



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones



**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTEO Y MONITOREO
PARA TRAFICO VEHICULAR**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR:

Rosalía Pérez

TUTOR:

Ing. Wilfredis Medina

FECHA:

Caracas, Marzo de 2012



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones



**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTEO Y MONITOREO
PARA TRAFICO VEHICULAR**

REALIZADO POR:

Rosalía Pérez Moncada

TUTOR:

Ing. Wilfredis Medina

FECHA:

Caracas, Marzo de 2012



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTEO Y MONITOREO PARA TRAFICO VEHICULAR

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: _____

JURADO EXAMINADOR

Firma: _____ Firma: _____ Firma: _____
Nombre: _____ Nombre: _____ Nombre: _____

REALIZADO POR:

Rosalía Pérez Moncada

TUTOR:

Ing. Wilfredis Medina

FECHA:

Caracas, Marzo de 2012

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTEO Y MONITOREO PARA TRAFICO VEHICULAR

Pérez Moncada, Rosalía
perezm.rosalia@gmail.com

Resumen

El Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar, trabaja continuamente en la investigación, desarrollo e implementación de servicios y sistemas inteligentes en materia de tráfico vehicular, estos últimos años ha venido desarrollando una serie de proyectos para prestar ayuda a la Universidad Simón Bolívar, en lo referente a la problemática de congestión vehicular presente en sus inmediaciones. En este Trabajo Especial de Grado, se lleva a cabo el desarrollo de un Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular que realiza el conteo, la clasificación y la detección de la velocidad promedio de los vehículos que transitan por el área de estudio seleccionada, la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer, que presenta altos índices de congestionamiento. Se seleccionaron dos sensores de tráfico para la realización de dicho sistema, un radar microonda que hace uso del efecto doppler y una cámara que utiliza tecnología de video detección. Este proyecto formará parte de una plataforma de adquisición de datos de tránsito que permitirá la elaboración de estadísticas sobre el volumen de vehículos y reportes de tráfico en tiempo real. Se plantean una serie de objetivos específicos, llevados a cabo a través de una metodología dividida en cinco fases, la cual comprende inicialmente la selección, compra y estudio de los sensores de tráfico, el desarrollo de una aplicación en LabVIEW© para la lectura de datos y la instalación y configuración de los equipos. Como resultado de lo antes descrito se logra comprobar el funcionamiento de los sensores escogidos, a través de una fase de prueba que comprendió la recolección de datos de tres días diferentes, lo que certifica la puesta en marcha del sistema.

Palabras Clave: congestión vehicular, sensores de tráfico, radar, video detección.

Dedicatoria

A mi familia, gracias por tener fe en mi siempre.

Agradecimientos

Ante todo quisiera agradecer al Grupo de Tráfico Inteligente USB, quienes sin dudar, me dieron la oportunidad de realizar este trabajo especial de grado.

Al Prof. Wilfredis Medina, quien me brindó todo su apoyo y atención como tutor, muchas gracias por darme esta oportunidad y confiar en mi a lo largo de este proyecto.

A mi mamá, que en todo este año de estrés no dejó de quererme y apoyarme ni un segundo. Esto es para ti y por ti mamá! Te amo mucho.

A Williams, por ayudarme y estar siempre pendiente de mí. Cada llamada de emergencia nunca fue un problema para ti!! Muchas Gracias!!

A mis primos, Yami y José, por estar pendientes de mí siempre, quererme, apoyarme, los quiero hasta el infinito y más allá!

A mi amiguita, sin ti en verdad creo que esto no habría sido posible. Estuviste en cada momento, día, hora, segundo... Le doy gracias a Dios por tenerte a mi lado, jamás me alcanzarán las palabras para agradecerte todo esto! Te amo!

A mis amigos, quienes han estado a mi lado todo este tiempo, me han apoyado, me han hecho reír y me han enseñado muchas cosas. Goldo, Adri, Catire, Gus, Javi, Negro, los quiero de aquí a Japón con Maickel Melamed de testigo!

Gocho, indudablemente no hubiese logrado todo esto sin ti! No me canso de darte las gracias por todo tu apoyo durante estos 5 años, gracias a Dios estaba raspando geometría! Te quiero mucho goldis!!! Gracias!!!!

A Daniel, creo que tampoco me alcanzarán las palabras para agradecerte todo tu apoyo, sin importar el momento siempre estuviste a mi lado. Muchas gracias por todo lo que hiciste para que esto fuera posible! Te amo mucho pichu!

A todos los que no he nombrado, simplemente Muchas Gracias!

Índice General

Dedicatoria	iii
Agradecimientos	v
Índice General	vii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tablas	xix
Índice de Gráficos	xxi
Introducción	xxiii
Capítulo I.....	1
Planteamiento del Proyecto.....	1
I.1. Planteamiento del Proyecto	1
I.2. Objetivos de la Investigación.....	4
I.2.1. Objetivo General.....	4
I.2.2. Objetivos Específicos	5
I.3. Limitaciones y Alcances.....	5
I.4 Justificación del Problema.....	6
Capítulo II	8
Marco Referencial.....	8
II.1. Antecedentes.....	9
II.2. Bases Teóricas	13
II.2.1. Sensor	13
Clasificación de Sensores.....	14
II.2.2. Sistemas Inalámbricos	15
II.2.2.1. Radiofrecuencia	15
Bluetooth.....	16
Wi-Fi	18

II.2.3. Tecnologías para la Supervisión de Tráfico	19
II.2.3.1. Tecnologías Intrusivas.....	19
Lazo Inductivo	19
Tubo Neumático.....	21
Sensores Piezoeléctricos	21
Sensores Magnéticos.....	22
II.2.3.2. Tecnologías No-Intrusivas.....	23
Radares Microondas.....	24
Radares de Onda Continua.....	25
Efecto Doppler	25
Radares de Onda Continua con Frecuencia Modulada	25
Sistemas basados en infrarrojo.....	26
Sistema IR activo	26
Sistema IR pasivo.....	28
Sensores por ultrasonido	28
Procesamiento de imágenes de video.....	29
Capítulo III	31
Marco Metodológico.....	31
III.1. Fase I: Investigación Inicial	33
III.2. Fase II: Desarrollo de una aplicación en LabVIEW	33
III.3. Fase III: Instalación de los sensores de tráfico.....	34
III.4. Fase IV: Configuración	35
III.5. Fase V: Prueba de funcionamiento	35
Capítulo IV	36
Desarrollo.....	36
IV.1. Fase I: Investigación Inicial	37
IV.1.1. Estudio de la ingeniería conceptual	37
IV.1.2. Estudio de los sensores disponibles en el mercado.....	37
IV.1.3. Selección de sensores.....	41

IV.1.4. Compra de sensores	44
IV.1.5. Estudio de los manuales de los sensores escogidos	44
Collect-R x-stream	44
TMS-SA	46
IV.2. Fase II: Desarrollo de una aplicación en LabVIEW	48
IV.2.1. Lectura y manejo de datos: Collect-R x-stream.....	54
IV.2.1.1. Codificación de mensajes de envío.....	55
IV.2.1.2. Establecimiento de Conexión	56
IV.2.1.3. Decodificación de mensajes de respuesta.....	57
IV.3. Fase III: Instalación de los sensores de tráfico	58
IV.3.1. Estructura Eléctrica.....	59
IV.3.2. Instalación de la cámara Collect-R x-stream	61
IV.3.3. Instalación del radar TMS-SA	61
IV.4. Fase IV: Configuración.....	63
Capítulo V	69
Resultados	69
V.1. Instalación y configuración de los sensores de tráfico	69
V.2. Lectura de datos de la cámara Collect-R x-stream.....	75
V.3. Lectura de datos del radar TMS-SA.....	84
Capítulo VI.....	90
Conclusiones y Recomendaciones	90
Bibliografía	94
Apéndices	A
Apéndice A: Ejemplo de codificación de mensajes según el protocolo Traficon SDK 2.....	A
Apéndice B: Respuesta recibida según el tipo de mensaje enviado a la cámara según su manual de comunicación.....	C
Apéndice C: Fotos capturadas durante el proceso de instalación de los equipos	F

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa Mental del Marco Teórico.	8
Figura 2. Adquisición de Información y Actuación.	13
Figura 3. Sistema de Lazo Inductivo.	20
Figura 4. Sensor Piezoeléctrico.	22
Figura 5. Perturbación del campo magnético de la Tierra debido a la presencia de un vehículo.	23
Figura 6. Operación básica de un radar microondas.	24
Figura 7. Configuración de Sistema IR.	27
Figura 8. Funcionamiento del Sistema IR.	27
Figura 9. Funcionamiento del sensor infrarrojo TC-30.	29
Figura 10. Esquema de las fases de elaboración del trabajo especial de grado.	31
Figura 11. SDR Traffic Classifier.	39
Figura 12. Radar Intersector.	39
Figura 13. AGD335.	39
Figura 14. NC200, vista aérea.	39
Figura 15. Ejemplo de uso del NC200.	39
Figura 16. TMS-SA.	40
Figura 17. Sensor TC-30.	40
Figura 18. Sensor TDC3.	40
Figura 19. Sensor LMS111.	40
Figura 20. Sensor TDC1-PIR.	41
Figura 21. Sensor CMP3-30.	41
Figura 22. Imagen del TDC4.	41
Figura 23. Cámara PICO.	41
Figura 24. VERSICAM.	42
Figura 25. TrafiCam Collect-R x-stream.	42
Figura 26. Piezoelectric Roadtrax 'Brass Linguini' Axle Sensor.	42
Figura 27. Instalación del sensor piezoeléctrico.	42

Figura 28. Vehicle Categories.....	51
Figura 29. Speed Bins.....	52
Figura 30. Esquema de la instalación eléctrica.....	60
Figura 31. Parámetros de instalación del radar TMS-SA.....	62
Figura 32. Tipo de Instalación del radar TMS-SA.....	62
Figura 33. Configuración de la Zona 1 de la cámara.....	64
Figura 34. Configuración de la Zona 2 de la cámara.....	65
Figura 35. Calibración de la cámara Collect-R x-stream.....	66
Figura 36. Prueba de calibración de la cámara Collect-R x-stream.....	66
Figura 37. Configuración de los parámetros de tráfico de la cámara Collect-R x-stream.....	68
Figura 38. Esquema de instalación final.....	70
Figura 39. Proceso de detección de vehículos, cámara Collect-R x-stream.....	71
Figura 40. Comparación de imagen con sistema anterior.....	72
Figura 41. Vista del panel frontal.....	75
Figura 42. Opción "Información General".....	76
Figura 43. Descarga de Historial - viernes 03 de febrero de 2012 con intervalo de 60 segundos.....	77
Figura 44. Descarga de Historial - sábado 04 de Febrero de 2012 con intervalo de 5 minutos.....	77
Figura 45. Descarga de Historial- domingo 05 de Febrero de 2012 con intervalo de 60 minutos.....	78
Figura 46. Supervisión - viernes 03 de Febrero de 2012.....	79
Figura 47. Supervisión - sábado 04 de Febrero de 2012.....	80
Figura 48. Supervisión - domingo 05 de Febrero de 2012.....	81
Figura 49. Opción "Nivel de Servicio".....	82
Figura 50. Historial: Nivel de Servicio - sábado 04 de Febrero de 2012.....	83
Figura 51. Historial: Nivel de Servicio - domingo 05 de Febrero de 2012.....	84
Figura 52. Estado del radar TMS-SA, sabado 04 de febrero de 2012.....	85
Figura 53. Estado del radar TMS-SA, domingo 05 de febrero de 2012.....	86

Figura 54. Medición del poste y diferentes alturas necesarias para la instalación de los equipos.F

Figura 55. Instalación de la base del radar TMS-SA.F

Figura 56. Instalación de la caja de conexiones eléctricas.G

Figura 57. Instalación de la base y cámara Collect-R x-stream.G

Figura 58. Instalación del cable de carga del radar TMS-SA.H

Figura 59. Instalación del switch de encendido del cargador del radar TMS-SA.H

Figura 60. Vista de los equipos instalados.I

Índice de Tablas

Tabla 1. Bandas RF.....	16
Tabla 2. Generaciones Wi-Fi.....	19
Tabla 3. Etapas de elaboración del Trabajo Especial de Grado.....	32
Tabla 4. Comparación SDR, Intersector, AGD335 y NC200.....	39
Tabla 5. Comparación TMS-SA, TC-30, TDC3 y LMS111.....	40
Tabla 6. Comparación TDC1-PIR, CMP3-30, TDC-4 y PICO.....	41
Tabla 7. Comparación Versicam, Collect-R x-stream y Piezoelectric Roadtrax.....	42
Tabla 8. <i>Traffic flow data</i>	48
Tabla 9. <i>Integrated data</i>	50
Tabla 10. Estructura de paquete (Protocolo Traficon SDK2).....	55
Tabla 11. Codificación de mensajes de envío.....	56
Tabla 12. Monitoreo - viernes 03 de febrero de 2012.....	73
Tabla 13. Monitoreo - domingo 05 de febrero de 2012.....	74
Tabla 14. Supervisión - viernes 03 de Febrero de 2012.....	79
Tabla 15. Supervisión - sábado 04 de Febrero de 2012.....	80
Tabla 16. Supervisión - domingo 05 de Febrero de 2012.....	81
Tabla 17. Mensajes generados según el nivel de servicio.....	82
Tabla 18. Historial TMS-SA - sábado 04 de febrero de 2012 con intervalo de 5 minutos.....	87
Tabla 19. Historial Collect-R x-stream - sábado 04 de febrero de 2012 con intervalo de 5 minutos.....	87
Tabla 20. Historial TMS-SA - domingo 05 de febrero de 2012 con intervalo de 60 minutos.....	88
Tabla 21. Historial Collect-R x-stream - domingo 05 de febrero de 2012 con intervalo de 60 min.....	88
Tabla 22. Ejemplo de codificación del mensaje " <i>GetProductInformation</i> ".....	B

Índice de Gráficos

Gráfica 1. Global Graph.....	53
Gráfica 2. Monitoreo - viernes 03 de febrero de 2012.....	73
Gráfica 3. Monitoreo - domingo 05 de febrero de 2012.	74

Introducción

La congestión vehicular es una situación que se encuentra presente en las principales ciudades del mundo. De acuerdo a Thomson (2002) sus causas son variadas, pero entre los factores que la provocan se encuentra el rápido crecimiento poblacional y de trabajo, un uso más intensivo de vehículos automotores, la deficiente construcción de infraestructura vial, la concentración de los viajes de trabajo en el tiempo, entre otros.

El Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar, trabaja en la investigación, desarrollo e implementación de sistemas inteligentes en materia de tráfico vehicular. Debido a los altos índices de congestionamiento que ha presentado la Universidad Simón Bolívar en sus inmediaciones estos últimos años, ha decidido brindar su apoyo para desarrollar un sistema de conteo y monitoreo para tráfico vehicular, que realice el conteo, clasificación y detección de la velocidad promedio de los vehículos que transitan por el área vehicular correspondiente a la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer, la cual es la vía principal de comunicación de la Universidad. A futuro, se desea realizar una plataforma para la adquisición de datos de dicho sistema, que pueda ser utilizada para crear reportes del tráfico en tiempo real, donde se irán incorporando paulatinamente la información de tiempos de traslado y otras variables de interés. De igual manera, dicha plataforma puede ser utilizada para realizar estudios de vialidad que contribuyan a la creación de vías de acuerdo al volumen de vehículos que transiten la zona.

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como objetivo, desarrollar un sistema de conteo y monitoreo para tráfico vehicular, mediante el uso de sensores y de un *software* para la recopilación de la información necesaria proveniente de dichos sensores. Se plantearon seis (6) objetivos específicos para establecer las prioridades y finalidades del proyecto, los cuales fueron manejados en cinco (5) fases que estructuran de manera secuencial y lógica cada una de las actividades realizadas.

Con el objetivo de utilizar tecnología de punta para el desarrollo de este proyecto, se investigaron las diferentes tecnologías existentes para el monitoreo de tráfico en el mercado actual, recopilada la información necesaria se procedió a realizar la selección y compra de los equipos. Posteriormente se desarrolló haciendo uso de la herramienta gráfica de programación LabVIEW®, una aplicación para la lectura de datos de la cámara Collect-R x-stream, que a través de la video detección proporciona información acerca de la ocupación, número de vehículos, velocidad promedio y clasificación de vehículos según la zona de detección. Realizada dicha aplicación, se llevo a cabo el proceso de instalación y configuración de los sensores escogidos para el proyecto, para luego, mediante una fase de prueba, comprobar el correcto funcionamiento de los mismos.

Para poder llevar a cabo este Trabajo de Grado se realizaron seis (6) capítulos, estructurados de la siguiente manera:

Capítulo I: Planteamiento del Proyecto. Contiene el planteamiento del problema que dio origen al proyecto de investigación, los objetivos establecidos a alcanzar durante su ejecución, los alcances y las posibles limitantes que tenga el proyecto y su respectiva justificación.

Capítulo II: Marco Teórico. En este capítulo se investigan los antecedentes del presente proyecto de investigación, así como las bases teóricas que respaldan este trabajo especial de grado.

Capítulo III: Marco Metodológico. Se explica la metodología utilizada para llevar a cabo el proyecto, así como las actividades realizadas.

Capítulo IV: Desarrollo. Se explica de manera detallada cada una de las fases realizadas para el cumplimiento de cada objetivo específico que delimita el desarrollo del sistema de conteo y monitoreo de tráfico vehicular.

Capítulo V: Resultados. Contempla los resultados obtenidos a lo largo del proyecto con las pruebas realizadas que certifican la validez de los objetivos cumplidos.

Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones. Muestra las conclusiones que se logran obtener una vez finalizado el proyecto, con sus respectivas recomendaciones.

Capítulo I

Planteamiento del Proyecto

Cervo y Bervian, (1989) definen que toda investigación es “una actividad encaminada a la solución de problemas. Su objetivo consiste en hallar respuesta a preguntas mediante el empleo de procesos científicos...” (p.41)

Por otra parte, Mendoza (2007) sostiene que uno de los aspectos mas difíciles al momento de abordar un proyecto de investigación es el planteamiento del problema, debido a la diversidad de problemas o situaciones que pueden presentarse a lo largo de la investigación.

En el presente capítulo se plantean los aspectos de la problemática que dió a pie la presente investigación, con sus respectivos argumentos y objetivos.

I.1. Planteamiento del Proyecto

Se entiende como congestión vehicular al flujo de vehículos que se ve saturado, ya sea debido al rápido crecimiento poblacional, a la deficiente construcción de infraestructura vial o al uso significativo de vehículos automotores, produciendo incrementos en los tiempos de viaje.

La congestión vehicular o “cola” como comúnmente se le conoce, se produce en las denominadas “horas pico”, que se deben a que en las grandes ciudades, la mayor parte de la masa laboral, se integra o retira de sus puestos de trabajo a una misma hora.

Según una encuesta realizada por IBM (*International Business Machines*) en su sección *Smarter Traffic* en el año 2011, 8.042 conductores de 20 ciudades

confirmaron que a lo largo de estos últimos años se ha ido intensificando la congestión vehicular alrededor del mundo, lo cual ha afectado lentamente la calidad de vida de las grandes ciudades (IBM, 2011). La pérdida de tiempo de los automovilistas y pasajeros, los retrasos, el desperdicio de combustible, el aumento de la contaminación en el aire y el desgaste de los vehículos son unas de las principales consecuencias de la congestión vehicular.

En Venezuela la congestión vehicular es parte del día a día, esto se observa principalmente en la capital del país, Caracas, donde el tráfico genera importantes costos para los ciudadanos, las empresas y el Estado. Existe una alta demanda en el uso de vehículos particulares, debido a muchos factores que se han venido dando a lo largo de los últimos años, entre ellos el incremento de la inseguridad, lo que conlleva a que buena parte de la población opte por tomar un vehículo para efectuar viajes cortos que bien podrían efectuarse a pie. (Instituto Metropolitano de Urbanismo, 2010)

De igual manera la ineficiencia del servicio de transporte público superficial y subterráneo es un importante factor en el incremento del uso de vehículos particulares. En el año 2005, el Instituto Metropolitano de Urbanismo realizó un estudio probabilístico estratificado de la población, sobre el origen y destino de los transeúntes en la Ciudad Capital, donde se obtuvo como resultado que los Estratos A, B y C utilizaban para desplazarse de su hogar al trabajo y viceversa, el vehículo particular en un 40,4 %, de los casos, el Autobús, Carrito o Metrobús en el 24,6 % y el Metro en el 14,4 % de los casos. Actualmente, el uso del Metro de Caracas, por parte de dichos Estratos, se ha reducido particularmente en la Línea 1 (Palo Verde – Propatria), por lo menos al 10%; lo cual refleja un mayor número de vehículos particulares circulando por la ciudad y por ende mayor congestión en el transporte superficial.

Parte del problema del congestionamiento en Caracas, también se debe a que esta Ciudad no cuenta con la infraestructura adecuada en relación al crecimiento

actual de cada día. Según la Sociedad Venezolana de Ingeniería Civil, el Área Metropolitana de Caracas tiene una estructura vial con capacidad de atender sólo el 30% del parque automotor actual. Una ciudad organizada debiera tener por lo menos 20% de sus áreas públicas dedicadas a vialidad, pero en Caracas este porcentaje es de apenas un 12% (Instituto Metropolitano de Urbanismo, 2010). Es por esto que muchos especialistas, entre ellos la profesora del posgrado de Transporte de la Universidad Simón Bolívar, Rosa Virginia Ocaña, coinciden en que a Caracas le hacen falta unos 300 kilómetros de vía para poder solucionar el problema del congestionamiento. (Itriago, 2008)

Se estipula que al no conseguir una correcta solución para aliviar el congestionamiento vehicular, las colas serán cada vez mayores, con tiempos de traslado superiores a hora y media en viajes dentro de la ciudad y tres horas y media para viajes desde las “ciudades satélites”, entendiendo por estas las zonas relativamente cercanas a la capital como Guatire, Guarenas, Los Teques, Maracay, entre otros.

Otro factor importante a destacar es el bajo costo de la gasolina. El venezolano no le da importancia al valor monetario que implica transportarse en un vehículo particular ya que no representa un gasto significativo.

Basándose en todos los factores mencionados anteriormente, el Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar ha decidido llevar a cabo el desarrollo de un Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular, que realice el conteo, clasificación y detección de la velocidad promedio de los vehículos que circulan por las inmediaciones de la Universidad Simón Bolívar, ya que ésta presenta altos índices de congestionamiento. Dicho sistema contribuirá a la realización de una plataforma de adquisición de datos para reportes de tráfico en tiempo real, donde se integrará paulatinamente información acerca de tiempos de traslado y otras variables de interés. Por otra parte, brindará estadísticas sobre el volumen total de vehículos, lo

cual permitirá desarrollar proyectos de vialidad que estén acorde a la cantidad de vehículos que transitan la zona.

Existen dos tipos de tecnologías para el monitoreo de tráfico. Los sistemas intrusivos, los cuales requieren la obstrucción del tráfico para su instalación, reparación y/o mantenimiento y los no intrusivos, que son instalados a un lado de la vía, por lo que su mantenimiento y reparación no requiere de la obstrucción del tráfico. Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto se quiere hacer uso de sensores RF o cámaras para el procesamiento de imágenes de video, ya que se consideran como una mejor opción debido a su fácil instalación, manejo y mantenimiento, de igual manera, se busca que el sistema este a la vanguardia de las tecnologías actuales presentes en el mundo.

I.2. Objetivos de la Investigación

Los objetivos del presente Trabajo Especial de Grado, se describen a continuación y se desglosan en un (1) objetivo general y seis (6) objetivos específicos.

I.2.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de conteo y monitoreo para tráfico vehicular, mediante el uso de sensores y de un *software* para la recopilación de la información necesaria proveniente de dichos sensores.

I.2.2. Objetivos Específicos

- Investigar sobre el uso de sensores para el monitoreo de tráfico vehicular.
- Estudiar el área vehicular del punto piloto a escoger.
- Seleccionar los sensores adecuados para la realización del sistema de conteo y monitoreo de tráfico vehicular.
- Elaborar un *software* para el manejo de los datos provenientes de los sensores instalados en el área seleccionada.
- Desarrollar el proyecto de instalación de los sensores seleccionados para el sistema.
- Determinar mediante una fase de prueba, la eficiencia de los sensores instalados y del *software* creado para el sistema de conteo y monitoreo de tráfico vehicular.

I.3.Limitaciones y Alcances

El presente proyecto tiene como alcance el desarrollo de un sistema de conteo y monitoreo para tráfico vehicular, mediante el uso de tecnologías no intrusivas, como el procesamiento de imágenes de video y el uso de sensores RF.

Una vez determinados los sensores adecuados para la correcta realización del sistema de conteo y monitoreo de tráfico vehicular, fueron adquiridos por la Universidad Simón Bolívar. El tiempo estimado entre la compra y envío es de dos (2) meses.

