

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA
MARÍA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAÍSO – CHILE



“TRANSMISIÓN, ALMACENAMIENTO Y
ANÁLISIS DE DATOS DE MOVILIDAD
URBANA UTILIZANDO COMPUTADORES DE
PLACA REDUCIDA”

LUIS J. OJEDA ORBENES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL TELEMÁTICO

PROFESOR GUÍA: MARCOS ZÚÑIGA B.

PROFESOR CORREFERENTE: WERNER CREIXELL F.

DICIEMBRE – 2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por el amor y enseñanza. Por criarme como soy y por alentarme para siempre salir adelante en lo que me propongo. Por ser fuente de sabiduría y entendimiento. Por aguantarme todos estos años y por motivarme a crecer.

A mi futura esposa, por estar en las buenas y en las malas. Por creer ciegamente en mi. Porque eres lo mejor que me ha pasado. Por nuestro amor.

A mis amigos por la felicidad y la ayuda desinteresada. Por esa talla y esa sonrisa.

A mi profe guía por la paciencia.

RESUMEN

El crecimiento en las áreas periféricas de las ciudades y la concentración de los puestos de trabajo en el centro urbano, han producido un aumento en el cantidad de vehículos privados, por lo que se hace necesario contar con un desarrollo urbano inteligente, mejorando conexiones entre el trabajo y la vivienda. De esta forma, se torna trascendental la tarea de obtener información sobre la movilidad de los ciudadanos y los medios de transporte que prefieren o frecuentan. Sin embargo, la capacidad de respuesta a este tema está limitada a las metodologías actuales, que son mayormente a través de procedimientos manuales. Esta limitación provoca una demora en el levantamiento de datos de movilidad, lo que a su vez genera retrasos en desarrollo de proyectos por parte de diversos organismos que utilizan estos datos.

Entonces, el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, a través de su Unidad de Ciudades Inteligentes, ha concebido que la mejora de movilidad urbana tiene su fundamento en la optimización de la recolección de datos, permitiendo la obtención de información de calidad, confiable y oportuna al menor costo. Así, se plantea el desafío de crear un sistema capaz de obtener datos de tránsito de manera automatizada y al menor costo.

El desafío inserto en el plan de Memorias Multidisciplinarias se aborda desde 3 puntos de vista: software de detección, hardware, y la transmisión, almacenamiento y tratamiento de la información. Estos 3 últimos puntos son abordados en este trabajo de memoria, el cual describe en resumen el procedimiento llevado a cabo en el planteamiento del problema, las decisiones entorno a las tecnologías a utilizar, la implementación de un producto mínimo viable y finalmente la validación del sistema.

A través de esta memoria, se realiza una investigación de las tecnologías para la transmisión, almacenamiento y visualización de datos de movilidad. Luego, se implementa un sistema básico en conjunto con un dispositivo de bajo costo, el cual se ha instalado en una avenida de alto tránsito. Así, se permite almacenar la información de movilidad entregada por el dispositivo y desplegarla a través de distintas vistas automatizadas a usuarios finales, para así mejorar el tiempo de análisis.

ABSTRACT

The neighbor growth in the peripheral areas of cities and the concentration of jobs in the urban center have led to an increase in the number of private cars, so this makes necessary to have an intelligent urban development, by improving connections between work and housing. Said that, the task of obtaining information on the mobility of citizens and the means of transport that they prefer or frequent is becoming a priority. However, the capacity to respond to this issue is limited to current methodologies, which are mostly through manual procedures. This limitation causes a delay in the collection of mobility data, which in turn generates delays in the development of projects by various agencies that use this information.

The Chilean Ministry of Transport and Telecommunications, through its Intelligent Cities Unit, has conceived that the improvement of urban mobility is based on the optimization of data collection, allowing the obtaining of reliable, quality and on-time information at the lowest cost possible. Thus, the challenge is to create a system capable of obtaining traffic data in an automated way and at the lowest cost.

The challenge involved in the Multidisciplinary Memory plan is addressed from 3 points of view: detection software, hardware, and the transmission, storage and processing of information. These last three points are discussed in this document, which describes in summary the procedure carried out in the approach of the problem, the decisions regarding the technologies to be used, the implementation of a minimum viable product and finally the validation of the system.

Through this document, research is carried out on the technologies for the transmission, storage and visualization of mobility data. Then, a basic system is implemented in conjunction with a low cost device, which has been installed on a high traffic avenue. Thus, it is possible to store the mobility information delivered by the device and deploy it through different automated views to end users, in order to improve the analysis time.

GLOSARIO

MTT	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
UOCT	Unidad Operativa de Control de Tránsito.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> - Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
3G	Tercera generación de transmisión de voz y datos en telefonía móvil.
ITU	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> - Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> - Servicio General de Paquetes vía radio.
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i> - tasas de Datos Mejoradas para la Evolución del GSM.
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> - Sistema universal de telecomunicaciones móviles.
HSPA	<i>High-Speed Packet Access</i> - Acceso de paquetes a alta velocidad.
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i> - Línea de abonado digital.
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> - Línea de abonado digital asimétrica.
WiFi	Certificación de norma IEEE 802.11.
SQL	<i>Structured Query Language</i> - Lenguaje de Consulta Estructurada.
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> - Lenguaje de Marcas de Hipertexto.
JavaScript	Lenguaje de programación interpretado.
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i> - Hojas de estilo en cascada.
PDI	Procesamiento Digital de Imágenes.
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> - Protocolo de Transferencia de Hipertexto
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> - Protocolo de Control de Transmisión
Payload	Información útil sin cabeceras.
bps	Bits por segundo.
RAID	<i>Redundant Array of Independent Disks</i> - Conjunto Redundante de Discos Independientes.
Rollback	Devolver la base de datos a algún estado previo.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	II
Resumen	III
Abstract	IV
Glosario	V
Índice	VI
Índice de figuras	VIII
Índice de Tablas	IX
1. Introducción.....	1
1.1. Necesidad de contar con información de movilidad.....	1
1.2. Problema	2
1.3. Hipótesis del proyecto.....	3
1.4. Objetivos generales del proyecto	3
1.5. Propuesta y plan de trabajo general	4
1.6. Hipótesis, Objetivos específicos y contribuciones de esta memoria.....	5
1.7. Método de trabajo	7
1.8. Estructura de este documento	7
2. Estado del arte.....	9
2.1. Medios de entrada de información.....	9
2.2. Métodos de recolección de datos de movilidad	10
2.3. Soluciones completas al problema del punto de vista de la analítica.....	13
2.4. Tecnologías involucradas.....	15
2.5. Discusión.....	18
3. Diseño de la solución.....	20
3.1. Contextualización del sistema.....	20
3.2. Esquema de trabajo	20
3.3. Requerimientos técnicos	25
3.4. Arquitectura (diseño de sistema).....	33
4. Implementación	34
4.1. A nivel general	34
4.2. Tecnologías aplicadas en Producto mínimo viable.....	37
4.3. Test de validación.....	41

5. Validación	44
5.1. Cumplimiento de requisitos técnicos	44
5.2. Evaluación de casos de uso.....	45
6. Conclusiones	53
7. trabajo futuro	55
Anexo A.....	
Pruebas de usuarios	56
8. Referencias	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Flujo de la problemática existente en la captura de datos por parte del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.	2
Figura 1.2: Arquitectura preliminar de la solución.	5
Figura 2.1: Diagrama de flujo SVS-1.....	14
Figura 3.1: Contexto del Sistema	20
Figura 3.2: Borrador gráfico Flujo vehículos por hora.	32
Figura 3.3: Borrador mapa con puntos.	32
Figura 3.4: Borrador tabla detallada.....	32
Figura 3.5: Arquitectura del sistema.	33
Figura 4.1: Esquema de datos base.	37
Figura 4.2: Visualización de Mapa y Gráfico.....	39
Figura 4.3: Ejemplo de tabla detallada.....	40
Figura 4.4: Tabla resumen	41
Figura 5.1: Diagrama de casos de uso del proyecto.	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Bandas, tasas de transferencia y rangos de operación WiFi...	16
Tabla 3.1: Tamaño de cada parámetro básico.....	29
Tabla 3.2: Espacio anual utilizado por el sistema.	30
Tabla 5.1: Añadir o modificar datos de dispositivos en Base de Datos...	47
Tabla 5.2: Añadir o modificar datos de arcos de calle en Base de Datos.	48
Tabla 5.3: Descarga de tabla resumen	49
Tabla 5.4: Descarga de gráfico	50
Tabla 5.5: Detectar pasada.....	51
Tabla 5.6: Resultados de pruebas.	51
Tabla A.1: Resumen de evaluación Caso N°1.	57
Tabla A.2: Resumen de evaluación Caso N°2.	57
Tabla A.3: Resumen de evaluación Caso N°3.	58
Tabla A.4: Resumen de evaluación Caso N°4.	58
Tabla A.5: Resumen de evaluación Caso N°5.	59

1. INTRODUCCIÓN

1.1. NECESIDAD DE CONTAR CON INFORMACIÓN DE MOVILIDAD

En la actualidad, las ciudades de Chile están mostrando tendencias al desarrollo urbano inteligente y mejora de la movilidad, dado que se reconoce a las ciudades como el marco espacial donde se desarrollan las sociedades, economías y culturas urbanas, además de su influencia directa en la transformación del espacio [1].

El crecimiento expansivo en las áreas periféricas de las ciudades y la concentración de los puestos de trabajo en el centro urbano, han producido un aumento en el cantidad de vehículos privados, debilitando la movilidad progresivamente, dado que el desarrollo de las ciudades se ha regido por el mercado, mientras que la planificación urbana no ha cumplido un rol primordial [2].

Entendiendo esta problemática, el crecimiento urbano inteligente y mejora de la movilidad aparecen como estrategias prioritarias en el desarrollo de las ciudades, los cuales apuntan directamente a mejorar conexiones entre el trabajo y la vivienda, con el propósito de responder a las exigencias de las personas respecto a la calidad, diversidad y disponibilidad de los sistemas de transporte.

De esta forma, se torna trascendental la tarea de obtener información sobre la movilidad de los ciudadanos y los medios de transporte que prefieren o frecuentan. En base a esta información, se pueden generar planes de trabajo estratégico para el control eficiente de la flota de transporte y otorgar un alto estándar de bienestar a las personas.

1.2. PROBLEMA

Si bien se reconoce la importancia de resolver la problemática de movilidad eficiente, la capacidad de respuesta a este tema está limitada a las metodologías actuales, que son mayormente a través de procedimientos manuales, los cuales condicionan la rapidez de respuesta de la implementación de mejoras viales debido a dos factores: la lentitud de la validación de estos datos y la baja periodicidad de campañas para tomar datos debido al alto costo monetario de cada licitación.

Esta limitación inherente al método provoca una demora en el levantamiento de datos de movilidad, requeridos para la planificación y gestión de proyectos de vialidad provocando una descontextualización temporal de las respuestas entregada por los diferentes organismos que utilizan estos datos. Esto repercute directamente en la percepción ciudadana frente a la efectividad de las soluciones entregadas. El diagrama de flujo de este problema se muestra en la **Figura 1.1**.



Figura 1.1: Flujo de la problemática existente en la captura de datos por parte del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.

Por lo tanto, el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT), a través de su Unidad de Ciudades Inteligentes, ha concebido que la mejora de movilidad urbana

tiene su fundamento en la optimización de la recolección de datos, permitiendo la obtención de información de calidad, confiable y oportuna al menor costo [3].

1.3. HIPÓTESIS DEL PROYECTO

Resumiendo el dolor planteado por el MTT, se estima que el proyecto a desarrollar debe abordar las siguientes cuestiones:

- ¿Se puede entregar información de movilidad en tiempo real?
- ¿Es posible acortar el tiempo de las campañas de mediciones?
- Si se desarrolla un dispositivo ¿Logrará ser considerado como solución de “bajo costo”?

En base a estas preguntas, se formula la siguiente hipótesis: es factible generar un sistema automatizado que permita detectar vehículos para obtener información de movilidad en tiempo real con dispositivos de bajo costo.

1.4. OBJETIVOS GENERALES DEL PROYECTO

Considerando la hipótesis planteada, se exponen los objetivos generales del proyecto:

- Obtener datos de tránsito de manera automatizada y al menor costo
- Implementar un producto mínimo viable a partir de un análisis técnico del cual se escogerán las tecnologías adecuadas.

1.5. PROPUESTA Y PLAN DE TRABAJO GENERAL

La recolección de datos de movilidad es clasificada en 3 categorías, según la naturaleza de los datos y el uso que se les otorga:

- Mediciones de Tránsito: Información que representa condiciones medibles de las vías, por ejemplo: tiempos de viaje, flujo vehicular, entre otros.
- Estado de la Infraestructura: Información que indica el estado actual de la infraestructura desde el punto de vista de eventos que afectan la movilidad en las vías. Por ejemplo: accidentes, vehículos en panne, falla de semáforos, entre otros.
- Catastro de Información: Registro de información necesaria para la gestión del tránsito, como por ejemplo: vías reversibles, ubicaciones de semáforos, entre otros.

