

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAISO - CHILE



**PROTOTIPO PARA SISTEMA AUTOMATIZADO
DE CAPTURA Y ANÁLISIS DE DATOS DE
TRÁFICO VEHICULAR EN CIUDADES**

CHRISTIAN ANDRÉS INOSTROZA CABRERA

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
ELÉCTRICO CON MENCIÓN COMPUTADORES.**

PROFESOR PATROCINANTE : DR. MARCOS ZÚÑIGA.
PROFESOR CO-REFERENTE : DR. REINALDO VALLEJOS.

JUNIO 2016

TÍTULO DEL TRABAJO DE MEMORIA

PROTOTIPO PARA SISTEMA AUTOMATIZADO DE CAPTURA Y ANÁLISIS DE DATOS DE TRÁFICO VEHICULAR EN CIUDADES

AUTOR:

CHRISTIAN ANDRÉS INOSTROZA CABRERA

MEMORIA DE TITULACIÓN, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el título profesional de Ingeniero Civil Electrónico, Mención Comunicaciones de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Dr. Marcos Zúñiga.

Dr. Reinaldo Vallejos.

Valparaíso, Junio de 2016

PROTOTIPO PARA SISTEMA AUTOMATIZADO DE CAPTURA Y ANÁLISIS DE DATOS DE TRÁFICO VEHICULAR EN CIUDADES.

Memoria de Titulación presentada por el Alumno:

Christian Andrés Inostroza Cabrera

Como requisito para optar al título de

Ingeniero Civil Electrónico

Profesor Patrocinante:

Dr. Marcos Zúñiga

Resumen

Este documento explica cómo resolver el problema de conteo y medición de velocidad de vehículos en sectores urbanos, a través de cámaras estáticas puestas en intersecciones y pasos de nivel, con procesamiento y transmisión de datos in situ. Para ello se utilizarían herramientas de Computer Vision (CV) para la segmentación y tracking de los vehículos con el objetivo capturar datos del transporte público, de manera confiable, rápida y a bajo costo, cumpliendo los requisitos establecidos por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT).

Palabras claves: Computer Vision, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Conteo y medición de velocidad de vehículos, segmentación, tracking.

PROTOTYPE FOR AUTOMATED SYSTEM OF CAPTURE AND ANALYS OF DATA URBAN TRAFFIC VEHICLE

Abstract

This document explains how resolve the problem of counting vehicles and estimated his speed in urban sector trough static camera put in intersection and crossing with processing and transmission in situ. To this were used tool of Computer Vision (CV) for the segmentation and tracking of the vehicle with the object of capture date of public transport of safe way, faster and low cost, satisfying the requirements for the Ministry of Transport and Telecommunications (MTT).

Keywords: Ministry of Transport and Telecommunications,
Counting and vehicle speed measurement, segmentation , tracking .

Glosario

MTT:	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones
UCI:	Unidad de Ciudad Inteligente
CV:	Computer Vision
UOCT:	Unidad Operativa de Control de Tránsito.
BI:	Business Intelligence.
SECTRA:	Programa de Vialidad y Transporte Urbano.
PDI:	Procesamiento Digital de Imágenes.
MVP:	Producto Mínimo Viable.
MOG:	Mezcla de Gaussianas
BG:	Background
FG:	Foreground
RGB:	Red, Green, Blue
ROI:	Región de Interés

Índice General

Resumen	iii
Abstract	iv
Glosario.....	v
Índice General.....	vi
Índice de figuras.....	ix
Índice de tablas.....	ix
Índice de Ecuaciones.....	ix
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	10
1.1 Introducción.....	11
1.2 Objetivos del Proyecto.....	12
1.2.1 Objetivos Específicos.....	12
1.3 Problema a Resolver.....	13
1.3.1 Contexto de Análisis.....	13
1.3.2 Identificación de elementos relevantes.....	15
1.4 Hipótesis.....	15
1.5 Acercamiento de la Solución.....	16
1.6 Organización de la Memoria.....	16
CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE	17
2.1 Arquitectura Preliminar de Solución.....	18
2.1.1 Descripción de Módulos.....	18
2.2 Soluciones Actuales.....	21
2.2.1 Espiras Magnéticas:.....	21
2.2.2 Conteo Manual:.....	22
2.2.3 Bluetooth (seguimiento dirección MAC):.....	22
2.2.4 Visualización mediante Cámaras de Vigilancia:.....	22
2.2.5 Sensores de Sonido:.....	22
2.2.6 Sensores de Presión:.....	23
2.2.7 Sensores Laser:.....	23
2.2.8 Posicionamiento:.....	23
2.2.9 Procesamiento digital de imágenes:.....	24
2.3 Alternativas Existentes.....	24
2.3.3. Smart Traffict Analyzer . (PICOMIXER):.....	25

2.4	Discusión	26
2.5	Contribuciones.....	27
CAPÍTULO 3 REQUERIMIENTOS		29
3.1	Requerimientos del Sistema	30
3.1.1	Requerimientos Funcionales	30
3.1.2	Requisitos de Interfaces	31
3.2	Requisitos de Ambiente.....	32
3.2.1	Requisitos del Ambiente de Desarrollo.....	32
3.3	Matriz Requisitos Funcionales y Componentes	33
3.4	Herramientas de Diseño	34
CAPÍTULO 4 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN		35
4.1	Variables a Medir.....	36
4.1.1	Conteo Vehicular	37
4.1.2	Velocidad.....	39
4.2	Consideraciones técnicas.....	40
4.2.1	Sombras:.....	40
4.2.2	Ocultamiento:.....	41
4.2.3	Fragmentación:.....	41
4.2.4	Inclemencias climáticas:	41
CAPÍTULO 5 DISEÑO PROPUESTO.....		43
5.1	Arquitectura del sistema.....	44
5.1.1	Diagrama de Contexto.....	44
5.1.2	Diagrama de Arquitectura	45
5.2	Descripción General de Módulos	47
5.2.1	Capa Sensores:	47
5.2.2	Capa Procesamiento:.....	47
5.2.3	Capa Conexión:.....	47
5.2.4	Capa Base de Datos:.....	47
5.2.5	Capa Inteligencia de Negocios:.....	48
5.3	Descripción de módulos por capa.....	48
5.3.1	Sensores	48
5.3.2	Procesamiento	49
5.3.3	Conexión	52

5.3.4	Base de Datos	53
5.3.5	Inteligencia de Negocios	53
5.4	Producto Mínimo Viable	55
5.4.1	Sensores	57
5.4.2	Procesamiento	61
5.4.3	Conexión	63
5.4.4	Base de Datos	63
5.4.5	Inteligencia de Negocios	63
CAPÍTULO 6	SEGMENTACION DE IMAGEN DE VIDEO	65
6.1	Sustracción de Fondo	69
6.2	Modelo de Fondo	72
6.2.1	Métodos de Estimación de Fondo	74
6.2.2	Método Seleccionado	85
CAPÍTULO 7	DETECCION Y SEGUIMIENTO DE VEHICULOS	86
7.1	Segmentación	87
7.2	Caja Englobante	89
7.3	Extracción de Características Básicas de Vehículos en Movimiento	91
7.3.1	Conteo	92
7.3.2	Velocidad	92
7.3.3	Clasificación	93
7.3.4	Viraje	93
CAPÍTULO 8	CALIBRACION	94
8.1	Metodología	96
8.2	Interfaz	96
CAPÍTULO 9	RESULTADOS	97
9.1	Conteo	98
9.2	Velocidad	99
9.3	Clasificación	100
CAPÍTULO 10	CONCLUSIONES	103
10.1	Conclusiones	104
10.2	Sugerencias para futuros trabajos	104
10.2.1	Mejoras al sistema de segmentación	104
10.2.2	Modelo 3D	104

REFERENCIAS.....	106
------------------	-----

Índice de figuras

Figura 1-1: Flujo de la problemática existente en la captura de datos por parte del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.....	13
Figura 2-2: Arquitectura preliminar de la solución.....	19
Figura 2-3. Configuración cámara Infokrause.....	23
Figura 2-4. Vistas de Aimetis Symphony.....	24
Figura 2-5. Vistas de uso de Smart Traffict Analyzer de PICOMIXER.....	24
Figura 5-6:.- Raspberry Pi Camera.....	60
Figura 6-7: Distribución de la Mezcla de Gaussianas de un píxel.....	72
Figura 6-8: Imagen, modelo MoG del Fondo y Frente en la evaluación.....	76
Figura 6-9: Ejemplo del modelo MOG del píxel (88, 233) de la secuencia Baile Multimodal en la imagen 83.....	77
Figura 7-10: Izq.: Imagen resultante de la segmentación. Centro: Imagen resultante de la caja englobante. Der.: Imagen original con caja englobante.....	80
Figura 7-11: Imagen de un blob encerrado por una caja englobante y su punto de seguimiento definido.....	82
Figura 7-12: Región de interés.....	83
Figura 8-13: Vista de calibración.....	86
Figura 9-14: Resultados Generales de conteo por carril.....	90
Figura 9-15: Resultados de Velocidad.....	90
Figura 9-16: Resultados Vehículos Livianos por carril.....	91
Figura 9-17: Resultado Vehículos Pesados por carril.....	92

Índice de tablas

Tabla 2-2: Cuadro comparativo Software de análisis.....	26
Tabla 3-3: Tabla de Requisitos Funcionales.....	30
Tabla 3-4: Tabla de Eventos Externos.....	31
Tabla 3-5: Tabla de Respuestas del Sistema.....	31
Tabla 3-6: Tabla de Respuestas del Sistema.....	32
Tabla 3-7: Matriz de Requisitos Funcionales y Componentes.....	33
Tabla 4-8 Definición de dimensiones asociadas a requerimientos de variables de tránsito.....	37
Tabla 4-9: Definición dimensiones y especificaciones del dato Flujo vehicular continuo.....	37
Tabla 4-10: Características de la recolección y utilización del dato Flujo vehicular continuo, relevantes para el contexto de este trabajo de memoria.....	38

Tabla 4-11: Definición dimensiones y especificaciones del dato Flujo vehicular periódico..... 38

Tabla 4-12: Características de la recolección y utilización del dato Flujo vehicular periódico..... 39

Tabla 4-13: Definición dimensiones y especificaciones del dato Velocidad 39

Tabla 4-14: Características de la recolección y utilización del dato velocidad..... 39

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

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 (Jans 2009).

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 la 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 (Greene y Soler 2004).

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.

Si bien se reconoce la importancia de resolver esta problemática, 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 la lentitud de la validación de estos datos. Esta limitación provoca una evidente 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.



Figura 1-1: Flujo de la problemática existente en la captura de datos por parte del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones.

Es debido a esto que el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT), a través de su Unidad de Ciudades Inteligentes (UCI) se ha interesado en la mejora de este proceso, con el fin de optimizar la recolección de datos, permitiendo la obtención de información de calidad, confiable y oportuna al menor costo (Subsecretaría de Transportes 2013).

El trabajo realizado se enmarca dentro del Programa Piloto de Memorias Multidisciplinarias, proceso de titulación alternativo dentro del proyecto educativo Educación 2030. El desarrollo de la solución fue abarcado por un equipo de estudiantes con especialidad en telemática, diseño de productos y electrónica.

1.2 Objetivos del Proyecto

El objetivo de este trabajo es proponer una solución de recolección automática de datos de tránsito vehicular mediante la utilización de nuevas tecnologías para

agilizar la toma de decisiones estratégicas en la Subsecretaría de Transportes.

1.2.1 **Objetivos Específicos**

- Generar una solución a bajo costo y escalable.
- Proponer una solución que no sea invasiva para el entorno.
- Desarrollar la solución de manera modular.
- Establecer un proceso de censado de datos para el sistema de monitoreo.
- Implementar un esquema de procesamiento de datos in situ (en el sensor) para el escalamiento de la solución a nivel de transmisión de datos.
- Generar una aplicación de análisis y visualización de información acorde a las necesidades de la contraparte.
- Crear un housing personalizado para el producto.

1.3 **Objetivos Personales**

El objetivo personal para este trabajo es proponer, guiar y evaluar soluciones tecnológicas en el ámbito del censado y el procesamiento de datos, el análisis de la complejidad de su implementación, costos e instalación.

1.4 **Problema a Resolver**

La problemática a resolver viene enmarcada desde el proceso de memorias multidisciplinarias, en el cual, el MTT propone como desafío a desarrollar la captura de datos del transporte público, considerando como pilares fundamentales el costo y confiabilidad de los datos. Para esto será necesario identificar los usuarios y el contexto actual con el cual se desarrolla esta temática.

1.4.1 **Contexto de Análisis**

Los medios actuales que permiten reconocer a la Subsecretaría de Transporte

la existencia de alguna problemática son:

- 1.4.1.1 **Cámaras UOCT:** Entregan información desde el flujo de imágenes capturadas, las cuales son almacenadas por las diferentes Unidades Regionales de la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT). El video es analizado de manera manual a través de un software que despliega las imágenes recolectas por las cámaras. Los incidentes que se detectan a través de la visualización de las cámaras son registrados manualmente por los operadores.
- 1.4.1.2 **Conteos de Flujo:** Dispositivos puestos bajo el asfalto que obtienen el conteo vehicular de la zona en la cual han sido instaladas. Son altamente confiables, sin embargo, su instalación y mantención son complejas debido a que intervienen físicamente la vía.
- 1.4.1.3 **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.
- 1.4.1.4 **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, al ser información cualitativa es necesario validar.

Dado que estos medios entregan diversos tipos de datos, las entidades gubernamentales han generado una clasificación de la información obtenida según las siguientes categorías:

- 1.4.1.5 **Mediciones de Tránsito:** Información que representa condiciones medibles de las vías, por ejemplo: tiempos de viaje, flujo vehicular, entre otros.
- 1.4.1.6 **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.
- 1.4.1.7 **Catastro de Información:** Registro de información necesaria para la gestión del tránsito, como, por ejemplo: vías reversibles, ubicaciones de semáforos, entre otros.

1.4.2 **Identificación de elementos relevantes**

Dentro del MTT existen una gran cantidad de organismos que podrían verse beneficiados al mejorar los procesos de recolección de datos. Sin embargo, no todas entidades tienen una relación directa con los datos que se capturan. Es por esto que a continuación se detallan los usuarios que requieren de los datos y quiénes están encargados de recolectarlos.

1.4.2.1 *Usuarios:*

1.4.2.1.1 Subsecretaría de Transporte: Unidad del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones que está encargada de la planificación estratégica de las políticas gubernamentales en sus unidades operativas, con el propósito de promover el desarrollo de sistemas de transporte eficientes, seguros y sustentables.

1.4.2.1.2 UOCT, Programa de Vialidad y Transporte Urbano (SECTRA) y otras entidades gubernamentales: Unidades de desarrollo, planificación, gestión y control dependientes de la Subsecretaría de Transporte. Estas unidades tienen como objetivo la implementación de las políticas gubernamentales, además de estar encargadas de detectar problemáticas de transporte en la ciudad a través de los datos que recolectan.

1.5 Acercamiento de la Solución

Se busca que el producto a desarrollar ofrezca el servicio de recolección automática de datos de tránsito vehicular a través de la implantación de un dispositivo de recolección de información, la cual será analizada por un software que enviará los datos procesados a un sistema de almacenamiento a definir. Desde esta base de información, el sistema generará índices estratégicos, disponibles y visibles en una plataforma web.

Para poder ordenar los diferentes ámbitos de investigación de la solución se ocupará un esquema, de 5 capas de desarrollo, las cuales servirán de base para los siguientes capítulos. Las capas a considerar serán las siguientes:

- Sensores.
- Procesamiento.
- Conexión
- Base de Datos
- Business Intelligence (BI)

CAPÍTULO 2

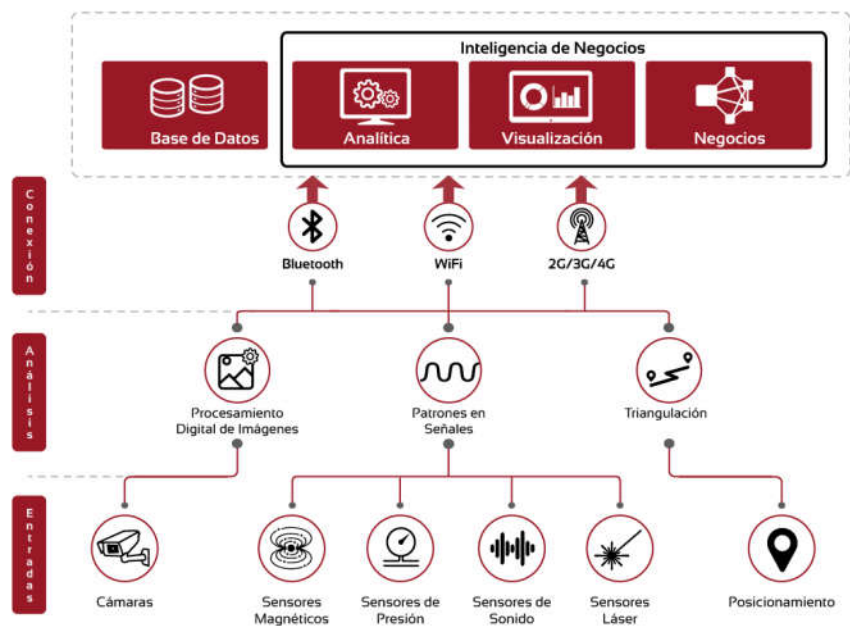
ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se revisarán las experiencias, tanto en Chile como en el extranjero, relativas a sistemas de monitorización de variables del transporte público. Además, se analizarán las diferentes características de instalación e implementación.