Para la lectura y manejo de los datos provenientes de los equipos seleccionados, se utilizó la herramienta de programación gráfica LabVIEW®, ya que proporciona todas las funciones necesarias para crear aplicaciones de medidas y

control. La aplicación solo se limita a adquirir la información almacenada en los sensores y hacerla pública mediante una interfaz de usuario.

La instalación de los equipos dependió de la ayuda prestada por parte de la Dirección de Planta Física y del Departamento de Mantenimiento de la Universidad Simón Bolívar.

La investigación está limitada por el tiempo estipulado para la elaboración de este trabajo especial de grado, por lo que se dispone con tan sólo de 2 semestres académicos para terminar el proyecto.

El proyecto sólo se orientará hacia el conteo y monitoreo de tráfico vehicular dentro del campus de la Universidad Simón Bolívar, específicamente en la entrada del mismo, debido al fácil acceso que presta esta institución para este tipo de proyectos, por lo que solo se tomará en cuenta el tráfico vehicular de esta zona, la cual presenta altos índices de congestiónamiento.

I.4 Justificación del Problema

El congestiónamiento vehicular se ha ido intensificando al pasar de los años de manera tal que representa una amenaza para la calidad de vida. Las “colas” causan un estrés adicional a la vida cotidiana de cada venezolano, ocasionan una pérdida de tiempo innecesaria, y contribuyen a un mayor desgaste de los vehículos.

El tráfico en Caracas se caracteriza por su lentitud, según el Instituto Metropolitano de Transporte (Inmetra), la urbe caraqueña tiene el promedio de velocidad por automóvil más bajo de toda América Latina, 13 kilómetros por hora. Por otra parte, se ha estipulado que los caraqueños utilizan alrededor de seis horas diarias en sus desplazamientos laborales. De acuerdo a la Cámara Venezolana Automotriz, el parque automotor en Venezuela creció de 2.589.535 unidades en el año 2005 a 3.822.743 unidades en el año 2009 (48% en 4 años) y en el año 2010

continuó creciendo en 25.000 vehículos trimestrales, circulando estos día a día por las calles y avenidas de la capital, que fueron construidas en el año 50, adecuadas a la cantidad de población y vehículos que se movilizaban para ese entonces.

Celia Herrera, presidenta de SOTRAVIAL afirmó que este fenómeno, adaptado ya a la rutina capitalina, no debe ser considerado como “normal”, porque la movilidad vial debe ser atendida como un elemento primordial en todas las metrópolis en el ámbito mundial, “Caracas requiere de medidas urgentes”. El problema no se debe limitar a tomar exclusivamente medidas de tránsito o de construcción de nuevas vías. Se requiere también aplicar tecnologías inteligentes de Manejo Integral del Tráfico, que permitan centralizar la información en un Centro de Control, desde el cual se operen las intersecciones viales, semáforos y el transporte colectivo.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende estudiar la efectividad de los sensores RF y del procesamiento de imágenes de video, para el conteo y monitoreo de tráfico vehicular.

El Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar, brinda su apoyo para desarrollar un sistema que realice el conteo, la clasificación y detección de la velocidad promedio de los vehículos que transitan por la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer.

Con el procesamiento de los datos provenientes de los equipos escogidos, se puede realizar a futuro una plataforma de datos, que pueda ser utilizada para crear reportes del tráfico en tiempo real, donde se irán incorporando paulatinamente la información de tiempos de traslado y otras variables de interés. De igual manera, dicha plataforma puede ser utilizada para realizar estudios de vialidad que contribuyan a la construcción de vías de acuerdo al volumen de vehículos que transiten la zona.

Capítulo II

Marco Referencial

En toda investigación surgen diferentes interrogantes, para responderlas se realiza un estudio de todos los conceptos relacionados con los objetivos del proyecto. El mapa mental que se observa a continuación contiene todos los puntos tratados en este capítulo, con una breve descripción de su uso, ayudaran a entender el desarrollo del sistema de conteo y monitoreo para tráfico vehicular.

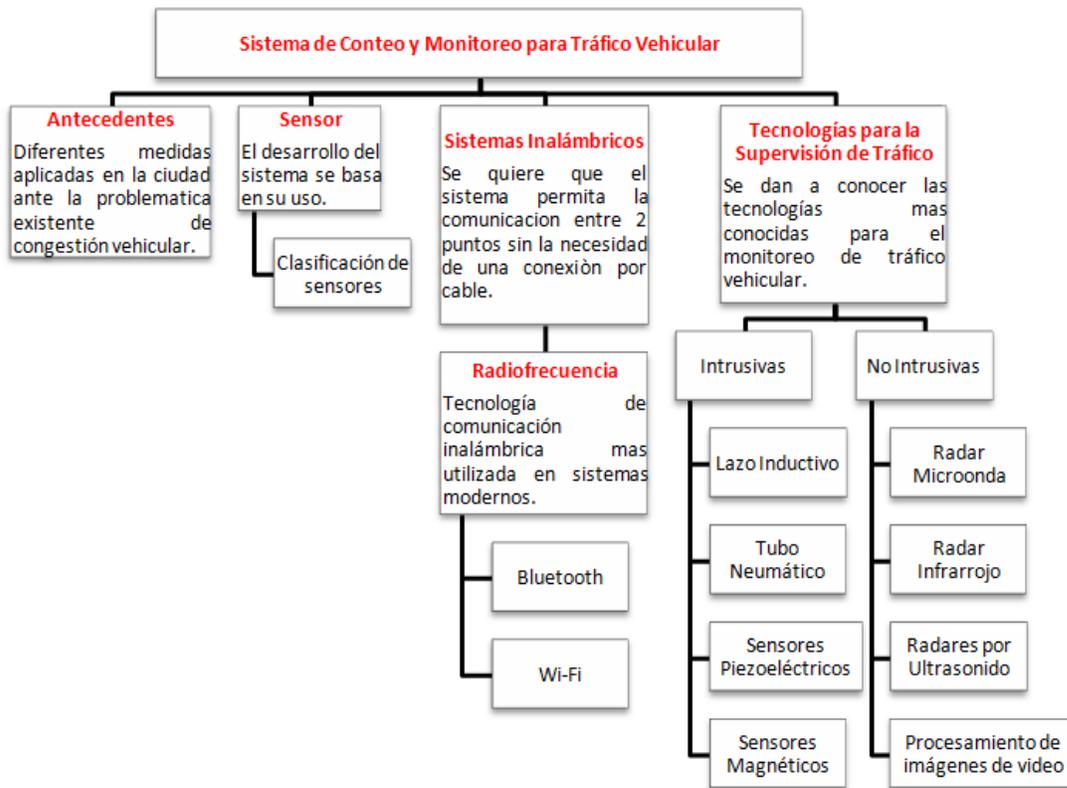


Figura 1. Mapa Mental del Marco Teórico.

Fuente: Autoría Propia.

II.1. Antecedentes

Restringir la circulación de los vehículos determinados días, mejorar la infraestructura ya existente y crear una nueva con el fin de facilitar la libre circulación de los automóviles y el transporte público, así como crear un sistema eficaz y eficiente con horarios, números y rutas para brindar un servicio productivo son algunas de las soluciones que se prevén para aligerar el congestionamiento vehicular presente.

Algunas soluciones que se han querido implementar no han tenido el éxito esperado ya que carecen de los recursos y del respaldo necesario para su ejecución. A continuación se mencionan algunas soluciones planteadas que no han podido ser culminadas.

“Según todos los expertos en materia de vialidad y tránsito, a Caracas le hacen falta unos 300 kilómetros de vía para poder solucionar el problema del congestionamiento. Las que hay, que no han variado desde hace aproximadamente 30 años, han sido insuficientes para los dos millones de vehículos, en promedio, que las utilizan diariamente. El Plan Vial Caracas 2025 es un proyecto similar al previsto para el año 2000”. (Itriago, 2008)

“El plan se divide en 3 partes: el sistema expreso regional, el perimetral y el expreso urbano. El primero de ellos comprende las autopistas por construir para complementar la conexión de Caracas con sus vecindades (Los Teques, Tuy Medio, Guarenas, Litoral Central e, incluso, con los Valles de Aragua). El sistema expreso perimetral comprende las autopistas perimetrales del área de Caracas; de ellas sólo se ha construido parte de la Perimetral Norte, que es la avenida Boyacá, en su tramo comprendido entre el distribuidor Boyacá y el distribuidor Baralt; y de la Perimetral Sur-Oeste, en el tramo comprendido entre el distribuidor La Rinconada y el distribuidor Hoyo de la Puerta. El sistema expreso urbano comprende las vías expresas dentro del área urbana de Caracas, que harán posible mejorar

la movilidad dentro de la ciudad. Incluye las mejoras y ampliaciones sustanciales de las tres únicas autopistas existentes: la Francisco Fajardo, la de El Valle y la Prados del Este. Incluye también la construcción de las autopistas complementarias, previstas desde hace mucho tiempo, como lo son, por ejemplo, la autopista Carabobo y la autopista Sartenejas-Baruta-Cerro Verde”. (Itriago, 2008)

El aumento en la vialidad debe enfocarse en la descongestión de las zonas críticas de la ciudad, es por esto que entre las alternativas que desarrolla la Alcaldía del Municipio Libertador para enfrentar el caótico tráfico caraqueño destaca la construcción de un sistema de transporte público denominado BusCaracas.

“Con una inversión cercana a los 390 millones de bolívares, el BusCaracas está concebido para transportar 650 mil usuarios al día, mediante una infraestructura que cuenta con 11 estaciones intermedias, tres terminales y una flota inicial de 30 autobuses”. (Quintero, 2008)

“Aún cuando a los caraqueños nos parezca novedosa esta iniciativa, la experiencia ha sido desarrollada en otros países de América Latina, con Brasil como pionero y Colombia con la experiencia más exitosa hasta ahora”. (Quintero, 2008)

“El ingeniero Daniel Baeta, gerente técnico del proyecto, explicó que fueron los ingleses quienes tuvieron la idea inicial de un sistema de transporte masivo superficial, pero los brasileros lo masificaron y lo hicieron más extenso, organizado y planificado”. (Quintero, 2008)

“Otra solución que contribuiría para lograr la disminución de la congestión vehicular, es la eliminación del subsidio al consumo de combustible. Una medida similar sería la eliminación de las exoneraciones impositivas a la producción y al consumo de automóviles o un aumento de los impuestos a los estacionamientos”. (Prodavinci, 2009)

“El establecimiento de un impuesto a la congestión generaría efectos similares. La idea consiste en que el paso por determinadas zonas de la ciudad acarree un cobro para los dueños de los vehículos que transitan por ahí. Por ejemplo, en Londres y en Estocolmo, las entradas a las zonas de congestión están monitoreadas por cámaras que graban el número de placa del vehículo que va pasando y registra el cobro en la cuenta de ese vehículo. En Santiago de Chile, los automóviles que pasan por autopistas concesionadas tienen que llevar un dispositivo que es leído por portales electrónicos, y el cobro al usuario se realiza de acuerdo a la cantidad de kilómetros recorridos”. (Prodavinci, 2009)

“De igual manera, ningún plan de restricción de demanda podrá funcionar si no viene acompañado por un aumento en la oferta de transporte público y de vialidad. El primer tema es crucial, y pasa por privilegiar sistemas tradicionales, como autobuses, carritos o Metrobuses, que abarquen una mayor población, antes que sistemas costosos y de alcance limitado como el Metro. El transporte público requiere una integración de sus rutas y un rediseño del sistema que evite los múltiples trasbordos, permita al usuario pagar una tarifa única e incluya la regulación para aumentar la frecuencia y la constancia del servicio”. (Prodavinci, 2009)

“En el año 2007 las Alcaldías de Baruta y Chacao promovieron el plan “Pico y Placa”, implementado exitosamente en Bogotá, como alternativa para mejorar el tráfico. La medida consistía en restringir la circulación en las principales avenidas una vez por semana, dependiendo de la terminación de la placa de los vehículos”. (Espinoza, 2009)

“El proyecto pareció arrojar resultados positivos en su fase piloto y los primeros meses de aplicación, reduciendo en 25% el tiempo de movilidad en ambas circunscripciones. Sin embargo, el gobierno no estuvo de

acuerdo por lo que desaprobó esta implementación y unos meses después el Tribunal Supremo de Justicia (TSJ) ordenó su suspensión”. (Espinoza, 2009)

“Por otra parte, la red es un instrumento utilizado frecuentemente por los capitalinos para alertar a los conocidos las trancas capitalinas. Estados de MESSENGER, FACEBOOK y TWITTER cuentan las experiencias en una cola, mientras que los chats son centros de discusión acerca de la magnitud de los atascos cotidianos. De igual manera por medio de la radiodifusión de la señal de FM CENTER los capitalinos son informados durante las horas pico sobre el estado del tráfico, información que ellos obtienen a través de un helicóptero que sobre vuela la ciudad a dichas horas”. (Espinoza, 2009)

Internet también ofrece opciones para monitorear algunas de las principales arterias viales, [http:// www.mipunto.com](http://www.mipunto.com), cuenta con cuatro (4) cámaras de video, donde se puede visualizar el estado del tráfico en Campo Alegre, El Rosal, La Carlota y el Parque del Este.

Como se puede observar, en Caracas aun no se ha implementado un Sistema de Conteo y Monitoreo de Tráfico Vehicular, que brinde información contundente sobre el estado del tráfico. De poseer este sistema se podrían realizar estadísticas que brinden a los usuarios reportes de vialidad en tiempo real de una determinada zona, de manera que su circulación pueda ser evitada en caso de congestión.

II.2. Bases Teóricas

II.2.1. Sensor

Dargie & Poellabauer. (2010), explican en su libro, que la detección es una técnica utilizada para obtener información a cerca de objetos físicos o procesos, incluyendo la ocurrencia de eventos (por ejemplo, monitoreo de tráfico, de cambios de temperatura, humedad o presión, entre otros). Un objeto que sea capaz de desarrollar estas habilidades de detección es denominado sensor. Desde la perspectiva técnica, un sensor es un dispositivo que traduce parametros o eventos del mundo físico en señales que pueden ser medidas y analizadas.

Otro termino comunmente utilizado es el de “transductor”, que es usualmente utilizado para describir un dispositivo que convierte energía de una forma en otra. Un sensor, es entonces un tipo de transductor que convierte energía física en energía eléctrica que puede ser pasada a un sistema computarizado o a un controlador. En la Figura 2 se puede observar un ejemplo de los pasos realizados para la detección o adquisición de información a través de un sensor.



Figura 2. Adquisición de Información y Actuación.

Fuente: Autoría propia (Modificación de Dargie & Poellabauer, 2010).

Una vez que los fenómenos físicos son detectados por el sensor, las señales eléctricas resultantes pasan por una etapa de condicionamiento, ya que usualmente no están listas para un procesamiento inmediato. En esta etapa, se pueden aplicar una

variedad de operaciones a la señal, como por ejemplo, amplificación o atenuación, para modificar la magnitud de la señal. Adicionalmente, en el condicionamiento se suelen aplicar filtros a la señal para remover señales indeseadas (ruido). Después del condicionamiento, la señal analógica es transformada en una señal digital, utilizando un Conversor Análogo-Digital (*ADC*). Una vez digitalizada, la señal está lista para procesamiento, almacenamiento y visualización. (Dargie & Poellabauer, 2010)

Clasificación de Sensores

Cada sensor es escogido para cierta aplicación dependiendo de la propiedad física que se desea monitorear, por ejemplo, propiedades como la temperatura, presión o humedad. Dargie & Poellabauer. (2010), explican que además de las propiedades físicas, la clasificación de los sensores puede estar basada en una variedad de métodos, por ejemplo, cuando estos requieren de una fuente externa o hacen uso de una batería portátil. Si el sensor requiere de una fuente de energía externa, son denominados sensores activos, ya que emiten algún tipo de energía (microonda, luz, sonido, entre otros) para activar una respuesta o para detectar un cambio en la energía de la señal transmitida.

Los sensores pasivos, detectan la energía del ambiente y se alimentan de ella. Por ejemplo los sensores infrarrojo pasivos (*PIR*), miden la radiación de luz infrarroja proveniente de los objetos que se encuentran en su área de detección.

Fraden. (2010) expresa en su libro, que otra manera de clasificar un sensor es considerando algunas de sus propiedades que pueden ser de interés. Algunas características que deben ser consideradas para clasificar un sensor son: sensibilidad, material de construcción, medio de detección, campo de aplicación, estímulo, entre otros.

II.2.2. Sistemas Inalámbricos

Pozar. (2001) expone en su libro, que los sistemas inalámbricos permiten la comunicación de información entre dos puntos sin la necesidad de utilizar una conexión por cable. Esto se logra utilizando energía sónica, infrarroja, óptica o radiofrecuencia. Los primeros controladores remotos de televisión utilizaban señales ultrasonicas, su velocidad era muy baja y tenían poca inmunidad a interferencias, lo que hacía que estos sistemas no fueran una opción viable para aplicaciones modernas.

Las señales infrarrojas proveen velocidades moderadas de información, pero el hecho de que la radiación de infrarrojo puede ser fácilmente bloqueada por pequeños obstáculos, ha limitado su uso a aplicaciones de corto alcance. Similarmente, las señales ópticas que se propagan en el medio ambiente pueden proveer moderadas y altas tasas de velocidad, pero requieren una línea de vista directa, y no pueden ser utilizadas en lugares con presencia de polvo o niebla que puedan bloquear la señal. Por estas razones, los sistemas inalámbricos modernos utilizan RF o señales microondas, usualmente en la banda UHF (300 - 3000 MHz).

Debido a la necesidad de utilizar altas tasas de velocidad, se tiende a utilizar frecuencias altas; es por esto que la mayoría de los sistemas inalámbricos de hoy en día utilizan frecuencia en un rango mayor a los 800 MHz.

II.2.2.1. Radiofrecuencia

RF (*Radio Frequency*) es una forma de comunicación inalámbrica, que permite a los usuarios transmitir información a través de ondas electromagnéticas provenientes de un terminal o de un dispositivo de mano a una estación base. (Murray, s.f)

Classic. (2009), explica que las ondas RF pueden ser caracterizadas por su longitud de onda y frecuencia. A continuación en la Tabla 1 se muestra la clasificación típica de las ondas RF según estos aspectos.

Tabla 1. Bandas RF.

Nombre	Frecuencia	Longitud de Onda
ELF (Extremely Low Frequency)	3-30 Hz	100.000-10.000 Km
SLF (Super Low Frequency)	30-300 Hz	10.000-1.000 Km
ULF (Ultra Low Frequency)	300-3.000 Hz	1.000-100 Km
VLF (Very Low Frequency)	3-30 KHz	100-10 Km
LF (Low Frequency)	30-300 KHz	10-1 Km
MF (Medium Frequency)	300-3.000 KHz	1 Km-100 m
HF (High Frequency)	3-30 MHz	100-10 m
VHF (Very High Frequency)	30-300 MHz	10-1m
UHF (Ultra High Frequency)	300-3.000 MHz	1 m-100 mm
SHF (Super High Frequency)	3-30 GHz	100-10 mm
EHF (Extremely High Frequency)	30-300 GHz	10-1 mm

Fuente: ITU (*International Telecommunication Union*).

Entre las diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica existentes en el mercado actual, Bluetooth y Wi-Fi son las más utilizadas debido a las facilidades que estas prestan para su uso y funcionamiento, se encuentran presentes en muchos de los dispositivos electrónicos que usamos día a día. A continuación se habla en detalle de cada una de estas tecnologías, con sus principales características.

Bluetooth

Bluetooth es una tecnología de comunicación de corto rango, simple y segura, que puede ser utilizada en dispositivos como teléfonos, computadoras, dispositivos médicos, entre otros. Esta tecnología es utilizada a la hora de reemplazar cables para conectar dispositivos, manteniendo al mismo tiempo altos niveles de seguridad. Es

una tecnología de bajo consumo, bajo costo y alto rendimiento. (BLUETOOTH SIG, Inc., 2011)

BLUETOOTH SIG, Inc., explica que esta tecnología opera mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda libre ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de 2.4 a 2.485 GHz, utilizando *spread spectrum, frequency hopping* y una señal full-duplex a una tasa nominal de 1600 saltos por segundo. La técnica de modulación de *frequency hopping* es utilizada en Bluetooth para reducir la interferencia entre las tecnologías inalámbricas que comparten el espectro de 2.4 GHz. Básicamente detecta todos los dispositivos que se encuentran en el espectro y evita las frecuencias que estos están utilizando.

Las conexiones entre los dispositivos Bluetooth se logra inalámbricamente a través de una red ad-hoc de corto alcance conocida como piconet. Las piconets son establecidas automática y dinámicamente a medida que los dispositivos Bluetooth entran y dejan el espectro de radio disponible. El rango de cobertura puede variar dependiendo de la clase de radio que se utiliza. A continuación se explica las clases disponibles según su campo de cobertura. (BLUETOOTH SIG, Inc., 2011)

- Bluetooth Clase 3: tiene un alcance de hasta 1 metro.
- Bluetooth Clase 2: tiene un rango de 10 metros y es utilizado comúnmente es dispositivos móviles.
- Bluetooth Clase 1: tiene un rango de 100 metros y utilizado principalmente en aplicaciones industriales.

Wi-Fi

Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) es una tecnología inalámbrica que brinda al usuario la facilidad de conectarse a su contenido favorito y a cualquier tipo de comunicación, con cualquier dispositivo como teléfonos móviles, computadoras, reproductores de sonidos, entre otros, sin la necesidad de utilizar cables. (Wi-Fi Alliance, 2012)

Esta tecnología opera en la banda de radio libre ISM a 2.4 y 5 GHz. Algunos dispositivos son diseñados de manera que contienen ambas bandas (*dual band*). Debido a que estas bandas son designadas como “licencia libre”, los usuarios pueden utilizar cualquier producto compatible a estas sin la necesidad de una licencia gubernamental.

Utiliza el estándar internacional IEEE 802.11 para proveer seguridad, confianza y una conexión inalámbrica rápida. Una red Wi-Fi puede ser utilizada para conectar dispositivos electrónicos entre si, a Internet y a una red cableada que utilice tecnología Ethernet. Adicionalmente asegura interoperabilidad entre productos de diferentes compañías.

Los productos Wi-Fi son identificados como el estándar internacional 802.11; dependiendo de la tecnología específica en la que operan se identifican por una letra minúscula, como 802.11a. Cada certificación es definida por un conjunto de características relacionadas con desempeño, frecuencia y ancho de banda, de igual manera cada generación ofrece mejoras en seguridad y pueden incluir otras características que los fabricantes decidan implementar. Actualmente existen cuatro (4) generaciones de productos Wi-Fi disponibles; en la Tabla 2 se puede observar cada generación con sus respectivas características. (Wi-Fi Alliance, 2012)

Tabla 2. Generaciones Wi-Fi

Tecnología Wi-Fi	Banda de Frecuencia	Ancho de banda o Velocidad de Tx
802.11a	5 GHz	54 Mbps
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
802.11g	2.4 GHz	54 –Mbps
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz 2.4 o 5 GHz 2.4 y 5 GHz	450 Mbps

Fuente: Wi-Fi Alliance, (2012).

II.2.3. Tecnologías para la Supervisión de Tráfico

II.2.3.1. Tecnologías Intrusivas

Las Tecnologías Intrusivas según Cheung y Varaiya, (2007), son aquellas cuya instalación se realiza en el pavimento, es decir, en huecos, brechas o túneles por debajo de la superficie. Son tecnologías poco usadas actualmente ya que, para su instalación y reparación el tráfico vehicular tiene que ser interrumpido, fallan ante condiciones de deterioro de las vías y requieren ser reinstaladas en el caso de que la vía sea reparada. Los lazos inductivos, los sensores piezoeléctricos y los tubos neumáticos son algunas de las tecnologías que abarca esta categoría.

Lazo Inductivo

The U.S Department of Transportation FHWA (2006), afirma que los lazos inductivos detectan la presencia de un objeto metálico conductor mediante la inducción de corrientes en el objeto, lo que reduce la inductancia del lazo. Estos detectores son instalados en la superficie del pavimento. Como se puede observar en la Figura 3, están compuestos por: un alambre de una o más vueltas incrustado en el

pavimento de la vía (lazo), un alambre que conecta los alambres que conforman el lazo a la conexión terminal, un cable que comunica el terminal con la cabina, y finalmente un detector que se encuentra en la cabina.

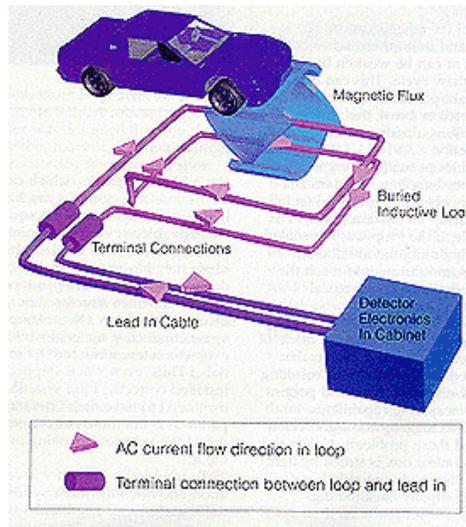


Figura 3. Sistema de Lazo Inductivo.