Considerando las categorías mencionadas anteriormente, el proyecto propuesto se enfoca en la captura de datos orientada a mediciones de tránsito, debido a que en esta categoría se encuentran datos cuantificables, que permiten que el proceso de recolección de datos sea automatizable.

Así, se crea un plan de desarrollo genérico, en el cual independiente de la tecnología a utilizar, se subdivide el problema general de captura automatizada de datos de tránsito en módulos de trabajo. De este mecanismo de trabajo se obtiene una primera arquitectura de solución, que orientará la ejecución del proyecto. Esta arquitectura se muestra en la **Figura 1.2**.

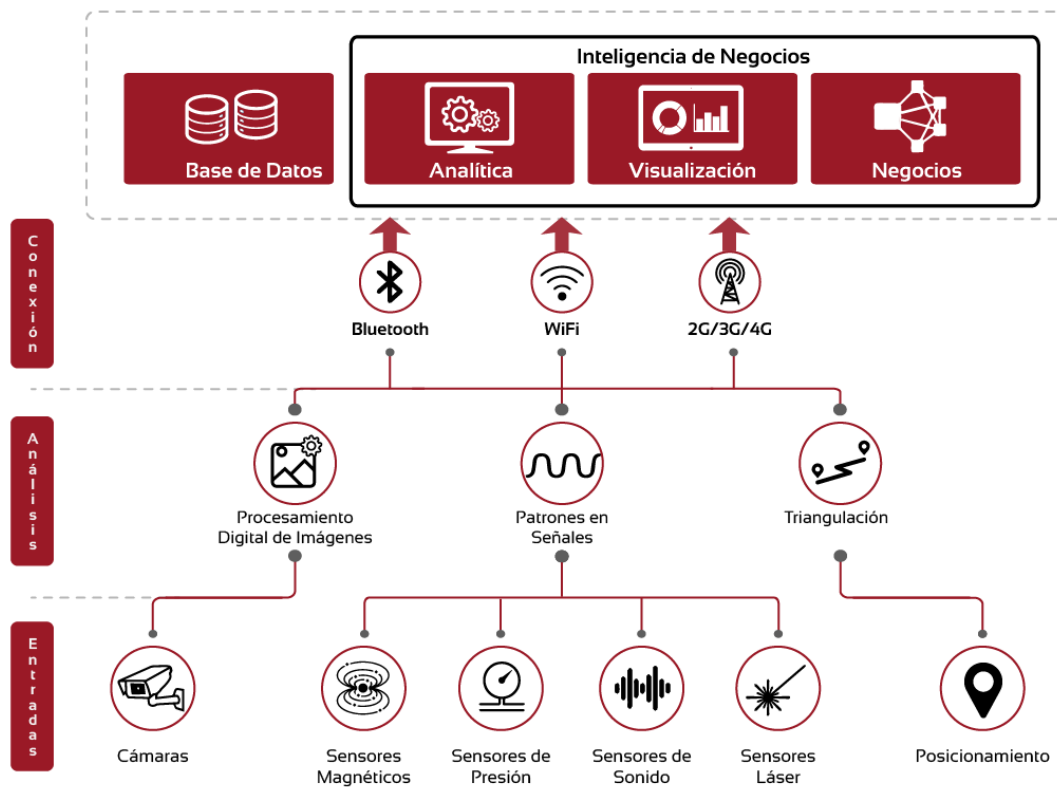


Figura 1.2: Arquitectura preliminar de la solución.

1.6. HIPÓTESIS, OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y CONTRIBUCIONES DE ESTA MEMORIA

De la arquitectura mostrada en la **Figura 1.2**, el presente trabajo de memoria se enfoca en las áreas de Conexión, Base de Datos e Inteligencia de Negocios. Como hipótesis, se plantea que cada área de trabajo puede entregar en sí misma una solución de bajo costo y orientada a la automatización del sistema. Por lo tanto, en cada área se realiza un análisis técnico de las tecnologías y sistemas disponibles cuando corresponda.

Si bien el proyecto cuenta con una hipótesis, esta se ha de orientar a un enfoque telemático para ser trabajado en esta memoria. Así, se plantea que es factible entregar reportes automatizados de información de movilidad utilizando un modo de conexión y un sistema de almacenamiento que permita el envío de datos, con rendimiento cercano a tiempo real, desde el dispositivo de bajo costo (desarrollado en el proyecto) al servidor de datos.

Debido a que el proyecto está inserto en el plan de Memorias Multidisciplinarias, las contribuciones personales son equivalentes a los objetivos específicos a cumplir en el área Telemática. Según esto último, se perfilan las siguientes contribuciones:

- En el área de Conexión, se buscarán e implementarán un protocolo y un modo de transmisión entre los dispositivos, tomando en cuenta las capacidades de transmisión. Esta conexión debe lograr un rendimiento cercano a tiempo real.
- En el área de Base de Datos, se implementará un modelo de almacenamiento de datos con características de extensibilidad, junto con el desarrollo de un esquema de relaciones.
- En el área de Inteligencia de Negocios, se creará una plataforma web con características de extensibilidad y flexibilidad para que sea adaptable a diversos requerimientos de visualización y análisis de datos de movilidad.

1.7. MÉTODO DE TRABAJO

Según la Arquitectura Preliminar del Sistema (**Figura 1.2**), se crearán diversas tareas, según un esquema final de trabajo. Sin embargo, se deben tener en cuenta las siguientes tareas esenciales:

- Realizar análisis de necesidades de datos prioritarios del cliente y usuarios.
- Generar vistas de información en base a las necesidades prioritarias de los usuarios de la plataforma.
- Obtener requerimientos técnicos de capacidades de procesamiento, transmisión y almacenamiento de datos, según la carga de datos entregados por las áreas de entrada de información (**Figura 1.2**).
- Escoger un modo de conexión que permita entregar información en tiempo real.
- Montar una Base de Datos orientada al almacenamiento y uso de información acorde a los requerimientos de inserción, capacidad de almacenamiento y carga de trabajo de cada consulta a la plataforma.

1.8. ESTRUCTURA DE ESTE DOCUMENTO

Primero, el capítulo 2 describe el estado del arte relacionado a este trabajo de memoria. Este capítulo tiene por objetivo mencionar las principales tecnologías que se utilizan para obtener datos de movilidad, métodos de transmisión de datos, formas de almacenamiento y plataformas de visualización web. Además, se concluye este

capítulo con discusiones sobre las tecnologías adecuadas para el desarrollo del proyecto y las contribuciones que entrega este trabajo respecto a lo estudiado en el capítulo.

Segundo, el capítulo 3 trata sobre el diseño de la solución, mencionando el esquema de trabajo para su desarrollo y los requerimientos técnicos asociados. Para elaborar este diseño, se plantea el contexto de la hipótesis del proyecto y luego se presenta la arquitectura de procesamiento y flujo de datos.

Luego, el capítulo 4 trata sobre la implementación del sistema. Se muestra a nivel general el trabajo realizado en todas las áreas del proyecto, para luego detallar el aporte del trabajo de esta memoria, incluyendo un test de validación.

Cuarto, el capítulo 5 trata sobre la validación del proyecto. Se evalúa a través de los requerimientos técnicos y casos de uso del sistema. Además, se entregan observaciones por parte de los posibles usuarios de la plataforma.

El capítulo 6 trata sobre las conclusiones obtenidas en esta tesis. Se resumen los objetivos y se discuten los logros y trabajos pendientes.

Por último, en el capítulo 7 se cierra la memoria con el planteamiento del trabajo a futuro.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. MEDIOS DE ENTRADA DE INFORMACIÓN

En la actualidad, la Subsecretaría de Transporte cuenta con los siguientes medios de entrada de información:

- Cámaras UOCT [4]: entregan información desde el flujo de imágenes capturadas, las cuales son almacenadas por las diferentes Unidades Regionales de la UOCT. El video es analizado de manera manual a través de un software que despliega las imágenes recolectadas por las cámaras. Los incidentes que se detectan a través de la visualización de las cámaras son registrados manualmente por los operadores.
- Conteos de Flujo: dispositivos instalados en el asfalto de la calzada obtienen el conteo vehicular de la zona en la cual han sido instaladas. Son altamente confiables, sin embargo su instalación y mantención son complejas y producen la sensación de molestia en los conductores debido a la necesidad de intervenir físicamente la vía.
- Mediciones en Terreno: permiten medir variables de tránsito, catastros de transporte y vialidad e infraestructura vial. Suelen ser realizadas por empresas externas a través de procedimientos manuales, por lo cual es necesario validar los datos. Se llevan a cabo de forma esporádica a través de un proceso de licitación.
- Mediante Terceros: Información adicional otorgada por los usuarios o Carabineros. Permite conocer las problemáticas en lugares que no presenten

dispositivos de recolección de datos. Sin embargo, no toda la información entregada es cuantificable. Por lo tanto, al ser cualitativa es necesario realizar un procedimiento de validación exhaustivo de datos antes de disponer de su uso.

2.2. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE MOVILIDAD

Existen distintos dispositivos en el mercado que permiten realizar una recolección de datos de movilidad. A continuación se muestran las tecnologías más recurrentes.

2.2.1. Utilizados por Subsecretaría de Transportes

- Espiras Magnéticas [5]: elementos metálicos colocados bajo el pavimento de la vía que se basan en el fenómeno físico del electromagnetismo para detectar el paso de los vehículos. Al pasar un vehículo por encima, se genera una variación en el campo magnético causada por la masa metálica del vehículo. Su principal ventaja es que es una tecnología ampliamente utilizada y desarrollada, que entrega datos precisos. Sin embargo, su debilidad reside en que su implementación es invasiva y que están expuestos al estrés estructural del pavimento, además de su alto costo de mantención.
- Conteo Manual: método para obtener datos de tráfico a través del uso de personal en terreno que registra los datos obtenidos en un formulario. Una de sus fortalezas es que permite la clasificación de vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes y otras características que otros métodos no son capaces de realizar; mientras que la principal desventaja es la confiabilidad

del dato y la lentitud en la validación de éste, además de ser un proceso que solo otorga datos correspondientes a un momento en particular.

- Bluetooth (seguimiento dirección MAC) [6]: reconocimiento de vehículos que integran algún dispositivo con Bluetooth activado dentro de éste. Los dispositivos que poseen tecnología Bluetooth utilizan para comunicarse de manera inalámbrica protocolos MAC (Media Access Control), cuyas direcciones son únicas para cada dispositivo. En los caminos se instalan aparatos que son capaces de detectar las direcciones MAC de los dispositivos que se desplazan por la vía. Una de las ventajas de este método es que permite la obtención de datos en tiempo real y que su implementación y manutención son de bajo costo. Por contraparte, su desventaja radica en que los datos corresponden a un muestreo poblacional ligado a la tasa de adherencia a la tecnología Bluetooth, además de la dependencia de los protocolos de comunicación que utilizan estos dispositivos.
- Visualización mediante Cámaras de Vigilancia [4]: consiste en la supervisión por parte de una persona de alguna intersección que cuente con cámaras de vigilancia, para la detección de diversos eventos. Su ventaja reside en que la información recibida es en tiempo real y permite detectar eventos inesperados, como accidentes u obstrucciones en la vía. La principal desventaja es que no otorga un dato cuantificable directamente y, dado que no existe capacidad de personal para monitorear cada cámara, hay una considerable cantidad de datos que se pierden.

2.2.2. No utilizados por Subsecretaría de Transportes

- Sensores de Sonido [5]: detectan la energía acústica o sonidos audibles producidos por el tránsito de vehículos. Al pasar un vehículo por la zona de detección, aumenta la energía sonora, variación que es capturada por el algoritmo de procesamiento de señales, reconociendo la presencia de un vehículo. Cuando el vehículo abandona la zona de detección, la energía sonora disminuye, dando término a la señal. Sus fortalezas son principalmente su bajo costo y flexibilidad de implementación, mientras que sus desventajas residen en la sensibilidad a los ruidos ambientales, además de disminuir su precisión en espacios saturados.
- Sensores de Presión [5]: dispositivos que detectan la presión ejercida por el vehículo al pasar por un punto de control. Existen distintos tipos de sensores dependiendo de si su uso es permanente o si solo corresponde a un conteo ocasional; el primer caso implica una intervención mayor en la vía, mientras que en el segundo no es necesario intervenir. Entre sus ventajas, se destacan la simpleza del procesamiento del dato y la muy baja sensibilidad a perturbaciones en el ambiente que afecten a la calidad de los datos. Sus debilidades son que fallan al intentar detectar vehículos que transitan a alta velocidad y que sólo permiten detectar la presencia de un vehículo, sin poder caracterizarlo.
- Sensores Láser [5]: emiten un haz de luz infrarrojo, detectando la presencia de un vehículo mediante la interferencia que produce éste en la propagación de la onda electromagnética. Una de sus fortalezas reside en la simpleza del procesamiento de la señal, mientras que su principal desventaja consiste en

que se ve afectado por condiciones ambientales, provocando que la confiabilidad de los datos sea menor.

