud: 2,97463 | Longitud: -73,13472 | Altura: | | Motos | Particulares | Públicos | |
| Medición de eje vial semafórico: | Fase luz roja: 58.93 | Fase luz amarilla: 2.09 | Fase verde: 36.31 | 14 | 21 | 3 | | |
| Fecha de muestreo: | 11 de Diciembre del 2018 | Intervalo de horario muestreado: | | Desde: | 13:54 | Hasta: | 14:12 | |
| Geolocalización: | Latitud: 2,97463 | Longitud: -73,13472 | Altura: | 1441 ft | Motos | Particulares | Públicos | |
| Medición de eje vial semafórico: | Fase luz roja: 59.31.5 | Fase luz amarilla: 3.01 | Fase verde: 50.37 | 17 | 7 | 1 | | |
| Fecha de muestreo: | 11 de Diciembre del 2018 | Intervalo de horario muestreado: | | Desde: | 14:57 | Hasta: | 15:18 | |
| Geolocalización: | Latitud: 2,97463 | Longitud: -73,13472 | Altura: | | Motos | Particulares | Públicos | |
| Medición de eje vial semafórico: | Fase luz roja: 59.31.5 | Fase luz amarilla: 3.01 | Fase verde: 50.37 | 17 | 7 | 1 | | |
| Fecha de muestreo: | 11 de Diciembre del 2018 | Intervalo de horario muestreado: | | Desde: | 14:57 | Hasta: | 15:18 | |
| Geolocalización: | Latitud: 2,97463 | Longitud: -73,13472 | Altura: | | Motos | Particulares | Públicos | |
| Medición de eje vial semafórico: | Fase luz roja: 59.31.5 | Fase luz amarilla: 3.01 | Fase verde: 50.37 | 17 | 7 | 1 | | |

Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

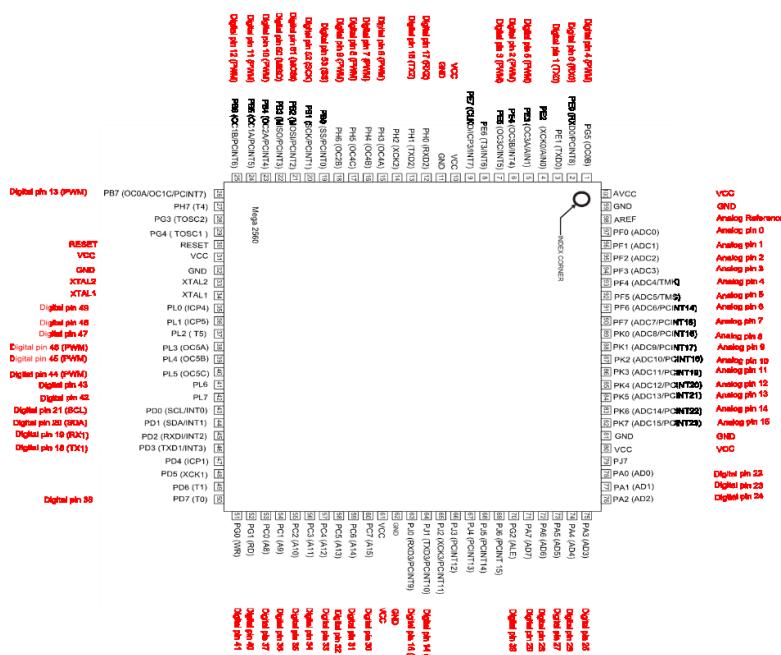
APÉNDICE 2: PRESENTACIÓN CIRCUITOS DE DESARROLLO PARA ATMEGA 2560

Figura 48. Placa DF Robot para AT Mega 2560



Autor: DFRobot, Mega Sensor Shield [en línea]