Fuente: U.S Department of Transportation FHWA (2011).

Según varias investigaciones realizadas por Oh S, Ritchie, Oh C, 2002; Hall, Acha-daza 1994 (cit. por Cheung y Varaiya, 2007) cuando un vehículo (o cualquier objeto metálico) se para o pasa por encima del sistema, la frecuencia de resonancia del lazo aumenta, indicando así la detección del vehículo. La velocidad del mismo puede ser estimada utilizando dos lazos contiguos o utilizando un solo lazo con algún algoritmo estadístico.

Martin, Feng y Wang (cit. por Cheung y Varaiya, 2007), afirman que este sistema es reconocido por ser altamente preciso en la detección (>97%). Sin embargo, Chen, Kwon, Rice, Skabardonis y Varaiya (cit. por Cheung y Varaiya, 2007), explican que no es muy utilizado actualmente ya que causa serias interrupciones de

tráfico durante su instalación y reparación. Esto hace que su instalación y mantenimiento sea bastante costosa en términos de retraso de tráfico. Otra desventaja que presenta este sistema radica en que el cable del lazo se ve afectado por condiciones de temperatura, por lo que su porcentaje de fallas es bastante alto.

Tubo Neumático

Según explican Mimbela y Klein (cit. por Cheung y Varaiya, 2007) los Tubos Neumáticos son tubos de goma largos que son instalados en la superficie, perpendicularmente a la dirección del flujo de tráfico. Cuando las ruedas de un vehículo pasan por encima del tubo neumático, un pulso de presión de aire es transferido por lo largo del tubo, y una señal eléctrica es disparada para representar la detección del vehículo cuando el pulso cierra el switch de aire.

Como no requiere un alto consumo de energía y es de fácil y rápida instalación, este sistema es comúnmente utilizado para estudios de conteo y clasificación de vehículos a corto plazo. Su principal desventaja se presenta cuando el tráfico de vehículos está representado por un gran número de camiones o autobuses, la sensibilidad del switch de aire (necesario para la detección) es dependiente de la temperatura y el sistema se vuelve poco preciso; además debido a que el material del tubo es poco resistente (goma) requiere de un mantenimiento frecuente. Es raramente utilizado para proyectos de largo plazo.

Sensores Piezoeléctricos

Karki, (2000) explica que los sensores piezoeléctricos se basan en el efecto piezoeléctrico, el cual muestra que al aplicar presión a un material piezoeléctrico, se causa una deformación mecánica y un movimiento de cargas.

Similarmente a los lazos inductivos, Mimbela y Klein (cit. por Cheung y Varaiya, 2007) explican que los sensores piezoeléctricos son instalados debajo del pavimento como se puede observar en la Figura 4. Están constituidos por un material especial (cuarzo) que generara un voltaje cuando se ve sometido a algún impacto mecánico o vibración. La magnitud del voltaje es proporcional a la fuerza o peso del vehículo.

Sus desventajas son similares a las de los lazos inductivos. Presentan fallas de precisión si hay congestionamiento, son sensibles a la temperatura y a la velocidad de los vehículos, y para su instalación y reparación se requiere de la interrupción del tráfico.

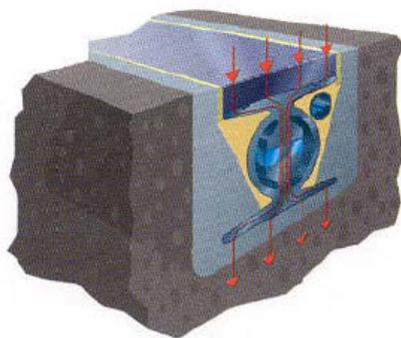


Figura 4. Sensor Piezoeléctrico.

Fuente: Quartz Technology for Weigh-in-Motion Sensors (2002).

Sensores Magnéticos

Los sensores magnéticos son dispositivos pasivos que detectan la presencia de un objeto metálico ferroso a través de la perturbación (conocida como anomalía magnética) que estos causan en el campo magnético de la Tierra. En la Figura 5 se puede observar cómo afecta la presencia de un objeto metálico ferroso (vehículo) el campo magnético de la Tierra.

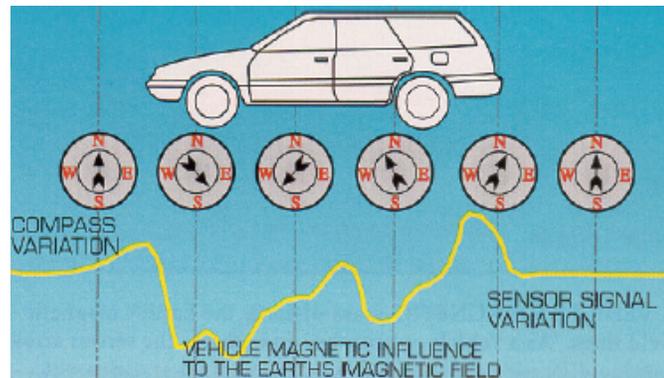


Figura 5. Perturbación del campo magnético de la Tierra debido a la presencia de un vehículo.

Fuente: Nu-Metrics, Vanderbilt, PA.

The U.S Department of Transportation FHWA (2006) explica que el sensor magnético, detecta la presencia del vehículo midiendo la distorsión en las líneas de flujo magnético inducidas por el cambio del campo magnético de la Tierra producidas por el movimiento del mismo. Estos detectores, generan un voltaje cuando un objeto ferro magnético en movimiento perturba el campo magnético de la Tierra.

Los magnetómetros no detectan vehículos detenidos, ya que requieren que el vehículo este en movimiento para que se produzcan cambios en el campo magnético. Estos requieren ser instalados horizontalmente por debajo de la superficie terrestre.

II.2.3.2. Tecnologías No-Intrusivas

De acuerdo a la *New México State University*, (2007) las tecnologías no intrusivas son aquellas que no requieren ser instaladas directamente en o dentro de la superficie de la vía. Los sensores que se basan en tecnologías no intrusivas son colocadas por encima o a un lado del pavimento, es por esto que la instalación y mantenimiento de estos sistemas puede efectuarse sin interrumpir el tráfico según *Cheung y Varaiya*, (2007). El procesamiento de imágenes de video, el radar

microonda, los sensores infrarrojo activo y pasivo y los sensores por ultrasonido son algunas de las tecnologías que abarcan esta categoría.

Radars Microondas

Un radar (*Radio Detection And Ranging*), es un dispositivo que permite transmitir señales electromagnéticas y recibir ecos de los objetos de interés que se encuentran en su área de cobertura (*The U.S Department of Transportation FHWA 2006*). Las microondas son formas de onda entre 1 y 30 cm que corresponden a frecuencias de 1 a 30 GHz. (Cheung y Varaiya, 2007).

En la Figura 6 se puede observar la transmisión de energía de un radar microonda, el cual apunta un área específica del pavimento. El ancho del haz o el área en que la energía del radar está concentrada es controlado por el tamaño y la distribución de la energía alrededor de la apertura de la antena. Cuando un vehículo pasa a través del haz de la antena, la energía entra al receptor y este es detectado, calculando el volumen, la velocidad y la longitud del vehículo instantáneamente.

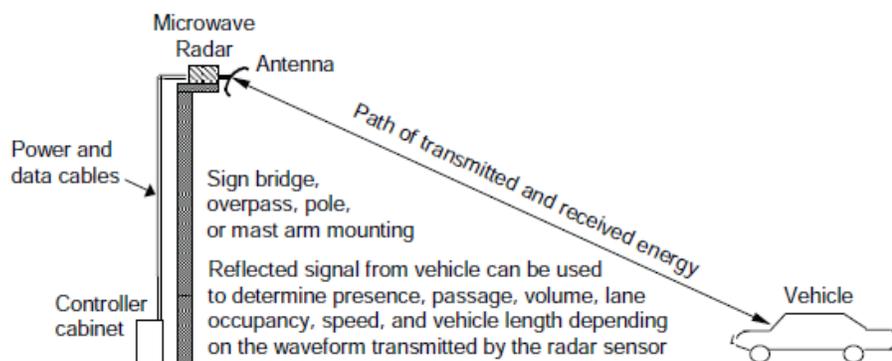


Figura 6. Operación básica de un radar microondas.

Fuente: *The U.S Department of Transportation FHWA (2006)*.

Existen dos tipos de radares microondas:

✓ **Radares de Onda Continua**

Los radares de onda continua o radares doppler según Chang, K. (2000), son utilizados para detectar un objeto en movimiento y proveer mediciones de conteo y velocidad. Estos radares transmiten señales con una frecuencia constante.

Cuando un vehículo pasa la zona de detección, se induce un cambio en la frecuencia de la señal reflejada. La detección y el estimado de la velocidad del vehículo en movimiento puede ser medida a través del cambio de frecuencia. Sin embargo, este tipo de radar no puede detectar vehículos que no estén en movimiento. (Duzdar y Kompa, cit. por Cheung y Varaiya, 2007)

Efecto Doppler

Russel, D. explica que el efecto doppler es el cambio de frecuencia de una onda producido por el movimiento de un objeto con respecto a su fuente. Se observa comunmente al escuchar la corneta de un vehículo cuando este se acerca, pasa y se aleja de un observador. La frecuencia recibida es mas alta comparada con la frecuencia emitida durante el acercamiento, es identica en el momento que pasa y es mas baja cuando el vehículo se aleja.

✓ **Radares de Onda Continua con Frecuencia Modulada**

The U.S Department of Transportation FHWA (2006), comenta que los sensores microondas que transmiten ondas continuas con frecuencia modulada, detectan la presencia y el paso de vehículos. Pueden detectar vehículos detenidos y proveer mediciones de la ocupación de los carriles, conteo de vehículos, velocidad y longitud del vehículo.

La principal ventaja de los radares por microondas es que el desempeño del sistema no se ve afectado por los cambios de clima. Pero Mimbela y Klein (cit. por Cheung y Varaiya, 2007) afirman que su principal desventaja es que el Radar Doppler o Radar de Onda Continua no puede detectar vehículos estacionarios a menos que este equipado con un dispositivo auxiliar.

Sistemas basados en infrarrojo

Michaud (1999), explica que la luz es una pequeña porción del espectro electromagnético, el cual incluye todo tipo de radiación, desde rayos-X utilizados en hospitales, hasta ondas de radio utilizadas para la comunicación. La radiación en el espectro electromagnético es categorizada dependiendo de la forma de onda.

La radiación de infrarrojo según explica Cheung y Varaiya (2007) es una radiación electromagnética cuya longitud de onda es mayor a la de la luz visible pero mucho menor a la de ondas de radio. El sensor infrarrojo es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión.

Los sistemas IR (*InfraredRadiation*) son clasificados en dos tipos, activo y pasivo.

✓ Sistema IR activo

Los sensores infrarrojo activos iluminan la zona de detección con energía de baja potencia, transmitida por diodos laser (*The U.S Department of Transportation. 2006*). Para detectar la presencia de un vehículo, se mide la diferencia de tiempo entre la transmisión y recepción de la señal reflejada proveniente de la zona de detección; si esta diferencia es pequeña significa que hay un vehículo presente. Para realizar mediciones de velocidad es necesario transmitir dos o más señales IR sobre diferentes posiciones de la zona de detección. (Cheung y Varaiya, 2007).

Las Figuras 7 y 8 muestran un ejemplo de la configuración y funcionamiento básico de este sistema.

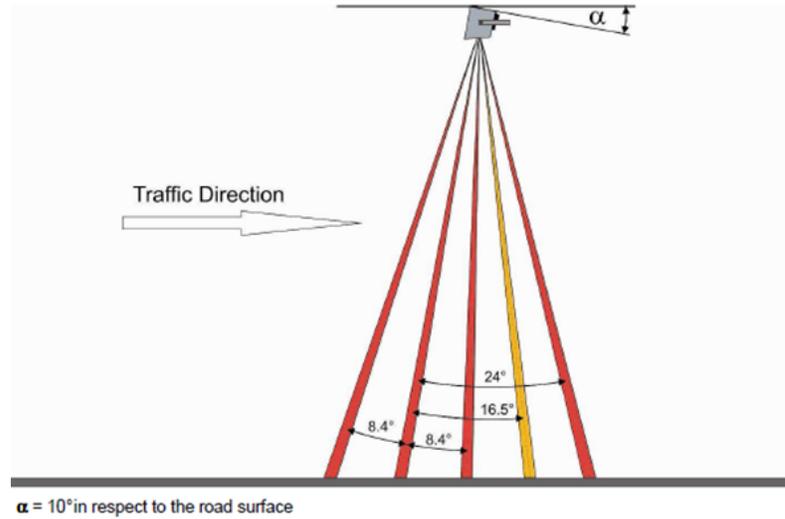


Figura 7. Configuración de Sistema IR.

Fuente: ADEC Technologies (2011).

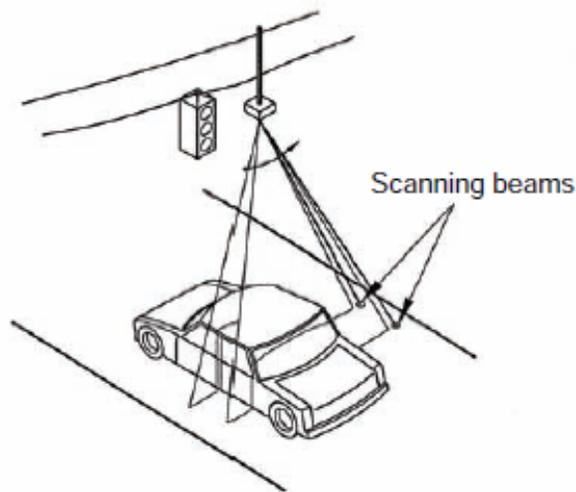


Figura 8. Funcionamiento del Sistema IR.

Fuente: Schwartz Electro-Optics.

✓ **Sistema IR pasivo**

Los sensores pasivos no transmiten energía propia, este sistema se basa en la detección de la energía emitida por vehículos, superficies viales y la energía de la atmósfera que es reflejada en vehículos, superficies viales u otros objetos que se encuentren en la apertura del sensor. Cualquier objeto con una temperatura mayor que el 0 absoluto (-273,15°C) emite cierta radiación correspondiente al extremo del espectro electromagnético de IR, dependiendo de la superficie, temperatura, tamaño y estructura del objeto. Los vehículos que se encuentran en la zona de detección son detectados por el cambio de la radiación IR recibida. La magnitud de la señal proveniente del objeto detectado es proporcional al producto de la diferencia de emisión de radiación entre la superficie terrestre y el vehículo, así como a la diferencia de temperatura entre la superficie y la atmósfera. (Cheung y Varaiya, 2007)

Sensores por ultrasonido

Cheung y Varaiya (2007), explican que el ultrasonido se refiere a las ondas de sonido de alta frecuencia que no pueden ser percibidas por el oído humano, son ondas cuya frecuencia varía entre 25 y 50 KHz.

Su principio de funcionamiento es similar al del radar por microonda. Se transmiten pulsos de sonido y se reciben pulsos reflejados, la distancia desde el receptor a la superficie del camino o del vehículo es medida de acuerdo al tiempo de viaje de la onda. Si la distancia es menor a la distancia medida a la superficie de la vía, quiere decir que se encuentra un vehículo presente. El estimado de la velocidad se obtiene aplicando múltiples zonas de detección.

En la Figura 9 se observa el principio básico de funcionamiento de los sensores por infrarrojo.

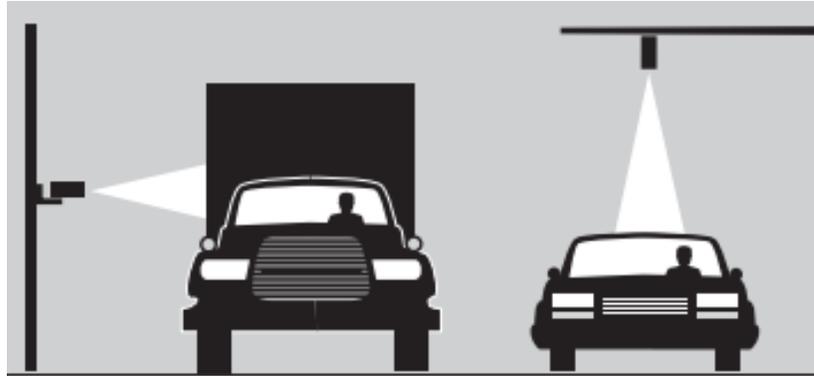


Figura 9. Funcionamiento del sensor infrarrojo TC-30.

Fuente: MS-SEDCO (2011).

Procesamiento de imágenes de video

The U.S Department of Transportation FHWA (2006), afirma que las cámaras de video fueron introducidas para el monitoreo del tráfico vehicular, debido a su habilidad de transmitir circuitos cerrados de televisión por imágenes para la interpretación humana.

Un sistema VIP (*Video Image Processing*), está compuesto por una o varias cámaras de video, un microprocesador para digitalizar y procesar la imagen, una computadora y un *software* para analizar las imágenes y extraer información sobre el tráfico. En general, la detección de vehículos es realizada a través del monitoreo de los cambios entre sucesivos frames de video. (Mimbela y Klein, cit. por Cheung y Varaiya, 2007).

Como explican Cheung y Varaiya (2007), en un sistema VIP las imágenes son capturadas por las cámaras y son usualmente digitalizadas por un microprocesador y memorizadas en una computadora. La detección de vehículos es llevada a cabo a través de una serie de imágenes, la segmentación de las imágenes es utilizada para

dividir el área de la imagen en pequeñas regiones que permite determinar la presencia del vehículo, su clasificación (basada en la longitud del mismo), volumen y velocidad. También permiten realizar el rastreo del vehículo, donde se pueden obtener sus trayectorias para proveer estadísticas sobre su origen, destino y giros o movimientos que vaya a realizar en la vía.

Mantri y Bullock (cit. por Cheung y Varaiya, 2007), afirman que el desempeño de los sistemas VIP se ve afectado por muchos factores ambientales, como las condiciones de luz, niebla y nieve. Se han propuesto diferentes algoritmos de procesamiento de imágenes para mejorar y mantener el nivel de precisión bajo condiciones ambientales no ideales.

La precisión en la detección de los sistemas VIP modernos es bastante alta. Combinando resultados obtenidos en condiciones ambientales ideales y rigurosas muestran que la detección de vehículos y el cálculo de su velocidad en sistemas VIP correctamente calibrados tienen una precisión mayor al 95%. (Michalopoulos, Jacobson, Anderson y Barbarreso cit. por Cheung y Varaiya, 2007).

Las desventajas de los sistemas VIP según Cheung y Varaiya (2007), incluyen efectos secundarios en su desempeño debido a condiciones inclementes del clima anteriormente mencionadas, falsa detección causada por las sombras del vehículo proyectadas en carriles adyacentes, vibraciones de la cámara a raíz de vientos fuertes, entre otras.

Capítulo III

Marco Metodológico

Para estructurar de manera coherente y secuencial las etapas de desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, se dividió el proyecto en cinco fases que abarcan cada uno de los objetivos planteados, según se describe a continuación:

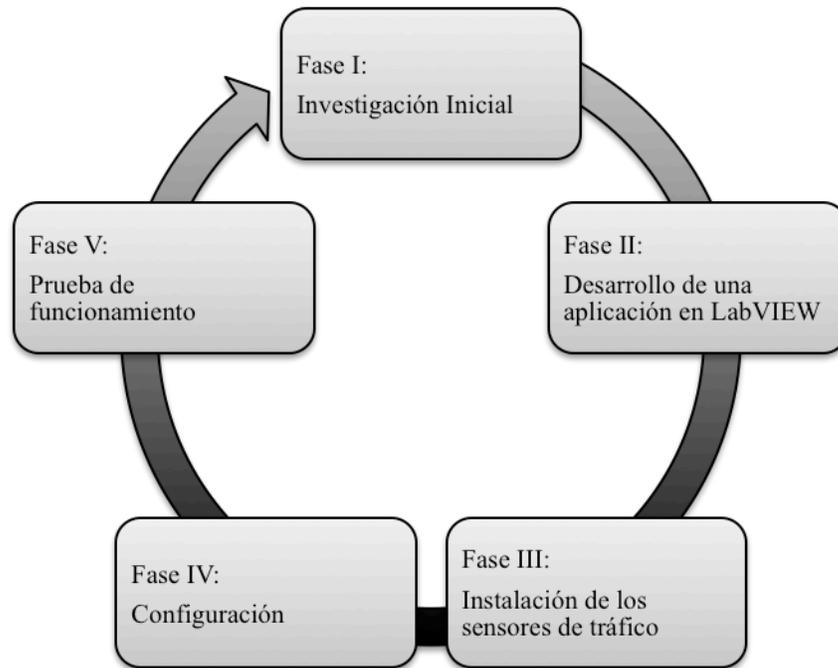


Figura 10. Esquema de las fases de elaboración del trabajo especial de grado.

Fuente: Autoría Propia.

En la Tabla 3 se muestran cada una de las actividades que se llevaron a cabo para la ejecución de cada fase que representa la metodología realizada.

Tabla 3. Etapas de elaboración del Trabajo Especial de Grado.

Fase	Actividades
I	<ul style="list-style-type: none"> a) Investigación de la ingeniería conceptual que compone el proyecto. b) Estudio de los sensores para el monitoreo de tráfico disponibles en el mercado. c) Selección de los sensores. d) Compra de los sensores. e) Estudio de los manuales y funcionamiento de los equipos adquiridos.
II	<ul style="list-style-type: none"> a) Estudio y análisis de la información generada por los sensores haciendo uso de su <i>software</i> propio. b) Estudio del protocolo de comunicación que utilizan para transmitir datos. c) Análisis de cómo realizar una aplicación en LabVIEW© para la lectura y manejo de datos. d) Desarrollo del programa.
III	<ul style="list-style-type: none"> a) Solicitud de apoyo a la Dirección de Planta Física y al Departamento de Mantenimiento para la instalación de los equipos. b) Planificación de instalación. c) Instalación.
IV	<ul style="list-style-type: none"> a) Configuración de los equipos según manual de usuario.
V	<ul style="list-style-type: none"> a) Comprobar el correcto funcionamiento de los sensores. b) Comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación desarrollada en LabVIEW©. c) Comparación de datos entre los dos (2) sensores.

Fuente: Autoría Propia.

III.1. Fase I: Investigación Inicial

Comprendió el estudio y recopilación de información relacionada con el proyecto, así como la investigación de los diferentes sensores disponibles en el mercado para el monitoreo de tráfico.

Se investigaron catorce (14) sensores de diferentes tecnologías, que fueron expuestos al Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar en una reunión informal para seleccionar el que más se adapte a las necesidades y presupuesto del proyecto.

Finalizada la reunión, se seleccionó el radar TMS-SA de tecnología microonda basado en el efecto Doppler y la cámara Collect-R x-stream, basada en la tecnología de video detección (procesamiento de imágenes de video) para el desarrollo del Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular.

Una vez comprados los sensores, se estudió su estructura y manejo haciendo uso del manual de usuario, de igual manera se realizaron pequeñas pruebas para conocer su funcionamiento.

III.2. Fase II: Desarrollo de una aplicación en LabVIEW

En esta fase se llevo a cabo la elaboración de una aplicación en LabVIEW© para la lectura y manejo de datos. Para esto fue necesario hacer un estudio preliminar de la información generada por cada equipo adquirido, conociendo así los datos que cada sensor proporciona de manera independiente.

Para lograr la comunicación con cada uno de los equipos fue necesario conocer y estudiar el protocolo de comunicación que utilizan para conectarse con cualquier dispositivo, así como la codificación de mensajes de envío y decodificación de mensajes de respuesta.

Debido a que el radar TMS-SA utiliza un protocolo de comunicación cerrado, éste no fue implementado en el diseño de la aplicación, por ende el proyecto “Conteo y Monitoreo de Tráfico Vehicular” sólo contiene un (1) VI, que realiza la lectura y manejo de los datos provenientes de la cámara Collect-R x-stream.

III.3. Fase III: Instalación de los sensores de tráfico

Para la instalación de los sensores de conteo y monitoreo de tráfico vehicular en la entrada principal de la Universidad Simón Bolívar, se solicitó el apoyo de la Dirección de Planta Física coordinada por el Arquitecto Oscar Ghella y del Departamento de Mantenimiento a cargo de la Ingeniera Crosbyhyn López.

Anteriormente, el Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar instaló dos (2) cámaras de video para el monitoreo de tráfico vehicular en un poste eléctrico ubicado al lado de la U.E Universidad Simón Bolívar, que se encuentra al frente de la entrada principal de la Universidad. Se utilizó dicho poste para la instalación de ambos sensores, aprovechando las conexiones eléctricas realizadas anteriormente y para monitorear la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer que presenta tráfico fluido y denso a varias horas del día.