- Procesamiento digital de Imágenes [7]: detección de elementos a través de la diferenciación del fondo y el movimiento en las imágenes, la cual permite el seguimiento particular de cada vehículo en la vía. El beneficio de esta tecnología es el seguimiento de múltiples objetos, pudiendo obtener diferentes tipos de datos de éstos, como su posición, velocidad y tipo de vehículo. Sus desventajas son la sensibilidad a los cambios de iluminación ambiental, además de problemas de oclusión o transposición de elementos en seguimiento.

2.3. SOLUCIONES COMPLETAS AL PROBLEMA DEL PUNTO DE VISTA DE LA ANALÍTICA

Existen en el mercado diversas soluciones que atacan esta problemática con distintas tecnologías. La mayoría de las soluciones resuelven partes de la problemática, pero no a completitud. De todas formas, existen 2 productos empaquetados disponibles en el mercado:

- Sensys Networks [8] provee información de tráfico a través de dos métodos de captura: magnetómetro para el conteo de flujo vehicular y medición de velocidad, y re-identificación de direcciones MAC en sistemas Bluetooth/WiFi para tiempos de viaje, retardos en intersección, y análisis de origen/destino. Para la transmisión de datos, los dispositivos de captura se conectan de forma inalámbrica a un repetidor, el cual retransmite la información a un concentrador conectado a Internet. Es necesario intervenir físicamente cada carril de interés, alterando el flujo vehicular.

Además, se requiere la adquisición de por lo menos 3 dispositivos por calzada y por cada tramo, aumentando su costo de implementación.

- SmarTek Systems ofrece el producto SVS-1 (SmarTek Video System) [7], el cual es un sistema que detecta la presencia de vehículos en intersecciones por medio de procesamiento de imágenes. Cada dispositivo genera un bit de salida al detectar un vehículo en una línea de detención. En la **Figura 2.1** se observa el diagrama de flujo de información de este sistema.

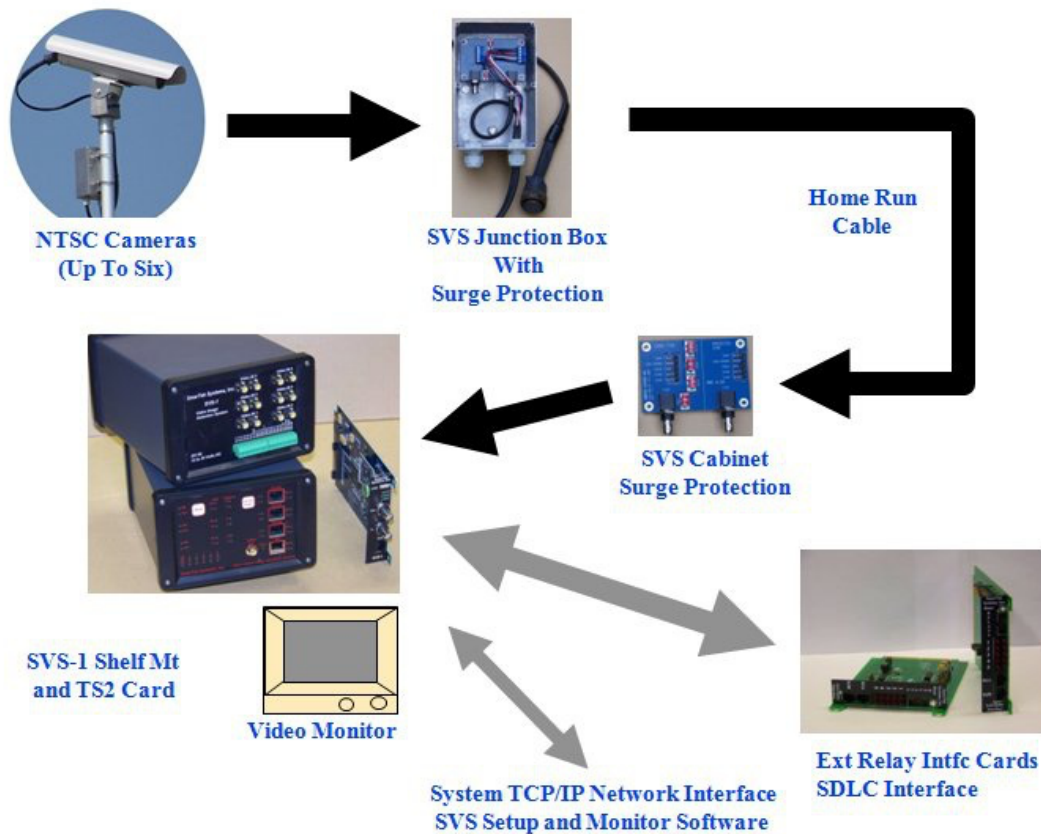


Figura 2.1: Diagrama de flujo SVS-1

2.4.TECNOLOGÍAS INVOLUCRADAS

2.4.1. Conectividad

Se debe tener en cuenta que el prototipo a desarrollar se encontrará ubicado necesariamente en la intemperie. Por lo tanto, se deben considerar modos de conexión para uso en exteriores. Además, para el estudio se considera analizar principalmente las tasas de subida de datos desde cliente a servidor. A continuación, se mencionan las tecnologías más utilizadas:

- Red 3G [9]: no existe una definición técnica exacta de 3G, sin embargo este término se refiere al conjunto de tecnologías desarrolladas basadas en el estándar IMT2000 de la ITU [10]. El espectro de comunicación en Chile [11] ocupa las bandas 850 MHz, 1700 MHz, 1900 MHz y 2100 MHz. Acerca de la tasa de subida de datos, ésta varía según la tecnología y los esquemas de modulación: para GPRS, 30-50 kbps; para EDGE, 80-160 kbps; para UMTS, 200-300 kbps; para HSPA, 500 kbps-2 Mbps y para HSPA+, 1-4 Mbps.
- Red cableada: dependiendo del operador, el modo de transmisión físico puede ser a través de par trenzado (DSL), cable coaxial o fibra óptica. A través de ADSL, los operadores en Chile ofrecen velocidades de subida entre 600 kbps y 1 Mbps; por medio de cable coaxial, se ofrecen tasas entre 500 kbps y 4 Mbps; y por medio de fibra óptica, la tasa varía entre 70 kbps y 40 Mbps, incluso llegando a 100 Mbps, a través de enlaces dedicados sincrónico (1:1).

- Red WiFi: el estándar IEEE 802.11 permite la conexión entre dispositivos de forma inalámbrica. Cada revisión a esta norma difiere en el espectro y tasa de transferencia de datos:

Revisión	Banda operación	Tasa transferencia máxima	Rango máximo (metros)
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	140
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	140
802.11n	2.4 o 5 GHz	600 Mbps	100
802.11ac	5 GHz	7 Gbps	50

Tabla 2.1: Bandas, tasas de transferencia y rangos de operación WiFi.

2.4.2. Almacenamiento

Los datos a almacenar arriban al servidor, el que debe estar preparado para entregar información a las plataformas de visualización de datos. Se analizan los modelos de base de datos más comunes para luego decidir el más apropiado en términos de costos y de administración [12 y 13].

- Modelo fichero plano: consiste en una matriz bidimensional de elementos, donde todos los miembros en una columna dada tienen valores del mismo tipo, y todos los miembros de la misma fila están relacionados entre ellos. Las columnas en la tabla suelen tener un tipo asociado, que la define como cadena de caracteres, fecha u hora, entero o número de punto flotante. La principal ventaja de este modelo es que toda la información se almacena en un solo lugar. Por contraparte, existen riesgos de contar con duplicidad de datos, es complejo de extender, añadir o eliminar atributos, ineficiente en

entregar respuestas de consultas complejas y cuenta con un alto riesgo de seguridad.

- Modelo relacional: es el modelo de base de datos más utilizado. Se compone de tablas únicas, las cuales se componen de registros (filas) y campos (columnas). Un campo de una tabla puede ser designada como la *clave primaria*, que distingue un registro de otro. Además, se pueden asignar campos como *claves foráneas*, utilizadas para identificar unívocamente un registro de otra tabla, generando la relación entre estas. Sus mayores virtudes son que mantiene una baja redundancia de datos y que se pueden manejar consultas complejas a través del lenguaje SQL. Sin embargo, si las relaciones son complejas o no se trabaja correctamente la estructura de tablas, puede afectar el rendimiento del hardware y software.
- Modelo orientado a objetos [12]: diseñado para almacenar, extraer y manipular objetos creados por programas escritos en algún lenguaje orientado a objetos. De esta forma, se permite crear clases, organizar objetos, estructurar una jerarquía de herencias y llamar métodos de otras clases. Dos ventajas de un sistema orientado a objetos son que permite modelar el “mundo real” con un esquema más cercano y similar, y además facilita la manipulación de objetos complejos. Sin embargo, no existe un estándar de administración de la base de datos en este modelo y los sistemas existentes cuentan con una alta complejidad que hace lentas las transacciones, lo que implica gastos indirectos de hardware y sistema operativo.
- Modelo dimensional [13]: diseñado y ajustado para dar soporte al análisis de tendencias y previsiones. Este tipo de proceso de información se conoce como proceso analítico en línea (OLAP) o proceso de soporte de decisiones.

Una base de datos dimensional está optimizada para la recuperación y el análisis de datos. Cualquier dato nuevo que cargue en la base de datos se suele actualizar por lotes, a menudo desde diversas fuentes. Mientras que los sistemas OLTP (como lo es el modelo relacional) tienden a organizar los datos alrededor de procesos específicos (como la entrada de pedidos), una base de datos dimensional tiende a estar orientada a temas y resúmenes.

2.4.3. Visualización de datos

Se pretende contar con un servicio web que analice los datos almacenados y sea versátil en la entrega de información por medio de distintos modos de visualización. Cabe mencionar que todo servicio web se secciona en 2 áreas de desarrollo: Front-end y Back-end. Para el primero, se plantean las siguientes plataformas web: Node.js, PHP, Ruby on Rails, Asp y JSP.

Para el desarrollo del Front-end se implementan diversas tecnologías: para la estructura del documento se utiliza HTML, para la animación e interacción existe JavaScript, y para la estética se implementa CSS.

2.5. DISCUSIÓN

En términos de la transmisión de los datos, se considera más apropiado el uso directo de la red 3G, debido a que se pretende que el producto esté situado al aire libre y sea de libre localización. Además, tanto para la utilización de red WiFi como cableado requiere una mayor inversión en la instalación, considerando que se deben adquirir equipos de enrutamiento e insumos, como cables de red o puntos de acceso; costos que no se ven reflejados en el uso de 3G.

Del punto de vista del almacenamiento de datos, se debe considerar que los datos obtenidos se utilizarán para distintos métodos de análisis, muchos de los cuales no son abordados por el proyecto. Adicionalmente, es posible que se requiera que el producto sea alterado por personas externas al grupo de trabajo. Por lo tanto, el modo de almacenamiento debe contar con las características de extensibilidad y sencillez de modificación de los campos de datos. Así, se propone almacenar los datos usando el modelo relacional, considerando su amplio uso y que existen herramientas bastante conocidas en el mercado para su administración.

Para la visualización de los datos es necesario definir el lenguaje y plataforma a utilizar tanto en Back-end como en Front-end. Para el primer caso, la plataforma debe estar orientada al manejo de grandes tablas de datos (inserción, consulta y entrega de un gran volumen de datos al Front-end), considerando también el hardware del servidor y sus especificaciones técnicas. Para el caso de Front-end, se propone trabajar con Javascript, ya que se pretende mostrar la visualización de la analítica a través de una página web, además que el lenguaje aprovecha los recursos del computador del usuario para el despliegue de la información, y que es reconocido y aceptado por la mayoría de los navegadores web utilizados masivamente por los usuarios a los que está destinado el producto.

De este modo, el presente trabajo de memoria realizará un análisis de los requerimientos técnicos para adaptar las tecnologías involucradas y discutidas en las 3 temáticas. La contribución de esta memoria recae, entonces, en la generación del código para la transmisión de datos desde el dispositivo al servidor, el modelado e implementación del esquema de la base de datos, el desarrollo del Back-end tanto para la gestión de los datos recibidos del dispositivo como para el análisis y visualización, y el desarrollo del Front-end para la entrega visual de la analítica y la implementación de diversas bibliotecas.

3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

3.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL SISTEMA

El diagrama mostrado en la **Figura 3.1** representa la contextualización del sistema. Para obtener la información de movilidad requerida por la Subsecretaría de Transportes, el sistema analiza localmente los fotogramas recopilados por la cámara utilizando un microprocesador, el cual realiza un procesamiento digital de imágenes de estos para obtener los datos de movilidad. Esta información es enviada a través de Internet a la base de datos, donde se almacenan para su posterior consumo por un software de visualización.