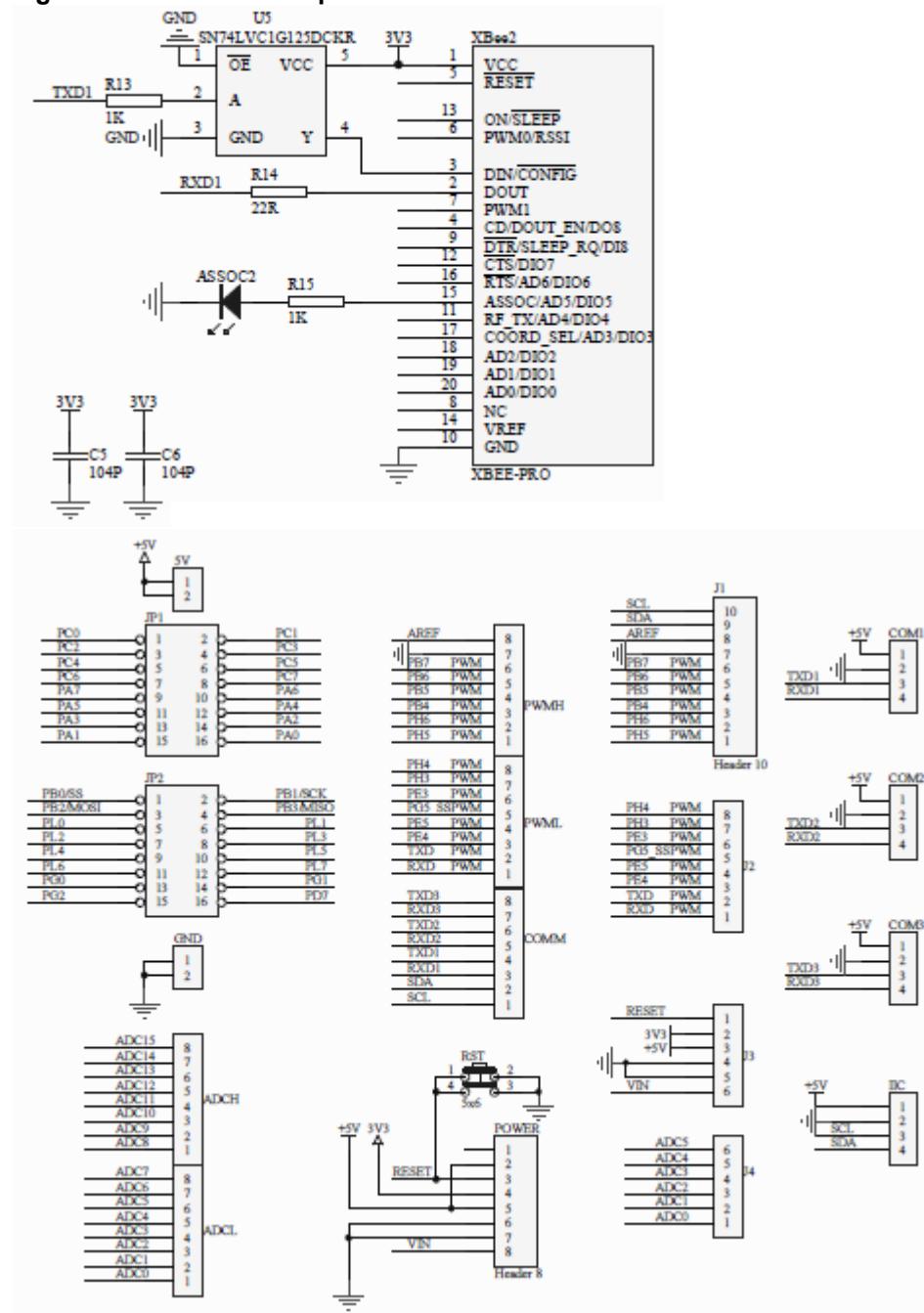
Figura 49. UART AT Mega 2560



Autor: ARDUINO, AT MEGA 2560 [en línea]

APÉNDICE 3: CIRCUITOS DE COMUNICACIÓN MODULO BLUETOOTH

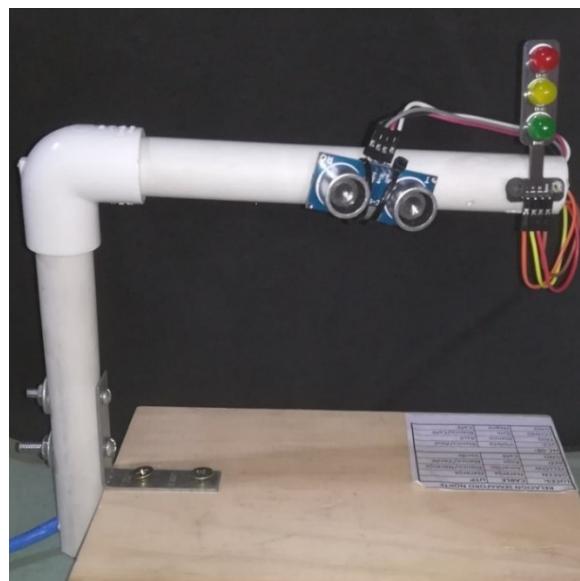
Figura 50. Interfaz serial para comunicación Bluetooth



Autor: DFRobot, Mega Sensor Shield [en línea]

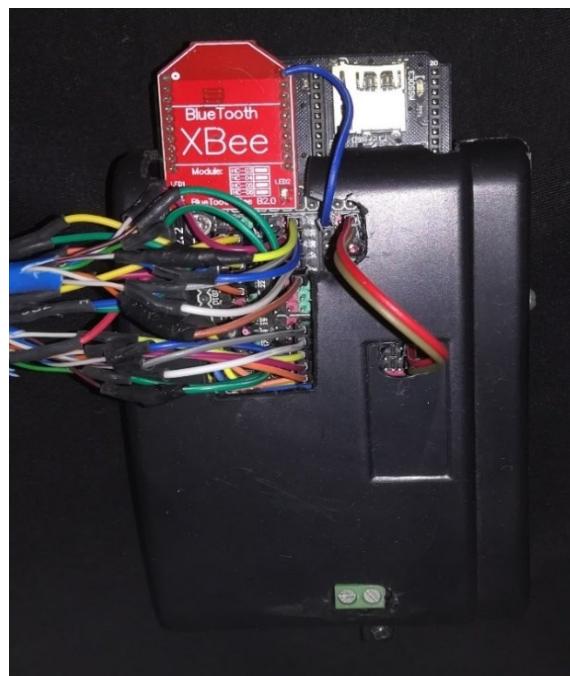
APÉNDICE 4: PRESENTACIÓN DE PROTOTIPO PARA CONTROL SEMÁFORICO

Figura 51. Prototipo Semáforo con detección por ultrasonido



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Figura 52. Presentación exterior de controlador, placa DF-ROBOT + Xbee



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe

Figura 53. Caja negra para montaje interno Raspberry + Cámara+ Extractor



Autor: MURCIA RIVERA, Andrés Felipe