Según el diseño realizado, la cámara Collect-R x-stream fue instalada a 6,50 metros de altura, cubriendo así el campo visual completo de la vía en ambas direcciones de tráfico. El radar TMS-SA fue instalado a 4,5 metros de altura, debido a que la distancia al punto medio de la vía con dirección a Baruta es de 4,8 metros. A diferencia de la cámara Collect-R x-stream, el radar solo detecta tráfico unidireccional, debido a que la distancia entre el poste de instalación y el punto central de la carretera sobrepasa los 9 metros.

III.4. Fase IV: Configuración

Una vez instalados los equipos, se procedió a calibrar y configurar los diferentes parámetros que la cámara Collect-R x-stream utiliza para su funcionamiento a través del *software* “*Traficon Configuration Tool*”.

El radar TMS-SA una vez instalado, realiza la detección automática de vehículos. Solo necesita tener un ángulo de inclinación vertical de 30 grados, el cual es determinado según la distancia al punto medio de la vía en relación a la altura.

III.5. Fase V: Prueba de funcionamiento

Una vez concluida la instalación de los sensores se cumplieron las pruebas necesarias a fin de comprobar el correcto funcionamiento del Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular.

Se recopiló la información almacenada por los mismos tres (3) días diferentes corroborando que ambos sensores proporcionaran datos similares. De igual manera, se realizó el monitoreo de la información en vivo y se compararon los datos proporcionados por ambos.

Capítulo IV

Desarrollo

A lo largo de este trabajo especial de grado se han reiterado las razones y motivos por los cuales se lleva a cabo un Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular que realice la detección, conteo y clasificación de vehículos.

El desarrollo de este proyecto se estructuró de manera general en cuatro (4) fases que son las siguientes:

- ✓ El estudio de la ingeniería conceptual que compone el proyecto, la investigación de los equipos disponibles en el mercado para el monitoreo de tráfico vehicular, la selección de los equipos más adecuados y el estudio del manejo de los equipos adquiridos.
- ✓ El estudio y análisis de la información generada por los equipos, así como el estudio del protocolo de comunicación para realizar una aplicación de lectura y manejo de datos a través de LabVIEW©.
- ✓ La instalación y configuración de los equipos adquiridos por la Universidad Simón Bolívar para el desarrollo del Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular, tomando como área de estudio la entrada principal de la Universidad que da a la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer.

En este capítulo se detalla de manera más específica, como fueron desarrolladas cada una de las fases que componen los objetivos específicos de este Trabajo Especial de Grado.

IV.1. Fase I: Investigación Inicial

Como su nombre lo indica, esta fase se basó en la investigación y estudio de los diferentes factores que componen el proyecto. Se dividió en cinco (5) etapas que son explicadas a continuación.

IV.1.1. Estudio de la ingeniería conceptual

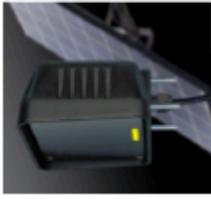
Para la elaboración de este proyecto fue necesario el estudio de los diferentes sistemas existentes para la supervisión de tráfico vehicular. Se estudiaron las tecnologías de monitoreo de tráfico intrusivas y no intrusivas, para conocer sus características principales, ventajas y desventajas. De igual manera, se estudiaron los diferentes medios de comunicación inalámbricos, buscando que el proyecto se acoplara a las exigencias actuales que facilitan el estudio y manejo de información. Una vez establecidas las prioridades del proyecto, las cuales eran crear un sistema inalámbrico de fácil instalación, que no interrumpiera el tráfico a la hora de mantenimiento y/o reparación, proporcionando datos fiables para el monitoreo de tráfico vehicular, se procedió a estudiar los equipos disponibles en el mercado.

IV.1.2. Estudio de los sensores disponibles en el mercado

Se realizó un estudio sobre los equipos de monitoreo de tráfico existentes en el mercado. Por ende, se contactaron diversas compañías nacionales e internacionales para solicitar información acerca de los productos que estas ofrecen para el monitoreo de tráfico vehicular. Cada compañía fue contactada a través de su Representante de Ventas vía e-mail, para obtener las especificaciones técnicas y presupuestos de los equipos.

Se recopiló información sobre catorce (14) tipos de sensores de diferentes tecnologías, tanto intrusivas como no intrusivas, para poder comparar sus funciones, ventajas, desventajas y costos. A continuación se muestran tres (3) tablas comparativas que contienen un breve resumen de cada uno de los sensores investigados con sus especificaciones técnicas principales, funciones y una pequeña imagen del mismo para conocer su forma y estructura.

Tabla 4. Comparación SDR, Intersector, AGD335 y NC200.

	SDR Radar Traffic Classifier	Intersector	AGD335	NC200
Compañía	DATA COLLECT	MS SEDCO	AGD SYSTEMS	QUIXOTE TRANSPORTATION TECHNOLOGIES, Inc.
Tecnología	Microonda (Efecto Doppler)	Microonda (Presencia y Movimiento)	Microonda (Efecto Doppler)	VMI (Vehicle Magnetic Imaging)
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad ($\pm 3\%$) • Clasificación por longitud (98%) • Conteo (99%) • Detección de vehículos en dos vías de direcciones opuestas 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad • Rastreo múltiple de vehículos en movimiento o reposo • Programación de 8 zonas de monitoreo 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad • Conteo por subrutina a través del <i>software</i> que este implementa 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad • Clasificación por longitud • Conteo
Peso	4.7 Kg.	2.3 Kg.	600 gr.	590 gr.
Dimensiones	30 cm x 35 cm x 15 cm	11 cm x 8.5 cm x 7 cm	13.4 cm x 7.3 cm x 9.9 cm	18.1 cm x 11.8 cm x 1.27 cm
Comunicación	GPRS o Bluetooth	Ethernet	Cableado (RS-232)	Cableado (RS-232)
Alimentación	Batería recargable con independencia de 21 días	PoE (<i>Power over Ethernet</i>)	5.5- 9V DC	Batería ion litio recargable con duración de 21 días
Memoria	1.600.000 vehículos	-	-	Flash micro serial de 3 MB
Forma y Estructura	 <p>Figura 11. SDR Traffic Classifier Fuente: DataCollect Traffic Systems GmbH (2011)</p>	 <p>Figura 12. Radar INTERSECTOR Fuente: MS SEDCO (2011)</p>	 <p>Figura 13. AGD335 Fuente: AGD Systems Limited (2009)</p>	 <p>Figura 14. NC200, vista aérea.</p>  <p>Figura 15. Ejemplo de uso NC200 Fuente: Quixote Transportation Technologies, Inc. (2011)</p>

Fuente: Autoría Propia.

Tabla 5. Comparación TMS-SA, TC-30, TDC3 y LMS111.

	TMS-SA	TC-30	TDC3	LMS111
Compañía	ICOMS DETECTIONS	MS SEDCO	ADEC TECHNOLOGIES	SICK
Tecnología	Microonda (Efecto Doppler)	Ultrasonido	Ultrasonido, Infrarrojo, Efecto Doppler	Infrarrojo
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad (99%) • Clasificación por longitud (90%) • Conteo (98%) • Detección de vehículos en dos vías de direcciones opuestas 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de vehículos • Utilizado comúnmente en peajes, estacionamientos, entre otros 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad ($\pm 3\%$) • Clasificación por longitud • Conteo ($\pm 3\%$) 	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación por longitud • Conteo • Realiza el escaneo del contorno del vehículo, permitiendo una imagen 3D del mismo
Peso	6.7 Kg.	1.4 Kg.	1.7 Kg.	1.1 Kg.
Dimensiones	24,5 x 27 x 23 cm	23 cm x 10.2 cm x 10.8 cm	17 cm x 20 cm x 10.5 cm	10.5 cm x 10.2 cm x 16.2 cm
Comunicación	Bluetooth	Cableado	Cableado (RS-485)	Ethernet
Alimentación	Batería 6V/12AH (duración 21 días)	6-12V DC o 12-24V AC/DC	10.5-30V DC	10.8-30V DC
Memoria	250.000 vehículos	-	-	-
Forma y Estructura	 <p>Figura 16. TMS-SA Fuente: CEGASA Motion Group (2011)</p>	 <p>Figura 17. Sensor TC-30 Fuente: MS SEDCO (2011)</p>	 <p>Figura 18. Sensor TDC3 Fuente: ADEC Technologies AG (2011)</p>	 <p>Figura 19. Sensor LMS111 Fuente: SICK AG (2011)</p>

Fuente: Autoría Propia.

Tabla 6. Comparación TDC1-PIR, CMP3-30, TDC-4 y PICO.

	TDC1-PIR		CMP3-30		TDC4		PICO	
Compañía	ADEC TECHNOLOGIES		NOPTEL OY		ADEC TECHNOLOGIES		ITERIS	
Tecnología	Laser		Laser		Ultrasonido, Infrarrojo, Efecto Doppler		Procesamiento de imágenes de video (cambios pixelares en las imágenes)	
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad ($\pm 5\%$) • Clasificación por longitud • Conteo ($\pm 3\%$) 		<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad • Clasificación por longitud • Conteo • Procesamiento de imágenes de video (al agregar una cámara al sensor) 		<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad ($\pm 3\%$) • Clasificación por longitud • Conteo ($\pm 3\%$) • Procesamiento de imágenes de video 		<ul style="list-style-type: none"> • Detección de vehículos • Puede trabajar hasta con ocho (8) zonas de detección diferentes • Conteo como subrutina del proceso de detección 	
Peso	800 gr.		300 gr.		1.7 Kg.		680 gr.	
Dimensiones	11.15 cm x 11.04 cm x 10.18 cm		3.6 cm x 7.1 cm x 7.8 cm		17 cm x 20 cm x 10.5 cm		20.32 cm x 10.16 cm x 10.16 cm	
Comunicación	Cableado (RS-485)		Cableado (RS-232)		Cableado (RS-485)		Ethernet	
Alimentación	5.5-30V DC		12-24V DC		10.5-30V DC		24V DC	
Memoria	-		-		-		-	
Forma y Estructura	 <p>Figura 20. Sensor TDC1-PIR Fuente: ADEC Technologies AG (2011)</p>		 <p>Figura 21. Sensor CMP3-30 Fuente: Noptel Oy (2011)</p>		 <p>Figura 22. Imagen del TDC4 Fuente: ADEC Technologies AG (2011)</p>		 <p>Figura 23. Cámara PICO Fuente: Iteris (2010)</p>	

Fuente: Autoría Propia.

Tabla 7. Comparación Versicam, Collect-R x-stream y Piezoelectric Roadtrax.

	Versicam	Collect-R x-stream	Piezoelectric Roadtrax 'Brass Lingulini' Axle Sensor
Compañía	ITERIS	TRAFICON	TRIGG INDUSTRIES
Tecnología	Procesamiento de imágenes de video	Procesamiento de imágenes de video	Efecto Piezoeléctrico
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de vehículos • Detección de velocidad • Conteo 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad (95%) • Clasificación por longitud (90%) • Conteo (95%) • Puede analizar hasta 4 zonas de detección 	<ul style="list-style-type: none"> • Detección de velocidad • Clasificación por longitud • Conteo
Peso	480 gr.	900 gr.	-
Dimensiones	17.78 cm x 11.43 cm x 5.85 cm	45 cm x 16 cm x 12 cm	60 cm x 55 cm x 7.5 cm
Comunicación	Cableado (RS-232)	Ethernet	Cableado
Alimentación	48V DC	12-48V AC/DC	-
Memoria	-	Circular con almacenamiento de hasta 12.000 líneas de información	-
Forma y Estructura	 <p>Figura 24. VERSICAM Fuente: Iteris (2011)</p>	 <p>Figura 25. TraffCam Collect-R x-stream Fuente: Traffcon (2011)</p>	 <p>Figura 26. Piezoelectric Roadtrax 'Brass Lingulini' Axle Sensor</p>  <p>Figura 27. Instalación del sensor piezoeléctrico Fuente: TRIGG Industries (2011)</p>

Fuente: Autoría Propia.

IV.1.3. Selección de sensores

La selección de los sensores a utilizar en el Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular fue llevada a cabo tras la realización de una reunión informal con el Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar, donde se expuso cada una de las tecnologías estudiadas.

Finalizada la reunión, se preseleccionaron los sensores SDR, TMS-SA y el Collect-R x-stream para el desarrollo del Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular.

El sensor SDR al igual que el sensor TMS-SA son radares microonda de alta precisión, que hacen uso del efecto doppler para contar, clasificar y determinar la velocidad de cada vehículo que transita por su zona de detección. Ambos permiten monitorear dos canales en direcciones opuestas pero se diferencian en la capacidad de memoria, peso, dimensiones y costo.

Estudiados estos aspectos, se escogió el sensor TMS-SA ya que al ser un radar para aplicaciones temporales, su instalación es más simple que la del SDR, de igual manera su costo se adapta más al presupuesto con que cuenta la Universidad Simón Bolívar para el desarrollo del proyecto.

Entre las diferentes cámaras estudiadas para el procesamiento de imágenes de video, la Collect-R x-stream cumple con los requerimientos establecidos para el desarrollo del proyecto, realiza el conteo, clasificación y detección de velocidad de cada vehículo, a diferencia de las cámaras PICO, VersiCam y TDC4 que sólo detectan la presencia de vehículos y requieren de una subrutina para el conteo.

Adicionalmente utiliza compresión MPEG-4 para la transmisión de video *streaming* en tiempo real, lo que permite la visualización del tráfico a través de la red a cualquier hora. Una vez seleccionados los equipos para el Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular se realizó la compra de los mismos.

IV.1.4. Compra de sensores

La compra de los equipos fue realizada directamente por el Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar. La cámara Collect-R x-stream fue adquirida a través de la compañía TRAFICON con sede en Madrid-España, su Gerente de Ventas Internacional, Rafael Lomana, proporcionó toda la información necesaria para la compra. El envío del equipo se realizó a través de DHL (Servicio de correo internacional) en un período de dos (2) meses tras la legalización en aduana.

El radar TMS-SA de la compañía belga ICOMS DETECTIONS fue adquirido a través del GRUPO CEGASA MOTION ENERGY con sede en Vitoria-España. La Directora Comercial Internacional, María Alfayate, facilitó la ayuda necesaria para la compra del equipo. Al igual que la cámara Collect-R x-stream el envío se realizó a través de DHL en un período de dos (2) meses.

IV.1.5. Estudio de los manuales de los sensores escogidos

Una vez recibidos los equipos, se procedió a estudiar el manejo de los mismos a través del manual de usuario. Por ser equipos de diferentes compañías y tecnologías poseen especificaciones y requerimientos técnicos diferentes. A continuación se muestra un resumen con las especificaciones técnicas de cada sensor para su correcta instalación y funcionamiento.

Collect-R x-stream

- *Alimentación*, debe ser alimentada con 12-48V AC/DC.
- *Comunicación*, utiliza el protocolo de comunicación TCP/IP, por lo que se necesita de un cable Ethernet CAT5e para conectar la cámara con cualquier dispositivo controlador.

- *Instalación*, la cámara posee un soporte de montaje que puede ser colocado en un poste en una posición superior o lateral a la vía, a una altura mínima de 6 metros.
- *Configuración*, utiliza el *software “Traficon Configuration Tool”*, para la calibración, establecimiento de las zonas de detección, modo de detección, determina la clasificación de vehículos según las medidas que el usuario desee, entre otros.
- *Manejo de datos*, la cámara utiliza el *software “Traficon Data Tool”*, que permite descargar el historial datos y la supervisión en tiempo real de la ocupación y velocidad promedio de cada zona de detección. Este programa es sencillo de utilizar ya que detecta automáticamente cualquier TrafiCam que se encuentre en la misma red. Una vez seleccionada la cámara deseada, el usuario puede escoger entre descarga o supervisión. Los archivos de descarga son generados en formato .csv y .xml que son almacenados directamente en la computadora y/o equipo servidor. El archivo de supervisión tiene formato .csv y se va actualizando automáticamente hasta que el usuario presione el botón “Detener”.

El formato .csv permite representar datos en forma de tabla, de manera que las columnas se separan por comas o punto y coma y las filas por saltos de línea. Los archivos .csv pueden ser convertidos fácilmente en archivos .xls a través de MS Excel 2007 o versiones posteriores.

- *Memoria*, la cámara Collect-R x-stream posee una memoria circular que almacena hasta 12.000 líneas de información, que corresponde a dos (2) semanas de datos de tráfico, de dos zonas de detección con un intervalo de integración de 5 minutos.
- *Precisión del equipo*, la precisión se refiere a la exactitud de los datos proporcionados. La cámara Collect-R x-stream tiene una desviación máxima

de 5% - 5 Km/h en la detección de velocidad, $\pm 10\%$ en la clasificación de vehículos según su longitud, 5% en el conteo de vehículos y 10% en el cálculo de ocupación de cada zona según el intervalo de integración, todo esto sujeto a condiciones de instalación ideales. Estos porcentajes de desviación, representan un margen mínimo de error, por lo que los datos procedentes de la misma son precisos.

TMS-SA

- *Alimentación*, utiliza una batería recargable 6V/12AH, con autonomía de 500 horas que corresponde aproximadamente a dos (2) semanas y media de carga. Posee un voltaje nominal de 6,4 Volts que es alcanzado luego de que la batería es cargada entre 10 y 15 horas. La batería dispone de un cargador que debe ser conectado a 110V y tiene un consumo máximo de 0,8A.
- *Comunicación*, el TMS-SA se comunica vía BLUETOOTH 2.0 clase 1 con cualquier computadora, que permite la transmisión de datos hasta 100 metros de distancia.
- *Instalación*, posee un soporte de montaje que debe ser colocado en un poste en posición lateral o frontal a la vía, de manera que el radar pueda detectar los vehículos que se acercan y alejan a él.
- *Configuración y manejo de datos*, utiliza el *software* “Icoms Software”, éste programa posee una interfaz amigable, de manera que el usuario pueda manejarlo sin problema alguno. Para establecer la comunicación entre el radar y el *software* es necesario conocer el puerto serial al que el dispositivo Bluetooth se conecta. Al saber el puerto serial activo, éste es especificado en la pestaña “*Software Parameters*”, e inmediatamente el radar es sincronizado con la computadora. Entre las funciones más importantes del programa se encuentran: “*Radar Parameters*”, que permite visualizar la descripción del

equipo, la memoria utilizada, el nivel de batería y la fecha y hora que posee el radar. “*Installation Parameters*”, que permite determinar el tipo de instalación (unidireccional o bidireccional), la altura de instalación y el ángulo de inclinación. “*Statistics*”, permite analizar la información almacenada en el radar a través de tablas y gráficas.

- *Memoria*, permite almacenar hasta 250.000 vehículos. No se puede estimar el tiempo de duración de la misma, ya que depende directamente del volumen de vehículos que transitan por la zona de monitoreo.
- *Precisión del equipo*, el radar TMS-SA presenta un margen de error de ± 3 Km/h en la detección de velocidad, $\pm 10\%$ en la clasificación de vehículos según su longitud y $\pm 3\%$ en el conteo de vehículos. Todo esto sujeto a condiciones de instalación ideales.

En el laboratorio de mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar, una vez estudiado el funcionamiento de cada sensor, se realizaron pruebas para el manejo del radar y de la cámara haciendo uso de un vehículo a escala. Aunque los resultados obtenidos no pueden ser considerados científicamente veraces, se corroboró que ambos equipos realizaban la detección.

Científicamente los datos obtenidos no fueron considerados veraces debido a que el vehículo a escala utilizado no representa un objeto medible por ambos sensores, la cámara requiere de una altura mínima de 6 metros, el radar de 2,2 metros, y el mesón que se disponía en el laboratorio para la colocación de los equipos posee una altura de apenas 90 cm.

IV.2. Fase II: Desarrollo de una aplicación en LabVIEW

Uno de los objetivos del proyecto es la elaboración de una aplicación en la herramienta gráfica de programación LabVIEW®, para la lectura y manejo de los datos provenientes de los sensores escogidos para el desarrollo del Sistema de Conteo y Monitoreo de Tráfico Vehicular. Se utilizó LabVIEW®, ya que es un *software* de diseño de sistemas que proporciona todas las herramientas necesarias para crear aplicaciones de medidas y control.

Cada equipo genera diferentes tipos de información de acuerdo a las especificaciones del fabricante, por lo que se estudio de manera independiente los datos que proporcionan, los cuales se explican a continuación.

Collect-R x-stream

La cámara Collect-R X-stream proporciona dos tipos de información.

- *Traffic flow data*, muestra el porcentaje de ocupación de cada zona en cada intervalo de supervisión, así como la velocidad promedio de vehículos en km/h. En la Tabla 8 se pueden observar los datos generados a través del programa *Trafficon Data Tool*.

Tabla 8. *Traffic flow data*.

Time	Lane	Zone Occupancy (%)	Flow Speed(km/h)
01/12/2011 10:36	1	0	10
01/12/2011 10:36	2	0	10
01/12/2011 10:37	1	35	12
01/12/2011 10:37	2	61	12
01/12/2011 10:38	1	2	12
01/12/2011 10:38	2	0	12
01/12/2011 10:39	1	5	13
01/12/2011 10:39	2	3	12

Fuente: *Trafficon Data Tool*– TrafiCam S/N:162580.

- *Integrated data*, es el historial de datos que almacena la cámara durante el monitoreo de tráfico. La información es promediada según el intervalo de integración establecido por cada zona de detección, siendo éste el período de tiempo definido para el manejo de datos. En la Tabla 9 se pueden observar los datos generados a partir de esta categoría, donde:

-*Lane*, se refiere a la zona de detección.

-*HeadWay*, es la distancia promedio entre la parte trasera del vehículo detectado y del vehículo anterior medido en metros.

-*Concentration*, es el promedio de vehículos por kilómetro.

-*Occupancy*, es el porcentaje de ocupación de la zona por intervalo de integración.

-*Confidence*, es la precisión de la información según la calidad de la imagen medido de 0 a 10, en donde 0 representa que el sistema es impreciso y 10 muy preciso.

-*Class*, es la clasificación de vehículos según su longitud.

-*# vehicles*, es el número de vehículos por clase (*class*).

-*Gap*, es el tiempo entre la parte delantera del vehículo y la parte posterior del vehículo anterior medido en 0,1 segundos.

-*Speed*, es la velocidad del vehículo medida en km/h.

Tabla 9. Integrated data.

Time	Lane	HeadWay (m)	Concentration (veh/km)	Occupancy (%)	Confidence	Class	#vehicles	Gap (s/10)	Speed (km/h)
01/12/2011 10:38	1	286	5	12	0	1	0	0	0
01/12/2011 10:38	1	286	5	12	0	2	0	0	0
01/12/2011 10:38	1	286	5	12	0	3	1	860	12
01/12/2011 10:38	2	182	10	15	2	1	0	0	0
01/12/2011 10:38	2	182	10	15	2	2	1	1097	12
01/12/2011 10:38	2	182	10	15	2	3	1	0	12
01/12/2011 10:39	1	0	0	0	0	1	0	0	0
01/12/2011 10:39	1	0	0	0	0	2	0	0	0
01/12/2011 10:39	1	0	0	0	0	3	0	0	0
01/12/2011 10:39	2	0	0	0	0	1	0	0	0
01/12/2011 10:39	2	0	0	0	0	2	0	0	0
01/12/2011 10:39	2	0	0	0	0	3	0	0	0

Fuente: Traficon Data Tool– TrafiCam S/N:162580.

TMS-SA

El radar TMS-SA analiza la información en dos (2) tipos de criterios diferentes, categoría de vehículos y clases de velocidad. Adicionalmente proporciona una gráfica global con el análisis de todos los datos que maneja el radar en el monitoreo de tráfico.

- *Vehicles Categories*, muestra una tabla con la velocidad en Km/h, longitud en metros, dirección (“+” para vehículos que se acercan al radar, “-” para vehículos que se alejan del radar), categoría según la longitud, y clase según la velocidad de cada vehículo que es detectado; la gráfica muestra la porción de vehículos según su categoría en el periodo de tiempo seleccionado para el estudio. El sistema define dos tipos de categorías diferentes, Categoría 1 se refiere a vehículos cuya longitud varía entre 0 y 6 metros, Categoría 2 se

refiere a vehículos cuya longitud varía entre 6,1 y 25 metros. La Figura 28 muestra una prueba realizada, donde se puede observar la tabla y la gráfica según la categoría de vehículos, a partir de los datos obtenidos por el radar en un período de tiempo establecido.