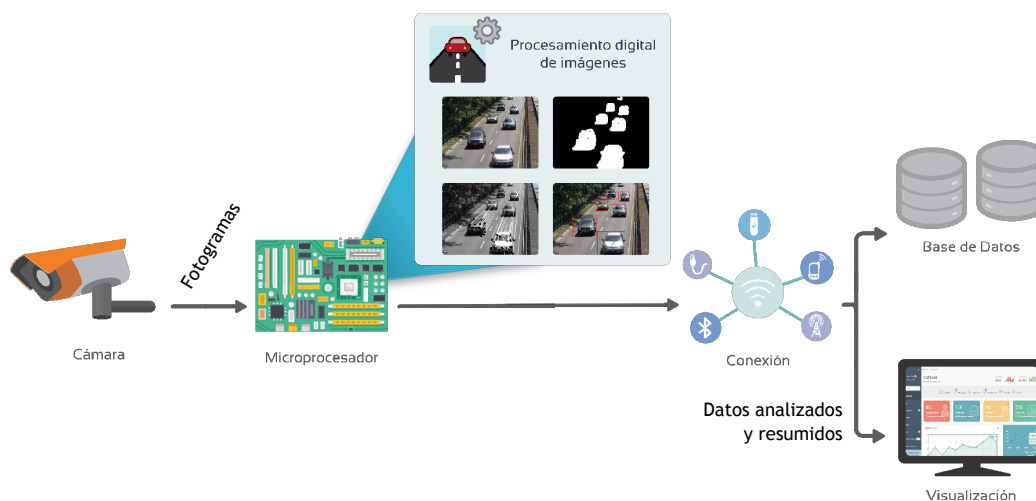


Figura 3.1: Contexto del Sistema

3.2. ESQUEMA DE TRABAJO

A partir de la arquitectura preliminar planteada en la **Figura 1.2**, se resuelve un esquema de trabajo para el desarrollo de la solución. Cada módulo de trabajo se describe a continuación.

- Capa Sensores: determina los requerimientos técnicos para la carcasa (resistencia de material, condiciones de temperatura y humedad), la cámara (calidad de imagen) y la instalación de esta (posición y altura), con la finalidad de obtener imágenes útiles para la capa de procesamiento con alta disponibilidad.
- Capa Procesamiento: el dato en bruto entregado por la capa Sensores es analizado mediante el método de procesamiento digital de imágenes, para lo cual se debe tener en cuenta la capacidad técnica del procesador a utilizar, además de las bibliotecas a ocupar por el software. De la información obtenida se realiza un cálculo de variables de interés, tales como la velocidad de desplazamiento del flujo vehicular, ocupación de pistas, tipo de vehículo, flujo vehicular continuo, distancia de colas, tiempo de colas, entre otros.
- Capa Conexión: esta capa entrega información técnica referida a los enlaces físicos que ocupará el sistema. Estos enlaces deben ser capaces de transferir con confiabilidad e integridad los datos desde la unidad de procesamiento a la base de datos. Dicha conexión dependerá de la disponibilidad de recursos en el lugar de instalación, por lo que el sistema debe considerar flexibilidad de protocolos de conectividad. Además, se deben considerar las proyecciones que el Gobierno considere, en términos de tecnología a instalar y localidades afectadas.
- Capa Base de datos: los datos entregados a través de la capa Conexión se almacenan en la Base de datos. Esta ha de tener en cuenta el tipo de datos que

se reciben y las consultas que se realizarán desde la capa Inteligencia de Negocios, por lo que esta capa entrega un estimado del tamaño de la base de datos, la estructura, las funciones para realizar consultas, las interdependencias entre los datos, y el lenguaje a utilizar para su óptimo desempeño. También, se consideran las proyecciones de tecnologías a utilizar en el futuro por parte del Gobierno.

- Capa Inteligencia de Negocios: la información obtenida se consume en esta capa, a través de distintos métodos de visualización. Se contempla el trabajo de entrega de datos a través de redes sociales, gráficos, alertas, mapas de datos, informes automatizados y tablas de datos en formato de hoja de cálculo.

Considerando que el presente trabajo de memoria engloba las 3 últimas capas de la arquitectura, se procede a describir cada módulo involucrado:

3.2.1. Capa conexión

- Módulo Análisis de Contexto: la información entregada por este módulo es fundamental para el análisis de las diferentes tecnologías aplicadas por el MTT. El objetivo principal es identificar cada una de las soluciones, para luego hacer un análisis de requerimientos, los cuales tendrán que ser considerados por el módulo de Procesamiento y la capa de Base de Datos.
- Módulo Proyección: se busca hacer un análisis detallado de las futuras tecnologías a implementar por el MTT y la industria, con el objetivo de orientar de manera acertada las posibles soluciones a implementarse por esta

capa. Además de esto, es necesario hacer un análisis de uso en las tecnologías actuales de conexión para anteponerse a problemas futuros.

- **Módulo Requerimientos técnicos:** a través de este módulo, se busca consolidar los diferentes requerimientos propuestos por los módulos Análisis de Contexto y Proyección, los cuales tendrán que trabajar de manera conjunta con el módulo Procesador. Además, se analizarán las diferentes restricciones impuestas por los módulos Procesador y Base de Datos, para así dar una base práctica de las tecnologías que se utilizarán.

3.2.2. Capa Base de Datos

- **Módulo Análisis de Contexto:** la información entregada por este módulo es fundamental para el análisis de las diferentes tecnologías aplicadas por el MTT. El objetivo principal es identificar cada una de las soluciones, hacer un análisis de requerimientos los cuales tendrán que ser considerados por el módulo de Procesamiento, la capa de Conexión y las diferentes opciones de visualización de la capa de Inteligencia de Negocio.
- **Módulo Proyección:** se busca hacer un análisis detallado de las futuras tecnologías a implementar por el MTT y la industria, con el objetivo de orientar de manera acertada las posibles soluciones a implementarse por esta capa. Además de esto, es necesario hacer un análisis de la accesibilidad de las diferentes bases de datos que tiene a disposición el MTT, su orientación de uso y la proyección de ocupación en el tiempo de esta.

- **Módulo Requerimientos técnicos:** a través de este módulo, se busca consolidar los diferentes requerimientos propuestos por los módulos de Análisis de Contexto y Proyección, los cuales trabajan de manera conjunta con el módulo de Procesador. Además se analizarán las diferentes restricciones propuestas por el módulo Procesador y las necesidades de cada módulo de la capa de Inteligencia de Negocios.

3.2.3. Capa Inteligencia de Negocios

- **Módulo Redes Sociales:** la primera solución de visualización será interactuar a través de las redes sociales. El objetivo es automatizar informes obtenidos del módulo de PDI Variables y canalizarlos por las diferentes redes sociales en Internet. Se buscará llegar de manera masiva a la ciudadanía, con el objeto de que pueda tomar decisiones con la mayor información posible y por sobre todo en tiempo real.
- **Módulo Gráficos:** se busca facilitar el análisis de datos con diferentes visualizaciones de Dashboard, las cuales desplegarán en pantalla de manera interactiva los distintos datos obtenidos desde el módulo de PDI Variables. Junto con esto se generara la base necesaria para poder levantar nuevos KPI de seguimiento para los diferentes organismos gubernamentales y para la ciudadanía en general.
- **Módulo Alertas:** este módulo ofrece automatizar el proceso de levantamiento de incidentes ocurridos basados en la información entregada por la variable de incidentes del Módulo PDI Variables, generando alertas cada vez que se detecte una anomalía en la vía.

- **Módulo Mapas con Datos:** esta solución de visualización busca traspasar la diversa información obtenida en el módulo PDI Variables a mapas viales, para que la ciudadanía en tiempo real pueda tomar decisiones acertadas sobre sus recorridos. Será fundamental desplegar variables como los tiempos de cola, ocupación de la calle, frecuencia y conteo vehicular, los cuales darán una radiografía de las vías, visualizándolas de manera similar como lo hace la aplicación para teléfonos celulares Waze [14].
- **Módulo Informes Automatizados:** a través de este módulo, se busca traspasar de manera formal y flexible los distintos datos obtenidos, con el objeto de contar con informes automatizados para las diferentes necesidades de los organismos gubernamentales, acelerando procesos burocráticos y ordenando dicha información.
- **Módulo Tabla de datos:** Las tablas de datos serán el elemento primario de trabajo, ya que entregan en formato base la totalidad de la información obtenida en los diferentes módulos.

3.3. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

Los requerimientos técnicos se obtienen de forma independiente en cada capa, sin perder la visión global del sistema. Para efectos de esta memoria, se analizarán los requerimientos correspondientes a las áreas de Conectividad, Almacenamiento y Visualización de datos.

No obstante, para el análisis técnico, se utilizará como entrada de información los parámetros de movilidad obtenidos en el análisis de la secuencia de video. Esta información es entregada por el software de procesamiento de imágenes que fue

desarrollado por Christian Inostroza, el postulante a Ingeniero Civil Electrónico del presente proyecto.

El software en cuestión emite información cada vez que se produce un evento. Este evento se define como la detección de un vehículo por el área de sensado de un carril. El formato en que se entrega esta información es un formulario HTML con los siguientes parámetros: identificador del dispositivo, cuenta de evento (número de secuencia de eventos), carril de pasada, tipo de vehículo y velocidad.

Luego, el formulario HTML es enviado por el método HTTP [15] POST desde el software, generando un paquete de tamaño promedio de 292 bytes, considerando que lo que se envía es una cadena de caracteres de largo variable, en la que se incluyen los nombres de los parámetros y sus valores. El tamaño del paquete HTTP corresponde a la suma del Header (240 bytes) y del Payload (54 bytes).

3.3.1. Requerimientos capa Conexión

La tasa de transmisión de subida desde el dispositivo ubicado en el exterior hacia el servidor es crítica debido a que el flujo de datos se inicia en el sensor.

Para realizar la conexión se utiliza el protocolo HTTP por dos motivos: asegurar confiabilidad en la transmisión de los datos y contar con un protocolo de comunicación de simple implementación en diversos dispositivos.

Con esta información, se procede a calcular el ancho de banda requerido para la transmisión. Cada vez que un vehículo es captado por el software de

detección se produce un evento. Este evento es el que genera información, por lo que para estimar la tasa de transmisión, se debe tomar en cuenta la suma total en Bytes de los paquetes enviados en este proceso.

Para esto, se realiza una captura de paquetes con la herramienta Wireshark [16], y así obtener empíricamente el tamaño de estos al producirse un evento de pasada de vehículo. De la captura realizada, se obtiene la siguiente información [17]:

$$\text{Handshake TCP} = 78 (\text{Syn}) + 54 (\text{Ack})$$

$$\text{Información} = 294 (\text{PSH}) + 106 (\text{POST}) + 54 (\text{Ack de recepción HTTP}),$$

donde:

- Payload = 292 (PSH + POST)
- Headers Payload = 54+54 (Header PSH + Header POST)

$$\text{Cierre TCP} = 54 (\text{Ack Fin}) + 54 (\text{Fin})$$

$$\text{Total} = 3.502 \text{ Bytes}$$

Por lo tanto, por cada evento, se generan 3502 Bytes que deben ser subidos a Internet. Luego, considerando que el número de eventos depende del flujo de la calle en medición y que por cada vehículo se produce un evento, si el **flujo F es medido en [vehículos/hora]**, se obtiene la siguiente fórmula:

$$\text{flujo} = F \left[\frac{\text{vehículos}}{\text{hora}} \right] = F \left[\frac{\text{eventos}}{\text{hora}} \right] = \frac{F}{3600} \left[\frac{\text{eventos}}{\text{seg}} \right]$$

Así, la tasa de generación de datos está dada por la fórmula:

$$\text{Tasa datos} \left[\frac{B}{s} \right] = \text{bytesEvento} \left[\frac{\text{Byte}}{\text{un}} \right] \cdot \frac{F}{3600} \left[\frac{\text{un}}{s} \right] = \frac{3502 \cdot F}{3600} \left[\frac{\text{Byte}}{s} \right]$$

$$\approx 0,9727778 * F \left[\frac{B}{s} \right] \approx 7,782 * F \left[\frac{\text{bit}}{\text{seg}} \right]$$

Entonces, se debe asegurar que la tasa de subida mínima del dispositivo, medida en bps, sea 7,78 veces mayor que el flujo medido en vehículos/hora. Para simplificar el cálculo, se puede aproximar a que la tasa de subida debe ser 8 veces mayor.

A modo de ejemplo, considerando que el flujo en hora punta en dirección Oriente-Poniente de la Avenida España en Valparaíso, Chile es de 2.696 [vehículos/hora] (máximo flujo hora punta 2006) [18], se logra una tasa de datos de:

$$Tasa\ datos = 0,9727778 \cdot 2.696 = 2.622,6 \left[\frac{B}{seg} \right] \approx 2,62 \left[\frac{KB}{seg} \right] \approx 20,98 [kbps]$$

Generalizando, para un dispositivo que a través de su software permita capturar más de una calle, se debe asegurar una mínima tasa de transmisión correspondiente a:

$$Mínima\ Tasa\ Transmisión = 8 \cdot NumeroCalles \cdot Flujo [bps] ,$$

donde *NumeroCalles* es la cantidad de matrices de detección del dispositivo y *Flujo* está medido en vehículos/hora.