2.1 Arquitectura Preliminar de Solución

2.1.1 Descripción de Módulos

Las siguientes son las componentes descritas en la Figura 2-1. Por cada componente se entrega una descripción de su función y sus interacciones con otras



componentes y con el medio.

Figura 2-2: Arquitectura preliminar de la solución.

2.2 Soluciones Actuales

En la actualidad existen diversas tecnologías que permiten llevar a cabo la recolección de los datos, dentro de los procesos de levantamiento de datos que son utilizados o que han sido implementados por la Subsecretaría de Transportes se identifican:

2.2.1 Espiras Magnéticas:

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. Esta tecnología se puede analizar desde la información entregada por el Ministerio de Obras Públicas Argentina, desde su dirección de vialidad (Argentina s.f.).

2.2.2 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. Esta metodología se puede ver implementada en la encuesta origen destino, la cual se realiza cada 5 años en Chile (SECTRA 2012).

2.2.3 Bluetooth (seguimiento dirección MAC):

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 mantención son de bajo costo. Sin embargo, 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. Se pueden analizar experiencias ya realizadas en Colombia por el centro de gestión de tráfico (Tráfico 2015)

2.2.4 Visualización mediante Cámaras de Vigilancia:

Consiste en la supervisión de una de las intersecciones que poseen cámaras de vigilancia por parte de un encargado, 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 y, dado que no existe capacidad de personal para monitorear cada cámara, hay una considerable cantidad de datos que se pierden (UOCT 2015).

2.2.5 Sensores de Sonido:

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 y baja documentación de implementaciones (A. Sverdaks 2013).

2.2.6 Sensores de Presión:

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 intervenir la vía, mientras que el segundo no lo requiere. 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 velocidades y que sólo permiten detectar la presencia de un vehículo, sin poder caracterizarlo (Transportation 2000).

2.2.7 Sensores Laser:

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 (Laser-Technology 2013).

2.2.8 Posicionamiento:

Utilizando tecnología GPS, el vehículo o celular puede enviar información anónima a una central, la cual registra cada cierto lapso de tiempo el desplazamiento realizado según las coordenadas entregadas por el dispositivo. La gran ventaja es la alta precisión de la localización del vehículo, mientras que una de sus deficiencias es la baja tasa de adherencia de esta tecnología en vehículos, o bien la necesidad de mantener el sistema encendido en el teléfono celular en todo momento.

2.2.9 Procesamiento digital de imágenes:

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. Los beneficios de esta tecnología son 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 Alternativas Existentes

2.3.1 Infokrauser. Sistema Comercial (Chile):

Desarrollo a través de cámaras de video para el conteo de flujo de personas, vehículos, restringido al ángulo de visión de la cámara ($> 70^\circ$).



Figura 2-3. Configuración cámara Infokrauser

El usuario debe configurar parámetros como la línea de conteo y el ancho de objeto a detectar. Esta configuración será fundamental para el conteo de personas en un pasillo o de autos en una vía (INFOKRAUSER 2015).

2.3.2 Aimetis Symphony (USA):

Herramienta de análisis y manejo de video en monitoreo, permitiendo el tracking y conteo de objetos, entre los cuales se puede incluir vehículos. Integra capacidades de procesamiento de video. Es de fácil uso, cobro de licencia por cámara (Aimetis 2013).



Figura 2-4. Vistas de Aimetis Symphony

2.3.3. Smart Traffic Analyzer . (PICOMIXER):

Software de análisis de tráfico vehicular desarrollado por PICOMIXER, este producto cuenta con la capacidad de contar, medir velocidad y clasificar vehículos. Cuenta con varios parámetros de ajuste de vía y de objetos en seguimiento. El desarrollo de esta basado en CV y cuenta con una interfaz gráfica amigable para el usuario. Tiene limitación de ángulo en la grabación de video (PICOMIXER 2013).



Figura 2-5. Vistas de uso de Smart Traffic Analyzer de PICOMIXER

2.4 Discusión

El análisis de las futuras problemáticas, en las tecnologías estudiadas y el método de selección de ellas para el trabajo futuro, será abarcada en el siguiente apartado.

Para generar la comparativa de cada una de las tecnologías, se ordenó la discusión por las capas previamente mencionadas, las cuales serán desarrolladas en el Capítulo 5. Esta comparativa será abordada de acuerdo a pilares desprendidos de los objetivos fundamentales del proyecto:

- Costos
- Implementación
- Desarrollo
- Precisión

	Dispositivo de Entrada								
	Cámaras	Sensores Magnéticos	Sensores de Presión	Sensores de Sonido	Sensores Láser	Posicionamiento			
						WiFi	Bluetooth	GSM	GPS
Implementación	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Costo	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Desarrollo	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Precisión	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗

Tabla 2-1: Comparativa Dispositivos de Entrada

De acuerdo a la Tabla 2-1, analizaremos las principales diferencias de la comparativa de la capa de sensores o dispositivos de entrada mostrando fortalezas y problemáticas futuras:

- 1) La solución a través del seguimiento de vehículos por MAC con tecnologías bluetooth o WIFI sería muy efectiva, de bajo costo y de fácil implementación. Pero los cambios a futuro de políticas de Apple en el manejo dinámico de su MAC provocarían que esta tecnología, en un gran porcentaje, se volviera obsoleta ya que estos cambios harían imposible su implementación.

- 2) La solución por micrófonos pese a parecer prometedora, de fácil instalación y de bajo costo es bajamente explorada, se posee poca documentación de trabajos relacionados al tema y el manejo de patrones de sonido es complejo en su análisis.

	Software de Análisis		
	Procesamiento Digital de Imágenes	Patrones en Señales	Triangulación
Implementación	✓	✗	✓
Costo	✓	✓	✓
Desarrollo	✓	✗	✓
Precisión	✓	✓	✓

Tabla 2-1: Cuadro comparativo Software de análisis

El cuadro comparativo del Software de análisis tendrá relación con las diferentes tecnologías asociadas con los dispositivos de entrada. Las discusiones que se desprenden de este tema se trataran a continuación:

- 1) El análisis de los costos de procesamiento de cada una de las herramientas de procesamiento de imágenes debe analizarse con mayor profundidad, ya que existe poca información frente a esta tecnología aplicada al problema en particular.
- 2) La solución de patrones de señales, pese a ser efectiva en su precisión, es de elevado costo de desarrollo en su implementación.
- 3) El Software de análisis para los dispositivos de entrada de triangulación es de fácil desarrollo, pero se encuentra limitado a la baja confiabilidad de los

dispositivos asociados, ya que son una muestra poblacional de los dispositivos con el servicio activado. Los resultados empíricos hablan de tasas de adherencia de alrededor del 40% (Libelium 2013).

Es, por consiguiente, que después de un análisis conjunto de ambas capas de trabajo, la solución más adecuada para satisfacer los 4 focos de análisis, además de compatibilizar esto con las competencias del equipo, es usar como sensor de entrada las **Cámaras de video** y como software de análisis el **procesamiento digital de imágenes**.

2.5 Contribuciones

El análisis del contexto de las nuevas soluciones emergentes para resolver la problemática de la falta de datos en el transporte público en las ciudades es amplio. En este apartado se vieron explicadas las principales tecnologías manejadas por la industria. Con esta información se pueden analizar las contribuciones a realizar, tanto de manera grupal como personal.

2.5.1 Equipo

Las soluciones implementadas hasta el momento, están especializadas para obtener datos específicos, robustos para implementaciones locales y carecen de una visión global para el análisis de la ciudad en su totalidad. El costo en la mayoría de ellas es alto y no está asociado a capas de conexión necesarias para disponibilizar la información obtenida con una visión de Inteligencia de Negocios (BI). Gran parte de éstas son imposibles de implementar para sectores de difícil acceso, limitando estos avances sólo para ciudades tecnológizadas. Es por esto que, de manera grupal se buscó robustecer una solución escalable y modular, para que de esta manera se flexibilizara su implementación, teniendo especial cuidado en las capas de conexión y visualización.

2.5.2 Personal

La contribución personal realizada, estuvo ligada directamente al diseño, desarrollo e implementación de las capas de sensores y análisis de software. Desde el área de expertiz, de ingeniero civil electrónico, se comenzó con el estudio de las tecnologías de la industria para las 2 primeras capas, su posible implementación en la realidad chilena y el análisis de las capacidades grupales para el desarrollo de estas capas. La idea era potenciar las soluciones tecnológicas ligadas a microcontroladores programables, y sensores que tuvieran la posibilidad de ser automatizados desde el desarrollo de software.

CAPÍTULO 3

REQUERIMIENTOS

3.1 Requerimientos del Sistema

La siguiente sección describe los requisitos funcionales del sistema, sus interfaces externas, las condiciones de excepción y las clases de pruebas que se harán para verificar el cumplimiento de los requisitos.

3.1.1 Requerimientos Funcionales

Los requisitos funcionales definen el comportamiento el sistema, es decir, describen lo que debe hacer el sistema. Esto desde el punto de vista de interpretar lo que esperará el usuario objetivo que haga el sistema.

ID Requisito	Nombre del requisito	Descripción del requisito
1.	Detección de vehículos	La solución debe reconocer individualmente a cada vehículo, diferenciándolo del fondo y de otros vehículos u otros elementos como son las personas y animales, entre otros.
2.	Diferenciación de vehículos	La solución debe ser capaz de diferenciar entre vehículos livianos y pesados.
3.	Conteo de vehículos	La solución debe guardar de manera continua la cantidad de vehículos, asociados al tiempo de detección.
4.	Seguimiento de vehículos	La solución debe reconocer de manera continua lo expresado en el RF2, identificando al vehículo de manera única mientras sea monitoreado por el sensor.
5.	Medición de velocidad de vehículos	La solución debe medir la velocidad de los vehículos detectados (RF2).

Tabla 3-2: Tabla de Requisitos Funcionales.

3.1.2 Requisitos de Interfaces

La Tabla 3-2 muestra la lista de eventos externos a los que el sistema

responde. La primera columna es el nombre del evento; la segunda es la descripción del mismo. El “iniciador” es el componente externo al sistema que inicia el evento. Los parámetros son los datos asociados al evento. A su vez, la Tabla 3.2 muestra las respuestas del sistema frente a eventos externos.

Evento	Descripción	Iniciador	Parámetros	Respuesta
Aparición de vehículo	Detectar cuando un vehículo ingresa a la región de interés en la medición.	El vehículo al ingresar a región de interés	El parámetro será la aparición del punto de seguimiento.	Detección del vehículo como variable de seguimiento
Desaparición de vehículo	Detectar la desaparición del vehículo cuando sale de la región de interés.	Vehículo al salir de la región de interés	El parámetro será la desaparición del punto de seguimiento.	Indexar tiempo de salida y cerrar la variable creada.

Tabla 3-3: Tabla de Eventos Externos.

Respuesta	Descripción	Parámetros
Detección del vehículo como variable de seguimiento	Creación de variable de seguimiento para el vehículo.	Dirección de movimiento y posición del vehículo.
Indexar tiempo de salida y cerrar la variable creada.	Cerrar variable con los datos obtenidos y almacenamiento de esta.	Dirección de movimiento y posición del vehículo.

Tabla 3-4: Tabla de Respuestas del Sistema

3.1.3 Requisitos de Testing

ID Requisito	Nombre del requisito	Descripción del requisito
1.	Detección de vehículos Pesados	La solución debe detectar y diferenciar los vehículos pesados
2.	Detección de vehículos livianos	La solución debe detectar y diferenciar los vehículos livianos.
3.	Medición de velocidad de vehículos	La solución debe detectar y medir su velocidad a cualquier vehículo en la región de interés.
4.	Detectar múltiples vehículos	La solución debe detectar una cantidad n de vehículos en todo momento, mientras ingresen a la región de interés.
5.	Detectar vehículos con diferentes condiciones lumínicas	La solución debe detectar los vehículos, bajo márgenes normales de iluminación, es decir cambios normales de luz durante el día.
6.	Detectar vehículos en diferentes sentidos	La solución debe detectar los vehículos independientes del sentido en el cual circulen.

Tabla 3-5: Tabla de Respuestas del Sistema

3.1.4 Matriz Requisitos Funcionales y Componentes

La siguiente matriz muestra qué módulos implementan qué requisitos funcionales.

Una línea vacía en la matriz indica un requisito funcional no implementado, en tal caso, es probable que falte un módulo. Una columna vacía indica un módulo no es útil para estos requisitos funcionales, de ser así, es posible que falte un requisito funcional.

	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
RF1	X	X			X	X
RF2	X	X		X	X	X
RF3					X	X
RF4				X	X	X
RF5			X	X	X	

Tabla 3-6: Matriz de Requisitos Funcionales y Componentes.

3.2 Requisitos de Ambiente

Esta sección describe el hardware relevante para el sistema.

3.2.1 Requisitos del Ambiente de Desarrollo

3.2.1.1 *Hardware de Desarrollo*

- Sensor de entrada que cumpla con los requisitos funcionales establecidos.
- Microcontrolador con características necesarias para el procesamiento del sensor elegido.
- Módulo de transmisión compatible con las características del microcontrolador y las limitaciones físicas del medio.
- Módulo de recepción de datos en el cual se almacenarán los datos según las estructuras de datos elegidas.

3.3 Herramientas de Desarrollo

Para el trabajo y desarrollo de la solución se utilizarán las siguientes herramientas tecnológicas, las cuales se analizarán a continuación:

- **C++:**

Es un lenguaje de programación extendido del lenguaje C que permite la manipulación de objetos. En este sentido, C++ es un lenguaje híbrido que permite el uso de objetos y que puede utilizar programación estructurada.

- **Qt 4.6:**

Es una biblioteca multiplataforma para desarrollar interfaces gráficas de usuario y también para el desarrollo de programas sin interfaz gráfica como herramientas de la consola y servidores. Qt utiliza el lenguaje de programación C++ de forma nativa, el cual adicionalmente puede ser utilizado en varios otros lenguajes de programación a través de binding. Qt es distribuido bajo licencias GPL y LGPL y es un software libre y de código abierto (QT, 2015).

- **OpenCV 3:**

Es una biblioteca de visión artificial originalmente desarrollada por Intel.

OpenCV es distribuido bajo la licencia BSD, lo que permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación con las condiciones en ella expresadas. Esta biblioteca es multiplataforma y se enfoca principalmente en el procesamiento de imágenes y video en tiempo real.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

Es necesario determinar de manera precisa los elementos a estudiar en el proceso de medición ya que estos serán gravitantes para el correcto funcionamiento y diagnóstico de la solución además de identificar las problemáticas comunes. Existen varios métodos probados, pero en este apartado se utilizará la metodología estándar por el MTT.

4.1 Variables a Medir

Las variables a medir serán el conteo vehicular y la medición promedio de velocidad, las cuales han sido elegidas luego de estudiar los levantamientos de datos tanto de SECTRA como de la UOCT, además de su pertinente discusión y deliberación con la contraparte.

Las variables de tránsito, corresponden a información que representa condiciones de operación de las vías. Dentro de estos datos, se encuentran, por ejemplo: tiempos de viajes, flujo vehicular, largo de cola entre otros.

Para entregar las especificaciones técnicas de las variables de tránsito, se diseñaron dimensiones o características que permitan clasificarlos a todos. Estas dimensiones, se detallan en la tabla presentada a continuación (Subsecretaría de Transportes 2013).

Dimensión	Interpretación
Tamaño de la muestra	Relacionado con la cantidad de datos necesarios para que la medición sea representativa
Unidad de Medición	Se refiere a la unidad de medición con que se requiere el dato
Cobertura Geográfica	Corresponde al espacio físico de donde se requiere la información como una calle, una vía, una ciudad, una región, un área específica, etc.