N° Stat	Date	Time	Sec/100	Speed [Km/h]	Length [m]	Direction	Category	Class	Total
4	24/01/2012	08:16:07	78	22	0,6	+	1	2	1
5	24/01/2012	08:16:39	56	12	0,5	+	1	1	2
7	24/01/2012	08:19:10	72	10	0,6	+	1	1	3
Stop			Average	= 15 Km/h					3 / 100%

ram Files\Icoms Detections\Icoms Software\prueba2.isf

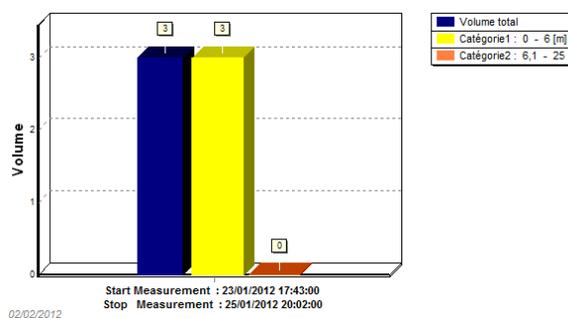


Figura 28. *Vehicle Categories.*

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

- *Speed Bins*, contiene una tabla que proporciona información detallada sobre el volumen de vehículos por clase, percentil de velocidad por cada categoría, velocidad promedio y porcentaje de vehículos que excedieron el límite de velocidad preestablecido (80 Km/h); la gráfica muestra el volumen para cada categoría de vehículo y clase de velocidad en el período de tiempo estudiado. Cada clase maneja un rango de velocidad distinto preestablecido por el sistema; Clase 1 velocidad entre 10 y 20 Km/h, Clase 2 velocidad entre 21 y 30 Km/h, Clase 3 velocidad entre 31 y 40 Km/h, Clase 4 velocidad entre 41 y 50 Km/h, Clase 5 velocidad entre 51 y 60 Km/h, Clase 6 velocidad entre 61 y 70 Km/h, Clase 7 velocidad entre 71 y 80 Km/h, Clase 8 velocidad entre 81 y 90 Km/h y Clase 9 velocidad entre 91 y 250 Km/h. La Figura 29 muestra una

prueba realizada, donde se puede observar la tabla y la gráfica según las clases de velocidad, a partir de los datos obtenidos por el radar en un período de tiempo establecido.

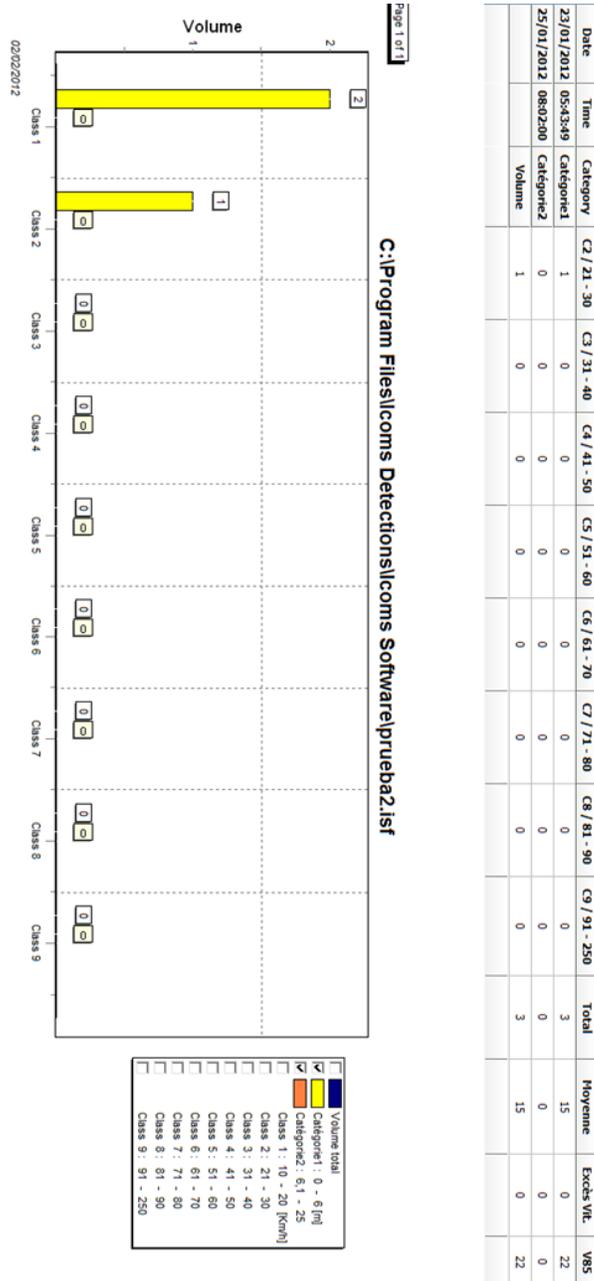
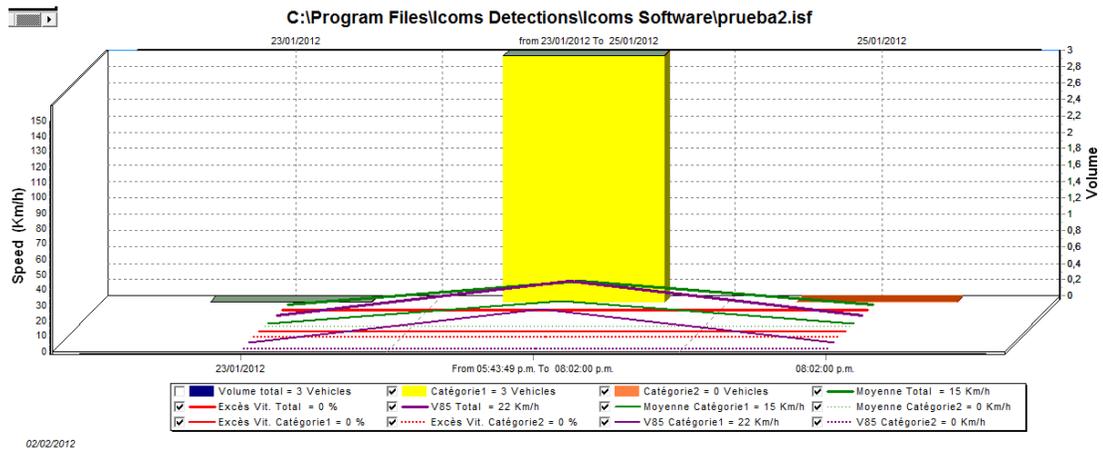


Figura 29. Speed Bins.

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

La tercera y última gráfica, *Global Graph*, muestra el volumen de cada categoría de vehículos, según el periodo de tiempo definido para el análisis de los datos. De acuerdo a las opciones que seleccione el usuario, puede visualizar las curvas correspondientes a velocidad promedio, percentil y porcentaje de exceso de velocidad con referencia al valor límite definido para el análisis de datos. En la Gráfica 1 se puede observar un ejemplo generado a partir de la prueba realizada.

Gráfica 1. Global Graph.



Fuente: Icoms Software, radar TMS-SA 1101336.

Ya conocidos los tipos de datos que maneja cada sensor de manera individual, se procedió a estudiar y analizar los protocolos de comunicación que ambos sensores utilizan para la transmisión y recepción de información. Básicamente el protocolo de comunicación es un documento que establece las reglas para realizar la conexión entre dos equipos, mediante el intercambio de mensajes.

El radar TMS-SA de la compañía ICOMS DETECTIONS es de protocolo cerrado, al no conocer su protocolo de comunicación no se pudo realizar una aplicación para la lectura de datos, ya que no se conocen los mensajes que este utiliza para la transmisión y recepción de información. Por ende, se utilizó el *software* “*Icoms Software*”, el cual viene integrado para el manejo de la información proveniente de radar.

En cambio, los datos integrados almacenados en la cámara Collect-R x-stream pueden transmitirse a través de un protocolo abierto SDK, el cual es un sistema de gestión propio de la compañía TRAFICON. El Jefe de Proyectos de TRAFICON con sede en Madrid, Charly Braga, facilitó el protocolo de comunicación que la cámara utiliza para poder desarrollar una aplicación en LabVIEW© para la lectura y manejo de datos.

IV.2.1. Lectura y manejo de datos: Collect-R x-stream

El protocolo Traficon XML 2, define las reglas para la comunicación de la cámara Collect-R x-stream con cualquier dispositivo de manera uniforme. Para el desarrollo de la aplicación de lectura y manejo de datos en LabVIEW©, fue necesario codificar/decodificar los mensajes de transmisión/recepción de información.

Los mensajes “*Getters*”, son los utilizados por el servidor para solicitar información.

- *Get Product Information*, contiene información acerca del producto.
- *Get Time*, contiene el UTC o Tiempo Universal Coordinado de la cámara.
- *Get Integrated Data*, permite recuperar la información almacenada en el sensor.
- *Get Flow Data*, permite recuperar el flujo de datos actual del tráfico.
- *Get Level Of Service*, indica el nivel de servicio actual del tráfico.
- *Get Level Of Service History*, permite recuperar la información almacenada sobre el nivel del servicio hasta el momento.

Los mensajes “*Setters*”, son los utilizados por el servidor para enviar información a un equipo TRAFICON. El mensaje *Clear Data* permite limpiar la memoria de la cámara.

Para el envío de cualquier tipo de mensaje XML, *getter* o *setter*, éste necesita ser convertido y empaquetado de acuerdo al protocolo Traficon SDK 2. El protocolo Traficon SDK 2 es el protocolo de comunicación TCP/IP que convierte los mensajes del protocolo Traficon XML2 en paquetes. Cada paquete está estructurado como se muestra a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10. Estructura de paquete (Protocolo Traficon SDK2).

1 Byte	4 Bytes	“LengthBytes”	1 Byte
Start	Length	Payload	End

Fuente: Manual de Comunicación Collect-R x-stream (2011).

Según el protocolo Traficon SDK 2, el byte de Inicio (*Start*) siempre tiene el valor 0x01 y el byte Fin (*End*) siempre tiene el valor 0x00, estos bytes no deben tener el mismo valor para evitar que un mensaje incorrecto sea enviado, de tener el mismo valor, la cámara puede tomar el mensaje como si no tuviera final, y el inicio del mensaje siguiente como el final del mensaje anterior, lo que ocasionaría la pérdida de información. Los bytes *Length* corresponden a la longitud del mensaje y *Length Bytes* es el payload o mensaje a enviar. El Apéndice A contiene un ejemplo de cómo debe ser enviada la trama correspondiente al mensaje *Get Product Information*.

Conocidos los mensajes para la lectura y manejo de datos de la cámara Collect-R x-stream se procedió a elaborar una aplicación en LabVIEW© que realiza las funciones explicadas anteriormente. Para esto, fue necesario establecer la conexión con la cámara, codificar los mensajes de envío y decodificar los mensajes recibidos.

IV.2.1.1. Codificación de mensajes de envío

Como se mencionó anteriormente, cada mensaje a enviar debe ser codificado según el protocolo Traficon SDK 2 para poder obtener una respuesta de la cámara Collect-R x-stream, para esto se utilizó un *combo box* que contiene los seis (6)

mensajes explicados anteriormente. LabVIEW© posee diferentes controles para el manejo de datos que asignan un valor numérico a cada ítem creado, se utilizó un *combo box* porque a diferencia de los demás controles, el valor de cada ítem puede ser de tipo *string*. Cada mensaje debe ser escrito en formato xml antes de ser codificado, por lo que el valor de cada ítem que conforma el *combo box* contiene el mensaje en su formato xml respectivo. En la Tabla 11 mostrada a continuación se pueden observar los siete mensajes implementados con su respectiva identificación para el usuario y codificación xml.

Tabla 11. Codificación de mensajes de envío.

Mensaje Usuario	Tipo de Mensaje	Codificación XML
Información General	<i>Get Product Information</i>	<MessageType="GetProductInformation"/>
Descargar Historial	<i>Get Integrated Data</i>	<MessageType="GetIntegratedData" />
Supervisión	<i>Get Flow Data</i>	<MessageType="GetFlowData" />
Nivel de Servicio	<i>Get Level of Service</i>	<MessageType="GetLevelOfService" />
Historial: Nivel de Servicio	<i>Get Level of Service History</i>	<MessageType="GetLevelOfServiceHistory" />
Borrar Memoria	<i>Clear Data</i>	<MessageType="ClearData" />
*	<i>Get Time</i>	<MessageType="GetTime" />

*El tipo de mensaje *Get Time* no puede ser seleccionado por el usuario, es utilizado cuando el usuario realice la supervisión, para mostrar la fecha y hora de los datos visualizados.

Fuente: Autoría Propia.

Configurado el *combo box* de opciones, se desarrollo paso por paso el paquete TCP/IP a ser enviado. Se creó la variable “Mensaje” de tipo *string* para concatenar cada uno de los bytes que conforma el paquete, según la opción de mensaje seleccionada.

IV.2.1.2. Establecimiento de Conexión

La cámara Collect-R x-stream utiliza el estándar Ethernet basado en el protocolo TCP/IP para establecer la comunicación con el controlador y/o equipo servidor. Para lograr la comunicación exitosa entre el equipo y la computadora es necesario conocer su dirección IP y el puerto TCP/IP que utiliza. Adicionalmente, es

necesario que cualquier equipo que desee conectarse con un dispositivo TRAFICON posea una dirección IP en el mismo rango de la red que utiliza el sistema Collect-R x-stream.

Conocida la dirección IP y el puerto TCP/IP se procedió a elaborar el esquema de conexión, haciendo uso de las funciones para la comunicación de datos TCP/IP que posee LabVIEW©. *TCP Open Connection*, *TCP Write*, *TCP Read* y *TCP Close Connection*, fueron las funciones utilizadas.

La función *TCP Open Connection*, se encarga de abrir una conexión de red TCP con la cámara haciendo uso de su Dirección IP y su Puerto Remoto. Una vez creada la variable “Mensaje” explicada anteriormente, es utilizada por la función *TCP Write*, para transmitir la opción seleccionada por el usuario a la cámara sobre la conexión TCP establecida.

IV.2.1.3. Decodificación de mensajes de respuesta

Una vez que el “Mensaje” ha sido enviado, la cámara genera una respuesta según el tipo de información requerida. El Apéndice B muestra la respuesta recibida según el tipo de mensaje enviado a la cámara.

La función *TCP Read*, lee byte a byte la información proveniente de la conexión TCP establecida, almacenándola en la variable de tipo *string*, “*data out*”. Para leer la información completa, es necesario definir el número de bytes a recibir, debido a que el paquete TCP/IP enviado por la cámara no contiene la longitud del mensaje, se elaboró un ciclo que contara el número de bytes hasta recibir el final del mensaje. Según el protocolo que utiliza la cámara todos los mensajes finalizan con la línea “*</Message>*”, exceptuando el mensaje *Get Product Information* que finaliza con la línea “*</Message*”, por lo que se realizó un *case* que compara según el tipo de mensaje, si la información recibida finaliza con el byte “0A” que corresponde al

carácter ASCII ">" o "3E" que corresponde al carácter ASCII "e", para obtener el número total de bytes a leer.

Dependiendo de la opción seleccionada por el usuario el mensaje de respuesta es decodificado para mostrar los datos. Como la cámara envía el mensaje de respuesta en formato xml, se separo en oraciones la información recibida formando un *array*, para extraer línea por línea los datos recibidos.

Nuevamente, se utilizó la estructura "*case*" para analizar, según el caso, el mensaje recibido. La respuesta de cada mensaje se muestra en una pestaña independiente con formatos similares a los que utiliza la cámara en su *software* de análisis. La conexión de red establecida es finalizada haciendo uso de la función *TCP Close Connection*.

IV.3. Fase III: Instalación de los sensores de tráfico

Una vez desarrollada la aplicación de usuario en LabVIEW©, se procedió a realizar la instalación de los equipos para el monitoreo de tráfico. El área de estudio seleccionada es la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer, que presenta altos índices de congestionamiento en sentido a Baruta, dado al problema existente en la Intersección de los Guayabitos, donde por el complicado cruce entre sus tres vías, la "tasa de desalojo" de los vehículos provenientes de la Universidad y Hoyo de la Puerta, es mucho menor a la demanda actual.

Se utilizó el poste ubicado al frente de la entrada de la Universidad, específicamente al lado de la U.E Universidad Simón Bolívar, donde anteriormente el Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar, instaló dos (2) cámaras de video para el monitoreo de tráfico, por lo que se pudo aprovechar las conexiones eléctricas realizadas.

Para la instalación, se convocó una reunión con el coordinador de Planta Física, el Arquitecto Oscar Ghella y la coordinadora del Departamento de Mantenimiento, la Ingeniera Crosbyhyn López, para solicitar el permiso y ayuda para la instalación de los sensores en el poste seleccionado. El Departamento de Planta Física puso a disposición al Electricista Manuel Villarroel, el cual se encargó de la instalación de los equipos con los ayudantes Darwin Delgado y Carlos León.

IV.3.1. Estructura Eléctrica

Se utilizó una caja para intemperie IP55 marca NEMA para proteger las conexiones eléctricas realizadas ante las condiciones climáticas, ya que ésta garantiza la impermeabilidad en exteriores y mantiene una temperatura de operación durante las condiciones climáticas más bajas a -5° o altas a 50° centígrados, a diferencia de las cajas metálicas, las cuales se oxidan a los pocos meses, pesan más del doble y producen un efecto microonda que puede quemar las instalaciones internas.

Otro de los beneficios que posee la caja NEMA, es que permite que cualquier equipo de tecnología inalámbrica pueda transmitir su señal sin verse interferida, siempre y cuando su banda de frecuencia sea de 5.8 GHz o 2.4 GHz. Gracias a esta cualidad, se pudo instalar en su interior además de las conexiones eléctricas, el adaptador *wireless* universal IOGEAR, GWU627, que utiliza la cámara para transmitir la información inalámbricamente.

En la Figura 30 mostrada, se puede observar un esquema realizado de la estructura interna de la caja de intemperie, donde:

En el tomacorriente “A” de marca BTICINO, se conectaron el transformador de voltaje y el enchufe del adaptador *wireless* de la cámara. Este tomacorriente está directamente conectado a la toma eléctrica de 110V realizada anteriormente para la alimentación de las cámaras de video antes instaladas. El cableado que genera los

110V va por el interior del poste hasta la caseta de electricidad ubicada a 9,10 metros del mismo.

En el tomacorriente “B” de marca BTICINO, se conectó el cargador del radar. Para este tomacorriente se utilizó una conexión eléctrica independiente ya que el radar no puede ser cargado continuamente; se introdujo un cable PHELPS DODGE NM de 2 x 16 hilos desde la toma eléctrica central superior del poste hasta la caseta de electricidad, donde se instaló un interruptor que permite controlar la carga del equipo cuando se requiera de manera manual.

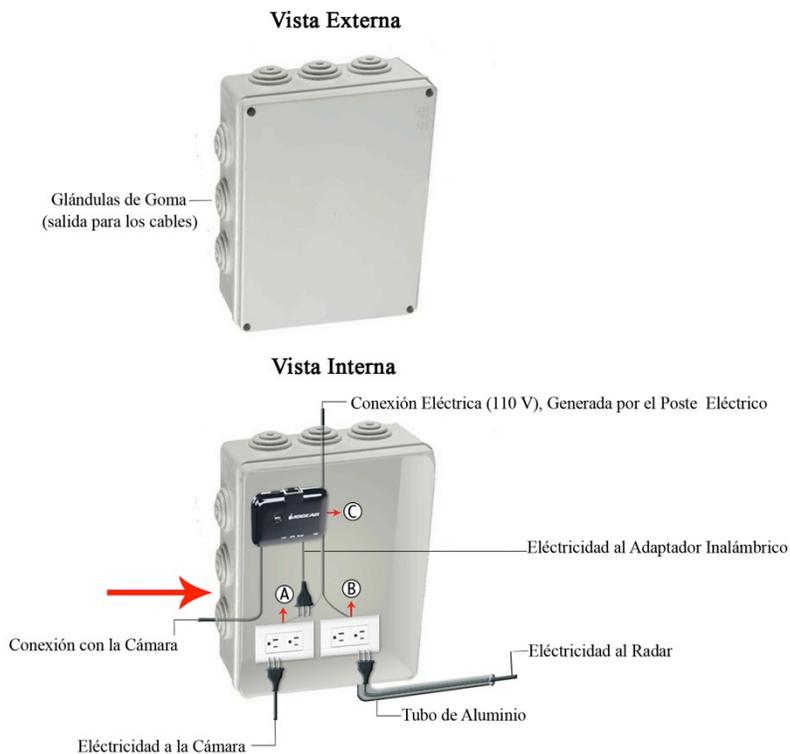


Figura 30. Esquema de la instalación eléctrica.

Fuente: Autoría Propia.

La caja de intemperie posee doce (12) glándulas de goma, tres (3) por cada lado, que fueron utilizadas para introducir los cables de los equipos y de la toma de eléctrica central superior del poste, que alimenta los tomacorrientes utilizados. Para

mayor fijación y protección, cada cable utilizó un prensa estopa, ajustándolo con respecto al diámetro de la goma.

IV.3.2. Instalación de la cámara Collect-R x-stream

La cámara Collect-R x-stream posee una cubierta sellada de aluminio con protección para lluvia y sol, lo que la hace ideal para condiciones de intemperie, sin ser necesario la instalación de una caja de protección extra.

Posee un soporte de montaje de fácil instalación, mediante el uso de correas sujetadoras o tornillos M8. Ya que la cámara es de peso ligero, se utilizaron dos (2) abrazaderas de aluminio de medio cm de espesor para fijar el soporte al poste de electricidad.

La cámara se instaló a 6,5 metros de altura para obtener un campo visual amplio de la vía. Una vez fijada la cámara al poste, se conectó el cable de corriente eléctrica y el cable Ethernet que comunica al equipo con el adaptador *wireless*.

IV.3.3. Instalación del radar TMS-SA

El radar TMS-SA viene resguardado de fábrica por una caja de intemperie PELICAN 1200, diseñada y desarrollada específicamente para el TMS-SA, la cual garantiza su protección en todo momento ante cualquier agente externo.

Posee un soporte de montaje de fácil instalación, mediante el uso de correas sujetadoras. Debido al peso del radar, se utilizaron dos abrazaderas de aluminio de 1,3 cm de espesor para fijar el soporte al poste.

Para determinar la altura más adecuada de instalación del radar, se utilizó el *software "Icoms Software"*, que calcula este valor según el tipo de instalación y la distancia del poste al medio de la vía.

En la Figura 31 se pueden observar los valores medidos y obtenidos para la instalación del radar.

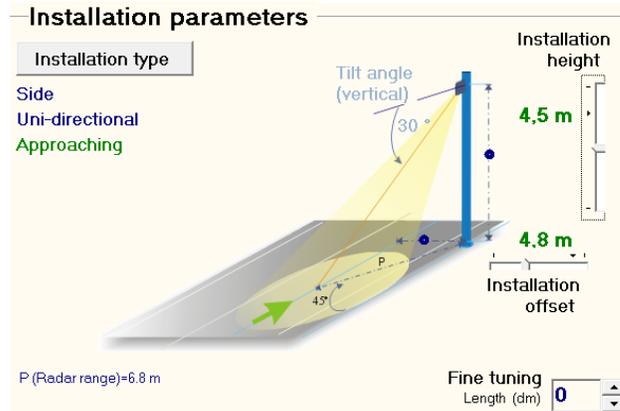


Figura 31. Parámetros de instalación del radar TMS-SA.

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

Como se puede observar en la Figura 31, el parámetro “*Installation Type*” se refiere al número de canales y dirección que se desea monitorear. El radar TMS-SA permite monitorear un canal de manera que el vehículo se acerque o se aleje del mismo y monitorear dos canales en direcciones opuestas. La Figura 32 muestra la opción seleccionada para la instalación del radar.

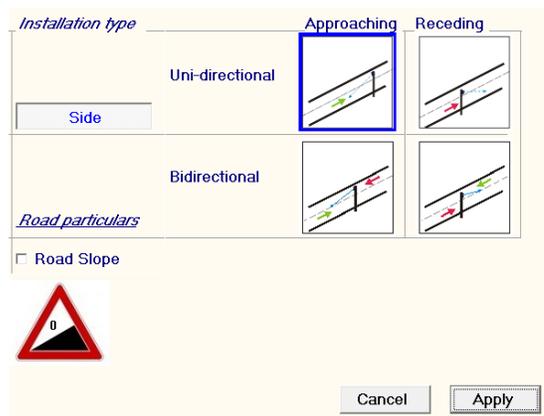


Figura 32. Tipo de Instalación del radar TMS-SA.

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

Una vez seleccionado el tipo de instalación, se debe colocar la distancia existente entre el poste de instalación y el punto medio del canal que se desea monitorear, desplazando la barra móvil del parámetro “*Installation Offset*”. Dependiendo de esta distancia, el *software* permite determinar el parámetro “*Installation Height*”, el cual corresponde a la altura a la cual el sensor debe ser instalado en el poste. Según la altura que se encuentre el radar y la distancia al punto medio de la vía, el *software* calcula automáticamente el ángulo de inclinación vertical del radar, “*Tilt Angle*”, el cual puede ser ajustado dependiendo de la pendiente de la calle o de la inclinación del poste utilizando el parámetro “*Fine Tuning*”. Cuando los parámetros “*Installation Offset*” e “*Installation Height*” son determinados, el *software* también genera un aproximado de la cobertura del radar.