3.3.2. Requerimientos capa Base de Datos

Lo mínimo que debe considerar la base de datos es una tabla que almacene el dato bruto entregado por el procesamiento. Esta tabla debería contar con los siguientes campos: identificador del evento, fecha/hora del evento, identificador del dispositivo, carril de pasada, tipo de vehículo y velocidad.

Para realizar el cálculo de espacio requerido para el hardware de almacenamiento de datos, es necesario estimar el tamaño en Bytes de cada entrada de información a la tabla mencionada. Para ello, se considera que cada campo requiere de un espacio en disco según la **Tabla 3.1**. Como resultado, se estima que el **tamaño mínimo de cada inserción ocuparía 22 Bytes**.

Campo	Tipo	Bytes	Explicación
Identificador del evento	INTEGER	4	Tamaño aceptable para un gran número de eventos
Fecha/hora del evento	TIMESTAMP	4	Formato: “YYYY-MM-DD HH:MM:SS”
Identificador del dispositivo	INTEGER	4	Tamaño aceptable para aplicar algún código de numeración
Carril de pasada	TINYINT	1	Sin signo. Número Entero de 0 a 255
Tipo de vehículo	VARCHAR	8	Palabra de máximo 7 caracteres (ejemplos: “Liviano”, “Pesado”)
Velocidad	TINYINT	1	Sin signo. Número Entero de 0 a 255

Tabla 3.1: Tamaño de cada parámetro básico.

El tamaño de almacenamiento durante un período de tiempo determinado dependerá directamente del flujo vehicular de cada punto de medición, ya que mientras mayor sea el flujo, más inserciones se realizarán. Luego, si se define que se realizará una medición durante un tiempo T (medido en horas) en un arco de flujo F (medido en veh/hr), el espacio de almacenamiento total para un dispositivo en ese lapso corresponde a:

$$Tamaño = 22 \cdot F \cdot T [Byte]$$

Para ejemplificar la fórmula, se realizará el ejercicio con el mismo flujo del punto 3.3.1, correspondiente a 2.696 [vehículos/hora] de la Avenida España. Entonces, se tiene que por cada hora, se generan:

$$Tamaño = 22 \cdot 2.696 \cdot 1 [Byte] = 59.312 [Byte]$$

Para estimar la necesidad de generar respaldos periódicos, a continuación se calcula el tamaño necesario para almacenar 1 año de información del punto de medición anterior:

$$Tamaño = 59.312 \left[\frac{Byte}{hora} \right] \cdot 24 \left[\frac{horas}{día} \right] \cdot 365 \left[\frac{días}{año} \right] \cdot 1 [año] = 519.573.120 [B] \approx 0,5 [GB]$$

A continuación, en la **Tabla 3.2** se presenta una comparación de la cantidad de Bytes generados anualmente para distintos flujos promedio medidos por 10, 50 y 100 dispositivos instalados en una ciudad.

Flujo promedio [veh/hora]	Tamaño hora [Byte]	Tamaño anual [GB]	Total 10 Dispositivos [GB]	Total 50 Dispositivos [GB]	Total 100 Dispositivos [GB]
500	13000	0,114	1,140	5,698	11,396
1250	32500	0,285	2,849	14,245	28,490
2500	65000	0,570	5,698	28,490	56,979
3500	91000	0,798	7,977	39,885	79,771
5000	130000	1,140	11,396	56,979	113,958
7500	195000	1,709	17,094	85,469	170,937
10000	260000	2,279	22,792	113,958	227,916

Tabla 3.2: Espacio anual utilizado por el sistema.

Luego, para ciudades que cuenten con calles de alto flujo (mayor a 2500 vehículos/hora) se recomienda almacenar la información en bases de datos separadas por períodos de tiempo. Por ejemplo, una base de datos para cada mes de medición.

Se debe tener en consideración que la base de datos debe cumplir con los requerimientos de integridad de datos, tolerancia a fallos y alto rendimiento. Para ello, se recomienda utilizar un sistema de almacenamiento redundante, como por ejemplo RAID. Adicionalmente, se debe realizar respaldo de la información semanalmente en algún equipo aislado del sistema, para así, en caso de ser necesario, realizar un rollback ante alguna falla. Además, se propone contar con bases de datos diferenciadas por cada conurbación o ciudad.

3.3.3. Requerimientos capa Inteligencia de Negocios

Según lo ofrecido por el proyecto, se considera el desarrollo de visualizaciones de datos a través de un sitio web. Este debe contar con información a través de gráficas intuitivas y con acceso a contenido detallado. Las gráficas a desarrollar son: gráfico de líneas que informa del flujo promedio por hora en una intersección en un rango de fecha determinado y mapa con los puntos de medición. El contenido detallado considera una tabla con los registros de cada evento de pasada, en el que una fila corresponde al paso de un vehículo caracterizado por la fecha, hora, tipo de vehículo, velocidad, carril e identificador del dispositivo. Las **Figuras 3.2, 3.3 y 3.4** ejemplifican con borradores los requerimientos de vistas.

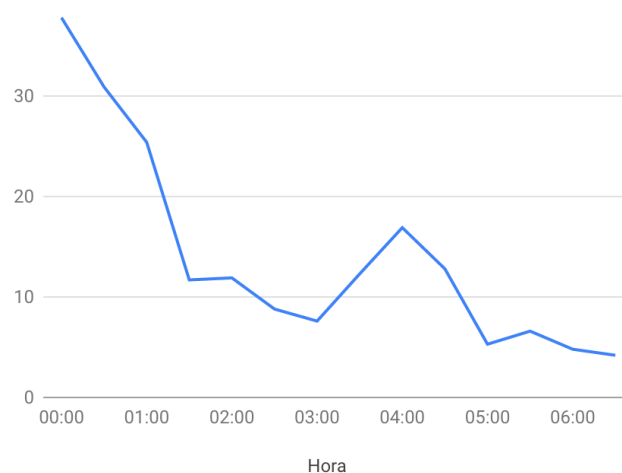


Figura 3.2: Borrador gráfico Flujo vehículos por hora.

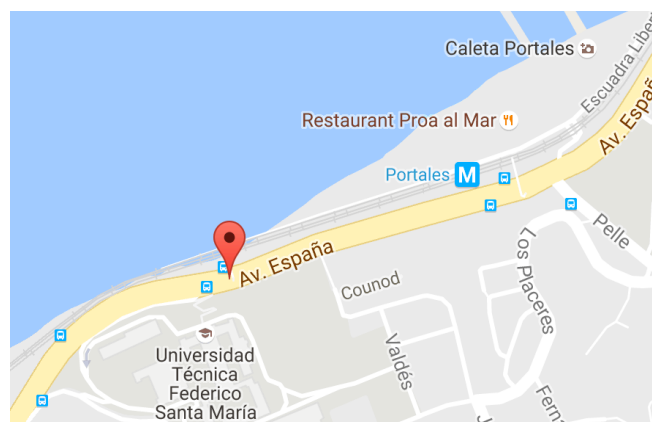


Figura 3.3: Borrador mapa con puntos.

timestamp	carril	velocidad	id_disp
2015-12-01 20:02:04	4	68	1
2015-12-01 20:02:05	1	74	1
2015-12-01 20:02:05	4	47	1
2015-12-01 20:02:05	2	49	1

Figura 3.4: Borrador tabla detallada.

3.4. ARQUITECTURA (DISEÑO DE SISTEMA)

Considerando el contexto del proyecto y los requerimientos técnicos, se propone la arquitectura de procesamiento, envío de datos, almacenamiento y visualización, tal como se observa en la **Figura 3.5**.

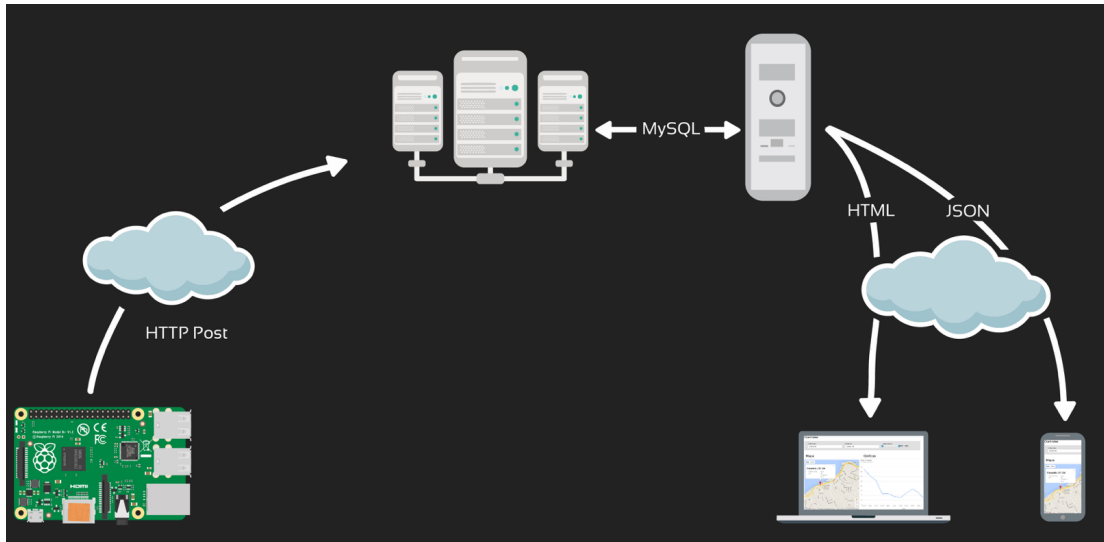


Figura 3.5: Arquitectura del sistema.

Los fotogramas capturados por la RaspberryPi Camera se envían a la placa de procesamiento RaspberryPi 2 B+ [19], donde se obtienen los datos de movilidad a través de procesamiento de imagen. Estos datos se empaquetan utilizando el protocolo HTTP y el paquete se envía mediante el método POST a través de WiFi a la red de la Universidad Santa María, en la que se entrega a un servidor en la nube de Intranet.

El servidor almacena la información en una base de datos relacional MySQL, para disponerlos a análisis de tráfico. Un software de visualización basado en navegadores web permitirá mostrar y descargar la información analizada, ya sea en gráficos, tablas, reportes u otro formato.

4. IMPLEMENTACIÓN

4.1. A NIVEL GENERAL

Considerando todos los requerimientos y tecnologías disponibles, se decidió implementar un producto mínimo viable que cumpla con el concepto detrás del proyecto. Luego, este proyecto se seccionó en 3 áreas de desarrollo: la carcasa y sujeciones que soportan los componentes del dispositivo, la programación del sistema de detección vehicular, y el diseño e implementación del sistema de almacenamiento de datos.

La carcasa desarrollada cumple con los requerimientos de forma, materialidad, protección ambiental y vandalismo, según el trabajo realizado por la estudiante de Ingeniería en Diseño de Productos. Como material de construcción se utiliza acrílico, debido a la facilidad de adquisición, fabricación y armado, su larga vida útil en intemperie, y su resistencia ante elementos corrosivos y rayos UV. Además, todas las uniones se encuentran selladas, por lo que adquiere la condición de impermeable.

El sistema de seguimiento vehicular corresponde a un programa que aplica procesamiento digital a la secuencia de imágenes obtenidas de la cámara del dispositivo. Este sistema envía al servidor un mensaje cada vez que se reconoce la presencia de un vehículo en el área de detección. El mensaje contiene los datos de identificador de dispositivo, carril, tipo de vehículo y velocidad.

Se realizaron pruebas iniciales para analizar el rendimiento del software de detección de vehículos con los modelos de RaspberryPi existentes en el mercado, y se llegó a la conclusión que la placa RaspberryPi 2 modelo B+ es la única que permite la

ejecución correcta del programa, considerando las limitantes de CPU y memoria RAM.

Acerca de la cámara, como primera opción se consideró aprovechar una especialmente diseñada para la placa RaspberryPi (Raspberry Camera). Se tomaron muestras de videos capturados con esta cámara, las cuales fueron analizadas por el programa de seguimiento, y como resultado se obtuvo que la calidad de imagen es suficiente para que el software haga detecciones correctas.

El sistema operativo del dispositivo es Raspbian, el cual es una distribución Linux basada en Debian. Esta distribución fue diseñada específicamente para ser utilizada en la placa Raspberry, buscando optimizar los recursos que posee. Por otra parte, el programa de detección y envío de datos requiere de bibliotecas de procesamiento de imágenes, correspondientes a OpenCV. Considerando que el sistema ocupa cerca de 3GB y las bibliotecas 4GB, el sistema completo necesita de un mínimo de 8GB para operar. Sin embargo, para efectos prácticos se decidió montar el software en una tarjeta microSD de 32 GB.