Cobertura Temporal	Corresponde a la ventana de tiempo, en la cual se realizan las mediciones
Nivel de Granularidad	Corresponde al nivel del detalle con el que se requiere tener la información.
Tipo de acceso	Corresponde al requerimiento de acceder a la información en línea (online) o fuera de línea (offline)
Discreta/Continua	Relacionado con las interrupciones que una medición tiene en una ventana de tiempo
Por modo	Modos de transporte clasificados por Transporte Público, Privado, Caminatas y otros, y todas sus sub-categorías

Tabla 4-7 Definición de dimensiones asociadas a requerimientos de variables de tránsito.

4.1.1 **Conteo Vehicular**

4.1.1.1 *Flujo Vehicular Continuo*

El dato de flujo vehicular continuo corresponde al perfil de flujo vehicular durante el día, obtenido de uno o varios puntos que representen el comportamiento de un área de estudio. Las especificaciones del dato son las siguientes (Subsecretaría de Transportes 2013):

Dimensión	Interpretación
Tamaño de la muestra	Totalidad de las mediciones
Unidad de Medición	Vehículos / 15 min
Cobertura Geográfica	Numero de intersecciones dentro del área de estudio a definir
Cobertura Temporal	Día laboral normal (Entre 7:00 y 21: hrs), sábado entre 9:00 y 21:00 hrs y domingo entre 10:00 y 20:00 hrs
Nivel de Granularidad	Cada 15 minutos de actualización
Tipo de acceso	Offline
Discreta/Continua	Continua
Por modo	Vehículo liviano, taxi, colectivo, bus interurbano, camión 2 ejes y más ejes, bicicleta, motos, bus y taxi bus urbanos

Tabla 4-8: Definición dimensiones y especificaciones del dato Flujo vehicular continuo.

Por otra parte, la Tabla 4-3, presenta las características de la recolección y utilización del dato flujo vehicular continuo.

Dimensión	Interpretación
Herramienta utilizada para la obtención	Mediciones en terreno por un consultor
Utilización de dato	Calibración de modelos de transporte
Periodicidad en la obtención	Cada 5 años

Tabla 4-9: Características de la recolección y utilización del dato Flujo vehicular continuo, relevantes para el contexto de este trabajo de memoria.

4.1.1.2 *Flujo Vehicular Periódico*

El dato de Flujo vehicular periódico corresponde a la cantidad de vehículos por hora en períodos relevantes del día, en lo general una medición en el periodo. Para SECTRA es relevante conocer el movimiento tanto vehicularmente como por arco. Las especificaciones del dato son la siguiente:

Dimensión	Interpretación
Tamaño de la muestra	Totalidad de las mediciones
Unidad de Medición	Vehículos / Hora
Cobertura Geográfica	Numero de intersecciones dentro del Área de estudio a definir
Cobertura Temporal	Día laboral normal durante 1,5 hrs en periodo de estudio
Nivel de Granularidad	Cada 15 minutos de actualización
Tipo de acceso	Offline
Discreta/Continua	Continua
Por modo	Vehículo liviano, taxi, colectivo, bus interurbano, camión 2 ejes y más ejes, bicicleta, motos, bus y taxi bus urbanos

Tabla 4-10: Definición dimensiones y especificaciones del dato Flujo vehicular periódico.

Por otra parte, la Tabla 4-5, presenta las características de la recolección y utilización del dato flujo vehicular periódico.

Dimensión	Interpretación
Herramienta utilizada para la obtención	Mediciones en terreno por un consultor
Utilización de dato	Calibración de modelos de transporte (No siempre en 1.6)
Periodicidad en la obtención	Cada 5 años

Tabla 4-11: Características de la recolección y utilización del dato Flujo vehicular periódico

4.1.2 Velocidad

Corresponde a la velocidad media (km/hr) en tramos (arcos) de la vialidad dentro de un área de estudio. La medición de velocidad se calcula a través del registro del tiempo que demora un vehículo de prueba (flotante) en un arco específico. Se necesita el promedio del tiempo de demora, para posteriormente estimar la velocidad media a través del largo del arco recorrido. Las especificaciones del dato son las siguientes:

Dimensión	Interpretación
Tamaño de la muestra	Totalidad de las mediciones
Unidad de Medición	Km / Hora
Cobertura Geográfica	Número de arcos dentro del Área de estudio. A definir.
Cobertura Temporal	Punta mañana y fuera de punta, etc. A definir
Nivel de Granularidad	No aplica
Tipo de acceso	Offline
Discreta/Continua	Continua
Por modo	Vehículo liviano, taxi, colectivo, bus interurbano, camión 2 ejes y más ejes, bicicleta, motos, bus y taxi bus urbanos

Tabla 4-12: Definición dimensiones y especificaciones del dato Velocidad

Por otra parte, la Tabla 4-7 presenta las características de la recolección y utilización del dato velocidad.

Dimensión	Interpretación
Herramienta utilizada para la obtención	Mediciones en terreno por un consultor
Utilización de dato	Calibración de modelos de transporte (No siempre en 1.6)
Periodicidad en la obtención	Cada 5 años

Tabla 4-13: Características de la recolección y utilización del dato velocidad

4.2 Consideraciones técnicas

Es necesario considerar las limitaciones técnicas propias de las mediciones al momento de censar. Es por esto que en este apartado se analizarán conceptualmente las problemáticas más comunes.

4.2.1 Sombras:

Las sombras de objetos en movimiento necesitan una especial consideración en el manejo de la solución. La detección de las sombras en movimiento podrían afectar la eficiencia del sistema, ya que estas podrían confundirse con un nuevo objeto o provocar ocultamiento dinámico. Existen varias formas de aminorar el efecto de las sombras; uno de ellas es extrayendo características del objeto como color, geometría o brillo que permitan identificar la región de la sombra. Otra solución puede ser usando la geometría de la escena, del objeto del foreground (FG) o la fuente de luz para así detectar la presencia de la sombra.

4.2.2 Ocultación:

Este fenómeno ocurre cuando un objeto es parcial o totalmente obstruido visualmente por otro. Para el sistema de monitoreo de tráfico vehicular esto es usualmente causado por la alta congestión o por un mal ángulo de visualización de la cámara, pudiendo disminuir drásticamente el rendimiento del sistema. Este problema es comúnmente solucionado con ángulos lo más perpendicularmente posibles o varios tipos de segmentación de apoyo.

4.2.3 Fragmentación:

Este fenómeno ocurre por la falta de contraste con respecto al fondo de los objetos a detectar, provocando que la detección de un vehículo sea vista como dos o más. La fragmentación es normalmente resuelta con un proceso de segmentación más preciso o con operaciones morfológicas de apoyo.

4.2.4 Inclemencias climáticas:

Los diferentes elementos de clima pueden generar desafíos múltiples para el

correcto funcionamiento del sistema. La lluvia puede provocar problemas de reflejo en el video causando la detección de falsos vehículos. De igual forma, la visibilidad de la cámara se verá reducida al ser expuesta a factores tales como neblina o smog, los cuales causan interferencias en la detección de movimiento, que provocan una deficiencia en la detección de objetos. Estas dificultades pueden ser solucionadas aumentando la sensibilidad a los cambios de intensidad de los pixeles, bajando los umbrales de segmentación, o reduciendo el tamaño de los filtros de difuminado usados para reducir el ruido en los filtros gaussianos.

Los cambios de iluminación también pueden provocar problemas sobre todo en calles donde no se cuente con iluminación artificial.

4.3 Supuestos

El trabajo considera las siguientes suposiciones:

- **Cámara fija:** El software (SW) considera que las cámaras están empotradas y su movimiento es mínimo. Entre mayor sea el movimiento, éste afectará directamente a la precisión de los datos obtenidos.
- **Poder de procesamiento del hardware (HW):** La carga de ejecución del SW debe ser mínima. Una insuficiente capacidad del procesador podría llevar al SW a perder datos y retrasar la transmisión.
- **Condiciones lumínicas suficientes:** La sustracción de fondo necesita una cantidad mínima de luminiscencia. El incumplimiento de esta restricción podría provocar la captura de datos erróneos en el seguimiento de vehículos.
- **Conos de calibración:** Para la correcta obtención, de los datos de velocidad de los vehículos, será necesario que la utilización de conos de calibración explicados en el *capítulo 7*. Estos conos deberán estar a 15 metros de distancia.
- **La capa de conexión, la instalación del SW y la Visualización** en el dispositivo donde se realiza el procesamiento deben funcionar correctamente, ya que son parte del trabajo realizado por otro miembro del equipo encargado de esta labor.

CAPÍTULO 5

DISEÑO PROPUESTO

El mejoramiento de la movilidad es una de las estrategias prioritarias en el desarrollo de las ciudades, apuntando directamente a mejorar las conexiones entre el trabajo y el hogar. Esta necesidad conlleva a la problemática que este proyecto pretende resolver, la cual corresponde a optimizar la recolección de datos, permitiendo así la obtención de información de calidad, confiable y oportuna, al menor costo.

Al reconocer que la problemática se centra en la recolección de datos, se realizó inicialmente un estudio de las tecnologías de frontera utilizadas para tal fin, en el que se analizó la factibilidad técnica de implementación, costos y fiabilidad de la información entregada por cada dispositivo.

Considerando la información técnica obtenida, se ha optado por utilizar un sistema que recopila datos mediante la implementación de cámaras dispuestas en intersecciones de interés, las cuales estarán conectadas de forma local a un microprocesador que recibirá las imágenes y, a través de un software, detectará automáticamente los vehículos que transiten por la vía. De esta manera, se podrán obtener los datos de movilidad requeridos por la Secretaría de Transportes.

A partir de lo anteriormente señalado, el presente documento muestra el diseño preliminar de la solución, detallando cada parte del sistema y los datos que cada capa de trabajo entrega. También se definen los módulos de cada capa, entregando información sobre el rol que cumple cada uno dentro del sistema.

5.1 Arquitectura del sistema

5.1.1 Diagrama de Contexto

El diagrama mostrado en la Figura 5-5 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 por medio de un microprocesador, el cual realiza el procesamiento digital de imágenes de estos necesario para obtener los datos de movilidad. Esta información es

enviada a través de una conexión a Internet a una base de datos, donde se almacenan para su posterior consumo por un software de visualización.

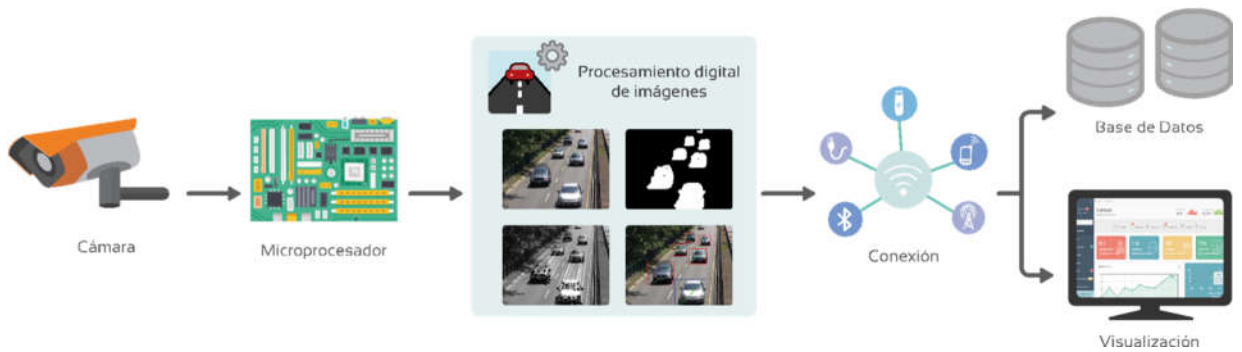


Figura 5-1.- Diagrama de Contexto

5.1.2 Diagrama de Arquitectura

A partir del contexto en que se engloba el proyecto, en un trabajo previo se generó una arquitectura general del sistema, reflejado en la Figura 5-1. Considerando que se han escogido diversas tecnologías en cada capa, se ha modificado la arquitectura para entregar mayor detalle técnico de las etapas, los cuales se detallan en la Figura 5-3.

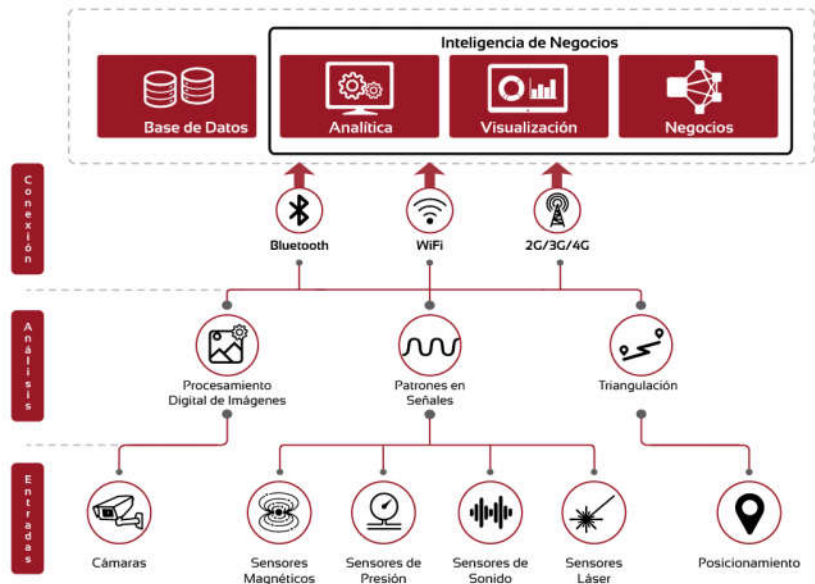


Figura 5-2.- Arquitectura general del sistema

Sensores	Carcasa		Cámara		Instalación
Procesamiento	Procesador	PDI Background	PDI Traking	PDI Adaptabilidad	PDI Variables
Conexión	Análisis de Contexto		Proyección		Requerimientos Técnicos
Base de Datos	Análisis de Contexto		Proyección		Requerimientos Técnicos
Inteligencia de Negocios	Redes Sociales	Gráficos	Alertas	Mapas con Datos	Informes Automatizados
				Tablas de Datos	

Figura 5-3: Detalle de módulos de la arquitectura del sistema.

5.2 Descripción General de Módulos

5.2.1 Capa Sensores:

Esta capa de trabajo entrega información técnica referida a 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.

5.2.2 Capa Procesamiento:

La información entregada por la capa Sensores es analizada con 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 librerías a ocupar por el software. De la información obtenida, se realiza un cálculo previo 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.

5.2.3 Capa Conexión:

Esta capa entrega información técnica referida a los enlaces físicos que ocupará el sistema. Estos enlaces deben ser capaces, de transferir confiable e íntegros los datos desde la unidad de procesamiento a la base de datos. Dicha conexión dependerá de la disponibilidad técnica del área de interés, por lo que el sistema debe considerar flexibilidad de protocolos de conectividad. Además la disponibilidad técnica abarca las proyecciones que el Gobierno considere, en términos de tecnología a instalar y localidades afectadas.

5.2.4 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 Negocio, por lo que esta capa entrega un estimado del tamaño de la base de datos, la estructura, las funciones para realizar llamados, las interdependencias y relaciones entre los datos, y el lenguaje a utilizar para su óptimo desempeño. Se considera, también, las proyecciones de tecnologías a

utilizar en el futuro, por parte del Gobierno.

5.2.5 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.

5.3 Descripción de módulos por capa

Las siguientes son las componentes descritas en la Figura 3. Por cada capa se definen los distintos módulos con una descripción de su función, sus interacciones con otros componentes y con el medio.

5.3.1 Sensores

5.3.1.1 **Módulo 1: Carcasa:** Este módulo se encarga de otorgar protección física a través de un diseño ajustado a los dispositivos que resguardará, según lo determinado por los módulos Cámara y Procesador, en conjunto con una sencilla instalación y mantenimiento. Como objetivos base, la carcasa busca proteger el funcionamiento de los módulos antes mencionados teniendo especial cuidado con la humedad, polvo, temperatura, entre otros. Todo lo anterior debe mantener la premisa de un producto de bajo costo.

5.3.1.2 **Módulo 2: Cámara:** La cámara de vídeo es la tecnología seleccionada para la capa Sensores. Por consiguiente, es necesario en este apartado definir sus objetivos específicos y su interrelación con los diversos módulos. La función principal que presenta este dispositivo es suministrar a la capa de Procesamiento la ráfaga de imágenes necesarias para poder generar el Procesamiento Digital de Imágenes. Como los requerimientos funcionales de esta tecnología son básicos, el parámetro fundamental para su selección es la interacción con el módulo Procesador, además de mantener los bajos costos del proyecto.

5.3.1.3 **Módulo 3: Instalación.** A través de este módulo, se busca generar una metodología estandarizada para instalar el producto y todo lo que conlleva este proceso. Uno de los primeros objetivos es el diseño del poste o, en caso de que este elemento ya exista, analizar su interacción con el módulo Carcasa. Es necesario considerar los requerimientos de los módulos de Procesamiento Digital de Imágenes, los cuales necesitan una altura mínima para otorgar al módulo Cámara un rango visual lo suficientemente amplio para abarcar por lo menos una cuadra. Además, es necesario velar por el resguardo de estándares de seguridad y todos los permisos necesarios, debido a que este dispositivo estará instalado en la vía pública.