Como se puede observar en la Figura 31, mostrada anteriormente, el radar se instaló a 4,5 metros de altura, siendo el rango de detección de 6,8 metros, lo que permite detectar vehículos de Categoría 1 (0 – 6 metros) y de Categoría 2 (6,1 – 25 metros). Ya fijado al poste, se conectó el cable del cargador, el cual fue introducido en el interior de un tubo de aluminio de media pulgada de diámetro para su protección. Este tubo fue fijado al poste utilizando dos abrazaderas de 0,70 cm de espesor, adicionalmente, entre el tubo y la abrazadera se colocaron unas gomas para evitar su deslice.

IV.4.Fase IV: Configuración

Una vez instalados los sensores para el Conteo y Monitoreo de Tráfico Vehicular, se realizó la configuración de los mismos para su correcto funcionamiento.

El radar TMS-SA no necesitó ser configurado, ya que al establecer los parámetros de instalación, éste realiza la detección de vehículos automáticamente. En cambio la cámara Collect-R x-stream debe ser calibrada para definir las zonas de detección y los parámetros funcionales que esta utiliza.

Para la configuración de estos parámetros se utilizó el *software* propio de la cámara “*Traficon Configuration Tool*”. En éste se definieron dos zonas de data, una para el tráfico en dirección a Baruta y otra para el tráfico en dirección a Hoyo de la Puerta, la Figura 33 muestra la configuración realizada de la Zona 1, correspondiente a la dirección Baruta.

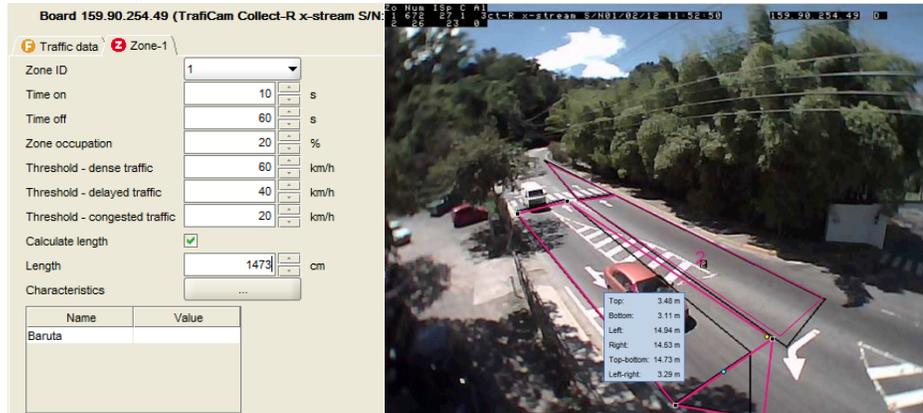


Figura 33. Configuración de la Zona 1 de la cámara.

Fuente: Traficon Configuration Tool, Collect-R x-stream S/N 162580.

La cámara Collect-R x-stream diferencia cinco (5) niveles de servicio, tráfico normal, denso, retrasado, congestionado y detenido. Como se puede observar en la imagen anterior, por cada zona de detección se deben definir los valores de velocidad promedio y ocupación de la zona. A continuación se explican los valores establecidos, que son iguales tanto para la Zona 1 como para la Zona 2.

- *Zone Occupation*, el promedio de ocupación de una zona para tráfico normal es de 20%.
- *Threshold – dense traffic*, el umbral de velocidad para tráfico denso es de 60 Km/h.
- *Threshold – delayed traffic*, el umbral de velocidad para tráfico retrasado es de 40 Km/h.

- *Threshold – congested traffic*, el umbral de velocidad para tráfico congestionado es de 20 Km/h.
- *Length*, es la longitud de la zona. Este valor debe ser ± 12 metros para poder detectar cualquier tipo de vehículo.

En la Figura 34 mostrada a continuación, se puede observar la configuración de la Zona 2, correspondiente a la dirección Hoyo de la Puerta.



Figura 34. Configuración de la Zona 2 de la cámara.

Fuente: Traficon Configuration Tool, Collect-R x-stream S/N 162580.

Definidas las dos (2) zonas de detección, se calibró la cámara para establecer las distancias relativas de su campo visual. La Figura 35 muestra los parámetros configurados para la calibración de la cámara, donde:

- *Focal distance*, es la distancia entre el centro óptico del lente y el foco. El valor establecido para este tipo de cámara es de 2,10 mm.
- *Camera height*, es a la altura a la que se encuentra instalada la cámara.
- *CCD*, es el tamaño del área activa del sensor CCD que tiene incorporada la cámara. El valor establecido para este tipo de cámara es $\frac{1}{4}$ ".

- *Zone left, Zone mid, Zone right* y *Zone width*, son calculados automáticamente por la cámara y corresponden a los valores de longitud de la zona de calibración

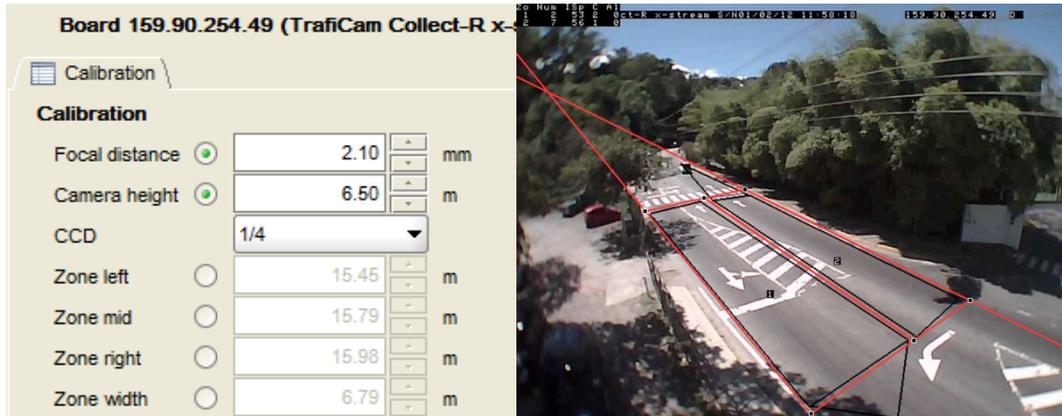


Figura 35. Calibración de la cámara Collect-R x-stream.

Fuente: Traficon Configuration Tool, Collect-R x-stream S/N 162580.

Para corroborar la calibración de la cámara, se midió la distancia horizontal de la imagen. En la Figura 36 se puede comprobar que el margen de error entre la distancia calculada y la distancia real no excede de 5%, lo que indica que la cámara esta correctamente calibrada.



Figura 36. Prueba de calibración de la cámara Collect-R x-stream.

Fuente: Traficon Configuration Tool, Collect-R x-stream S/N 162580.

Finalmente, se estableció el modo de detección, el intervalo de integración, los valores para la clasificación de vehículos, y los demás parámetros que componen la función de recolección de datos de la cámara. En la Figura 37, se pueden observar los valores establecidos para:

Traffic Data

- *Detection mode*, define el modo de detección, ya sea automático, de día o de noche.
- *Default flow speed*, la cámara utiliza una velocidad por defecto de 90 Km/h para evitar datos irreales cuando no hay suficientes vehículos transitando en cierto periodo de tiempo.
- *Integration interval*, es el periodo de tiempo en que la información es integrada.
- *Integration type*, indica si el promedio de la información se toma en cuenta según el tiempo (“0”) o sobre la distancia (“1”).
- *Vehicle classification*, permite establecer la longitud para cada clase. En este caso se definió Clase 1: 0 – 6 metros y Clase 2: 6,1 metros o más.

Event Manager

- *Individual data*, habilita el envío de información con los parámetros *Gap* y *Class*.
- *Integrated data*, habilita que la integración de los parámetros *occupancy*, *confidence level*, *average length*, *headway*, *density*, *vehicle count*, *speed* y *gap time* en el periodo de tiempo definido.
- *Send flow speed data*, habilita que la cámara realice el monitoreo de la velocidad y de la zona de ocupación continuamente hasta que el usuario lo desee.

- *Flow speed data send interval*, define el periodo de tiempo para el envío de *flow speed data*.

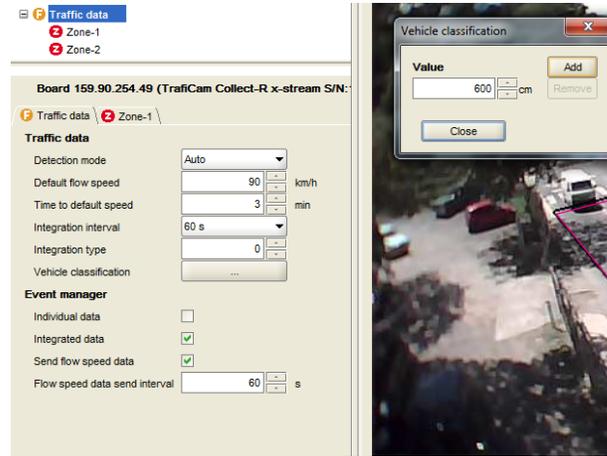


Figura 37. Configuración de los parámetros de tráfico de la cámara Collect-R x-stream.

Fuente: Traficon Configuration Tool, Collect-R x-stream S/N 162580.

Por otra parte, la cámara Collect-R x-stream posee dos parámetros de detección que permiten omitir detecciones indeseadas causadas por oclusión o sombras (neblina). Estos parámetros conocidos como “*Occlusion*” y “*Shadow manager*” deben ser manejados directamente por un Ingeniero TRAFICON, ya que el usuario no tiene permitido el acceso directo a estos. El parámetro “*Occlusion*” se encuentra desactivado y el parámetro “*Shadow manager*” se encuentra activado por defecto.

Capítulo V

Resultados

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos correspondientes a cada objetivo específico planteado, los cuales en conjunto, completan el desarrollo del Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular.

V.1. Instalación y configuración de los sensores de tráfico

Según el esquema planteado en la Figura 38, se logró realizar exitosamente la instalación de los sensores seleccionados para el desarrollo del Sistema de Conteo y Monitoreo para Tráfico Vehicular. La cámara Collect-R x-stream fue instalada a una altura de 6,50 metros lo que permite la visualización completa de la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer en dirección Hoyo de la Puerta y Baruta, mientras que el radar TMS-SA fue instalado a una altura de 4,5 metros según los cálculos obtenidos a través del *software "Icoms Software"*, a diferencia de la cámara, el radar solo detecta los vehículos que transitan en dirección a Baruta, debido a que la distancia entre el poste de instalación y el punto medio de la vía es mayor a nueve (9) metros. En el Apéndice C se muestra algunas de las fotos capturadas durante el proceso de instalación de los equipos.

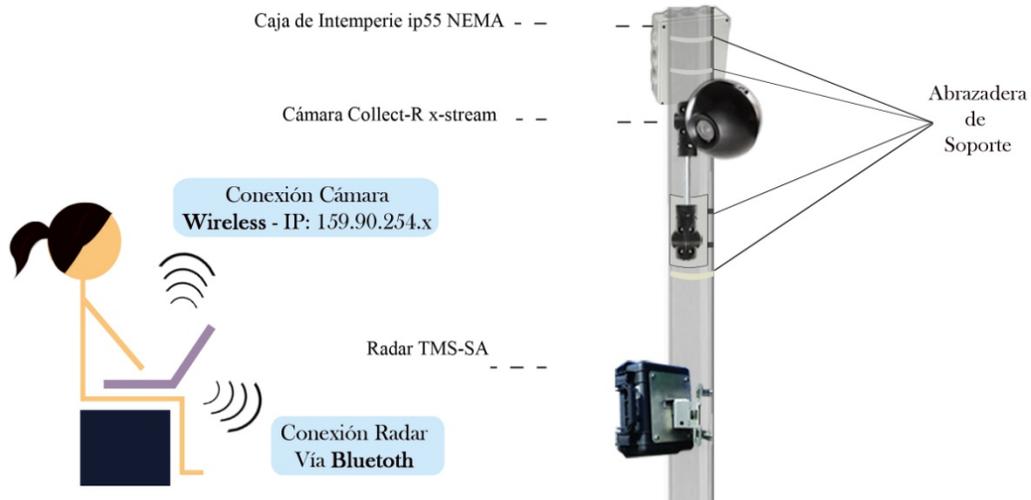
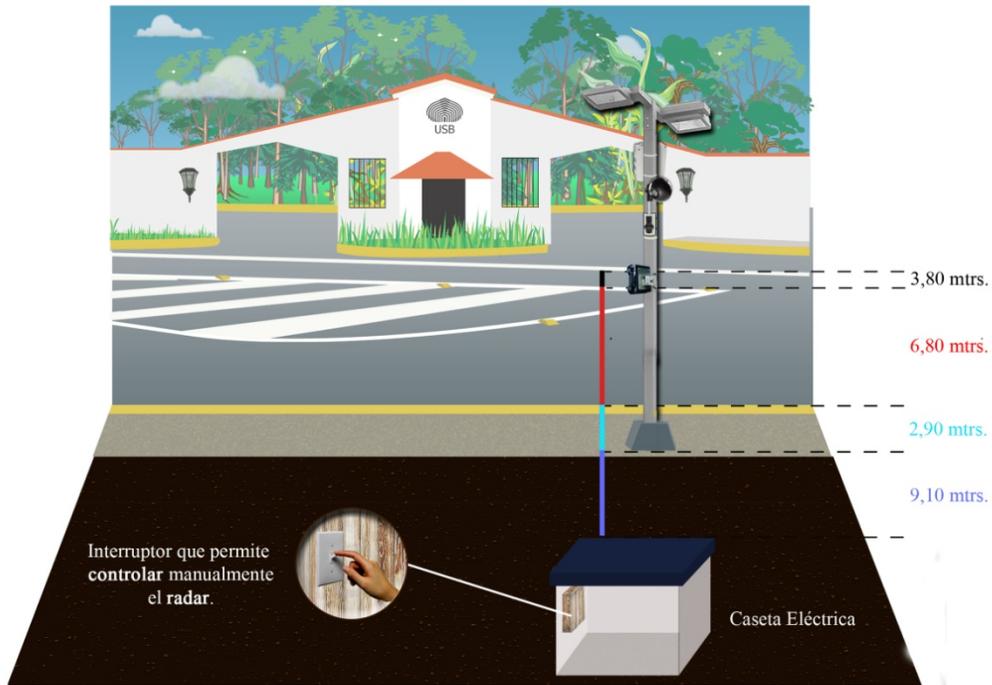


Figura 38. Esquema de instalación final.

Fuente: Autoría propia.

Una vez instalados los equipos, se procedió a calibrar y configurar los parámetros funcionales de la cámara. Se establecieron dos (2) zonas de detección, una con sentido a Baruta y otra con sentido a Hoyo de la Puerta. En la Figura 39.a se puede observar como la cámara detecta un vehículo en la Zona 1 en dirección a Baruta, al ser detectado la Zona realiza una especie de “titileo” cambiando a color blanco. En la Figura 39.b se puede observar como la cámara detecta un vehículo en la Zona 2 en dirección a Hoyo de la Puerta, realizando el mismo “titileo”. De esta manera, se puede corroborar como la cámara Collect-R x-stream realiza la detección de vehículos según estos transitan por la zona de detección.



Figura 39. Proceso de detección de vehículos, cámara Collect-R x-stream.

Fuente: VLC Media Player, cámara Collect-R x-stream 159.90.254.49.

Por otra parte, se accedió a las cámaras de tráfico instaladas anteriormente por el Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar, para comparar que la imagen que se visualiza a través de la cámara Collect-R x-stream es correcta. La Figura 40 muestra del lado derecho la imagen de la cámara DSC-3420 y del lado izquierdo la imagen de la cámara Collect-R x-stream. Ambas muestran la imagen del mismo vehículo, lo cual certifica el correcto funcionamiento de la cámara configurada.



Figura 40. Comparación de imagen con sistema anterior.

Fuente:

Derecha: Cámara DSC-3420 159.90.254.46.

Izquierda: VLC Media Player, cámara Collect-R x-stream 159.90.254.49.

La imagen anterior deja ver una diferencia entre la posición del vehículo vista desde la cámara DSC-3420 y la cámara Collect-R x-stream, esto se debe a que la TrafiCam utiliza diversos procedimientos para la detección de vehículos y filtros avanzados para suprimir detecciones indeseadas que pueden ser causadas por cambios en las condiciones de la luz, lo que genera un pequeño retraso en la captura de la imagen.

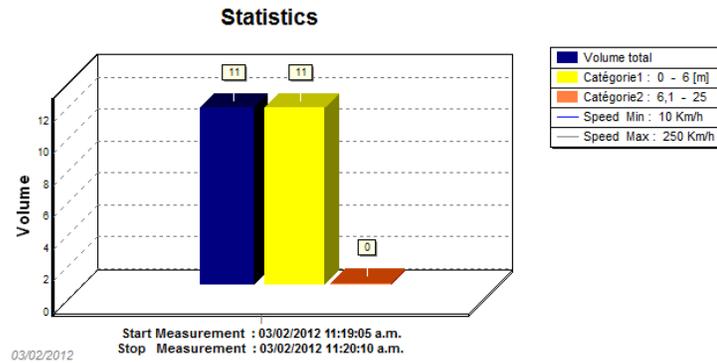
De igual manera se verificó el funcionamiento en tiempo real del radar TMS-SA. A continuación se muestran los resultados obtenidos al realizar el monitoreo de tráfico de los días 03 y 05 de febrero de 2012. Ambos días se corroboró en tiempo real, que al pasar los vehículos en dirección a Baruta, el radar los detectaba y automáticamente los agregaba a las tablas mostradas anteriormente, modificando el valor de las gráficas. Las longitudes y velocidades coincidían con lo visto.

Tabla 12. Monitoreo - viernes 03 de febrero de 2012.

N° Stat	Date	Time	Sec/100	Speed [Km/h]	Length [m]	Direction	Category	Class	Total
7	03/02/2012	11:19:42	58	29	4,5	+	1	2	7
8	03/02/2012	11:19:46	25	29	3,9	+	1	2	8
9	03/02/2012	11:20:07	36	29	3,5	+	1	2	9
10	03/02/2012	11:20:09	33	34	4,8	+	1	3	10

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

Gráfica 2. Monitoreo - viernes 03 de febrero de 2012.



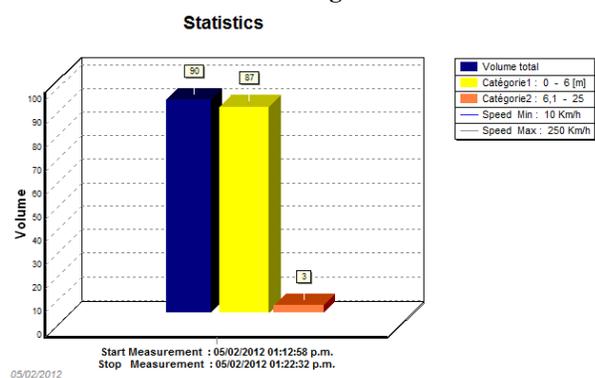
Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

Tabla 13. Monitoreo - domingo 05 de febrero de 2012.

N° Stat	Date	Time	Sec/100	Speed [Km/h]	Length [m]	Direction	Category	Class	Total
87	05/02/2012	01:22:27	49	40	4,3	+	1	3	87
88	05/02/2012	01:22:29	96	42	4,0	+	1	4	88
89	05/02/2012	01:22:30	93	43	3,3	+	1	4	89
90	05/02/2012	01:22:32	47	43	3,3	+	1	4	90

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

Gráfica 3. Monitoreo - domingo 05 de febrero de 2012.



Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

V.2. Lectura de datos de la cámara Collect-R x-stream

Se realizó una aplicación en la herramienta gráfica de programación LabVIEW©, para la lectura y manejo los datos provenientes de la cámara Collect-R x-stream. En la Figura 41, se puede observar el panel frontal de aplicación realizada, donde en el menú de Opciones, el usuario puede acceder a la información general de la cámara, descargar el historial, realizar la supervisión, ver el nivel de servicio o el historial del nivel del servicio según lo desee.

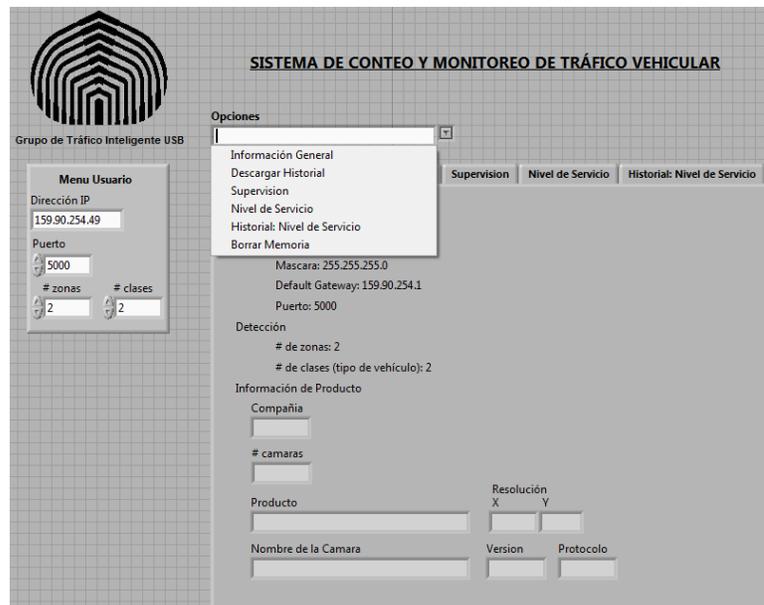


Figura 41. Vista del panel frontal.

Fuente: Autoría Propia.

Al seleccionar la opción “Información General” el usuario se encuentra con las características generales de la cámara, esto se puede observar en la Figura 42 a continuación.

The screenshot displays a web interface with a navigation bar at the top containing the following tabs: "Información General", "Descargar Historial", "Supervision", "Nivel de Servicio", and "Historial: Nivel de Servicio". The main content area is titled "Configuración del Equipo" and includes the following sections:

- Configuración del Equipo:** Dirección IP: 159.90.254.49, Mascara: 255.255.255.0, Default Gateway: 159.90.254.1, Puerto: 5000.
- Detección:** # de zonas: 2, # de clases (tipo de vehículo): 2.
- Información de Producto:**
 - Compañía: Traficon
 - # camaras: 1
 - Producto: TrafiCam Collect-R x-stream
 - Resolución: X=640, Y=480
 - Nombre de la Camara: TrafiCam Collect-R x-stream S/N:162580
 - Version: V1.01
 - Protocolo: Rtsp

Figura 42. Opción "Información General".

Fuente: Autoría Propia.

Al seleccionar la opción “Descargar Historial” el usuario tiene acceso a una tabla, la cual muestra según la zona y clase, el porcentaje de ocupación, la velocidad promedio y el número de vehículos en el intervalo de integración configurado. A continuación se muestran los datos obtenidos los días 03, 04 y 05 de Febrero de 2012, que permitieron comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación realizada, ya que hubo una concordancia con las fechas iniciales de cada historial los tres (3) días de prueba.

Fecha y Hora	Zona	Ocupación (%)	Clase	Velocidad (km/h)	# vehiculos
03/02/2012 10:52:00 a.m.	1	13	1	21	9
03/02/2012 10:52:00 a.m.	1	13	2	19	1
03/02/2012 10:52:00 a.m.	2	6	1	30	8
03/02/2012 10:52:00 a.m.	2	6	2	0	0
03/02/2012 10:53:00 a.m.	1	1	1	34	3
03/02/2012 10:53:00 a.m.	1	1	2	0	0
03/02/2012 10:53:00 a.m.	2	5	1	34	6
03/02/2012 10:53:00 a.m.	2	5	2	42	1
03/02/2012 10:54:00 a.m.	1	17	1	22	15
03/02/2012 10:54:00 a.m.	1	17	2	22	2
03/02/2012 10:54:00 a.m.	2	5	1	29	5
03/02/2012 10:54:00 a.m.	2	5	2	0	0
03/02/2012 10:55:00 a.m.	1	7	1	27	9
03/02/2012 10:55:00 a.m.	1	7	2	0	0
03/02/2012 10:55:00 a.m.	2	6	1	31	5
03/02/2012 10:55:00 a.m.	2	6	2	41	1
03/02/2012 10:56:00 a.m.	1	8	1	28	10
03/02/2012 10:56:00 a.m.	1	8	2	0	0
03/02/2012 10:56:00 a.m.	2	2	1	45	4
03/02/2012 10:56:00 a.m.	2	2	2	0	0
03/02/2012 10:57:00 a.m.	1	15	1	23	13
03/02/2012 10:57:00 a.m.	1	15	2	24	1
03/02/2012 10:57:00 a.m.	2	5	1	36	5
03/02/2012 10:57:00 a.m.	2	5	2	19	1
03/02/2012 10:58:00 a.m.	1	14	1	21	8
03/02/2012 10:58:00 a.m.	1	14	2	21	3
03/02/2012 10:58:00 a.m.	2	11	1	35	8
03/02/2012 10:58:00 a.m.	2	11	2	26	1

Figura 43. Descarga de Historial - viernes 03 de febrero de 2012 con intervalo de 60 segundos.

Fuente: Autoría Propia.