Ya que el dispositivo es una prueba de concepto, no se consideró el uso de la red 3G, debido a que se tendría que incurrir en el pago de un plan de datos y el arriendo del modem 3G. Este costo se evita al utilizar la red de la Universidad para la transmisión de datos al servidor. Además, el módulo de envío de datos que utiliza el software de detección trabaja en la capa Aplicación del modelo ISO/OSI, por lo que es independiente del modo de conexión presente en el dispositivo. De esta forma, se procede a instalar un Dongle WiFi con norma 802.11b/g/n que se conecta mediante USB a la placa, permitiendo que esta se conecte a la gran mayoría de las redes inalámbricas.

En suma, los componentes del dispositivo corresponden a: RaspberryPi 2 B+, RaspberryPi Camera, Dongle WiFi y una tarjeta SD 32 GB con un espacio ocupado de 8 GB.

Los datos levantados por el dispositivo son transmitidos por la red WiFi de la Universidad hacia un servidor ubicado en la nube de Internet. El servidor dispone de los datos a través de una página web pública, lo que permite que la información pueda ser desplegada en cualquier computador en el mundo. Sin embargo, el canal de recepción de datos es privado, evitando que se suba información falsa al servidor.

Por último, la información se entrega analizada a través de un sitio web, el cual consume los datos del servidor. Este análisis corresponde a un mapa donde se ubica el punto de medición junto con un resumen de sus datos, un gráfico con el resumen de datos del dispositivo de interés y un enlace para descargar la tabla completa de eventos. Además, esta página web recarga sus datos de forma automática cada 5 segundos, por lo que el usuario estará viendo información actualizada.

Luego de realizar pruebas en laboratorio, el dispositivo se montó en la pasarela peatonal de la UTFSM ubicada en la Avenida España, en Valparaíso, Chile. La alimentación se realizó con una batería externa y nuevamente se conectó a la red inalámbrica de la Universidad.

4.2. TECNOLOGÍAS APLICADAS EN PRODUCTO MÍNIMO VIABLE

Para la transmisión de datos desde el dispositivo hacia Internet se utilizó la red inalámbrica de la Universidad, la que corresponde a la norma IEEE 802.11g. Esta red permite una tasa de transmisión máxima de 54Mbps, suficiente para el envío de datos.

Según los campos de datos especificados en los requerimientos y en las visualizaciones entregadas, se modeló el esquema de datos relacional descrito en la **Figura 4.1**. Este cumple con la funcionalidad de ser extensible en la adición de más campos u otras tablas, ya que el esquema base es robusto y escalable.

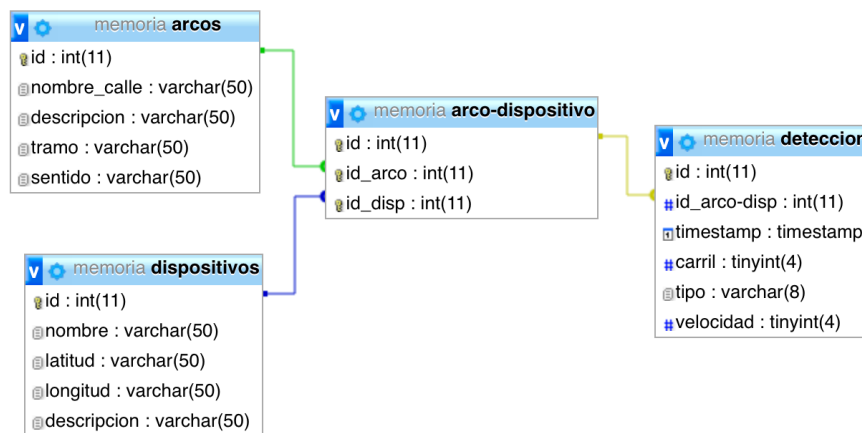


Figura 4.1: Esquema de datos base.

La realidad del sistema se presenta como sigue:

- Un arco medio de calle está asociado a uno o más dispositivos de detección.
- Un dispositivo cuenta con una o más matrices de detección, por lo que puede entregar información de uno o más arcos medios, según permita la disposición del lente de la cámara.
- Por cada detección se registra el carril de pasada, el tipo de vehículo, la velocidad, la marca de tiempo, un identificador de evento y un identificador

que vincula el arco de calle con el dispositivo desde donde se origina la información.

De esta forma, la tabla *arcos* corresponde a un arco de calle en el que se detectarán los vehículos, individualizado por su tramo y sentido. La tabla *dispositivos* contiene la información del equipo instalado. Luego, la tabla *arco-dispositivo* asocia un dispositivo a un arco, permitiendo que un dispositivo pueda ser utilizado para detectar vehículos en más de un arco, a la vez que se pueda entregar información del mismo arco desde distintos dispositivos. Por último, el dato granular de cada evento de detección asociado a un arco y a un dispositivo se encuentra en la tabla *detección*.

La estructura relacional se levantó en una Base de Datos con el sistema de administración MySQL, utilizando el motor MyISAM. Este servicio se aloja en el mismo servidor web que recibe las inserciones de datos desde el dispositivo y responde a las consultas de información de parte del usuario. De esta forma, se evita el riesgo de mantener abierto los puertos de la base de datos hacia fuera de la máquina.

Todas las transmisiones de datos a nivel de capa Aplicación (ISO/OSI) se realiza utilizando protocolo HTTP, de forma de facilitar la interoperabilidad entre diversos dispositivos que en el futuro existan en la red. Así mismo, todas las conexiones en las capas de Transporte y Red utilizan los protocolos TCP e IP, respectivamente, para garantizar integridad de los datos y escalamiento en red.

Acerca del protocolo de comunicación, por parte del dispositivo, se envía un mensaje POST por cada detección de vehículo con sus parámetros, y luego el servidor almacena esta información respondiendo con un “OK” en caso de éxito o

“ERROR” (acompañado de una descripción del error) en caso de alguna falla en el almacenamiento. Este mensaje es utilizado para depuración mientras continúa el desarrollo del sistema.

Por parte de la visualización de datos, se implementa un servicio web al que se accede mediante una URL en un navegador web. La comunicación entre el navegador y el servidor se realiza a través de HTTP, con mensajes tipo GET y POST. El servicio web permite visualizar un mapa con los dispositivos registrados y el gráfico con datos resumidos de algún dispositivo seleccionado, tal como se muestra en la **Figura 4.2**.

Controles

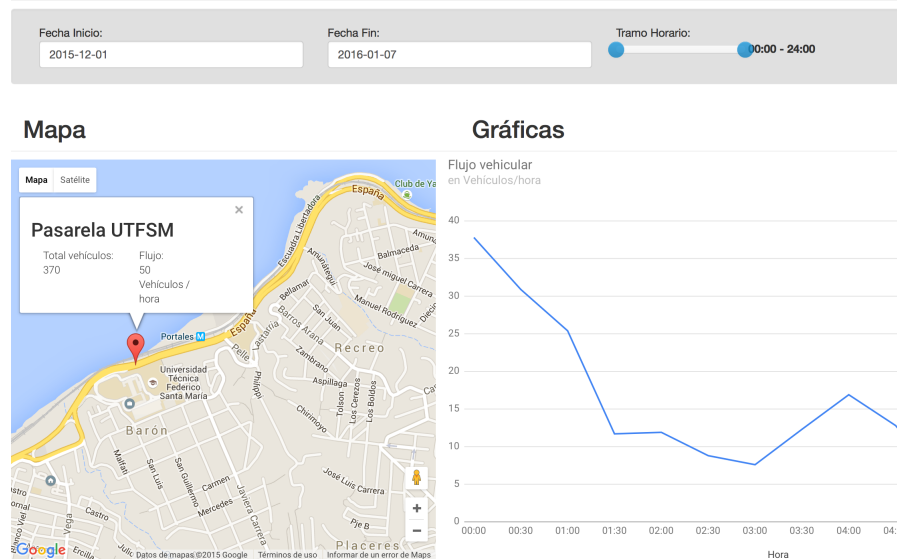


Figura 4.2: Visualización de Mapa y Gráfico.

La información de todas las visualizaciones se acotan a un rango de días y periodo de horas fijado por el usuario con los controles desplegados. Por ello, se debe seleccionar la fecha de inicio y fin, y un tramo horario. En el caso del mapa y del gráfico, cada dato mostrado es el promedio en el tramo de horas y rango de días. Adicionalmente, al modificar algún parámetro de control, se actualiza automáticamente la visualización.

Para visualizar la información analizada, el computador debe contar con una conexión al servidor y a Internet, de forma de activar el mapa y el gráfico, ambos generados por servicios API de Google. No obstante, si solo se desea descargar la tabla de datos, esta operación se puede hacer dentro de la misma red en la que se ubica el servidor.

Para la visualización del mapa se implementó una solución utilizando la API de Google Maps. Esta API solicita la latitud y longitud de las coordenadas de interés, y permite implementar un cuadro informativo que aparece sobre el mapa en el punto indicado. Por otra parte, para mostrar el gráfico se utilizó la API de Google Charts, a la cual se le entrega el arreglo de coordenadas a graficar, los límites máximos y mínimos, y otros detalles, tales como el color, las dimensiones y granularidad de cada eje coordenado, y el nombre del gráfico, entre otros.

Además, se implementó una página web que permite visualizar en detalle cada evento ocurrido en un tramo horario en un rango de días. Un ejemplo de esta vista se muestra en la **Figura 4.3**.

timestamp	carril	velocidad	id_disp	latitud	longitud	nombre	id_arco	nombre_calle	arco_desc
2015-12-01 20:02:04	4	68	1	-33.034081	-71.595261	UTFSM	1	Avenida España	San Luis - Pellé
2015-12-01 20:02:05	1	74	1	-33.034081	-71.595261	UTFSM	1	Avenida España	San Luis - Pellé
2015-12-01 20:02:05	4	47	1	-33.034081	-71.595261	UTFSM	1	Avenida España	San Luis - Pellé
2015-12-01 20:02:05	2	49	1	-33.034081	-71.595261	UTFSM	1	Avenida España	San Luis - Pellé
2015-12-01 20:02:05	4	77	1	-33.034081	-71.595261	UTFSM	1	Avenida España	San Luis - Pellé
2015-12-01 20:02:05	1	59	1	-33.034081	-71.595261	UTFSM	1	Avenida España	San Luis - Pellé
2015-12-01 20:02:05	4	37	1	-33.034081	-71.595261	UTFSM	1	Avenida España	San Luis - Pellé
2015-12-01 20:02:06	3	58	1	-33.034081	-71.595261	UTFSM	1	Avenida España	San Luis - Pellé
2015-12-01 20:02:06	2	31	1	-33.034081	-71.595261	UTFSM	1	Avenida España	San Luis - Pellé

Figura 4.3: Ejemplo de tabla detallada

Por último, para contar con un ejemplo de analítica de los datos, se implementó un botón que descarga una tabla con información resumida del flujo vehicular y velocidad promedios en diversos tramos horarios, para un rango de fecha determinado. Esta tabla resumen se aprecia en la **Figura 4.4**.

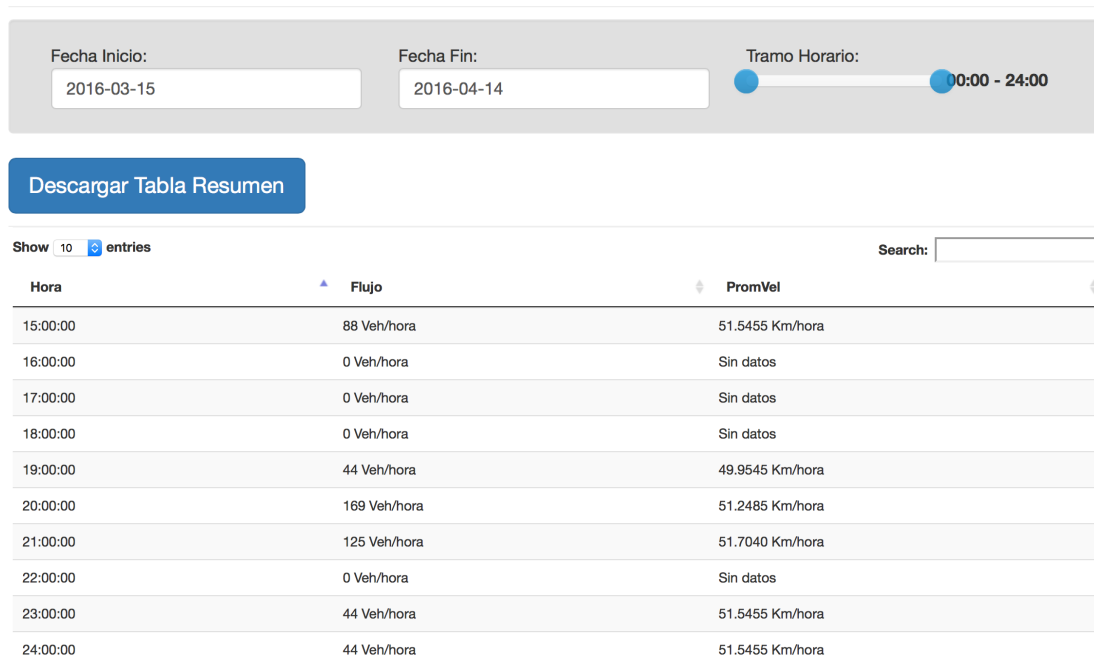


Figura 4.4: Tabla resumen

4.3. TEST DE VALIDACIÓN

El dispositivo prototipo se instaló en la pasarela de la Avenida España, analizando el tráfico sentido Poniente-Oriente en el rango horario de 19:30 a 22:00 en día de semana.