5.3.2 **Procesamiento**

5.3.2.1 **Módulo 1: Procesador.** Este módulo es fundamental para el funcionamiento de la solución, ya que es el encargado de hacer el procesamiento de imágenes. Para esto, es necesario hacer un análisis acabado de los requerimientos para poder hacer tracking con las herramientas de OpenCV, biblioteca específica con funciones de procesamiento digital de imagen. Además de esto, considerando que este dispositivo interactúa con las capas de Conexión y Base de Datos, y que cada una de ellas tendrá más de un tipo de solución, obliga a este módulo a tener una alta flexibilidad ante las diferentes tecnologías.

5.3.2.2 **Módulo 2: Background.** El trabajo en este apartado está enfocado en buscar la mejor metodología de segmentación, para así obtener un modelo de fondo óptimo, ya que esto es la base del funcionamiento del módulo de Tracking. Por otra parte, es fundamental enlazar el modelo de segmentación con el módulo de Adaptabilidad.

5.3.2.3 **Módulo 3: Tracking.** Este módulo está enfocado principalmente al seguimiento de objetos, que para efectos del proyecto se traducen en vehículos. El algoritmo de seguimiento es la última etapa que interviene en la detección de los objetos.

El algoritmo determina, sigue y contabiliza las trayectorias de cada una de las regiones recuadradas marcadas por el segmentador. El tracking es útil para descartar aquellas regiones que marcó el segmentador por causa del ruido. Este tipo de regiones suele aparecer en frames muy dispersos, o si aparecen seguidamente no tienen coherencia espacial entre las imágenes consecutivas por lo que se descartan.

El algoritmo de tracking también es capaz de seguir objetos que cruzan sus trayectorias y producen oclusiones en la imagen. Esta capa tiene directa relación con los requerimientos funcionales mencionados en el *Capítulo 3*, referido a la identificación unívoca de cada vehículo que transite por la región de interés. Es importante señalar que el funcionamiento del módulo Variables está ligado directamente con la confiabilidad del dato entregado por procesamiento de imágenes Tracking.

5.3.2.4 **Módulo 4: Adaptabilidad.** Uno de los desafíos más grande en el Procesamiento Digital de Imágenes es la adaptación del sistema de detección a los diferentes cambios de luminosidad intrínsecos que ocurren en el transcurso del día. Los módulos procesamiento de imágenes no funcionarían sin solucionar de manera eficaz esta problemática, por lo que es necesario generar un modelo de actualización de fondo acorde al desafío. Además de esto, es necesario analizar si la vibración producida por el tránsito vehicular provoca una perturbación en el procesamiento, y si es así, generar la instancia necesaria para compensar dicho ruido.

5.3.2.5 **Módulo 5: Variables.** Las variables a tratar en este módulo tienen directa relación con el trabajo realizado en el informe anterior, en el cual se priorizó desde un estudio acabado de los diferentes organismos del MTT las variables críticas dentro de la piscina de datos estandarizados que dichos órganos manejan. Las variables a considerar serán las siguientes:

- Conteo Vehicular
- Velocidad
- Distancia
- Frecuencia
- Ocupación de calle
- Largo de Cola
- Tiempo de Cola
- Tamaño de vehículo
- Incidentes

Cada una de estas variables son tratadas de manera independiente en apartados basados en la interacción con el módulo de Tracking.

5.3.3 Conexión

Esta capa será tratada de manera diferente a las anteriores, debido a que existe más de una tecnología que cumple con todos los requerimientos funcionales. Es por esto que se flexibilizará la solución para adaptarla a los diferentes contextos específicos que tendrá cada lugar de instalación.

5.3.3.1 **Módulo 1: 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.

5.3.3.2 **Módulo 2: 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.

5.3.3.3 **Módulo 3: 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.

5.3.4 Base de Datos

5.3.4.1 **Módulo 1: 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.

5.3.4.2 **Módulo 2: 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 BD que tiene a disposición el MTT, su orientación de uso y la proyección de ocupación en el tiempo de esta.

5.3.4.3 **Módulo 3: Requisitos 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 puestas por el modulo Procesador y las necesidades de cada módulo de la capa de Inteligencia de Negocios.

5.3.5 Inteligencia de Negocios

5.3.5.1 **Módulo 1: Redes Sociales.** La primera solución de visualización será interactuar a través de las redes sociales. El objetivo es automatizar informes obtenidos del módulo de procesamiento de imágenes 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.

- 5.3.5.2 **Módulo 2: Gráficos.** Se busca facilitar el análisis de datos con diferentes formas de Dashboard, los cuales desplegaran en pantalla de manera interactiva los diferentes datos obtenidos desde el módulo de procesamiento de imágenes 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.
- 5.3.5.3 **Módulo 3: Alertas.** Este módulo está orientado al trabajo específico de la UOCT, el cual necesita que los operadores, quienes observan las pantallas que despliegan la información de las cámaras puestas en diferentes puntos de la ciudad, emita alertas para realizar alguna inspección manual, para poder levantar incidentes ocurridos. Este módulo ofrecerá automatizar este proceso con la información entregada por la variable de incidentes del módulo de procesamiento de imágenes Variables, generando alertas cada vez que se detecte un incidente en la vía.
- 5.3.5.4 **Módulo 4: Mapas con Datos.** Esta solución de visualización busca traspasar la diversa información obtenida en el módulo procesamiento de imágenes 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.

5.3.5.5 **Módulos 5: 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.

5.3.5.6 **Módulo 6: 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.

5.4 Producto Mínimo Viable

El **Producto Mínimo Viable (PMV)**, es una entrega rápida al cliente para obtener retroalimentación sobre satisfacción con el producto. Con esta retroalimentación sobre el PMV, se puede realizar ajustes progresivos para afinar la solución. Es fundamental concretar entregas en ciclos cortos para reducir el gasto de tiempo empleado en soluciones que no son suficientes para el cliente.

Para la ejecución del PMV, se escogen los módulos más relevantes en cada una de las capas de trabajo, los cuales son mostrados en la Figura 5-4. A continuación, se definen los componentes específicos que se ocuparán en cada uno de estos apartados.

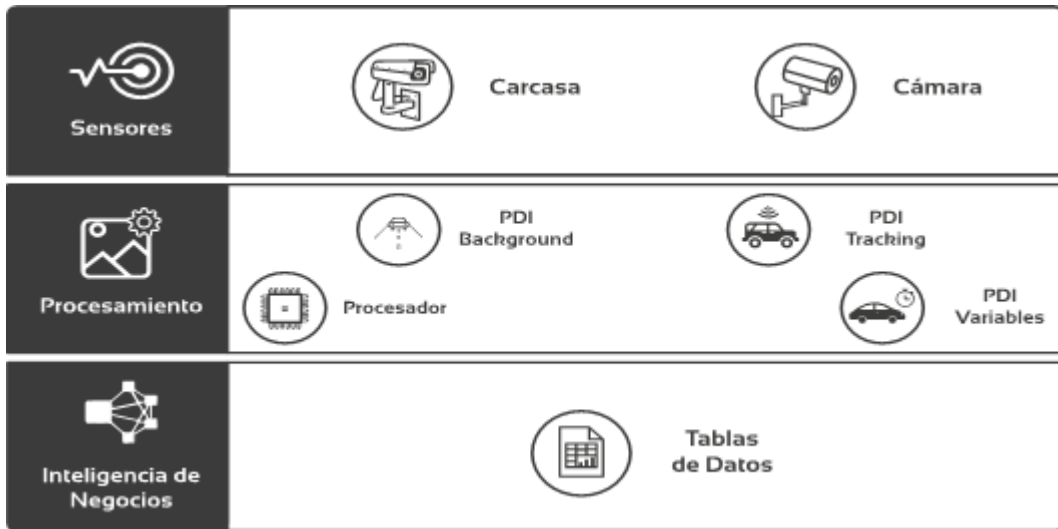


Figura 5-4:- Módulos del Producto Mínimo Viable

5.4.1 Sensores

5.4.1.1 **Módulo 1: Carcasa.** El housing de una cámara hace referencia a la carcasa diseñada para contener la cámara y sus componentes electrónicos vitales, con el propósito de protegerlos de los efectos nocivos que pueda generar la exposición al ambiente, además de posibles actos vandálicos. El uso del housing se hace necesario cuando el ambiente no ofrece las condiciones de funcionamiento adecuadas para la cámara. Considerando que esta será utilizada en el exterior, la utilidad del housing recae en la capacidad de soportar condiciones adversas que pueda presentar la atmósfera, además del abuso por vandalismo o ataque.

Dado que para los propósitos del proyecto se requiere ubicar la cámara junto con el microprocesador en un ambiente exterior que permita observar las vías de tránsito, se necesitará la creación de un housing que otorgue las condiciones ideales para contener estos componentes, otorgándoles protección contra diversas condiciones climáticas y ambientales, además de evitar actos de vandalismo y la manipulación externa. A continuación se presentarán la clasificación de diversos requerimientos con los que el housing debería cumplir para asegurar un funcionamiento óptimo de los componentes electrónicos, además de considerar las limitantes de recursos de trabajo que condicionan el diseño del housing.

5.4.1.1.1 **Requerimientos de Formas:** Estos requerimientos hacen referencia a consideraciones que se deben de tener a la hora de diseñar la forma de las piezas que en conjunto componen el housing, métodos de unión a utilizar, dimensiones, procesos de fabricación, entre otros. El detalle se ubica en el Anexo 1 del documento. Se determina que el housing se compondrá por piezas planas que se unirán mediante calces, los cuales podrán ser reforzados con tornillos si es que es requerido. Su fabricación se basará en el corte láser de las planchas del material, a modo de simplificar este proceso y permitir una replicación fácil de las piezas.

5.4.1.1.2 **Requerimientos de Materialidad:** Los materiales que generalmente son utilizados para fabricar los housings son aluminio, aceros con recubrimientos de pintura, acero inoxidable o plásticos adecuados para uso en el exterior. Dado que se planea utilizar como proceso de fabricación el corte láser se condiciona la materialidad a sólo plásticos. El detalle se ubica en el Anexo 2 del documento. Se determinó que el material que se utilizará es el acrílico dado que posee una alta resistencia al impacto, puede utilizarse en la intemperie, dado que resiste los rayos ultravioletas y no se aprecia algún deterioro en 10 años de exposición, se le considera un aislante térmico y se comercializa en planchas rectangulares con gran variedad de espesores.

5.4.1.1.3 **Requerimientos de Protección Ambiental:** Los principales factores ambientales que pueden ser una amenaza para el funcionamiento de la cámara y el microprocesador son las precipitaciones, polvo, suciedad, ambientes corrosivos y temperaturas extremas. El detalle se ubica en el Anexo 3 del documento. A modo de proteger los componentes estarán contenidos dentro del housing este estará sellado completamente, impidiendo el ingreso del agua, además de la incorporación de una pendiente en el techo que permita que el agua se deslice. También se considera apropiado que la instalación de la cámara sea con una inclinación que evite que se acumule material particulado, como el polvo. Con la finalidad de evitar que se alcancen altas temperaturas dentro del housing que produzcan el sobrecalentamiento del microprocesador se ha decidido la incorporación de un termostato que active un ventilador cuando sea necesario disminuir la temperatura.

5.4.1.1.4 **Requerimientos de Protección ante Vandalismo:** Las cámaras al estar ubicadas en el exterior pueden sufrir actos de vandalismo y manipulación no adecuada, si bien estos actos no se esperan que sean de ocurrencia frecuente, es necesario presentar ciertas consideraciones que dificulten estas actitudes. El detalle se ubica en el Anexo 4 del documento. A pesar de todas las consideraciones descritas en la tabla adjunta, el housing de una cámara nunca puede garantizar un cien por ciento de protección ante conductas destructivas, pero sí puede ayudar a disminuir los efectos que estas puedan producir.

5.4.1.2 **Módulo 2: Cámara.** La cámara seleccionada es la Raspberry Pi Camera. Este dispositivo cumple con una sencilla conexión con el módulo de Procesador, debido a su conexión CSI diseñada para el microprocesador Raspberry PI (detallado en el módulo Procesador), tiene una resolución máxima de 1080p (1920x1080) con una frecuencia de 30 frames por segundo, cumpliendo extensamente con los requerimientos mínimos para el procesamiento de imágenes. Además, el valor en el mercado local es de alrededor de los \$30.000.-, manteniendo así los bajos costos de la solución en general. En la Figura 5 se entrega una ilustración del dispositivo.

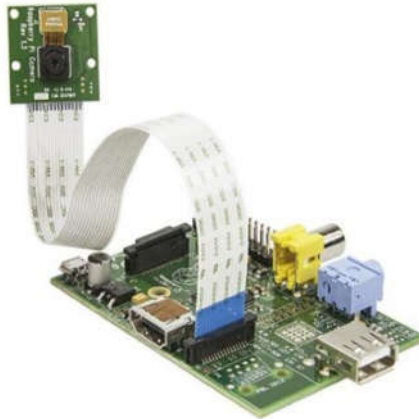


Figura 5-6.- Raspberry Pi Camera

5.4.1.3 **Módulo 3: Instalación:** La solución será instalada y probada en Av España. en específico la vía en dirección a viña vista desde la pasarela frente la Universidad Técnica Federico Santamaría (UTFSM), desde este punto se tomarán los videos de prueba y de comparación para obtener los resultados.

5.4.2 Procesamiento

5.4.2.1 **Módulo 1: Procesador.** Para este módulo se utilizará una Raspberry Pi, debido a que soporta la carga de trabajo de Procesamiento Digital de Imágenes (procesamiento de imágenes) con casos exitosos demostrados, sobre todo en el área de tracking. Además, posee la capacidad de soportar diferentes tecnologías de comunicación (GSM, WIFI, Bluetooth, RF, cable (USB, Serial), Ethernet, por mencionar los más comunes) Como se mencionó en el módulo Cámara, posee conexión CSI con dispositivos especializados para cámara de vídeo (Pi-camera). Existe extensa bibliografía sobre proyectos en el área de Computer Vision (CV) y su valor en el mercado no supera \$40.000.-. Se entrega una ilustración del dispositivo en la Figura 5-6.

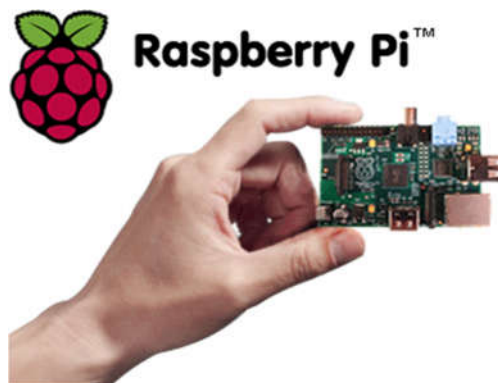


Figura 5-6:- Raspberry PI

5.4.2.2 **Módulo 2: Background.** Haciendo un análisis de los diferentes modelos de fondo, el más extensamente probado y orientado al tracking es la sustracción de fondo. Este método es una técnica ampliamente utilizado para detectar objetos en movimiento a partir de cámaras estáticas. En el campo de la video-vigilancia, es una técnica indispensable, ya que permite discriminar rápidamente cuándo ha surgido un evento y permite a su vez el seguimiento de objetos, como en este caso son los vehículos.

5.4.2.3 **Módulo 4: Tracking.** Este algoritmo se basará en la extracción de blobs, ya que es el método más simple y utilizado con la sustracción de fondo (algoritmo definido en el módulo de Background). Se ilustra un ejemplo de Tracking en la Figura 5-7.

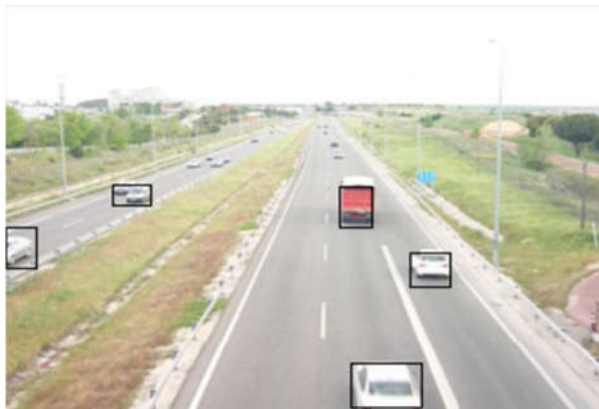


Figura 5-7.- Ejemplo de Tracking

5.4.2.4 **Módulo 5: Variables.** Variables Para este módulo se priorizara la obtención de la variable de conteo vehicular, clasificación y medición de velocidad y debido a que es el dato más crítico y es la variable base desprendida del módulo de Tracking.