Fecha y Hora	Zona	Ocupación (%)	Clase	Velocidad (km/h)	# vehiculos
04/02/2012 04:40:00 a.m.	1	0	1	45	1
04/02/2012 04:40:00 a.m.	1	0	2	0	0
04/02/2012 04:40:00 a.m.	2	1	1	74	5
04/02/2012 04:40:00 a.m.	2	1	2	58	1
04/02/2012 04:45:00 a.m.	1	0	1	49	2
04/02/2012 04:45:00 a.m.	1	0	2	0	0
04/02/2012 04:45:00 a.m.	2	0	1	56	3
04/02/2012 04:45:00 a.m.	2	0	2	74	1
04/02/2012 04:50:00 a.m.	1	1	1	0	0
04/02/2012 04:50:00 a.m.	1	1	2	44	3
04/02/2012 04:50:00 a.m.	2	1	1	48	4
04/02/2012 04:50:00 a.m.	2	1	2	69	1
04/02/2012 04:55:00 a.m.	1	0	1	0	0
04/02/2012 04:55:00 a.m.	1	0	2	54	2
04/02/2012 04:55:00 a.m.	2	0	1	48	2
04/02/2012 04:55:00 a.m.	2	0	2	55	1
04/02/2012 05:00:00 a.m.	1	0	1	52	2
04/02/2012 05:00:00 a.m.	1	0	2	0	0
04/02/2012 05:00:00 a.m.	2	0	1	52	6
04/02/2012 05:00:00 a.m.	2	0	2	0	0
04/02/2012 05:05:00 a.m.	1	0	1	61	1
04/02/2012 05:05:00 a.m.	1	0	2	0	0
04/02/2012 05:05:00 a.m.	2	0	1	57	1
04/02/2012 05:05:00 a.m.	2	0	2	0	0
04/02/2012 05:10:00 a.m.	1	0	1	79	2
04/02/2012 05:10:00 a.m.	1	0	2	0	0
04/02/2012 05:10:00 a.m.	2	1	1	53	3
04/02/2012 05:10:00 a.m.	2	1	2	55	2

Figura 44. Descarga de Historial - sábado 04 de Febrero de 2012 con intervalo de 5 minutos.

Fuente: Autoría Propia.

Fecha y Hora	Zona	Ocupación (%)	Clase	Velocidad (km/h)	# vehículos
05/02/2012 05:00:00 a.m.	2	0	2	58	1
05/02/2012 06:00:00 a.m.	1	0	1	63	17
05/02/2012 06:00:00 a.m.	1	0	2	60	11
05/02/2012 06:00:00 a.m.	2	0	1	51	33
05/02/2012 06:00:00 a.m.	2	0	2	49	1
05/02/2012 07:00:00 a.m.	1	1	1	44	66
05/02/2012 07:00:00 a.m.	1	1	2	39	7
05/02/2012 07:00:00 a.m.	2	1	1	47	74
05/02/2012 07:00:00 a.m.	2	1	2	32	2
05/02/2012 08:00:00 a.m.	1	2	1	27	162
05/02/2012 08:00:00 a.m.	1	2	2	25	14
05/02/2012 08:00:00 a.m.	2	2	1	35	148
05/02/2012 08:00:00 a.m.	2	2	2	34	10
05/02/2012 09:00:00 a.m.	1	4	1	28	243
05/02/2012 09:00:00 a.m.	1	4	2	27	16
05/02/2012 09:00:00 a.m.	2	3	1	37	219
05/02/2012 09:00:00 a.m.	2	3	2	39	15
05/02/2012 10:00:00 a.m.	1	4	1	27	283
05/02/2012 10:00:00 a.m.	1	4	2	24	19
05/02/2012 10:00:00 a.m.	2	4	1	33	288
05/02/2012 10:00:00 a.m.	2	4	2	31	13
05/02/2012 11:00:00 a.m.	1	5	1	28	336
05/02/2012 11:00:00 a.m.	1	5	2	26	24
05/02/2012 11:00:00 a.m.	2	4	1	36	314
05/02/2012 11:00:00 a.m.	2	4	2	35	17
05/02/2012 12:00:00 p.m.	1	7	1	25	431
05/02/2012 12:00:00 p.m.	1	7	2	24	17
05/02/2012 12:00:00 p.m.	2	4	1	31	341

Figura 45. Descarga de Historial- domingo 05 de Febrero de 2012 con intervalo de 60 minutos.

Fuente: Autoría Propia.

Los datos obtenidos no pudieron ser comparados con el *software* “*Trafficon Data Tool*” que realiza la descarga de los datos almacenados en la cámara, ya que una vez que la información es descargada esta se borra automáticamente, a consecuencia que la cámara utiliza una memoria circular de almacenamiento. El usuario debe descargar el historial hasta no recibir información, debido a que la cámara no realiza el envío completo de datos según el protocolo que esta utiliza.

Al seleccionar la opción “Supervisión” el usuario puede observar una tabla, la cual contiene según la zona, el porcentaje de ocupación y la velocidad promedio en el intervalo de integración establecido en la configuración inicial. Se realizó la supervisión de datos tres días diferentes con un intervalo de integración de 60 segundos. A continuación se muestran los datos obtenidos los días 03, 04 y 05 de Febrero de 2012.

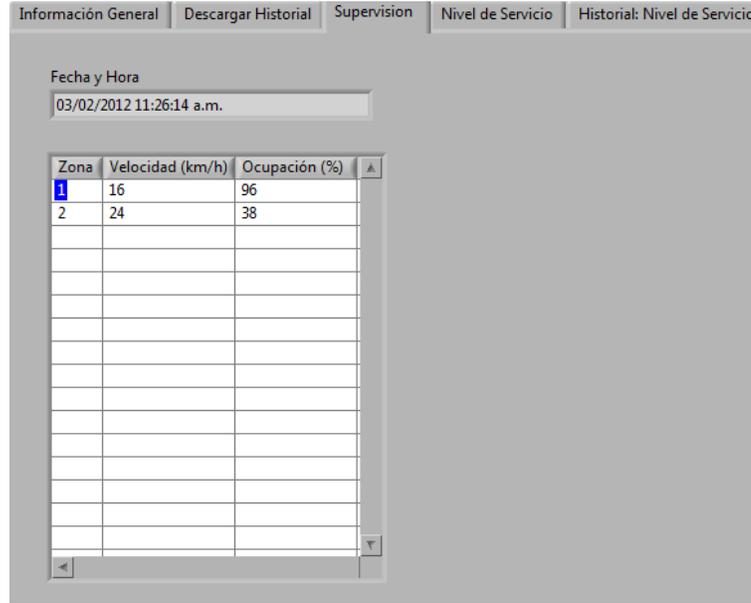


Figura 46. Supervisión - viernes 03 de Febrero de 2012.

Fuente: Autoría Propia.

Tabla 14. Supervisión - viernes 03 de Febrero de 2012.

Time	Lane	Zone Occupancy(%)	FlowSpeed(km/h)
03/02/2012 11:26	1	96	16
03/02/2012 11:26	2	38	24

Fuente: Configuration Data Tool, cámara Collect-R x-stream 159.90.254.49.

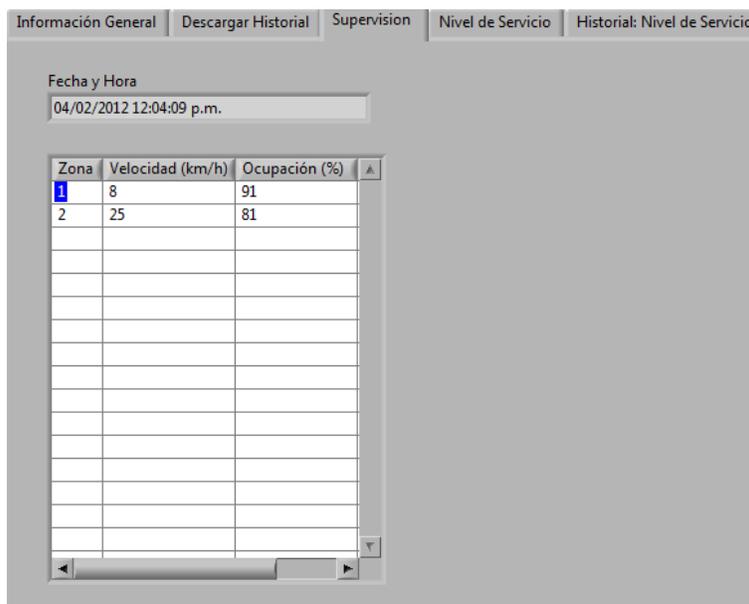


Figura 47. Supervisión - sábado 04 de Febrero de 2012.

Fuente: Autoría Propia.

Tabla 15. Supervisión - sábado 04 de Febrero de 2012.

Time	Lane	Zone Occupancy(%)	FlowSpeed(km/h)
04/02/2012 12:03	1	91	8
04/02/2012 12:03	2	81	25

Fuente: Configuration Data Tool, cámara Collect-R x-stream 159.90.254.49.

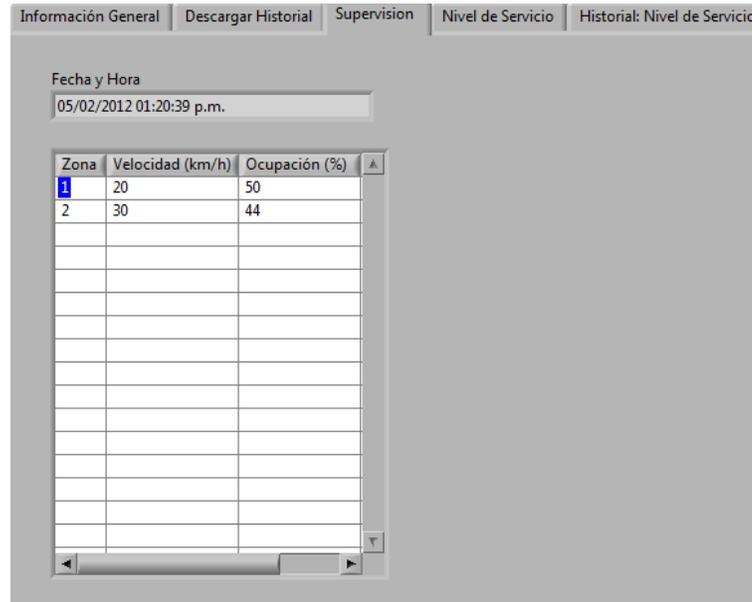


Figura 48. Supervisión - domingo 05 de Febrero de 2012.

Fuente: AutoríaPropia.

Tabla 16. Supervisión - domingo 05 de Febrero de 2012.

Time	Lane	Zone Occupancy(%)	FlowSpeed(km/h)
05/02/2012 13:20	1	50	20
05/02/2012 13:20	2	44	30

Fuente: Configuration Data Tool, cámara Collect-R x-stream 159.90.254.49.

Se comprobó que la aplicación realiza correctamente la descarga de los datos relativos a la supervisión de cada zona de detección. Los datos obtenidos fueron comparados con la información generada a través del *software* “*Configuration Data Tool*”, observando la similitud entre ambos.

Al seleccionar la opción “Nivel de Servicio” el usuario puede observar una alarma según el estado del tráfico al momento. La cámara Collect-R x-stream distingue 5 niveles de servicio diferentes que son determinados según la velocidad promedio y la zona de ocupación, estos valores fueron definidos en la configuración

inicial para cada zona de detección. La tabla 17, muestra de acuerdo al nivel de servicio, el mensaje que el programa genera.

Tabla 17. Mensajes generados según el nivel de servicio.

Nivel de Servicio	Mensaje de Alarma
0	TRÁFICO LIGERO CON OCUPACIÓN MENOR AL 20%
1	TRÁFICO NORMAL → Velocidad Promedio: 60km/h
2	TRÁFICO DENSO → Velocidad Promedio: 40km/h
3	TRÁFICO RETRASADO → Velocidad Promedio: 20km/h
4	TRÁFICO CONGESTIONADO → Velocidad: 0 - 20 km/h

Fuente: Autoría Propia.

La Figura 49, refleja el nivel de servicio tomado el domingo 05 de febrero de 2012, aproximadamente a la 01:25 pm.

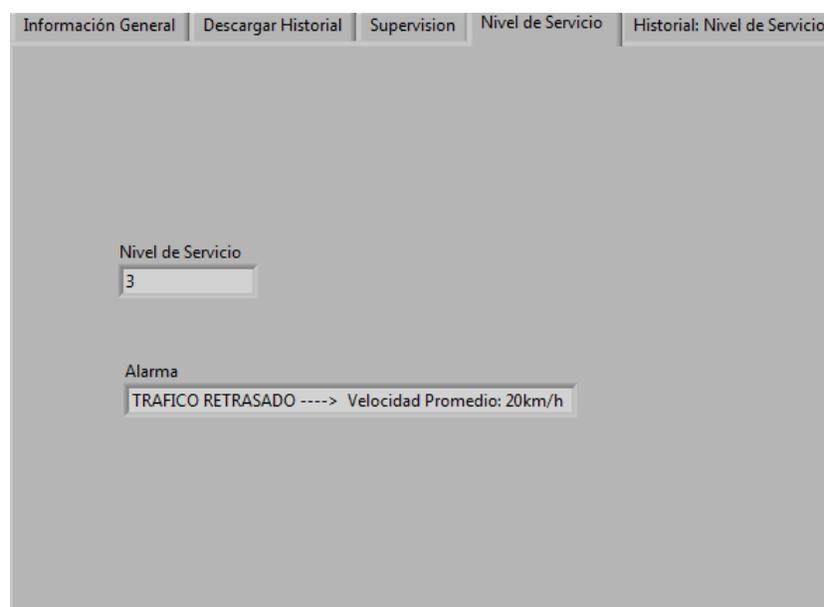


Figura 49. Opción "Nivel de Servicio".

Fuente: Autoría Propia.

Según la supervisión realizada el domingo 05 de febrero a la 01:20 pm, el promedio de velocidad de la Zona 1 era de 20 Km/h y de la Zona 2 era 30 Km/h, estos valores coinciden con la alarma generada en la figura anterior, lo que comprueba la correcta lectura de esta función.

Al seleccionar la opción “Historial: Nivel de Servicio” el usuario tiene acceso a una tabla, la cual muestra según la zona los parámetros Begin, Nivel de Servicio y Fecha y Hora. Para el entendimiento de estos parámetros, la pestaña contiene una explicación breve de cada tipo de dato. A continuación se muestran los datos obtenidos el día 05 de Febrero de 2012 en dos tomas diferentes, que permiten corroborar la continuidad de los datos referentes a la descarga del historial de nivel de servicio. Al igual que en la opción “Descargar Historial” el usuario debe realizar la descarga continuamente hasta no recibir datos, esto a consecuencia que la cámara no envía la información completa según el protocolo que utiliza.

Información General | Descargar Historial | Supervision | Nivel de Servicio | Historial: Nivel de Servicio

Nivel de Servicio
 0: Tráfico Ligero con ocupación menor al 20%
 1: Tráfico Normal - Velocidad Promedio: 60 km/h
 2: Tráfico Denso - Velocidad Promedio: 40 km/h
 3: Tráfico Retrasado - Velocidad Promedio: 20 km/h
 4: Tráfico Congestionado - Velocidad: 0 - 20 km/h
 Begin: Indica si el Nivel de Servicio empezó (1) o finalizó (0) en esta zona

Zona	Begin (0-1)	Nivel de Servicio	Fecha y Hora
2	0	1	04/02/2012 05:54:20 a.m.
1	1	1	04/02/2012 05:56:24 a.m.
2	1	1	04/02/2012 05:56:39 a.m.
2	1	2	04/02/2012 05:56:39 a.m.
2	1	3	04/02/2012 05:56:39 a.m.
1	0	1	04/02/2012 05:57:34 a.m.
2	0	3	04/02/2012 05:58:13 a.m.
2	0	2	04/02/2012 05:58:13 a.m.
2	0	1	04/02/2012 05:58:13 a.m.
1	1	1	04/02/2012 06:03:40 a.m.
1	1	2	04/02/2012 06:03:40 a.m.
1	1	3	04/02/2012 06:03:40 a.m.
1	0	3	04/02/2012 06:05:38 a.m.
1	0	2	04/02/2012 06:05:38 a.m.
1	0	1	04/02/2012 06:05:38 a.m.
1	1	1	04/02/2012 06:17:09 a.m.
1	1	2	04/02/2012 06:17:09 a.m.
1	1	3	04/02/2012 06:17:09 a.m.
1	0	3	04/02/2012 06:18:52 a.m.
1	0	2	04/02/2012 06:18:52 a.m.
1	0	1	04/02/2012 06:18:52 a.m.
1	1	1	04/02/2012 06:20:11 a.m.
1	1	2	04/02/2012 06:20:11 a.m.
1	1	3	04/02/2012 06:20:11 a.m.
1	0	3	04/02/2012 06:21:38 a.m.

Figura 50. Historial: Nivel de Servicio - sábado 04 de Febrero de 2012.

Fuente: Autoría Propia.

pm, hubo un volumen total de 3549 vehículos, lo cual corresponde al 1,42% de la memoria utilizada por el radar, este valor es redondeado automáticamente por el programa y puede ser observado en el “Used memory” como un 2%.

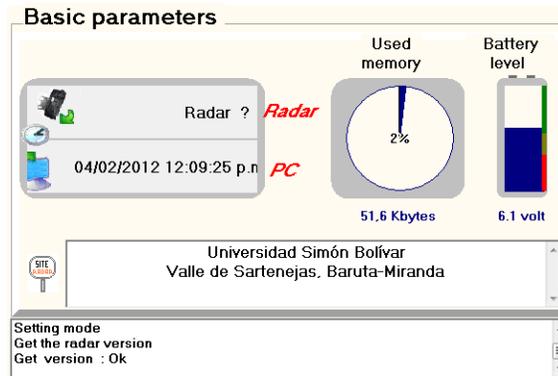


Figura 52. Estado del radar TMS-SA -sábado 04 de febrero de 2012.

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

La Figura 53, muestra el estado del radar el día domingo 05 de febrero de 2012. El nivel de batería se mantuvo en 6,1 Volts, pero la memoria utilizada aumento en un 3%, esto dado a que entre el 04 y el 05 de febrero hubo un volumen de 5504 vehículos, lo que da un total de 9053 vehículos en el periodo de tiempo estudiado, que corresponde teóricamente al 3,6% de la memoria del radar. Se puede apreciar una pequeña diferencia en el valor mostrado a continuación, esto puede ser dado a un pequeño margen de error del *software*, o a que éste redondea el valor para que el usuario no descuide la memoria.

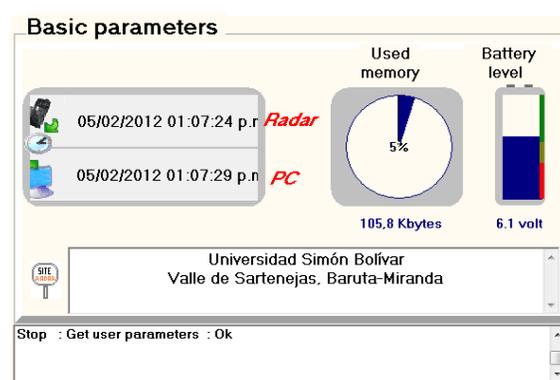


Figura 53. Estado del radar TMS-SA - domingo 05 de febrero de 2012.

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

Para el análisis de los datos de tráfico, se utilizó la información manejada por el *software* según la “categoría de vehículos”, ya que es el que más se asemeja al formato que utiliza la cámara.

Se tomó en cuenta el historial de los días sábado 04 y domingo 05 de febrero de 2012 para comparar con los datos obtenidos de la cámara Collect-R x-stream en el mismo periodo de tiempo. La comparación de datos se realizó entre los dos equipos seleccionados para el desarrollo del sistema, ya que a partir de éste el Grupo de Tráfico Inteligente de la Universidad Simón Bolívar llevará a cabo el desarrollo de sistemas de conteo, clasificación y detección de velocidad.

Debido a que el radar solo detecta el tráfico vehicular con sentido a Baruta, se estudiaron los datos de la Zona 1 de detección de la cámara, resaltados en color amarillo en las Tablas 19 y 21, dichas tablas fueron modificadas colocando en color rojo los datos correspondientes al radar TMS-SA según las Tablas 18 y 20 para poder observar claramente la diferencia existente entre los valores de velocidad, clasificación y número de vehículos de cada sensor. A continuación se observan las tablas mencionadas, correspondientes al radar TMS-SA y a la cámara Collect-R X-stream respectivamente.

Tabla 18. Historial TMS-SA - sábado 04 de febrero de 2012 con intervalo de 5 minutos.

N° Period	Date	Time	Speed [Km/h]	Catégorie1	Catégorie2	Total
		06:00:00				
1	04/02/2012	06:05:00	32	13	2	15
2	04/02/2012	06:10:00	36	4	4	8
3	04/02/2012	06:15:00	44	12	0	12
4	04/02/2012	06:20:00	34	10	1	11
5	04/02/2012	06:25:00	38	11	1	12
6	04/02/2012	06:30:00	42	14	1	15
7	04/02/2012	06:35:00	37	17	1	18
8	04/02/2012	06:40:00	39	13	0	13
9	04/02/2012	06:45:00	35	18	1	19
10	04/02/2012	06:50:00	0	0	0	0
Stop		Average	= 37 Km/h	112 / 91 %	11 / 9 %	123 / 100%

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

Tabla 19. Historial Collect-R x-stream - sábado 04 de febrero de 2012 con intervalo de 5 minutos

Fecha y Hora	Zona	Ocupación (%)	Clase	Velocidad (km/h)	# vehículos	Total Cámara
04/02/2012 06:05:00 a.m.	1	4	1	29	6 / 13	12 / 15
04/02/2012 06:05:00 a.m.	1	4	2	27 / 32	6 / 2	
04/02/2012 06:05:00 a.m.	2	1	1	27	12	
04/02/2012 06:05:00 a.m.	2	1	2	0	0	
04/02/2012 06:10:00 a.m.	1	3	1	20	6 / 4	8 / 8
04/02/2012 06:10:00 a.m.	1	3	2	21 / 36	2 / 4	
04/02/2012 06:10:00 a.m.	2	2	1	30	11	
04/02/2012 06:10:00 a.m.	2	2	2	36	1	
04/02/2012 06:15:00 a.m.	1	2	1	23	8 / 12	10 / 12
04/02/2012 06:15:00 a.m.	1	2	2	28 / 44	2 / 0	
04/02/2012 06:15:00 a.m.	2	2	1	35	11	
04/02/2012 06:15:00 a.m.	2	2	2	30	1	
04/02/2012 06:20:00 a.m.	1	3	1	23	6 / 10	11 / 11
04/02/2012 06:20:00 a.m.	1	3	2	19 / 34	5 / 1	
04/02/2012 06:20:00 a.m.	2	2	1	33	19	
04/02/2012 06:20:00 a.m.	2	2	2	30	1	
04/02/2012 06:25:00 a.m.	1	2	1	23	9 / 11	11 / 12
04/02/2012 06:25:00 a.m.	1	2	2	20 / 38	2 / 1	
04/02/2012 06:25:00 a.m.	2	1	1	35	10	
04/02/2012 06:25:00 a.m.	2	1	2	0	0	
04/02/2012 06:30:00 a.m.	1	2	1	27	10 / 14	12 / 15
04/02/2012 06:30:00 a.m.	1	2	2	28 / 42	2 / 1	
04/02/2012 06:30:00 a.m.	2	2	1	32	19	
04/02/2012 06:30:00 a.m.	2	2	2	0	0	
04/02/2012 06:35:00 a.m.	1	2	1	24	10 / 17	11 / 18
04/02/2012 06:35:00 a.m.	1	2	2	24 / 37	1 / 1	
04/02/2012 06:35:00 a.m.	2	5	1	33	27	
04/02/2012 06:35:00 a.m.	2	5	2	31	4	
04/02/2012 06:40:00 a.m.	1	3	1	24	16 / 13	17 / 13
04/02/2012 06:40:00 a.m.	1	3	2	29 / 39	1 / 0	
04/02/2012 06:40:00 a.m.	2	3	1	33	20	
04/02/2012 06:40:00 a.m.	2	3	2	0	0	
04/02/2012 06:45:00 a.m.	1	6	1	26	11 / 18	16 / 19
04/02/2012 06:45:00 a.m.	1	6	2	19 / 35	5 / 1	
04/02/2012 06:45:00 a.m.	2	2	1	33	12	

Fuente: *Autoría Propia*.

Tabla 20. Historial TMS-SA - domingo 05 de febrero de 2012 con intervalo de 60 minutos.

N° Period	Date	Time	Speed [Km/h]	Catégorie1	Catégorie2	Total
		04:00:00				
1	05/02/2012	05:00:00	42	14	1	15
2	05/02/2012	06:00:00	42	29	1	30
3	05/02/2012	07:00:00	41	72	3	75
4	05/02/2012	08:00:00	40	173	5	178
5	05/02/2012	09:00:00	39	259	7	266
6	05/02/2012	10:00:00	38	305	7	312
7	05/02/2012	11:00:00	39	377	13	390
8	05/02/2012	12:00:00	37	457	6	463
9	05/02/2012	01:00:00	37	541	12	553
10	05/02/2012	02:00:00	0	0	0	0
Stop		Average	= 38 Km/h	2227 / 98 %	55 / 2 %	2282 / 100%

Fuente: *Icoms Software*, radar TMS-SA 1101336.