Del software de detección se registraron 357 vehículos en el carril 1, 463 en el carril 2 y 207 en el carril 3, lo cual da un flujo total de 1027 vehículos en el período de medición. Según este flujo, se generó:

$$Bytes\ Generados = 3502 \left[\frac{Bytes}{veh} \right] \cdot 1027 [veh] = 3,597 [MBytes]$$

Considerando el tiempo de medición, se obtiene que la tasa de generación de datos promedio fue de 400 [Byte/s] o bien 3,2 [Kbps].

Los datos se transmitieron a través de un Punto de Acceso localizado a un costado de la pasarela a un servidor en la Intranet de la Universidad Técnica Federico Santa María. Se alcanzó una velocidad de subida promedio de 35 Mbps, considerado más que suficiente para evitar retardos en la transmisión con respecto a la velocidad en que se generan los datos.

Para obtener el retardo de transmisión, se realizó una prueba de “ping” desde el dispositivo al servidor. Ésta arrojó una latencia de 5 ms, lo cual para esta prueba permite un retardo despreciable en el almacenamiento de datos entre 2 eventos de inserción concurrentes, considerando que por el comportamiento del flujo vehicular se generarían a lo más 3 eventos por segundo (al existir solamente 3 carriles en el área de detección).

Además, MySQL utiliza el motor de almacenamiento MyISAM, lo cual permite que, al realizar inserciones simultáneas, se cree una cola de inserción y se atiendan de forma secuencial. No obstante, esto produce que al refrescar la página, no se muestren datos actualizados de forma instantánea. Sin embargo, no se requiere alta precisión en tiempo real, por lo que para el usuario le resultará imperceptible.

Por otra parte, realizando una extrapolación del volumen de datos generados, si en 2,5 horas se tuvo que almacenar 3,597 [MB], para almacenar un día de información se debería contar con una capacidad de 34,53 [MB], lo que en un año resultaría en 12,6 [GB] para ese arco en ese sentido de flujo.

Según todas las pruebas y mediciones mencionadas anteriormente, el equipo de desarrollo considera que el sistema cumple con los requerimientos básicos de funcionamiento.

5. VALIDACIÓN

Para validar el trabajo realizado, se analizan 2 ítems: el cumplimiento de requisitos técnicos y la evaluación de casos de uso.

5.1. CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS TÉCNICOS

Sobre el cumplimiento de objetivos técnicos, cada uno de los integrantes de este proyecto realiza un trabajo de evaluación: el estudiante de Ingeniería Civil Electrónica es responsable del software desarrollado para el dispositivo de detección de vehículos, la estudiante de Ingeniería en Diseño de Productos de la fabricación, montaje y manejo de la estructura física del dispositivo, y el estudiante de Ingeniería Civil Telemática revisa lo correspondiente a la conexión, almacenamiento y visualización de datos.

En general, la carcasa cumple con los requerimientos físicos básicos de apropiada sujeción del dispositivo a una pared, además de protegerlo del polvo, humedad y robo. Por parte del programa de detección de vehículos, éste muestra una precisión de 95% de acierto en las pruebas realizadas por el responsable.

Acerca de la conectividad del dispositivo, se obtiene que, si bien el tamaño del Header HTTP representa un 27% del tamaño del paquete, la baja cantidad de Bytes generados no representa un problema para el canal de transmisión WiFi. Además, al utilizar protocolo TCP, la transmisión del paquete se realiza por un medio confiable, ya que el protocolo asegura la integridad del dato.

En el área de Base de Datos, se obtuvo e implementó un modelo de almacenamiento de datos que permite incluir otros objetos y tablas que pueden interactuar con el núcleo de información.

Por último, el sitio web creado entrega reportes de tráfico por medio de gráficas y una visualización del mapa con el punto de medición, además de permitir la descarga de un reporte detallado de cada registro de pasada de vehículos. Así, la plataforma cumple con ser un panel de información básico, que permite un uso extensible a otras analíticas y software.

5.2. EVALUACIÓN DE CASOS DE USO

El trabajo realizado ha sido validado por un grupo de usuarios, mediante la evaluación de los casos de uso propuestos para el proyecto, reflejados en la **Figura 5.1**. Este diagrama de casos de uso refleja las funcionalidades y comportamiento del sistema, según las interacciones de los actores.

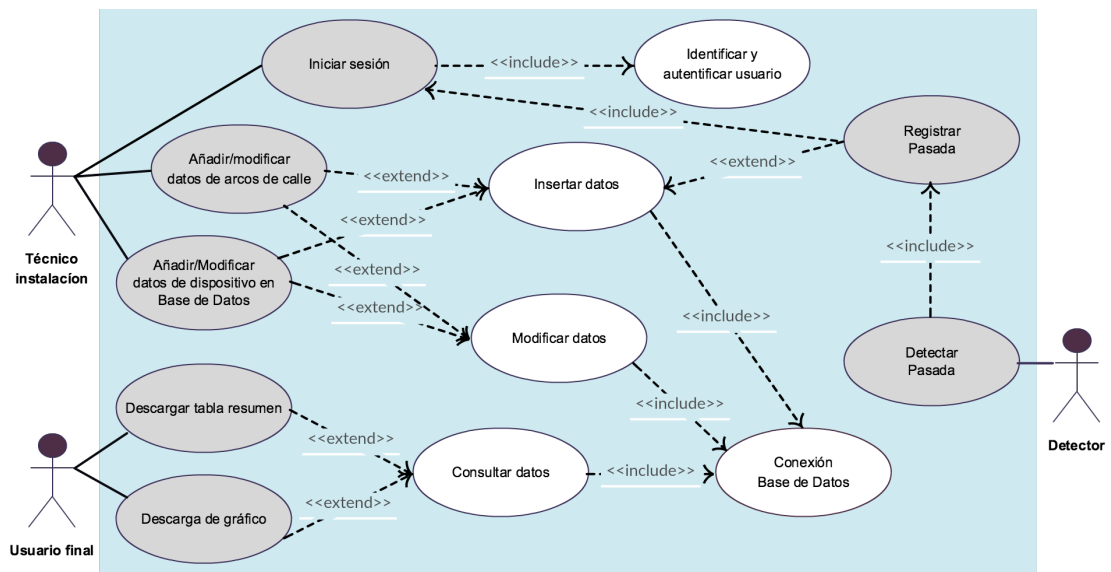


Figura 5.1: Diagrama de casos de uso del proyecto.

A grandes rasgos, interactuarán 3 actores con el sistema: Técnico de instalación, Usuario final y Detector. El primer actor corresponde a los encargados de instalar dispositivos, realizar mantenimiento, administrar el almacenamiento y controlar el funcionamiento del sistema. El Usuario final son quienes precisan de la información obtenida por los dispositivo, como por ejemplo funcionarios de la Subsecretaría de Transportes o proyectos que requieran información de movilidad. Por último, el Detector se refiere a los dispositivos instalados, los cuales al detectar una pasada envían al servidor la información de ese evento.

Las siguientes tablas detallan los casos de uso para los actores respectivos, los objetivos de la prueba, las actividades y los resultados esperados.

Casos de uso N°1	Descripción del caso de uso		Actores
Añadir/modificar dispositivos	Realizar inserción de nuevo dispositivo en la Base de Datos o modificación de alguno		Técnico instalación
Objetivo de la prueba		Condiciones de la prueba	
Evaluar usabilidad del administrador de la base de datos en la inserción y modificación de dispositivos		- El actor tiene conocimientos básicos de Base de Datos - El actor cuenta con privilegios de administración en la Base de Datos	
Actividad	Resultado esperado	Resultado obtenido	Evaluación
- Iniciar sesión en PHPMyAdmin - Navegar a la base de datos - Abrir tabla “dispositivos”	- Navegar a la tabla “dispositivos”		
- Realizar nueva inserción	- Se añade correctamente un nuevo dispositivo		
- Realizar modificación	- Se actualizan los datos de un dispositivo		
- Abrir tabla “arco-dispositivo” - Asociar nuevo dispositivo a los arcos de calle que correspondan mediante ID	- El dispositivo creado queda asociado a uno o más arcos de calle		

Tabla 5.1: Añadir o modificar datos de dispositivos en Base de Datos.

Casos de uso N°2	Descripción del caso de uso	Actores	
Añadir/modificar arcos de calle	Realizar inserción de nuevo arco de calle en la Base de Datos o modificación de alguno	Técnico instalación	
Objetivo de la prueba		Condiciones de la prueba	
Evaluar usabilidad del administrador de la base de datos en la inserción de arcos de calle		- El actor tiene conocimientos básicos de Base de Datos - El actor cuenta con privilegios de administración en la Base de Datos	
Actividad	Resultado esperado	Resultado obtenido	Evaluación
- Iniciar sesión en PHPMyAdmin - Navegar a la base de datos - Abrir tabla “arcos”	- Navegar a la tabla “arcos”		
- Realizar nueva inserción	- Se añade correctamente un nuevo arco		
- Realizar modificación	- Se actualizan los datos de un arco		
- Abrir tabla “arco-dispositivo” - Asociar arco a los dispositivos que correspondan mediante ID	- El arco creado queda asociado a uno o más dispositivos		

Tabla 5.2: Añadir o modificar datos de arcos de calle en Base de Datos.

Casos de uso N°3	Descripción del caso de uso		Actores
Descargar tabla resumen	Ajustar parámetros de tabla y realizar descarga		Usuario final
Objetivo de la prueba		Condiciones de la prueba	
Comprobar facilidad de uso en la descarga de datos del sistema y correcta descarga de tabla		- El actor cuenta con acceso a la plataforma	
Actividad	Resultado esperado	Resultado obtenido	Evaluación
- Ingresar al sitio web - Ingresar a sección “Descargar tabla resumen”	- Navegar a la página para descargar tabla		
- Ajustar intervalo de fecha - Ajustar intervalo horario - Pulsar botón “Descargar”	- Se descarga tabla resumen con datos de movilidad en el tramo de fechas y lapso requerido		
- Abrir documento descargado en Excel	- Visualización correcta de tabla		

Tabla 5.3: Descarga de tabla resumen

Casos de uso N°4	Descripción del caso de uso		Actores
Descarga de gráfico	Ajustar parámetros de búsqueda y realizar descarga		Usuario final
Objetivo de la prueba		Condiciones de la prueba	
Comprobar facilidad de uso en la descarga de gráfico de flujo en tramo horario		- El actor cuenta con acceso a la plataforma	
Actividad	Resultado esperado	Resultado obtenido	Evaluación
- Ingresar al sitio web - Ingresar a sección “Analíticas”	- Navegar a la página para descargar gráfico		
- Seleccionar dispositivo en mapa	- Se muestra gráfico en tramo horario por defecto		
- Ajustar intervalo de fecha - Ajustar intervalo horario - Pulsar botón “Descargar”	- Se descarga gráfico de flujo vehicular dentro del tramo horario escogido		
- Abrir documento descargado en visor de imágenes	- Visualización correcta de gráfico		

Tabla 5.4: Descarga de gráfico

Casos de uso N°5	Descripción del caso de uso	Actores	
Detectar pasada	Al pasar un vehículo por el área de detección, el dispositivo registra datos de movilidad	Detector	
Objetivo de la prueba		Condiciones de la prueba	
Evaluar eficacia en registro de datos de movilidad por cada evento de pasada		- El actor cuenta con acceso a la plataforma - El actor se encuentra energizado	
Actividad	Resultado esperado	Resultado obtenido	Evaluación
- Envío de señal de encendido al servidor	- Servidor registra dispositivo		
- Evaluar con procesamiento digital de imágenes los fotogramas capturados por la cámara	- Levantar una señal si el software detecta un evento de pasada		
- Registrar evento de pasada	- Almacenamiento de datos en el servidor		

Tabla 5.5: Detectar pasada.

Las pruebas de casos de uso se realizaron con 7 actores: 3 usuarios finales, 3 técnicos y 1 detector. La tabla K muestra en modo resumen los resultados de la evaluación. El detalle de las evaluaciones se muestran en el Anexo A.