5.4.3 **Conexión**

Dado el contexto del lugar de instalación (UTFSM Casa Central), la tecnología de conexión disponible es WIFI, la cual es compatible con el módulo Procesador, a través de la Raspberry Pi.

5.4.4 **Base de Datos**

Se usará una base de datos local y ajustada a las necesidades específicas del PMV.

5.4.5 **Inteligencia de Negocios**

La visualización mínima será la Tabla de datos, la cual es esencial para el trabajo futuro de cualquier otro módulo de Inteligencia de Negocios. Como campos mínimo de identificación de datos se visualizará: dirección de calle, hora de entrada del vehículo, hora de salida.

CAPÍTULO 6

SEGMENTACION EN SECUENCIAS DE VIDEO

La segmentación es una de las tareas fundamentales en el sistema automatizado de captura de datos. Se puede definir como el proceso, por el cual se dividen las regiones de la imagen por un conjunto de características particular. En este caso en específico, usaremos el movimiento como elemento diferenciador para distinguir el fondo de los objetos a seguir.

En general, se puede dividir el conjunto de los métodos de segmentación en métodos globales y métodos locales. Los métodos globales emplean la misma regla de decisión para clasificar todos los píxeles de la imagen, basándose en información de la imagen completa. Por el contrario, los métodos locales definen la regla de decisión en base a la información que extraen de la región de la imagen que es vecina al píxel que hay que clasificar. Con los métodos locales se pueden resolver problemas de variación de la iluminación en la imagen y también encarar problemas donde los objetos a segmentar no tienen características del todo uniformes. Sin embargo, los métodos globales son algorítmicamente más simples y muchas veces son suficientes para realizar una buena segmentación.

6.1 Sustracción de Fondo

La segmentación que será utilizada para la solución, es la sustracción de fondo, debido a su simpleza, efectividad y bajo costo en procesamiento. No obstante, este método condiciona su buen comportamiento frente a factores fotométricos (cambios de iluminación, contraste, sombras y reflejos) a la representación por parte del modelo de fondo, tanto de regiones no deseadas, como de regiones de interés donde se encuentran objetos estacionarios. Además, una adaptación correcta no siempre se consigue en entornos densamente poblados donde concurren numerosas sombras y ocultaciones.

Para poder entender el concepto, supóngase una imagen F , la cual representará el fondo de la escena y la imagen en el instante actual I . Suponiendo que la imagen está en colores y representada en el espacio RGB, se podrá denominar el valor de un

pixel de una imagen F en uno de los canales como $f_{x,c}$. Donde el subíndice, vector $x=(x,y)$, es la posición del pixel en la imagen y c es alguno de los canales de color. Si se toma el módulo de la diferencia entre la imagen de fondo y la actual, suponiendo condiciones ideales, se podrá decir para los pixeles de I que son parte del fondo que cumplirán con:

$$|f_{x,c} - i_{x,c}| = 0 \quad \forall c$$

Para el sistema a desarrollar, se tomará como característica diferenciadora el movimiento en la escena, entendido como una diferencia significativa entre la intensidad de los canales de un pixel de la imagen de fondo y la imagen actual. Para esto usaremos el valor T de la ecuación 6.5 como valor umbral en la diferencia entre pixeles. Este valor será usado para clasificar los pixeles como fondo o movimiento.

$$|f_{x,c} - i_{x,c}| > T$$

El desafío será encontrar el valor adecuado del umbral T , para así, tener los mejores resultados de segmentación. Tal como se comentó al comienzo de este capítulo, existen dos enfoques de segmentación: los métodos globales y los métodos locales. En el contexto de la segmentación de movimiento, los primeros usan el mismo valor de T para clasificar todos los píxeles. Esto es lo más simple que se puede realizar y el enfoque utilizado en este trabajo. El enfoque de métodos locales, es cuando los valores de umbral que se aplican para clasificar cada píxel, se determinan estadísticamente cada vez que se actualiza el fondo de la imagen. Los valores medios de cada píxel definen el fondo, y las varianzas determinan el valor de umbral a emplear para la clasificación de los mismos.

Podemos visualizar en la Figura 6-1 que la salida de la sustracción de fondo es una imagen binaria. Con esto, es más sencillo y conveniente trabajar en las etapas posteriores a la segmentación: la detección y seguimiento. La Figura 6-2 muestra una imagen de salida típica, se pueden observar en ella los errores de segmentación.

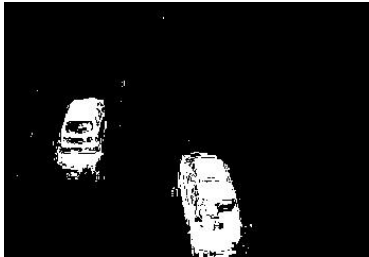


Figura 6-2: Imagen que resulta de la segmentación por sustracción de fondo

6.2 Modelo de Fondo

Para que la segmentación de imágenes con objetos en movimiento sea efectiva, mediante el enfoque de sustracción de fondo, es necesario disponer de un buen modelo del fondo de la escena observada con la cámara. Es importante obtener una imagen que represente todo aquello que no sea vehículo en movimiento, de tal forma que al realizar la sustracción para aquellos píxeles que no sean de interés para el seguimiento, den un valor nulo en la imagen binaria de salida.

El modelo de fondo o simplemente fondo de la imagen, no es una imagen estacionaria y es necesario estimarla periódicamente o continuamente por diversos motivos:

- Variación en las condiciones de iluminación.
- Movimiento de la cámara que capta la escena.
- Sombras proyectadas de objetos fijos.
- Movimientos de objetos menores.

La variación en las condiciones de iluminación son frecuentes en escenas de tráfico vehicular, dado que la cámara que toma las imágenes está bajo ciertas condiciones ambientales, las cuales incluyen en la iluminación. Esta variable no es la misma durante las diferentes horas del día, lo cual la convierte en una variable muy difícil de predecir.

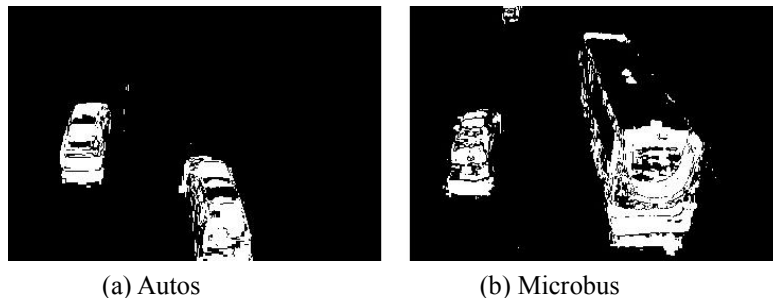
El segundo motivo se refiere a las vibraciones en la cámara. Si se tiene una buena estimación del fondo de la imagen, pero en determinado momento la cámara se mueve, el fondo de la escena en ese instante es ligeramente diferente, lo cual produce errores de segmentación especialmente en los bordes de los objetos de la imagen actual. Esto puede distorsionar los resultados finales de manera preocupante.

Por otra parte, es muy común tener en la escena sombras proyectadas de edificios, árboles, y postes de luz, entre otros, que van cambiando de acuerdo al movimiento del sol, lo cual provoca una disminución en el contraste de los sectores afectados.

Por último, considérese el movimiento producto del viento, de las hojas de un árbol al costado de una ruta, calle o autopista. Sería conveniente que en la región correspondiente de la imagen, el fondo se actualice automáticamente, de forma tal que se considere como fondo todo movimiento no relevante para el seguimiento o que se aplique una máscara para no procesar esa zona. Esto mismo podríamos extenderlo a otros objetos menores, considerando que se pueden filtrar los objetos por tamaño.

Entonces la estimación del fondo de la imagen debe responder a los cambios en la escena en un cierto tiempo, que no tiene que ser instantáneamente ya que, si bien esto sería lo óptimo para resolver problemas como el de la variación de la iluminación, no permitiría segmentar bien los objetos en movimiento, ya que se producirían errores de segmentación. Para entender esto último, considere un fondo de la imagen que se actualiza continuamente de forma tal que $F_k = I_{k-1}$: donde I_{k-1} es la imagen de la secuencia de video para el instante anterior. Esto sería la forma más rápida para responder a los cambios. A esta idea se le llama frame differencing,

porque la sustracción de fondo se reduce a una diferencia entre imágenes consecutivas de la secuencia. En la Figura 6-3 se pueden observar las zonas oscuras interiores a los objetos en movimiento. Esto ocurre porque el objeto en movimiento pasa a ser parte del fondo. Es así como se registra solamente el movimiento en los bordes, que es donde se producen los cambios entre imágenes sucesivas y esto depende de la velocidad y dimensiones de los vehículos. Entonces es necesaria una estimación del fondo de la imagen lo suficientemente rápida como para registrar los cambios listados, pero que no provoque que los objetos en movimiento sean por eso parte del fondo (Ledesma. 2012).



(a) Autos

(b) Microbus

Figura 6-3.: Sustracción de fondo usando frame differencing.

(a) Automóviles segmentados con frame differencing.

(b) Bus segmentado con frame differencing.

6.2.1 Métodos de Estimación de Fondo

Hay varios métodos de estimación de fondo que, en general, se pueden clasificar en métodos recursivos y no recursivos; los primeros actualizan constantemente el modelo de fondo, de forma tal que el modelo actual es alguna función del modelo de fondo anterior y de la imagen de la secuencia, también en el instante anterior:

$$F_k = f(I_{k-1}, F_{k-1}) \quad 6-1$$

Los segundos, usan un buffer donde guardan una cantidad de imágenes de la secuencia, actualizando periódicamente el modelo de fondo mediante la estimación del fondo de la imagen según la variación temporal de los píxeles de estas imágenes guardadas. Esto es:

$$F_k = f(I_{k-1}, I_{k-2}, I_{k-3}, \dots, I_{k-N_{\text{buff}}}) \quad 6-2$$

Los métodos no recursivos requieren mayor cantidad de memoria para el almacenamiento de las imágenes y son más costosos en cuanto a procesamiento. Se analizarán los siguientes métodos:

- Método estadístico de histograma (no recursivo),
- Filtro recursivo de mediana (recursivo),
- Mezcla de gaussianas (recursivo).

6.2.1.1 *Método estadístico de histograma (no recursivo)*

La estimación del modelo de fondo con este método se basa en el cálculo de un histograma para cada píxel, tomando una cantidad de imágenes guardadas en el buffer, tratando de que el tamaño del mismo sea lo más pequeño posible. Para esto, se modifica el histograma calculado, para que con una baja cantidad de imágenes se obtenga un máximo definido en el histograma modificado.

$$n_p(l) \quad 0 \leq l \leq L-1$$

Con n_p el histograma de un píxel p , donde $L = 2^B$, siendo B la profundidad de píxel. El histograma se modifica de la siguiente manera

$$n'_p(l) = n_p(l) \sum_{r=-\sigma'}^{\sigma'} n_p(l+r) \quad 0 \leq l+r \leq L-1$$

Donde σ' es la desviación estándar para cada píxel, que es uno de los parámetros del método que se propone y que deberá predecir en cada ciclo de estimación del fondo de la imagen. El argumento máximo de n' es el valor de fondo de la imagen del píxel p . Si se trabaja con imágenes de colores, entonces esto se hace para cada uno de los canales. Estimando de esta manera el fondo de la imagen, luego se aplica la

operación de sustracción, mediante umbralización local.

Aun cuando se hace un esfuerzo por reducir la cantidad de memoria requerida para la estimación del modelo de fondo y por ende el costo de procesamiento de la operación, los resultados que se pueden proyectar no son satisfactorios en cuanto al tiempo de cálculo en cada ciclo de procesamiento de la imagen de video.

6.2.1.2 Mezcla de gaussianas (MoG)(recursivo)

Este método está considerado dentro de los modelos recursivos, los cuales estiman el valor de cada píxel del fondo de las secuencias por medio de funciones de distribución de probabilidad que se actualizan con cada nueva imagen de entrada. En lugar de mantener un buffer para estimar el fondo, los píxeles de fondo se representan por los parámetros de la distribución, lo cual supone un ahorro de memoria muy importante.

La función de distribución más utilizada para modelar el fondo es la Gaussiana $N(\mu, \sigma^2)$. Existen dos variantes fundamentales de este método:

- **Gaussiana simple:** Cada píxel del fondo se representa con dos parámetros, la varianza y la desviación estándar (μ, σ^2).
- **Mezcla de Gaussianas:** Los píxeles del fondo se estiman mediante una combinación de varias distribuciones de tipo Gaussiano, con un número menor a un máximo K definido para el modelo, cada una de ellas determinada por dos parámetros (μ, σ^2).

A continuación, se explicará de manera detallada el método de Mezcla Gaussianas por debido a su mayor rendimiento frente al desafío propuesto:

La Mezcla de Gaussianas (MoG) es uno de los métodos complejos más utilizado en la literatura. Entre sus ventajas destaca la robustez, ya que permite modelar fondos multimodales, es decir, manejar múltiples modos de distribución (o tipos de movimiento). Por ejemplo, una hoja agitándose bajo un cielo azul presenta

dos modos o tipos de movimiento: el de las hojas y el cielo.

En este algoritmo, el fondo no se modela por los valores de una imagen sino a través de un modelo paramétrico cuyo objetivo es aproximar una función de distribución a los últimos valores de cada píxel. Cada píxel P_t localizado en la posición (x, y) de la imagen de fondo en el instante t se representa por un número K de distribuciones Gaussianas cuya combinación constituye una función de densidad de probabilidad $F_p(t)$ (Grimson, 1999).

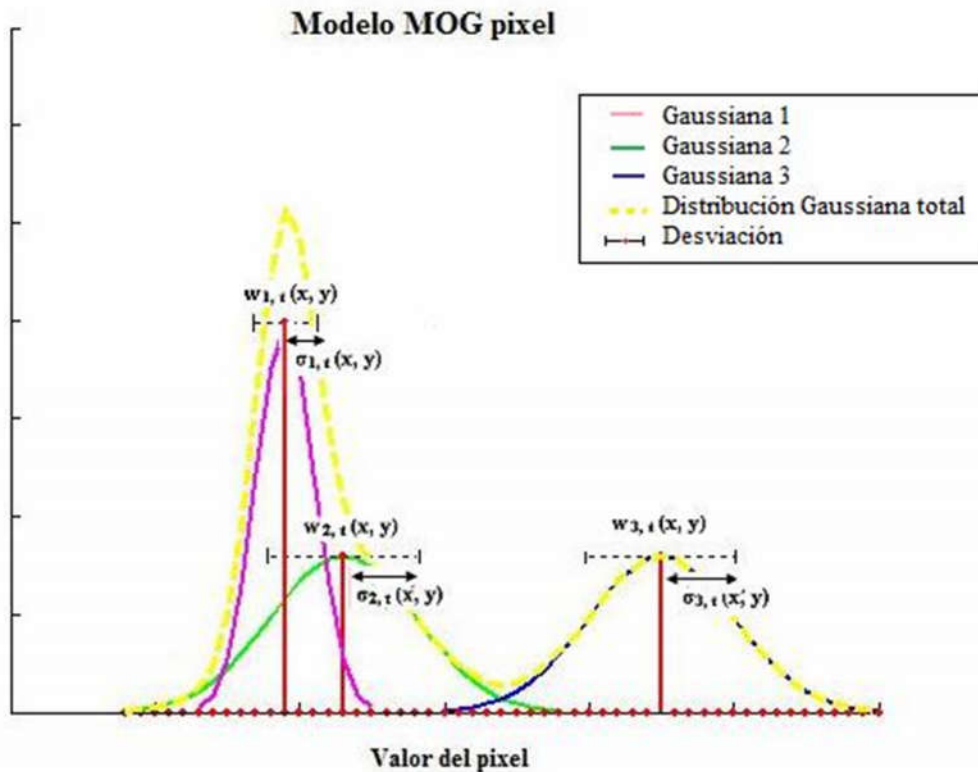


Figura 6-7: Distribución de la Mezcla de Gaussianas de un píxel.

$$F(p_t) = \sum_{i=1}^k w_{i,t} * n(p_t; \mu_{i,t}, \sigma_{i,t}) \quad 6-3$$

$$\sum_{i=1}^k w_{i,t} = 1 \quad , \quad 6-4$$

donde $w_{i,t}$ es el parámetro que indica el peso de la componente Gaussiana i -ésima en el instante t y $n(p_t; \mu_{i,t}, \sigma_{i,t})$ la componente o Gaussiana i -ésima del píxel P_t ,

que posee una media $\mu_{i,t}$ y una desviación $\sigma_{i,t}$, representada por:

$$n(p_t; \mu_{i,t}, \sigma_{i,t}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}\sigma_{i,t}}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(p_t - \mu_{i,t})^2}{\sigma_{i,t}}}$$

Las medias de la Gaussianas (o componentes) son los valores medios que toman los píxeles a lo largo de la secuencia ponderados por un peso. El número de Gaussianas K (componentes por píxel) son típicamente 3-5 y se escoge generalmente en función de las limitaciones de memoria o restricciones de tiempo real.