Tabla 21. Historial Collect-R x-stream - domingo 05 de febrero de 2012 con intervalo de 60 min.

Fecha y Hora	Zona	Ocupación (%)	Clase	Velocidad (km/h)	# vehículos	Total Cámara
05/02/2012 05:00:00 a.m.	2	0	2	58	1	
05/02/2012 06:00:00 a.m.	1	0	1	63	17 / 29	28 / 30
05/02/2012 06:00:00 a.m.	1	0	2	60	11 / 11	
05/02/2012 06:00:00 a.m.	2	0	1	51	33	
05/02/2012 06:00:00 a.m.	2	0	2	49	1	
05/02/2012 07:00:00 a.m.	1	1	1	44	66 / 72	73 / 75
05/02/2012 07:00:00 a.m.	1	1	2	39	7 / 13	
05/02/2012 07:00:00 a.m.	2	1	1	47	74	
05/02/2012 07:00:00 a.m.	2	1	2	32	2	
05/02/2012 08:00:00 a.m.	1	2	1	27	162 / 173	176 / 178
05/02/2012 08:00:00 a.m.	1	2	2	25	14 / 15	
05/02/2012 08:00:00 a.m.	2	2	1	35	148	
05/02/2012 08:00:00 a.m.	2	2	2	34	10	
05/02/2012 09:00:00 a.m.	1	4	1	28	243 / 259	259 / 266
05/02/2012 09:00:00 a.m.	1	4	2	27	16 / 17	
05/02/2012 09:00:00 a.m.	2	3	1	37	219	
05/02/2012 09:00:00 a.m.	2	3	2	39	15	
05/02/2012 10:00:00 a.m.	1	4	1	27	283 / 305	302 / 312
05/02/2012 10:00:00 a.m.	1	4	2	24	19 / 17	
05/02/2012 10:00:00 a.m.	2	4	1	33	288	
05/02/2012 10:00:00 a.m.	2	4	2	31	13	
05/02/2012 11:00:00 a.m.	1	5	1	28	336 / 377	360 / 390
05/02/2012 11:00:00 a.m.	1	5	2	26	24 / 13	
05/02/2012 11:00:00 a.m.	2	4	1	36	314	
05/02/2012 11:00:00 a.m.	2	4	2	35	17	
05/02/2012 12:00:00 p.m.	1	7	1	25	431 / 457	448 / 463
05/02/2012 12:00:00 p.m.	1	7	2	24	17 / 6	
05/02/2012 12:00:00 p.m.	2	4	1	31	341	
05/02/2012 12:00:00 p.m.	2	4	2	32	13	
05/02/2012 01:00:00 p.m.	1	8	1	25	520 / 541	545 / 553
05/02/2012 01:00:00 p.m.	1	8	2	22	25 / 12	
05/02/2012 01:00:00 p.m.	2	4	1	31	327	
05/02/2012 01:00:00 p.m.	2	4	2	45	16	

Fuente: Autoría Propia.

En la Tabla 19 se pueden apreciar valores similares en la detección de ambos equipos con respecto al volumen total de vehículos, observando una diferencia mínima de 3 a 7 vehículos. En relación al número de vehículos por categoría o clase, entendiéndose éstas como la clasificación de vehículos según su longitud (Clase/Categoría 1: 0-6 metros, Clase/Categoría 2: 6-25 metros), ambos equipos arrojaron valores distintos, esto se debe a que los conductores no mantienen un orden correcto al transitar de manera lineal por un mismo canal, cuando dos vehículos pasan uno al lado de otro de manera simultánea por un solo canal formando dos (2) filas, la cámara detecta ambos vehículos como uno sólo, omitiendo un vehículo ya que ambos pasan al mismo tiempo por la zona de detección. Los valores de velocidad promedio son mostrados por la cámara según la clase de vehículo, en cambio el radar realiza el promedio para ambas categorías, estudiando estos valores se observa una diferencia entre 4 y 18,5 Km/h, debido a que el radar posee una precisión del 99% para la detección de velocidad mientras que la cámara posee una precisión del 95%, de igual manera el factor de formar 2 filas por la vía que solo soporta un canal afecta este resultado.

En la Tabla 21 se observa una mayor diferencia en cuanto a la detección de ambos equipos con respecto al volumen total de vehículos, entre las 11:00 am y 12:00 pm hubo gran afluencia de vehículos observando una diferencia de 30 a 15 vehículos, la diferencia mínima general es de 2 a 8 vehículos. En relación al número de vehículos por categoría o clase, se observa una discrepancia de 4 a 41 vehículos, esto dado al factor de dos (2) filas en un solo canal explicado anteriormente. Finalmente, en cuanto a los valores de velocidad se observa una diferencia entre 1 y 19 Km/h, similar a la Tabla 19.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Con la elaboración de este trabajo especial de grado, se dan a conocer las bondades de los sistemas de monitoreo de tráfico vehicular existentes en el mercado actual. Se realizó el estudio de catorce (14) equipos de diferentes tecnologías, mostrando sus características y funciones principales. En base al estudio realizado, se concluye que los sensores de tecnología no intrusiva son los indicados para desarrollar un sistema de conteo y monitoreo para tráfico vehicular, ya que estos no interfieren con la circulación normal del tráfico a la hora de su instalación, mantenimiento y reparación.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el radar TMS-SA de tecnología doppler y la cámara Collect-R x-stream, la cual combina la tecnología de un sensor CMOS con la video detección, por la precisión que estos ofrecen al realizar el conteo, clasificación y detección de velocidad de los vehículos que transitan por su zona de detección. En comparación a los demás sensores estudiados, son equipos que pueden ser utilizados en aplicaciones temporales, con numerosas facilidades para su manejo.

El radar TMS-SA posee un *software* amigable para el manejo de los datos de tráfico recolectados, muestra diferentes estadísticas según la categoría de vehículos, clases de velocidad y volumen total de vehículos, las cuales pueden ser utilizadas para la elaboración de una plataforma de datos, que puede contribuir a la elaboración de reportes de tráfico en tiempo real y a estudios de vialidad necesarios para coadyuvar a la creación de vías de acuerdo al volumen de vehículos que transiten la zona.

Por otra parte, se da a conocer el desarrollo de una aplicación para la lectura y manejo de datos de la cámara Collect-R x-stream a través de LabVIEW©. Se puede

concluir que ésta fue la herramienta indicada para realizar la lectura de los datos almacenados en la cámara, debido a las numerosas funciones que ofrece para establecer la comunicación vía TCP/IP con cualquier dispositivo. A través de una fase de prueba se comprobó que la aplicación permite realizar efectivamente la descarga de los diferentes datos generados por la cámara al monitorear la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer en sentido Baruta y Hoyo de la Puerta. La información obtenida referente a la descarga de historial, supervisión y descarga de nivel de servicio son mostrados a través de una interfaz de usuario que contiene una tabla de tipo Excel, ya que de esta manera el usuario puede leer fácilmente la información solicitada.

La instalación de los equipos fue una de las fases más importantes para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, tanto la cámara como el radar deben ser instalados de acuerdo a una serie de distancias mínimas requeridas para su mejor desempeño. La cámara Collect-R x-stream requiere una altura mínima de seis (6) metros para la visualización completa de la zona a monitorear, mientras que el radar TMS-SA requiere una altura mínima de 1,1 metros, siendo la distancia mínima del poste de instalación al punto medio de la vía de dos (2) metros. Se elaboró un esquema con las distancias entre el poste y los dos (2) canales que conforman la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer, el cual contribuyó directamente a la correcta instalación de ambos equipos.

La configuración de los equipos es fundamental para su correcto funcionamiento, ya que por medio de ésta, se definen los distintos parámetros necesarios para la detección y procesamiento de información. El sensor Collect-R x-stream por ser una cámara de video detección debe ser calibrada correctamente, de manera que los datos generados por ésta sean fiables para su utilización.

La realización de diferentes pruebas permitió cerciorar el funcionamiento de ambos sensores. Al comparar la información obtenida en las pruebas realizadas, se observaron ciertas discrepancias en cuanto a la velocidad promedio y al número de vehículos por clase o categoría, se puede concluir que esto se debe a que los

conductores caraqueños no suelen seguir o respetar la ruta original de la vía de circulación. Al pasar dos vehículos simultáneamente por una zona de detección, formando dos (2) filas en un solo canal, la cámara puede detectarlos como un solo vehículo, de igual manera si uno de los vehículos es de menor tamaño, éste puede ser omitido.

La ejecución y culminación de este proyecto, no solo permitió afianzar los conocimientos teóricos sobre el uso de sensores para el monitoreo de tráfico vehicular, sino también adquirir conocimiento y experiencia en el desarrollo de un proyecto real de campo, planteando un método para el estudio de una de las principales problemáticas urbanas, como es la congestión vehicular.

Para el manejo del sistema desarrollado se recomienda conocer en detalle cada una de las especificaciones técnicas de ambos sensores, las cuales han sido mostradas en la elaboración del presente trabajo especial de grado. Esto es importante, ya que de presentar cualquier inconveniente con alguno de los equipos, se debe encontrar una solución eficaz, que evite la pérdida de información en el menor tiempo posible.

Se recomienda que el proceso de mantenimiento de ambos equipos sea supervisado o efectuado por personas capacitadas. De ser modificada la posición de éstos, los datos generados no serán confiables para su uso.

Debido a que la cámara Collect-R x-stream solo se comunica con equipos cuya dirección IP este en el mismo rango de red que ésta, se recomienda crear una VPN (*Virtual Private Network*) que permita el acceso a la red de la cámara sobre una red pública. Igualmente, se recomienda incorporar al sistema de comunicación del radar TMS-SA un adaptador inalámbrico que permita conectar la señal Bluetooth a la red local utilizada en el desarrollo del sistema.

Por otra parte, se recomienda la utilización del sistema implementado para la elaboración de semáforos inteligentes, que según el volumen de vehículos que transitan la zona, dirijan el tráfico de manera efectiva. La intersección de los

Guayabitos es el lugar indicado para la instalación de un semáforo inteligente, ya que la tasa de desalojo de los vehículos provenientes de la Universidad Simón Bolívar y Hoyo de la Puerta es mucho menor a la gran demanda existente, es una vía estrecha que suele congestionarse fácilmente debido a la impaciencia de los conductores de otorgar el paso al cruzar hacia Hoyo de la Puerta o Baruta, con un semáforo inteligente se podría controlar la congestión que presenta dicha intersección aligerando la cola que presenta la Carretera Hoyo de la Puerta-El Placer en las diferentes horas “pico”.

El congestionamiento vehicular es una de las problemáticas actuales que afecta diariamente la calidad de vida de los venezolanos, por lo que se recomienda de manera general, seguir con el desarrollo del sistema implementado, realizando sus respectivas actualizaciones, para estar en vanguardia con los demás sistemas implementados a nivel internacional.

Bibliografía

- ADEC Technologies AG. (2011). *TDC 1 Series*. Eschenbach
- ADEC Technologies AG. (2011). *TDC3 Series*. Eschenbach
- ADEC Technologies AG. (2011). *TDC4 Series*. Eschenbach
- AGD Systems Limited. (2009). *Vehicle Detection AGD335*. Gloucestershire
- Bluetooth SIG, Inc. (2011). *Bluetooth Basics: Bluetooth SIG, Inc.* Recuperado el 12 de 01 de 2012, de sitio Web de sitio Web Bluetooth SIG, Inc: <http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx>
- Camacho, J., & Lopez, F. (28 de 02 de 2011). *El trafico caraqueño también afecta a la comunidad ucabista: El Ucabista 2.0*. Recuperado el 01 de 03 de 2011, de sitio Web de El Ucabista 2.0: http://gestion.ucab.edu.ve/lblanco/wp_ucabista/?p=3166
- *Causas de la congestión vehicular y estrategias para habitarla*. (s.f.). Recuperado el 28 de 02 de 2011, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lec/angel_r_aj/capitulo1.pdf
- Chang, K. (2000). *RF and Microwave Wireless Systems*. John Wiley & Sons, Inc.
- Cheung, S.-Y., & Varaiya, P. (2007). *Traffic Surveillance by Wireless Sensor Networks*. Berkeley, California.
- Classic, K. (18 de 12 de 2009). *Radiofrequency (RF) Radiation: Health Physics Society*. Recuperado el 14 de 06 de 2011, de sitio Web Health Physics Society: <http://www.hps.org/hpspublications/articles/rfradiation.html>
- DataCollect Traffic Systems GmbH. (2011). *SDR radar traffic classifier*. Alemania

- Downie, A. (21 de 04 de 2008). *The world's worst traffic jams: TIME*. Recuperado el 28 de 02 de 2011, de sitio Web de TIME: <http://www.time.com/time/world/article/0,8599,1733872,00.html>
- Espinoza, A. (06 de 06 de 2009). *Caracas se ahoga en el tráfico: Voces del Futuro*. Recuperado el 27 de 02 de 2011, de sitio Web de Voces del Futuro: http://lasvocesdelfuturo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=230:caracas-se-ahoga-en-el-trafico&catid=37:local&Itemid=125
- Fraden, J. (2010). *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. New York: Springer.
- *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*. (2010). Jhon Wiley & Sons, Ltd
- Gibson David, M. M. (07 de 04 de 2011). *Staying in the Loop: The Search for Improved Reliability of Traffic Sensing Systems Through Smart Test Instruments: FHWA*. Recuperado el 09 de 06 de 2011, de sitio Web U.S Department of Transportation FHWA: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/98septoct/loop.cfm>
- IBM. (2011). *Smarter Traffic: IBM*. Recuperado el 27 de 02 de 2011, de sitio Web de IBM: http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/traffic_congestion/ideas/
- Icoms Detections. (2011). *TMS-SA*. Louvain-la-Neuve
- Instituto Metropolitano de Urbanismo. (29 de 09 de 2010). *Caos en el Tráfico Vehicular de Caracas: Alcaldía Metropolitana de Caracas*. Recuperado el 26 de 02 de 2011, de sitio Web de Alcaldía Metropolitana de Caracas: http://www.imutc.org/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=261:caos-en-el-trafico-vehicular-de-caracas&catid=38:noticias&Itemid=83
- Iteris. (2010). *Roadway Sensors: Pico*. Santa Ana

- Iteris. (2011). *Roadway Sensors: Versicam*. Santa Ana
- Itriago, A. (13 de 09 de 2008). *Tráfico en Caracas se resuelve con 300 kilómetros más: Radio Mundial*. Recuperado el 27 de 02 de 2011, de sitio Web de Radio Mundial: <http://www.radiomundial.com.ve/yvke/noticia.php?11510>
- Karki, J. (09 de 2000). *Signal Conditioning Piezoelectric Sensors: Texas Instruments*. Recuperado el 10 de 06 de 2011, de sitio Web Texas Instruments: <http://focus.ti.com/lit/an/sloa033a/sloa033a.pdf>
- La Tercera y Agencias. (05 de 10 de 2010). *Proyectos para disminuir la congestión vehicular y el gasto eléctrico ganan concurso medio ambiental: La Tercera*. Recuperado el 26 de 02 de 2011, de sitio Web de La Tercera: <http://latercera.com/noticia/tendencias/2010/10/659-297168-9-proyectos-para-disminuir-la-congestion-vehicular-y-el-gasto-electrico-ganan.shtml>
- Michaud, P. (09 de 02 de 1999). *Infrared Radiation-Warmth from the cold of Space: Gemini Observatory*. Recuperado el 10 de 06 de 2011, de sitio Web Gemini Observatory: <http://www.gemini.edu/public/infrared.html>
- MS SEDCO. (2011). *Intersector: Motion and Presence Sensor*. Indianapolis
- Murray, M. (s.f.). *Radio Frequency (RF): About.com*. Recuperado el 14 de 06 de 2011, de sitio Web About.com: http://logistics.about.com/od/supplychainglossary/g/Radio_Freq.htm
- New Mexico State University. (11 de 2007). *Non-Intrusive Technologies: NMSU*. Recuperado el 10 de 06 de 2011, de sitio Web de NMSU: http://www.nmsu.edu/~traffic/Products/Non_Intrusive_Tech/Nonitech.htm
- Noptel Oy. (2011). *CM3-30 and CMP3-30 Distance Sensors*. Oulu

- Pozar, D. (2001). *Microwave and RF Desing of Wireless Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Prodavinci. (05 de 11 de 2009). *¿Cuanto cuenta la congestión vehicular en Caracas?: Prodavinci*. Recuperado el 26 de 02 de 2011, de sitio Web de Prodavinci: <http://prodavinci.com/2009/11/05/ciudad/la-cola-no-es-gratis/>
- Prodavinci. (10 de 11 de 2009). *Soluciones para el problema de la congestión vehicular en Caracas: Prodavinci*. Recuperado el 25 de 02 de 2011, de sitio Web de Prodavinci: <http://prodavinci.com/2009/11/10/ciudad/soluciones-para-el-problema-de-la-congestion-vehicular-en-caracas/>
- Quintero, A. (07 de 07 de 2008). *BusCaracas, una alternativa para enfrentar el anárquico tráfico caraqueño: MINCI*. Recuperado el 28 de 02 de 2011, de sitio Web del MINCI: http://www.minci.gob.ve/reportajes/2/180779/buscaracasuna_alternativa_para.html
- Quixote Transportation Technologies, Inc. (2011). *NC-100/200 Portable Traffic Analyzer*. Pennsylvania
- Rojas, J. (01 de 02 de 2011). *Ideas sobre el tráfico de Caracas y la densificación de la ciudad: Aporrea*. Recuperado el 28 de 02 de 2011, de sitio Web de Aporrea: <http://www.aporrea.org/imprime/a116818.html>
- Russell, D. (s.f.). *The Doppler Effect and Sonic Booms: Kattering University*. Recuperado el 10 de 06 de 2011, de sitio Web Kattering University: <http://paws.kettering.edu/~drussell/Demos/doppler/doppler.html>
- SICK AG. (2011). *Laser Measurement Technology. LMS1xx / LMS111 / Outdoor / Short Range*. Waldkirch
- TRAFICON. (2011). *Collect-R x-stream*. Wevelgem

- TRIGG Industries. (2011). *Piezoelectric Roadtrax 'Brass Linguini' Axle Sensor*. California
- U.S Department of Transportation FHWA . (10 de 2006). *Traffic Detector Handbook: Third Edition-Vol I: U.S Department of Transportation FHWA* .Recuperado el 11 de 06 de 2011, de sitio Web U.S Department of Transportation FHWA : <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/06108.pdf>
- Valenzuela, A. (01 de 08 de 2010). *Congestion vehicular la nueva plaga del siglo XXI: Veo Verde*. Recuperado el 28 de 02 de 2011, de sitio Web de Veo Verde: <http://www.veoverde.com/2010/07/congestion-vehicular-la-nueva-plaga-del-siglo-xxi/>
- Wi-Fi Alliance. (2012). *Discover and Learn: Wi-Fi Alliance*. Recuperado el 12 de 01 de 2012, de sitio Web de Wi-Fi Alliance: <http://www.wi-fi.org/discover-and-learn>

Apéndices

Apéndice A: Ejemplo de codificación de mensajes según el protocolo Traficon SDK 2

Tabla 22. Ejemplo de codificación del mensaje "GetProductInformation"

TraficonSDK2 frame	Message payload	Count payload	Hex
Start			0x01
Length			0x27
Length			0x00
Length			0x00
Length			0x00
Payload	<	1	0x3C
Payload	M	2	0x4D
Payload	e	3	0x65
Payload	s	4	0x73
Payload	s	5	0x73
Payload	a	6	0x61
Payload	g	7	0x67
Payload	e	8	0x65
Payload		9	0x20
Payload	T	10	0x54
Payload	y	11	0x79
Payload	p	12	0x70
Payload	e	13	0x65
Payload	=	14	0x3D
Payload	"	15	0x22
Payload	G	16	0x47
Payload	e	17	0x65
Payload	t	18	0x74
Payload	P	19	0x50
Payload	r	20	0x72
Payload	o	21	0x6F
Payload	d	22	0x64
Payload	u	23	0x75
Payload	c	24	0x63
Payload	t	25	0x74
Payload	l	26	0x49
Payload	n	27	0x6E
Payload	f	28	0x66
Payload	o	29	0x6F
Payload	r	30	0x72
Payload	m	31	0x6D
Payload	a	32	0x61
Payload	t	33	0x74
Payload	i	34	0x69
Payload	o	35	0x6F
Payload	n	36	0x6E
Payload	"	37	0x22
Payload	/	38	0x2F
Payload	>	39 (hex:0x27)	0x3E
Stop			0x00

Fuente: Collect-R x-stream Communication Manual

Apéndice B: Respuesta recibida según el tipo de mensaje enviado a la cámara según su manual de comunicación

✓ Información General

<i>Request</i>
<Message Type="GetProductInformation"/>

<i>Response</i>
<Message Type="ProductInformation"> <Body Company="Traficon NV" Product="Collect-R x-stream" Version="V1.00" Cameras="1" SerialNumber="12345" HwRevision="0100"> <Camera Name="DeviceName"> <DetectionResolution X="640" Y="480" /> <TextCharacterSize Height="18" Width="8" /> </Camera> <Capabilities> <Capability Name="Event" Protocol="Subscribed" /> <Capability Name="Data" Protocol="Subscribed" /> </Capabilities> </Body> </Message>

✓ Descargar Historial

<i>Request</i>
<Message Type="GetIntegratedData" />

<i>Response</i>
<Message Type="IntegratedData"> <Data UTC="..."> <Zone ID="..." Occupancy="..."> <Class ID="..." Speed="..." Count="..." /> [... possibly more Class items] </Zone/> [... possibly more Zone items] </Data> [... possibly more Data items] </Message>

✓ **Supervisión**

<i>Request</i>
<Message Type ="GetFlowData" />

<i>Response</i>
<Message Type ="FlowData"> <Zone ID="..." Speed="..." Zocc="..." /> [... possibly more Zone items] </Message>

✓ **Nivel de Servicio**

<i>Request</i>
<Message Type ="GetLevelOfService" />

<i>Response</i>
< Message Type ="LevelOfService" Value="..." />

✓ **Historial: Nivel de Servicio**

<i>Request</i>
<Message Type ="GetLevelOfServiceHistory" />

<i>Response</i>
<Message Type ="LevelOfServiceHistory"> <Zone ID="..." Begin="..." Level="..." UTC="..." /> [... possibly more Zone items] </Message>

✓ **BorrarMemoria**

<i>Request</i>
<Message Type ="ClearData" />

<i>Response</i>
<Message Type ="ClearData" Result="OK" />

✓ **Fecha y Hora**

<i>Request</i>
<Message Type="GetTime" />

<i>Response</i>
<Message Type="Time"> <Body Utc="1234567890" MilliSeconds="001" /> </Message>

Apéndice C: Fotos capturadas durante el proceso de instalación de los equipos



Figura 11. Medición del poste y diferentes alturas necesarias para la instalación de los equipos.

Fuente: Autoría Propia.



Figura 12. Instalación de la base del radar TMS-SA.

Fuente: Autoría Propia.



Figura 13. Instalación de la caja de conexiones eléctricas.

Fuente: Autoría Propia.



Figura 14. Instalación de la base y cámara Collect-R x-stream.

Fuente: Autoría Propia.



Figura 15. Instalación del cable de carga del radar TMS-SA.

Fuente: Autoría Propia.

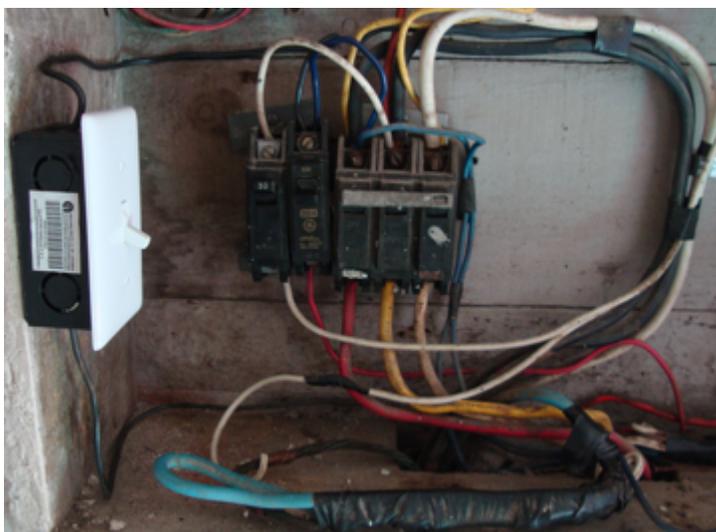


Figura 16. Instalación del switch de encendido del cargador del radar TMS-SA.

Fuente: Autoría Propia.



Figura 17. Vista de los equipos instalados.

Fuente: Autoría Propia.