		PRUEBAS					
	N	1	2	3	4	5	Prom
USUARIOS	1	62,5 %	75 %	-	-	-	68,75 %
	2	100 %	100 %	-	-	-	100 %
	3	100 %	100 %	-	-	-	100 %
	4	-	-	60 %	70 %	-	65 %
	5	-	-	100 %	100 %	-	100 %
	6	-	-	100 %	95 %	-	97,5 %
	7	-	-	-	-	100 %	100 %
	Prom	87,5 %	91,7 %	86,7 %	88,3 %	100 %	

Tabla 5.6: Resultados de pruebas.

Adicionalmente a las pruebas de casos de uso, se llevaron a cabo reuniones tanto con la Secretaría de Planificación de Transporte de las zonas Central y Norte, quienes son los potenciales usuarios del sistema. Se les exhibió las visualizaciones de la plataforma de datos, además de informar sobre el tipo de información que se almacena en la plataforma, junto con la velocidad de actualización de los datos.

Sobre la velocidad de actualización, los usuarios comentaron que el dato más granular que manejan es el flujo vehicular medido en un lapso de 15 minutos. Esto permite relajar el requerimiento de entregar información en tiempo real, ya que para efectos prácticos los usuarios sugieren actualizar todas las visualizaciones cada 5 minutos.

Acerca de la información almacenada en la plataforma, es la que se precisa para realizar los análisis más críticos de las rutas. Los usuarios enfatizan en que es necesario contar con una categoría más amplia de clasificación de vehículos.

La visualización en mapa y gráficos cubren las necesidades de los usuarios. Sin embargo, se levanta un nuevo requerimiento para entregar datos sobre los virajes que realizan los conductores en las intersecciones. Además, se propone generar un grafo en el cual los nodos son las intersecciones y los arcos representan las calles. En la sección “Trabajo a Futuro” se discutirá con mayor detalle.

De todas formas, los usuarios coinciden en que el prototipo permitirá acortar el tiempo de las campañas de medición, a la vez que si se cuenta con más de un dispositivo, se pueden realizar campañas simultáneas, lo que permite obtener mayor información de movilidad en menor tiempo.

6. CONCLUSIONES

Como se mencionó en el inicio de este trabajo, el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT), a través de su Unidad de Ciudades Inteligentes, ha concebido que la mejora de movilidad urbana tiene su fundamento en la optimización de la recolección de datos. De esta forma, se planteó el desafío de crear un sistema capaz de obtener datos de tránsito de manera automatizada y al menor costo.

Este sistema debía responder la hipótesis propuesta: es factible generar un sistema automatizado que permita detectar vehículos para obtener información de movilidad en tiempo real con dispositivos de bajo costo. Esta hipótesis se puede responder a través de 2 objetivos generales: resolver técnicamente la obtención de datos de tránsito de manera automatizada y al menor costo, e implementar un producto mínimo viable a partir de un análisis técnico para aplicar un test de validación.

Para el desarrollo de esta memoria, se consideraron objetivos específicos a cumplir en el área Telemática. En resumen, se plantea que es factible entregar reportes automatizados de información de movilidad utilizando un modo de conexión y un sistema de almacenamiento que permita el envío de datos, con rendimiento cercano a tiempo real, desde el dispositivo de bajo costo al servidor de datos, con una posterior visualización y análisis de datos.

En el área de Conexión, se implementó el protocolo HTTP para la transmisión de datos desde el dispositivo al servidor. Para el tipo de datos transmitido, el tamaño del Header HTTP representa un 27% del tamaño del paquete, que de todas formas no se considera una amenaza, debido a la baja tasa de bytes generados desde el dispositivo, comparado con el ancho de banda de la conexión.

Con respecto a la Base de Datos, se implementó un modelo que permite en futuras versiones extender la usabilidad del sistema para el análisis y almacenamiento distintas métricas, en conjunto con contar escalabilidad, en una posible expansión del uso e instalación de los dispositivos.

Por último, en el área de Inteligencia de Negocios, se implementó una plataforma web con vistas básicas, que muestran la información en detalle de cada evento de pasada, además de gráficos con flujos por hora en tramos, y un mapa con los puntos de instalación y medición.

Según la validación realizada en la [Sección 5.1], la implementación técnica se considera lograda a nivel de Producto Mínimo Viable, al cumplirse el mínimo de requisitos técnicos. Es necesario contar con más dispositivos para realizar una prueba de estrés del sistema, y también para obtener un volumen de información de movilidad comparable con los datos que actualmente maneja la Subsecretaría de Transportes.

Por último, las pruebas asociadas a los casos de uso permiten validar la interacción de quienes utilizarían el sistema, al obtener resultados favorables. Sin embargo, se debe analizar las limitaciones de uso en ciertos navegadores Web, además de mejorar la interfaz de administración a vistas más intuitivas para facilitar el trabajo de mantenimiento.

7. TRABAJO FUTURO

El sistema fue desarrollado para escalar con el tiempo, y cada uno de sus módulos funcionan de forma independiente. Por lo tanto, cada área (conexión, almacenamiento y visualización de datos) puede ser mejorada sin la necesidad de intervenir otra.

En base a los resultados utilizando HTTP, se propone cambiar el protocolo a uno con bajo uso de headers, o simplemente un Socket. Además, la información de entrada al sistema se considera información sensible, por lo que también se propone utilizar algún método de encriptación de datos en el dispositivo, con su correspondiente descriptación en el servidor.

Por otra parte, considerando las mediciones de tasa de datos, es posible montar el dispositivo utilizando red 3G para la transmisión de datos, ya que en calles de alto flujo se genera cerca de 400 Bytes de información por segundo. Sin embargo, se deben realizar mediciones de velocidad y cobertura de la red 3G en las locaciones donde se pretenda instalar el dispositivo para asegurar el correcto envío de datos.

No obstante, si la señal 3G es débil en el sector, se pueden producir pérdidas de paquetes, lo que aumentaría el retardo de transmisión (latencia), afectando solamente la visualización en tiempo real de los datos.

Para próximas versiones, se propone utilizar una serie de dispositivos desplegados en una misma intersección, de forma de entregar información de giro de vehículos en el cruce. Cada dispositivo se podría ubicar en las pistas de entrada y salida de cada calle, y entregarían la cantidad de vehículos entrando y saliendo a la intersección desde algún carril en particular, pudiéndose obtener el dato de destino promedio. Esto corresponde a una nueva analítica no cubierta por esta memoria.

ANEXO A

PRUEBAS DE USUARIOS

Casos de uso N°1		Añadir o modificar dispositivos		
Actividad	Resultado esperado	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3
- Iniciar sesión en PHPMYAdmin - Navegar a la base de datos - Abrir tabla “dispositivos”	- Navegar a la tabla “dispositivos”	Inicia sesión, pero debe ser guiado para abrir tabla.	Sí	Funcionó
- Realizar nueva inserción	- Se añade correctamente un nuevo dispositivo	Previo aprendizaje, logra realizar inserción	Sí	Funcionó
- Realizar modificación	- Se actualizan los datos de un dispositivo	Logrado	Sí	Funcionó
- Abrir tabla “arco-dispositivo” - Asociar nuevo dispositivo a los arcos de calle que correspondan mediante ID	- El dispositivo creado queda asociado a uno o más arcos de calle	Previo aprendizaje, logra realizar asociación	Sí	Funcionó

Tabla A.1: Resumen de evaluación Caso N°1.

Casos de uso N°2		Añadir o modificar arcos de calle		
Actividad	Resultado esperado	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3
- Iniciar sesión en PHPMYAdmin - Navegar a la base de datos - Abrir tabla “arcos”	- Navegar a la tabla “arcos”	Previo aprendizaje, logra realizar actividad	Sí	Funcionó
- Realizar nueva inserción	- Se añade correctamente un nuevo arco	Logrado	Sí	Funcionó
- Realizar modificación	- Se actualizan los datos de un arco	Logrado	Sí	Funcionó
- Abrir tabla “arco-dispositivo” - Asociar arco a los dispositivos que correspondan mediante ID	- El arco creado queda asociado a uno o más dispositivos	Previo aprendizaje, logra realizar asociación	Sí	Funcionó

Tabla A.2: Resumen de evaluación Caso N°2.

Casos de uso N°3		Descargar tabla resumen		
Actividad	Resultado esperado	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3
- Ingresar al sitio web - Ingresar a sección “Descargar tabla resumen”	- Navegar a la página para descargar tabla	Sí	Ok	Sí
- Ajustar intervalo de fecha - Ajustar intervalo horario - Pulsar botón “Descargar”	- Se descarga tabla resumen con datos de movilidad en el tramo de fechas y lapso requerido	No fue posible ajustar en Internet Explorer	Ok	Sí
- Abrir documento descargado en Excel	- Visualización correcta de tabla	Sí	Ok	Sí

Tabla A.3: Resumen de evaluación Caso N°3.

Casos de uso N°4		Descarga de gráfico		
Actividad	Resultado esperado	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3
- Ingresar al sitio web - Ingresar a sección “Analíticas”	- Navegar a la página para descargar gráfico	Sí	Ok	Sí
- Seleccionar dispositivo en mapa	- Se muestra gráfico en tramo horario por defecto	Sí	Ok	Lenta carga de Google Maps. Logrado
- Ajustar intervalo de fecha - Ajustar intervalo horario - Pulsar botón “Descargar”	- Se descarga gráfico de flujo vehicular dentro del tramo horario escogido	No fue posible ajustar en Internet Explorer	Ok	Sí
- Abrir documento descargado en visor de imágenes	- Visualización correcta de gráfico	Sí	Ok	Sí

Tabla A.4: Resumen de evaluación Caso N°4.

Casos de uso N°5		Detectar pasada
Actividad	Resultado esperado	Usuario 1
- Envío de señal de encendido al servidor	- Servidor registra dispositivo	Sí
- Evaluar con procesamiento digital de imágenes los fotogramas capturados por la cámara	- Levantar una señal si el software detecta un evento de pasada	Sí
- Registrar evento de pasada	- Almacenamiento de datos en el servidor	Sí

Tabla A.5: Resumen de evaluación Caso N°5.

8. REFERENCIAS

- (1) Jans, M. (2009). Movilidad urbana: En camino a sistemas de transporte colectivo integrados. Aus.
- (2) Greene, M., & Soler, F. (2004). Santiago: De un proceso acelerado de crecimiento a uno de transformaciones. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos.
- (3) Subsecretaría de Transportes. (2013). Levantamiento de Información para la gestión operativa de tránsito de la UOCT. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Unidad de Ciudades Inteligentes.
- (4) Cámaras UOCT. [Internet] <<http://www.uoct.cl/conoce-uoct/>> [consulta Septiembre 2015]
- (5) Klein, L., Mills, M., & Gibson, D. (2006). Traffic Detector Handbook: Third Edition - Volume I (Vol. I).
- (6) M. R. Friesen & R. D. McLeod. (2015). Bluetooth in Intelligent Transportation Systems: A Survey.
- (7) Sitio Oficial SmartTek Systems Inc. [Internet] <<http://www.smarteksys.com/>> [consulta Septiembre 2015]
- (8) Sitio Oficial SensysNetworks. [Internet] <<http://sensysnetworks.com/solutions/trafficdata>> [consulta Septiembre 2015]
- (9) Wikipedia, 3G [Internet] <<https://en.wikipedia.org/wiki/3G>> [consulta Octubre 2015]
- (10) Wikipedia, *International Telecommunication Union* [Internet] <https://en.wikipedia.org/wiki/International_Telecommunication_Union> [consulta Octubre 2015]

- (11)Fiscalía Nacional Económica (2014). Bandas de Frecuencia Asignadas a Servicios Públicos de Telefonía Móvil y Datos Móviles. <http://www.fne.gob.cl/wp-content/uploads/2014/07/cons_xx_2014.pdf>, Tabla 1 en páginas 13 y 14.
- (12)Ramez Elmasri, Shamkant B. Navathe (2011). Fundamentals of Database Systems, Sixth Edition. <<http://www.cse.hcmut.edu.vn/~ttqnguyet/CSDL/EbookDB.pdf>>
- (13)Raghu Ramakrishnan, Johannes Gehrke (2003). Database Management Systems, Third Edition. <<https://cs2102-intro-to-database.googlecode.com/files/Database%20Management%20Systems%203rd%20Edition.pdf>>
- (14)Wikipedia, *Waze* [Internet] <<https://en.wikipedia.org/wiki/Waze>> [consulta Octubre 2015]
- (15)Wikipedia, *HTTP* [Internet] <https://en.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Transfer_Protocol> [consulta Octubre 2015]
- (16)Wireshark [Internet] <<https://www.wireshark.org/about.html>> [consulta Octubre 2015]
- (17)Wikipedia, *TCP* [Internet] <https://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol> [consulta Octubre 2015]
- (18)SECTRA. Datos de Plataforma Sintia. [Internet] <<http://sintia.sectra.cl>> [consulta Octubre 2015]
- (19)Raspberry PI. [Internet] <<https://www.raspberrypi.org>> [consulta Octubre 2015]