A continuación, se explicarán paso a paso las operaciones realizadas para modelar el fondo con MoG y extraer el frente.

- **Inicialización de Parámetros**

En primer lugar, se inicializan los parámetros que representan el fondo: media, desviación y peso. Para ello, es necesario tomar una serie de decisiones iniciales; en nuestro caso, hemos inicializado la media de una de las Gaussianas (por ejemplo, la Gaussiana $i = 1$) a la primera imagen y el resto de medias a valores aleatorios. Con ello consideramos que la primera Gaussiana modelará el píxel en la primera imagen. Por este motivo, el peso w o porcentaje de distribución para $k = 1$ debe ser un valor alto (próximo a 1) y para el resto será un valor muy pequeño (próximo a 0), ya que la suma de los pesos de las Gaussianas debe ser 1. En cuanto a la desviación inicial dependerá del tipo de secuencia. Generalmente, se da un valor elevado a las tres componentes.

$$B_1(x, y) = \{\mu_i(x, y), \sigma_i(x, y), i = 1 \dots K\}$$

$$i = 1 \Rightarrow \mu_{i,1}(x, y) = I_1(x, y) \quad \sigma_{i,1}(x, y) = P \quad w_{i,1} = 1$$

$$1 < i \leq K \Rightarrow \mu_{i,1}(x, y) = \text{aleatorio} \quad \sigma_{i,1}(x, y) = P \quad w_{i,1} = 0, \sum_{i=1}^K w_{i,t} = 1$$

- **Estimación del BG y actualización de parámetros**

Para obtener los píxeles pertenecientes al fondo, se calcula la imagen de diferencia entre los K modelos posibles. Si se encuentra parecido con alguna distribución, es decir, si la diferencia difiere en c (2-3) veces el valor estimado de la desviación correspondiente a la distribución, entonces el píxel se marca como fondo y se actualizan los parámetros de dicha distribución a través de una media móvil

$$\exists i \in [1, K] / |I_t(x, y) - \mu_{i,t}(x, y)| \leq c \sigma_{i,t}(x, y)$$



$$\mu_{i,t+1}(x, y) = \rho I_t(x, y) + (1 - \rho) \mu_{i,t}(x, y)$$

$$\sigma_{i,t+1}^2(x, y) = \rho (I_t(x, y) - \mu_{i,t}(x, y))^2 + (1 - \rho) \sigma_{i,t}^2(x, y)$$

$$w_{i,t+1}(x, y) = w_{i,t}(x, y) \quad ,$$

donde el factor $\rho = \alpha \Pr(I_t(x, y) / \mu_{i,t-1}(x, y), \sigma_{i,t-1}(x, y))$, α es un parámetro inicio de la ejecución, y $\mu_{i,t}(x, y)$ es el valor de la media del píxel en el instante t valor del píxel en el instante t.

Las componentes que no han sido marcadas como píxeles de fondo se actualizan de la siguiente forma. La media y varianza quedan con el mismo valor y el peso desciende, lo cual significa que la probabilidad de modelar el píxel con esta Gaussiana disminuye

$$\exists i \in [1, K] / |I_t(x, y) - \mu_{i,t}(x, y)| \leq c \sigma_{i,t}(x, y)$$



$$\mu_{i,t+1}(x, y) = \mu_{i,t}(x, y)$$

$$\sigma_{i,t+1}^2(x, y) = \sigma_{i,t}^2(x, y)$$

$$w_{i,t+1}(x, y) = (1 - \alpha) w_{i,t}(x, y)$$

Para que la suma de pesos siga valiendo uno, se normalizan los pesos:

$$w_{i,t+1}(x, y) = \frac{w_{i,t+1}(x, y)}{\sum_{j=1}^k w_{j,t+1}(x, y)}$$

Si no se ha encontrado parecido con alguna de las Gaussianas que modelaban el píxel, se reemplaza la de menor peso por una nueva Gaussiana de peso muy pequeño y de media el valor del píxel. Con ello, se consigue introducir un modo en la distribución del píxel.

Una vez actualizados los parámetros, para obtener una imagen de fondo se calcula para cada píxel la media ponderada de las K distribuciones:

$$B_1(x, y) = \sum_{j=1}^k w_{j,t}(x, y) \mu_{j,t}(x, y)$$

- **Obtención del FG**

En el proceso de detección de píxeles de movimiento y fondo, en primer lugar, se ordenan los pesos de mayor a menor y se escogen como modelo de fondo de cada píxel las **B** Gaussianas de mayor peso, es decir, aquellas cuyo peso acumulado supere un umbral (por ejemplo, un 0.85). Si para la Gaussiana **b** que supere dicho umbral la diferencia entre la media y el píxel de la imagen actual es inferior a **c** veces su desviación, se considerará píxel de fondo. En caso contrario, será píxel en movimiento Ft (FG) (Schoonees, 2002).

$$B = \arg \min \sum_{i=1}^b w_{i,t}(x, y) > \tau$$

$$\exists b \in [1, B] / |I_t(x, y) - \mu_{b,t}(x, y)| \leq c \sigma_{b,t}(x, y) \Rightarrow F_t(x, y) = 0$$

$$\forall b \in [1, B], |I_t(x, y) - \mu_{b,t}(x, y)| \leq c \sigma_{b,t}(x, y) \Rightarrow F_t(x, y) = 1$$

La mezcla de Gaussianas es un algoritmo complejo algorítmicamente, pero produce buenos resultados. No obstante, presenta un problema de ajuste de parámetros (el porcentaje de la componente de fondo τ , la desviación estándar σ inicial, el número de veces que se toma la desviación de las gaussianas c para decidir entre fondo y movimiento, el factor de aprendizaje ρ , el número total de componentes de Gaussianas K y el número máximo de componentes B en el modelo de fondo) todos ellos con un impacto significativo sobre el desempeño del algoritmo.

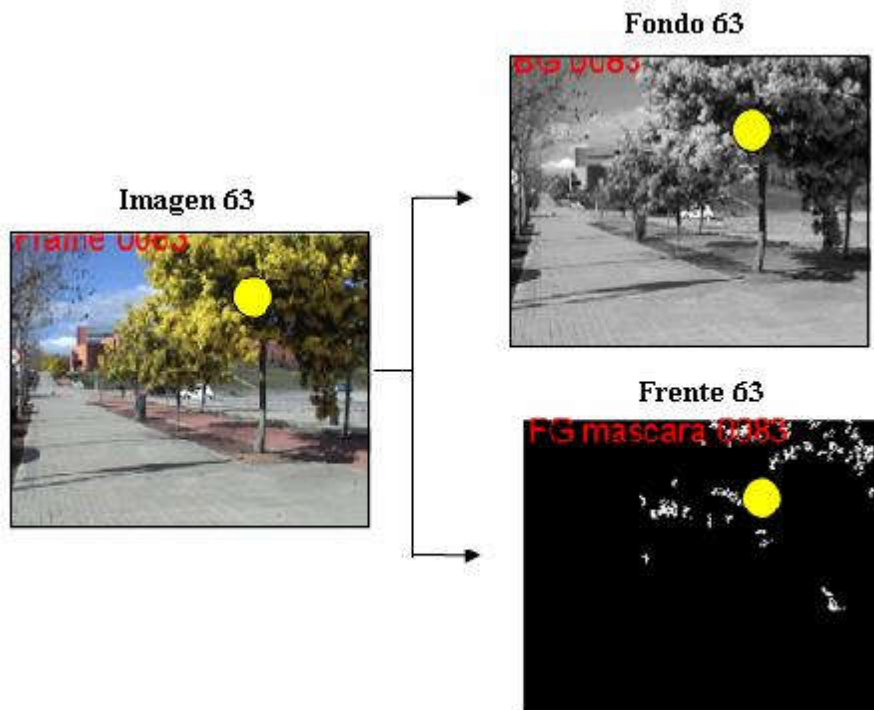


Figura 6-8: Imagen en escala de grises, he implementación MOG

En la figura superior (Figura 6-8) se muestra la imagen actual, el fondo y la imagen de movimiento de la secuencia 'Baile 2' en el instante 63. Se selecciona el píxel de la imagen de fondo situado en la posición (88, 233) marcado con el círculo amarillo en las tres imágenes para observar el valor de sus parámetros y su evolución a lo largo de la secuencia que se muestra en la Figura 6-6.

Imagen 0083: píxel (88, 233) es fondo

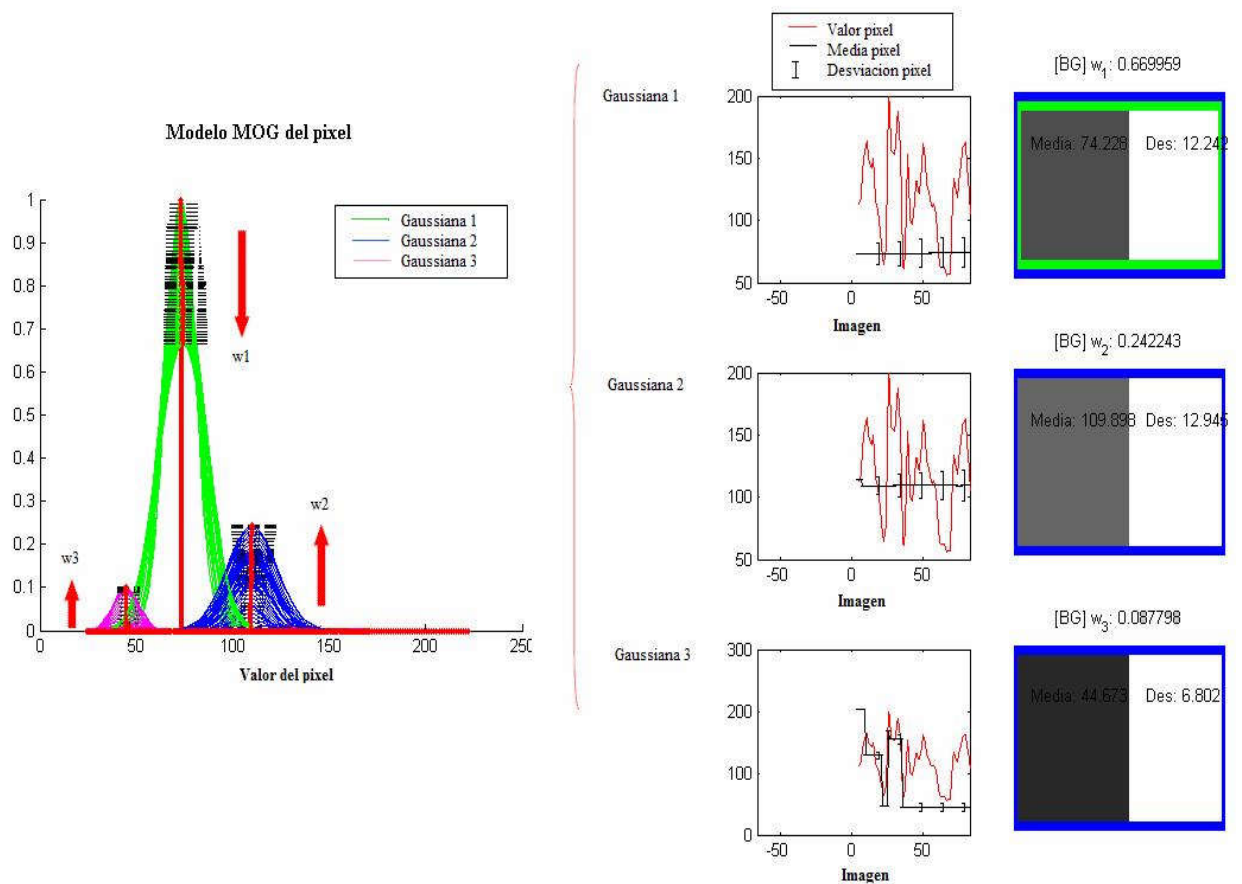


Figura 6-9: Ejemplo del modelo MOG del píxel (88, 233) de la secuencia Baile Multimodal en la imagen 83.

La gráfica de la izquierda representa la evolución de las tres Gaussianas que

modelan el fondo del píxel localizado en la posición (88,233). La de mayor peso (de color verde) disminuye su peso w en el tiempo mientras que las otras dos (de color rosa y azul) lo incrementan. La figura de la derecha representa para cada Gaussiana el valor del píxel en cada imagen de la secuencia (color rojo) y el valor estimado, es decir la media (color negro) y la desviación (barras verticales de color negro). Finalmente, los tres cuadros son el color en tono de gris del valor medio estimado para cada Gaussiana. El píxel es fondo porque su desviación es inferior a la de la primera Gaussiana (rodeada de verde en el cuadrado de media y desviación) y se modela con las tres Gaussianas porque la suma de los pesos es superior al umbral definido en la etapa de extracción de movimiento (Sonsoles 2009).

6.2.2 Método Seleccionado

El método de estimación de fondo elegido será MoG, debido a que es la herramienta que consigue más exactitud, en relación a la tasa de frames y uso de memoria, los cuales se pueden adaptar modificando el número de gaussianas utilizadas.

CAPÍTULO 7

VARIABLES DE MEDICION PARA VEHICULOS EN MOVIMIENTO.

Las variables priorizadas en el MVP (capítulo 5), son: el conteo, la clasificación y la medición de velocidad vehicular. En este apartado, se analizaron los diferentes métodos para la obtención de cada una de las variables priorizadas. Para cumplir con esta tarea, se trabajó en dos módulos base, los cuales fueron implementados con herramientas de OpenCV en lenguaje C++ :

- Extracción de Blobs
- Caja englobante

7.1 Extracción de Blobs

La extracción de blobs, partirá desde el resultado de la imagen obtenida desde la substracción de fondo. Un blob es una estructura compuesta por un conjunto de píxeles adyacentes. Estos píxeles se agrupan de acuerdo a ciertos criterios o parámetros de clasificación. Son tomados como una región de interés y no como simples píxeles separados.



Figura 7-10: Izq.: Imagen resultante de la segmentación. Centro: Imagen resultante de la caja englobante. Der.: Imagen original con caja englobante.

El módulo de segmentación desarrollado, que clasifica los píxeles en movimiento o fondo, nos dará la base para que podamos identificar y extraer los blobs. En este punto, se trabaja con una imagen binaria, que consiste en píxeles negros y blancos, siendo los píxeles blancos aquellos que representan las zonas en movimiento.

7.2 Caja Englobante

Una vez identificados los blobs, procedemos a obtener los contornos de cada uno de ellos, con el algoritmo de Suzuki & Abe (Suzuki, 1985), el cual fue implementado a través de la función *findcontours* de OpenCV.

Una de las herramientas fundamentales para la obtención de las variables priorizadas, será el punto de seguimiento. Este corresponde al centro de la arista inferior de la caja englobante que encierra al blob, ya que se puede tener certeza que este punto debiese encontrarse en el plano de la escena (calzada), y dado que se obtuvo previamente una transformación de homografía entre el plano de la imagen y el plano de la escena, la elección de este punto puede estimar la posición del vehículo en el plano con menor error de proyección. A partir del análisis del movimiento de este punto, podremos obtener variables tales como el carril ocupado, velocidad del vehículo, dirección del movimiento y conteo, entre otros.

En nuestro caso, el proceso de obtención de la caja englobante se logra recorriendo uno a uno el arreglo de contornos. Se genera la caja englobante alrededor de cada contorno de la imagen de movimiento a partir de la definición de cuatro valores. Estos parámetros son el valor mínimo en X (X_{min}), el valor mínimo en Y (Y_{min}), el valor máximo en X (X_{max}) y el valor máximo en Y (Y_{max}). Una vez obtenidos estos parámetros se arma un rectángulo. Esto fue implementado con la función *Rect* de OpenCV.

La Figura 7-2 ilustra un ejemplo de caja englobante y su punto de seguimiento.

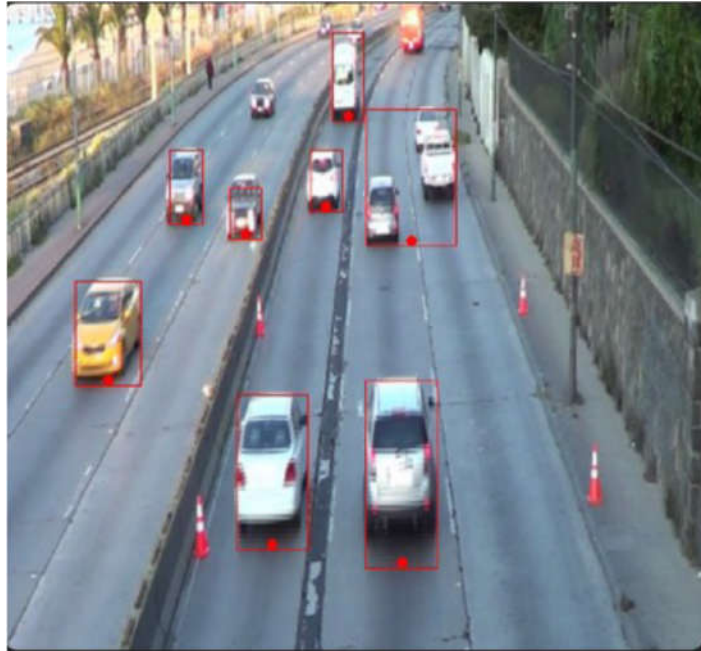


Figura 7-11: Imagen de un blob encerrado por una caja englobante y su punto de seguimiento definido

7.3 Obtención de variables priorizadas para Vehículos en Movimiento

Para este objetivo será necesario definir una región de interés (ROI). Esta región será obtenida desde la interfaz de calibración, la cual será explicada en el capítulo 8. Como se observa en la figura 7-12, esta región tendrá una línea transversal en el centro de la ROI, la cual denominaremos línea de conteo, la que además estará dividida por carriles.

7.3.1 Conteo

Obtenidos los blobs, con su respectiva caja englobante, además de su punto de seguimiento, y caracterizada la región de interés, se utiliza la línea de conteo ubicada en el medio de la ROI, para censar a través del punto de seguimiento el paso de cada

uno de los vehículos. Una vez que el punto de seguimiento pase por la línea de conteo, se procederá a contar el vehículo de acuerdo al carril por el que haya pasado.

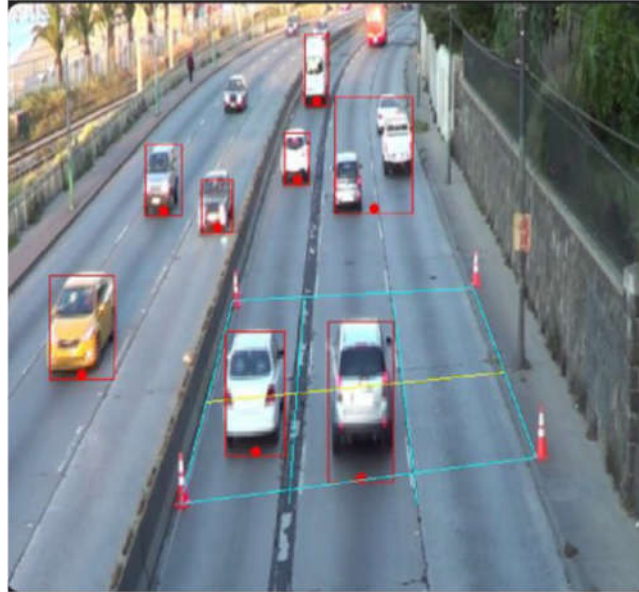


Figura 7-12: Región de interés

7.3.2 Velocidad

Determinada la ROI, como se muestra en la figura 7-12, para la obtención de la velocidad se utilizará la distancia entre conos, la cual es constante. Cuando el punto de seguimiento pase por la línea inferior de ROI, se captura el frame de entrada en el carril correspondiente. Luego se captura el frame de salida, cuando el punto de seguimiento pase por la arista superior de la ROI, del mismo carril referido. Con estos datos tendremos la velocidad promedio de cada vehículo en la distancia ya determinada.

7.3.3 Clasificación

Para obtener la clasificación de cada vehículo, se obtendrá la medición del tamaño de la caja englobante al momento de pasar por la línea de conteo. El tamaño para diferenciar los vehículos livianos de los pesados será configurado desde la interfaz de calibración (capítulo 8).

7.3.4 **Viraje**

El análisis del viraje de los automóviles se hará ocupando una nueva región de interés por cada carril, la cual se configurará en la interfaz de calibración. Los vehículos que ingresen a la ROI crearán un arreglo de datos, el cual guarda la posición del punto de seguimiento en coordenadas cartesianas hasta que este punto abandone esta ROI. El análisis de este vector de puntos dará como resultado el viraje del vehículo.

CAPÍTULO 8

CALIBRACIÓN

Uno de los elementos fundamentales para el funcionamiento de la solución, es la interfaz de calibración. Esta es una herramienta de uso remoto, la cual se conecta con el dispositivo, desplegando una interfaz gráfica. Esta tiene como objetivo configurar las diferentes variables de ambiente y morfológicas, y los parámetros del MoG. Además, es la instancia para configurar la ROI desde la identificación manual con el puntero de cada uno de los conos.



Figura 8-13: Vista de calibración

8.1 Metodología

Para la correcta calibración será necesario mover las diferentes variables, tanto de los operadores morfológicos, como los parámetros del MoG, con el objetivo de mejorar el rendimiento de la segmentación, para así obtener blobs de manera más robusta. Esta robustez se puede verificar visualizando el lado izquierdo de la interfaz, donde se encuentra el foreground (FG). Luego, se procede a la calibración del ROI. Para esto es necesario apretar el botón de calibración, para luego hacer click en el cono superior izquierdo, superior derecho, inferior izquierdo, e inferior derecho. Con estos cuatro puntos, se conformará el ROI de manera automática. Luego de esto, podremos calibrar la posición de las líneas de calibración, el ancho de sensibilidad de la línea de conteo y el tamaño de diferenciación para la clasificación de vehículos, en las diferentes barras ubicadas en la zona inferior del panel. Cuando los parámetros estén configurados, se deberá proceder a guardar, usando el botón *Save*, con lo que estos datos son almacenados en un archivo xml.

8.2 Interfaz

El panel de calibración está dividido en 3 grandes zonas: la primera es el video del FG para la configuración de blobs, la segunda es el video real donde se visualizan las cajas englobantes y la ROI, y la tercera es el panel donde tendremos sliders, paneles y botones con todas las variables a configurar.

CAPÍTULO 9

RESULTADOS

Para el análisis comparativo de los resultados obtenidos por la solución, se obtuvieron videos considerando los parámetros definidos para el MVP (capitulo 5). Se consideraron las horas más críticas del día, que se encuentran durante el atardecer, debido a que se presentan los problemas más relevantes y complejos para el procesamiento digital de imágenes, como son:

- **Aparición de sombras.**
- **Ocultación dinámica.**
- **Alto tráfico.**
- **Fragmentación.**

Se grabó desde las 19:30 horas hasta las 22:00 del día miércoles 18 de noviembre del año 2015, obteniendo los resultados que se expresan en las siguientes secciones.

9.1 Conteo

Para el conteo de automóviles se hizo un análisis por carril desde los videos tomados, generando un conteo manual para el total de las horas grabadas. Los resultados se muestran en la figura 9-1.

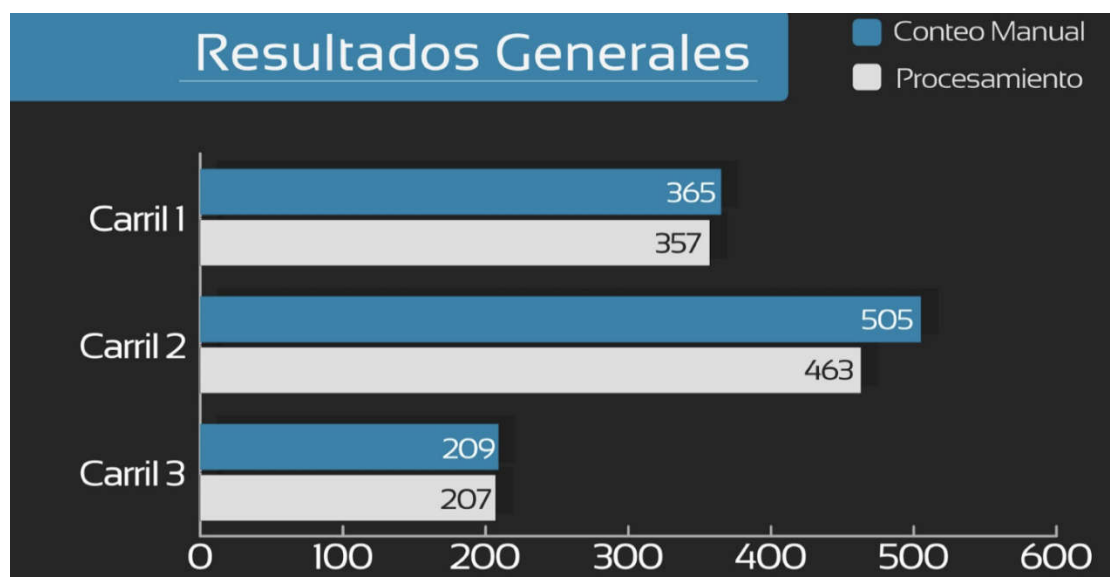


Figura 9-14: Resultados Generales de conteo por carril

Se puede observar que el error promedio de los 3 carriles medidos, es de un 5%. Es importante analizar que existen errores que se compensan de manera conveniente para la solución como son el caso de las oclusiones dinámicas con las fragmentaciones. Esto se verá más claro en el análisis de la clasificación de vehículos. Con estos resultados se puede concluir que, pese a las complicaciones ambientales para el procesamiento de imágenes, la solución entrega resultados muy robustos con 4% de error en la vía total, cumpliendo las expectativas para el proyecto en el caso del conteo de vehículos.

9.2 Velocidad

La obtención de los resultados de velocidad se realizó a través de mediciones estáticas con un vehículo de prueba, el cual mantuvo una velocidad constante durante su trayecto por la ROI. Esto se repitió 5 veces a 2 velocidades diferentes, 80 km/hr y 40 km/hr. Los resultados promedio obtenidos se observan en la figura 9-2.

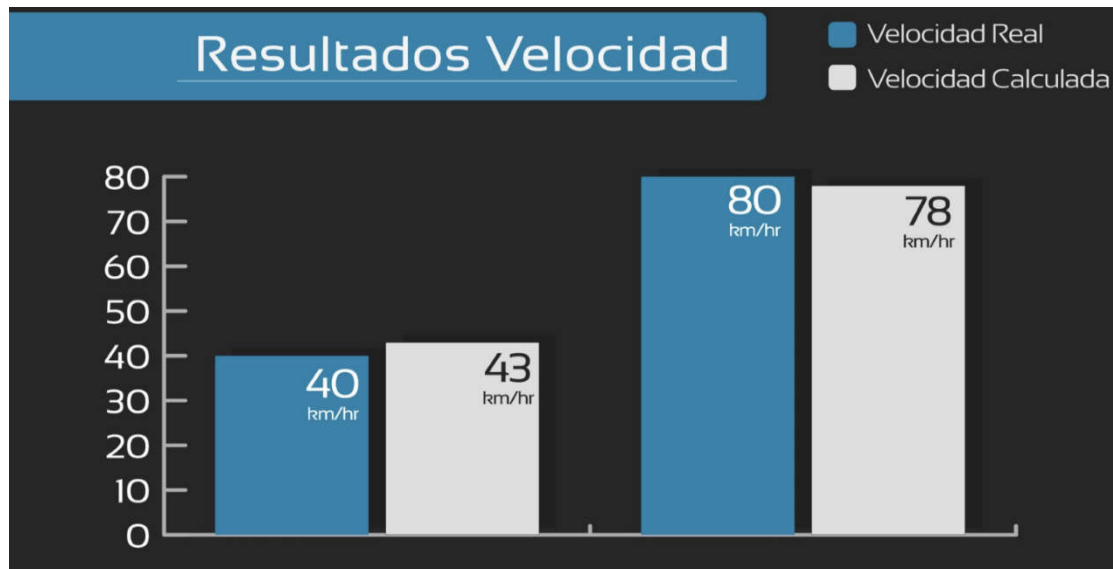


Figura 9-15: Resultados de Velocidad

El error promedio obtenido es de un 8%, el cual cumple con las expectativas de confiabilidad para el dato.

9.3 Clasificación

La clasificación de vehículos se hizo a través de simple observación, considerando como vehículos pesados a camiones, buses, micro buses y vehículos de carga. A su vez, se consideraron como vehículos livianos al resto de motorizados, incluyendo motociclistas. Los resultados obtenidos se observan en la figura 9-3 y 9-4.

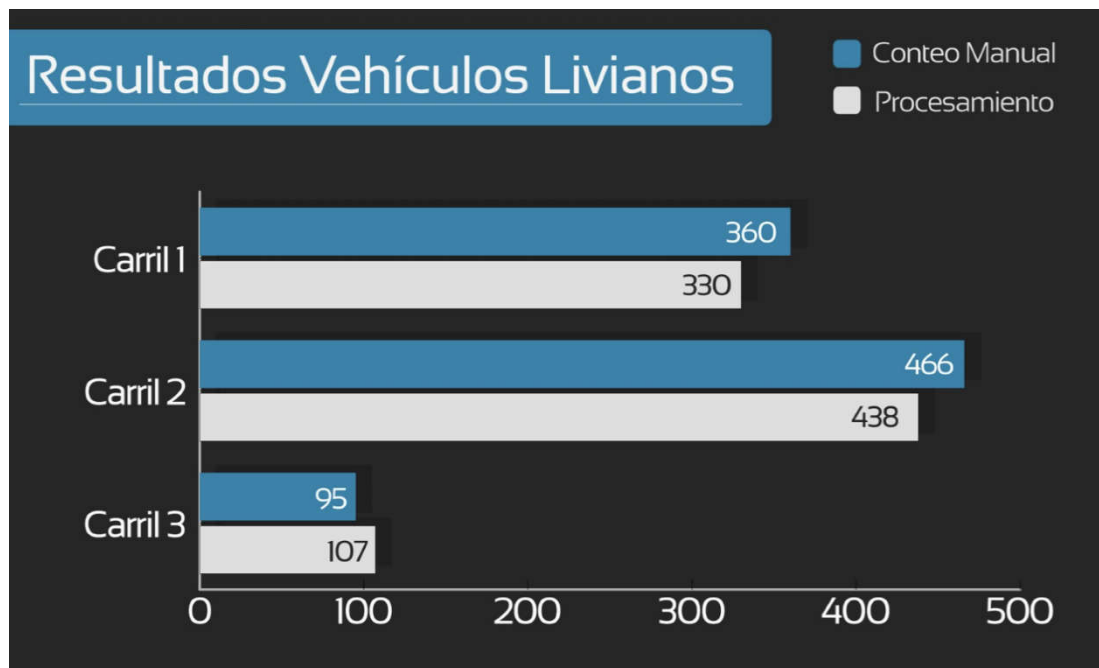


Figura 9-16: Resultados Vehículos Livianos por carril

Se puede observar que en el carril 1 tenemos un error del 8% el cual se puede caracterizar por las ocultaciones dinámicas, las cuales provocan que 2 o más móviles puedan parecer como uno para la solución, además de problemas de sensibilidad en la línea de conteo. El carril 2 tiene un error del 6% por los mismos motivos descritos para el carril 1. El carril 3 tiene un 13 % de error debido a que esta vía tiene alta concentración de vehículos pesados, los cuales al fraccionarse son considerados como vehículos livianos, lo cual explica la aparición de más móviles a los censados de manera manual. Podemos identificar que un problema de vital importancia a mejorar para la solución es el fraccionamiento de vehículos pesados. Pese a esto, el error total

de la vía es de un 5%.

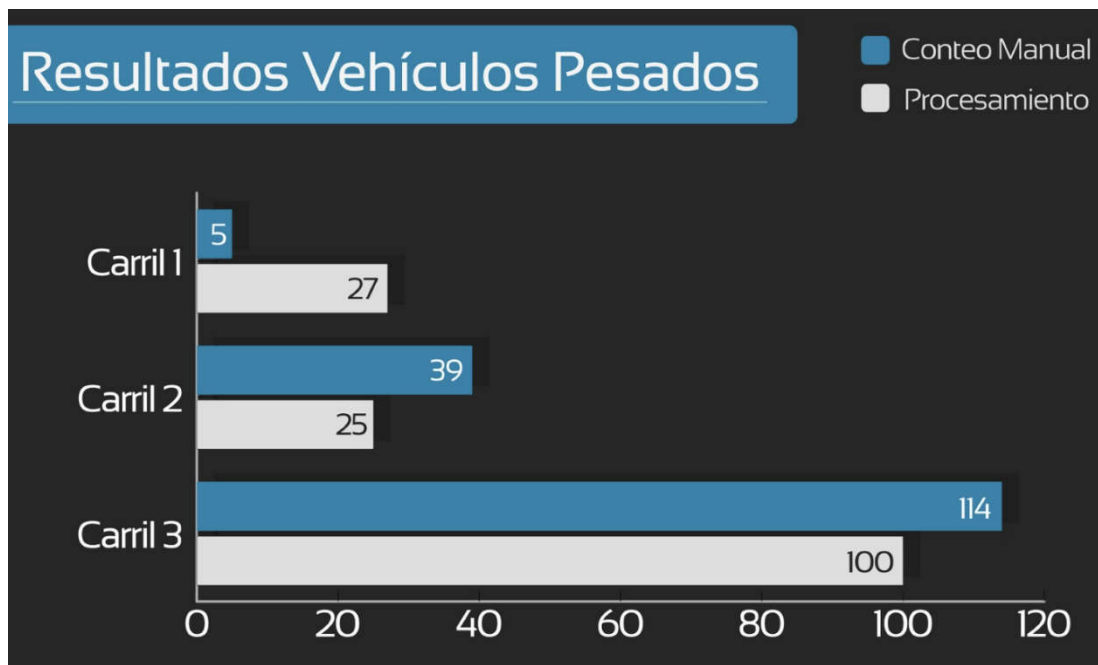


Figura 9-17: Resultado Vehículos Pesados por carril.

El análisis de los resultados de la clasificación de vehículos pesados es el menos auspicioso de las obtenidas, el cual se detallará por carril. El primer carril está caracterizado por tener una cantidad mínima de vehículos pesados, lo cual acentúa los errores obtenidos. El aumento de vehículos pesados es debido al ocultamiento dinámico tanto por vehículos del carril 2, como por vehículos del mismo carril. Cada situación de ocultación provoca la aparición de un vehículo pesado más. El carril 2 tiene problemas muy similares al carril 1. La diferencia es que la ocultación dinámica en la mayoría de los casos es censada por el carril 1 o el carril 3. Esto se suma a los problemas de sensibilidad de la línea de conteo. El carril 3, que está caracterizado por capitalizar el mayor flujo de vehículos pesados, posee problemas de fraccionamiento los cuales se visualizan notoriamente por la cantidad de vehículos censados. Cada fraccionamiento provoca la aparición de uno o más vehículos livianos en desmedro de los vehículos pesados. A esto podemos sumar el problema de sensibilidad de la línea de conteo. Sin lugar a duda, el nivel de error entregado por estas mediciones, dejarán esta funcionalidad como una parte crítica a mejorar.

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema automático de monitorización de tránsito basado en el análisis de video, con herramientas de procesamiento digital de imágenes en un procesador de bajo costo, demostró la factibilidad de poder censar datos del transporte público, cumpliendo con los requisitos establecidos por el MTT: confiabilidad, rapidez y bajo costo.

Durante este trabajo, no fue posible desarrollar un estudio comparativo acabado sobre los costos de la solución expuesta en esta memoria vs la solución actualmente disponible en el MTT (encuesta origen-destino), ya que la solución actual contempla más variables que las consideradas en el sistema propuesto. Pese a no haber desarrollado este estudio, se puede desprender la necesidad urgente de modernizar las encuestas manuales, como herramientas únicas de análisis de los datos del transporte público, para así, tener información más actualizada, confiable y con parámetros claros de evaluación.

El desarrollo de este sistema en base a un MVP (capítulo 5), resulta en un producto funcional, probado en condiciones extremas de flujo de vehículos para su análisis. Pese a esto, quedan por implementar funciones y analizar mejoras para las herramientas ya implementadas, las cuales serán expuestas a continuación.

Al analizar el desarrollo del MVP hasta la obtención de los resultados, se pueden desprender una serie de mejoras. Sobre todo en el área de precisión y obtención de variables, todas estas contextualizadas para procesadores de bajo rendimiento, como son los ARM de las Raspberry Pi.

10.1 Mejoras a la precisión en los datos

Una de las posibles soluciones para los problemas detectados con la captura de datos del sistema, es agregar precisión a través de herramientas complementarias como son:

10.1.1 Modelos 3D

La utilización de modelos 3D para ser asociados a cada vehículo detectado, permiten asociar información real de altura, ancho y longitud a los vehículos censados. Esto facilita clasificar los vehículos de acuerdo a modelos predefinidos (e.g. camiones, buses, camionetas, entre otros) y detectar situaciones de ocultación entre vehículos.

Los métodos basados en modelos 3D son computacionalmente costosos ya que utilizan un modelo que describe la estructura detallada del vehículo. Es por esto que es necesario hacer un análisis acabado del método en la práctica y de su implementación en procesadores de bajo costo.

10.1.2 Segmentación de Colores

Tal cual como se realizó la segmentación a partir del movimiento en el sistema propuesto, es posible hacerlo a partir de los colores obtenidos en las secuencias de imágenes del dispositivo. Para realizarlo, existen diversos algoritmos de segmentación, como son la Estimación-Maximización en RGB y la correspondencia con histogramas de Matiz sobre imágenes HSL. Estas herramientas requieren un volumen moderado de procesamiento computacional y son muy efectivas en ambientes controlados de iluminación, pero no funcionan en situaciones de escasez o saturación de iluminación.

10.2 Casos de uso mejorables o no implementados

Dentro de los caso de uso detectados en la implementación del MVP, se encontraron situaciones esporádicas que necesitan mejoras en precisión o directamente implementaciones nuevas. La primera de estas son los casos de congestión vehicular, o tacos, en los cuales la ocultación entre vehículos se vuelve recurrente y la segmentación por movimiento se vuelve menos efectiva. Otra problemática a enfrentar serán situaciones extremas de luminosidad. La arteria censada cuenta con un alumbrado público óptimo, permitiendo obtener resultados estables durante toda hora del día, es necesario considerar casos de menor luminosidad y estudiar el comportamiento del sistema.

10.3 Nuevas Variables de medición

En primera instancia, en el MVP propuesto, se implementaron variables de velocidad, conteo y clasificación, en una arteria vehicular específica. Estas son variables base para la obtención de datos más complejos y de suma utilidad para el MTT. La medición de estas variables en diferentes puntos clave de la ciudad, nos permitirá medir y diagramar el flujo vehicular total, obteniendo así variables como: el tiempo de viaje entre puntos, rutas críticas, crecimiento del flujo vehicular en las diferentes arterias, utilización del pavimento y rutas de escape óptimas para evacuaciones, entre otras.

ANEXOS

1.1. Anexo

Parámetro	Descripción	Opciones de Solución	Propuesta
Dimensiones	Las dimensiones del housing deberán ser suficientes como para alojar todos los componentes electrónicos y posibles accesorios que se requieran utilizar.	Tamaños que consideren un margen aceptable sobre las dimensiones del microprocesador considerando el espacio que podrían utilizar cables y accesorios. (Raspberry Pi: 85 mm x 56 mm x 21 mm)	Inicialmente las dimensiones propuestas son de: 150 mm de largo, 80 mm de ancho y 50 mm de altura.
Geometría de las piezas	La forma de las piezas debe ser simples.	Generación de piezas planas, que no requieran la realización de procesos que alteren la forma de la componente z	Utilización de materiales que se adquieran en planchas
Fabricación	Su fabricación debe ser simple, sin tener que realizar varios procesos para llegar al resultado.	Métodos de prototipado rápido; impresoras 3D o CNC láser.	Uso del corte láser.
Armado	El montaje del housing no debe ser una tarea compleja.	Utilización de métodos de unión simples como ranuras y calces (slot together), machihembrado o utilización de elementos de fijación tales como tornillos.	Se propone el uso de la técnica slot together, reforzada con el uso de tornillos si es que es requerido.
Accesibilidad	Debe facilitar el acceso a los componentes, de modo simplificar la mantención.	Generación de una tapa que se remueva fácilmente mediante una ranura que actúe como carril deslizante o un pivote.	Ranura que permita el pivote de una de las piezas en un extremo.

Tabla 1: Requerimientos de Forma para Carcasa

1.2. Anexo 2

Parámetro	Descripción	Opciones de Solución	Propuesta
Vida útil	Se espera que el material a utilizar posea una vida útil en la intemperie que sea mayor a 2 años.	Plásticos para exteriores tales como ABS, HDPE, Policarbonatos, Acetatos, Acrílicos, entre otros.	Se propone el uso del acrílico dado que su vida útil a la intemperie ronda los 10 años.
Peso	El material deberá de ser liviano.	Dentro de los plásticos ligeros se pueden encontrar el Acrílico, ABS, Policarbonatos, entre otros.	Se utilizará acrílico, por su baja densidad de 1,18 g/cm ³
Formato de adquisición	Se requiere que el material se adquiera en el formato de planchas.	Policarbonatos, Acrílicos, ABS, HDPE, entre otros.	Se opta por el acrílico.

Tabla 2: Requerimientos de Materialidad para Carcasa

1.3. Anexo 3

Parámetro	Descripción	Opciones de Solución	Propuesta
Resistencia a Precipitaciones	Se debe proveer protección de precipitaciones tales como lluvia, granizo y agua nieve.	El housing debe estar sellado, de modo de prevenir el ingreso del agua. Generación de un techo con pendiente que provoque el deslice del agua evitando que esta ingrese al housing.	Utilización de una cubierta con pendiente, además de proveer un sellado impermeable.
Resistencia a Rayos UV	El material no debe deteriorarse con la acción del sol.	Materiales con resistencia a Rayos UV.	Acrílico, dado que cumple con esta condición.
Resistencia a ambientes corrosivos	Se requiere de un material que no se vea afectado por ambientes corrosivos.	Materiales plásticos tales como el HDPE, ABS y Acrílicos presentan resistencia a la corrosión	Acrílico, dado que cumple con esta condición.
Contaminación por Material Particulado	Se desea que al housing no ingrese material particulado y que este no se acumule en el visor, impidiendo la visualización de las cámaras.	Se puede adherir un limpiador de visor, que evite la acumulación de material particulado. Se considera que si la cámara posee una inclinación hacia abajo de 15° a 20°, el limpiador se hace innecesario dado que la pendiente permitirá que el agua se deslice, limpiando la superficie.	Se considera no implementar un limpiador de visor y optar por proponer una inclinación de 15° a 20° en la instalación del housing.
Resistencia a Altas Temperaturas	Se sugiere que no se superen temperaturas dentro del housing mayores a 40°C, para evitar llegar a las temperaturas límites de operación del microprocesador.	Con el propósito de monitorear la temperatura se puede instalar un termostato, el cual al detectar altas temperaturas activará un ventilador que se encargará de regularlas. Otra solución podría ser la incorporación de ranuras y disipadores.	Incorporación de un termostato que active el ventilador. Además de la generación de pequeñas ranuras que permitan la circulación del aire.

Resistencia a Bajas Temperaturas	Se sugiere que la temperatura del housing no sea inferior a 10°C	Se puede colocar un calefactor que se active mediante un termostato que al detectar bajas temperaturas se active hasta regular la temperatura.	Se considera que no es necesaria la incorporación de un calefactor.
----------------------------------	--	--	---

Tabla 3: Requerimientos de Protección Ambiental para Carcasa

1.4. Anexo 4

Parámetro	Descripción	Opciones de Solución	Propuesta
Acceso a los componentes	Se requiere que el acceso a los componentes dentro del housing no sea simple y pueda ejecutarse con herramientas comunes.	Generación de cierres complejos o utilización de tornillos que sean inusuales y requieran de herramientas más específicas.	Se propone el uso de tornillos poco comunes.
Integridad del Visor	Se desea que el material sea resistente a impactos.	Se puede optar por materiales como Policarbonatos, Vidrio de Seguridad o Acrílicos.	Se utilizará acrílico o un policarbonato.
Resistencia del Housing	Se necesita que el material sea capaz de resistir a impactos.	Materiales como Policarbonatos, Acrílicos, ABS, HDPE se consideran como plásticos de buena resistencia	Se opta por el uso de acrílico.

Tabla 4: Requerimientos de Protección ante Vandalismo para Carcasa

1.5. Anexo 5

Parámetro	Descripción	Opciones de Solución	Propuesta
-----------	-------------	----------------------	-----------

Tipo de Soporte	Se requiere de un soporte que se instale en el exterior y que permita ubicar el housing en altura.	Se puede optar por la instalación de un poste desde el suelo. Otra opción es la utilización de un pedestal adherido a una muralla que actúe como soporte para el housing.	Se propone la instalación de un poste.
Resistencia del Soporte	Es necesario que el soporte sea resistente a fuertes vientos, evitando que exista vibración en la cámara.	Materiales de alta resistencia y de un peso considerable, pueden ser soluciones a este ítem.	Se opta por la utilización de un soporte de metal.
Protección de Cables	El soporte debe otorgar resguardo para las conexiones.	Los cables pueden estar contenidos dentro del poste, una segunda opción es dejar el cableado fuera del poste, a través de un tubo protector.	Se utilizará un poste que permita que los cables pasen dentro de este.

Tabla 5: Requerimientos del Soporte para Instalación

1.6. Anexo 6

Parámetro	Descripción	Opciones de Solución	Propuesta
Gestión de la Instalación	Se debe definir si la instalación del soporte será dentro de un recinto privado o en la vía pública.	Si se opta por la instalación en la vía pública, se deberá solicitar permisos municipales. Otra opción es instalar el poste dentro del recinto de la universidad, para esto es necesario solicitar a infraestructuras permisos para la instalación.	Se optará por la instalación dentro del recinto de la universidad.
Costo del Soporte e Instalación	Se requiere minimizar los costos en el soporte y su instalación.	Se puede confeccionar un soporte o se puede solicitar el uso de un soporte existente.	Se solicitará permiso para utilizar un soporte ya existente.

Ubicación del Soporte	Es necesario determinar un área donde se instalará el soporte, la cual debe ser un área de interés que presente un flujo de tráfico continuo.	Las áreas que presentan un flujo de tráfico continuo que pueden ser observadas desde el recinto de la universidad son Avenida España y Avenida Placeres.	Se propone la instalación del soporte en Avenida Placeres, dado que se considera el aumento de vehículos que circularán por esta vía una vez que comiencen los trabajos viales en Av. España
Altura del Soporte	El soporte debe permitir la instalación de la cámara a una altura que otorgue visión de al menos una de las vías de Avenida Placeres.	En caso de que la altura del soporte existente no fuese suficiente se puede optar por la generación de una base de concreto sobre la que se instale el soporte. Otra opción es generar una extensión metálica del mismo soporte.	Se sugiere la generación de una base de concreto, si es que se da el caso de requerir una altura mayor.

Tabla 6: Requerimientos de la Instalación para Módulo Instalación

REFERENCIAS

- A. Sverdaks, M Liepins. *Vehicle Counting And Motion Direction Detection Using Microphone Array*. Paper, Riga, Latvia: Institute of Electronic and Computer Science Dzerbenes, 2013.
- Argentina, Dirección de Vialidad. «Metodologías utilizadas por la DNV.» *Noticia Mensual Division de Transito*, s.f.:
http://www.vialidad.gov.ar/division_transito/metodologia.php.
- Greene, Margarita, y Fernando Soler. «Santiago: De un proceso acelerado de crecimiento a uno de transformaciones.» Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2004, 48.
- IARC. s.f. http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf.
- Jans, Margarita. «Movilidad urbana: En camino a sistemas de transporte colectivo integrados.» *Aus*, 2009.
- Klein, Lawrence , Milton Mills, y David Gibson. *Traffic Detector Handbook: Third Edition - Volume I*. Vol. I. 2006.
- Ledesma., Francisco Hernán. «SEGUIMIENTO ROBUSTO DE CONTORNOS PARA EL MONITOREO DE TRÁFICO VEHICULAR.» Tesis Grado, Buenos Aires, 2012.
- SECTRA. «Actualización y recolección de información del sistema de transporte urbano.» *Publicacion mensual en web SECTRA*, 2012:
<http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=3253>.
- Sonsoles, Marton Herrero. «ANÁLISIS COMPARATIVO DE TÉCNICAS DE SEGMENTACIÓN DE SECUENCIAS DE VIDEO BASADAS EN EL MODELADO DEL FONDO.» Proyecto Fin de Carrera, Madrid, 2009.
- Subsecretaría de Transportes. «Levantamiento de Información para la gestión operativa de tránsito de la UOCT.» Unidad de Ciudades Inteligentes, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2013.
- Subsecretaría de Transportes. «Levantamiento de Procesos y Datos de la Secretaría de Planificación de Transporte Sectra.» Unidad de Ciudades Inteligentes, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2013.
- Trafico, Centro de gestión de. «Sistema inteligente de transporte, aporte de movilidad a la transformación de Bogotá en una Smart City.» *Movilidad Bogota*, 2015:
<http://www.movilidadbogota.gov.co/?pag=2358>.
- Transportation, US Department of. «A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies use in Intelligent Transportation Systems.» *Office of Highway Policy Information*, 2000:
<https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/pubs/vdstits2007/04.cfm>.
- UOCT. «Camaras UOCT.» *web UOCT*, 2015: <http://www.uoct.cl/camaras/>.