Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica
Página principal: www.riiit.com.mx

Sistema de Análisis del Aforo Vehicular Utilizando la Infraestructura de Semáforos de Tránsito

System of Analysis of Vehicle Count Using Traffic Lights Infrastructure

León-Tejeda, M. A., Verduzco-Ramírez, J. A., Arceo-Díaz, S., Bricio-Barrios, E.E.

Tecnológico Nacional de México. Campus Colima.
marco.leont@gmail.com; averduzco@itcolima.edu.mx; santiago.arceo@itcolima.edu.mx;
elena.bricio@itcolima.edu.mx

Área de aplicación: Tráfico y vialidad, Estudios de ingeniería de tránsito.

Enviado: 18 junio 2020
Aceptado: 09 septiembre 2020

Abstract

Traffic congestion is one of the most common problems in cities, increasing travel times, environmental pollution and noise levels. Accurate knowledge of vehicle flow can allow the design of strategies to reduce it. This work describes the development of a monitoring system, which, when attached at traffic lights, allows registration, storage and processing of the number of vehicles that transit in the vicinity. A graphical interface was programmed using Spring Framework MVC and allows, through a series of filters, to query the collected vehicle information for the development of this work, the Agile Unified Process methodology was used, thus identifying the most appropriate hardware and software elements. With this information, the entities involved in the road and traffic studies will have information that allows them to make better decisions related to the management of vehicle flow in cities, helping to reduce the problems described above.

In the open literature, three strategies have been reported to estimate the vehicle count, such as manual counting, which consists of the face-to-face count of the vehicular flow in some streets of the city where an operator performs the visual count, significantly compromising the quality of the data. To compensate for human error: the incorporation of mechanical systems such as cables or inductive loops temporarily placed in the traffic lanes has been proposed, which allow detecting a vehicle when it passes over them. However, monitoring is carried out in short periods of time, in specific areas, compromising the quality of the results. Recently, it has been proposed to replace manual and mechanical operation by an intelligent counting system based on infrared laser technology that are capable of obtaining the image of the vehicle or advanced systems that can also

identify the occupants of the vehicle such as ultrasonic detectors, infrared and images that are capable of identifying the vehicle and its occupants, among others. These proposals are characterized by being installed in traffic lights to facilitate the identification, counting and classification of high volume of vehicles, as well as the ease of data analysis. Although, this proposal is only limited by the virtual memory capacity of the device and data transfer module; the cost of these devices requires high investment in acquisition and maintenance, limiting the installation of these devices to key points or areas of interest such as ports, airports, and government buildings.

Key Words: Traffic flow, Vehicle classification, Vehicle counting.

Resumen

El congestionamiento vehicular es una de las problemáticas más comunes en las ciudades; incrementando los tiempos de traslado, la contaminación ambiental y los niveles de ruido. El conocimiento preciso del flujo vehicular puede permitir el diseño de estrategias para reducir tal congestionamiento. Este trabajo describe el desarrollo de un sistema de monitoreo, que, al ser montado en los semáforos, permite el registro, almacenamiento y procesamiento del número de vehículos que transitan en la cercanía. Con una interfaz gráfica programada en Spring Framework MVC, permite mediante una serie de filtros consultar la información vehicular recolectada. Para el desarrollo de éste trabajo se utilizó la metodología de Proceso Unificado Ágil identificando así, los elementos de software y hardware más apropiadas. Con el procesamiento de los datos obtenidos, las entidades involucradas en los estudios de vialidad y tránsito contarán con información que les permitan tomar mejores decisiones relacionadas con la gestión del flujo vehicular en las ciudades contribuyendo a reducir los problemas antes descritos.

En la literatura abierta se han reportado tres estrategias para estimar el conteo de vehículos como el aforo manual que consiste en el conteo presencial del flujo vehicular en algunas vías de la cuidad donde un operador, realiza el conteo visual comprometiendo la calidad de los datos significativamente. Para compensar el error humano: se ha propuesto la incorporación de sistemas mecánicos como cables o lazos inductivos colocados temporalmente en las vías de circulación, que permiten detectar un vehículo cuando éste pasa sobre ellos. Sin embargo, el monitoreo se realiza en periodos cortos de tiempo, zonas específicas, comprometiendo la calidad de los resultados. Recientemente, se ha propuesto la sustitución de la operación manual y mecánica por un sistema inteligente de aforo basado en tecnología de láser infrarrojo que son capaces de obtener la imagen del vehículo o sistemas avanzados que pueden identificar también los ocupantes del vehículo como detectores ultrasónicos, infrarrojo e imágenes que son capaces de identificar el vehículo y sus ocupantes, entre otros. Estas propuestas se caracterizan por ser instalados en los semáforos para facilitar la identificación, conteo y clasificación de alto volumen de vehículos, así como la facilidad de análisis de datos. A pesar que, esta propuesta solo está limitada por la capacidad de memoria virtual del dispositivo y módulo de transferencia de datos; el costo de estos dispositivos requiere alta inversión de adquisición y mantenimiento, limitando la instalación de estos dispositivos a puntos clave o zonas de interés como puertos, aeropuertos y edificios gubernamentales.

Palabras Clave: Clasificación de vehículos, Conteo vehicular, Tráfico vehicular.

1. Introducción

La circulación de vehículos es una consecuencia directa del crecimiento de las ciudades, en la mayoría de los casos, resulta inevitable que no haya congestionamiento vehicular en muchas de las vías de circulación; ocasionando incrementos en los tiempos de traslado de los usuarios, e incrementando la contaminación ambiental, los niveles de ruido y el número de accidentes. Por ejemplo, en la figura 1 se muestra el incremento de vehículos registrados en circulación en los municipios que conforman la zona conurbada Villa de Álvarez-Colima desde el año 2010 al 2018.

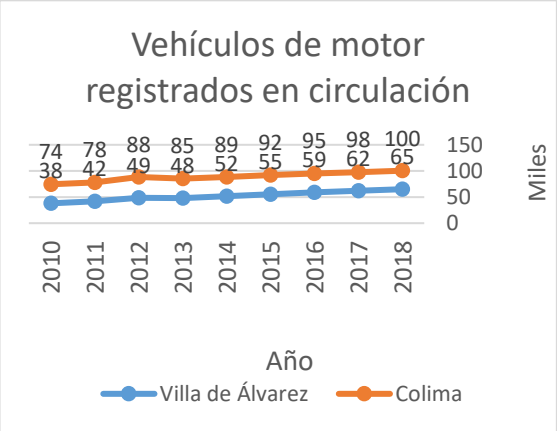


Figura 1. Incremento de los vehículos de motor registrados en circulación en los municipios de Villa de Álvarez y Colima. Fuente: INEGI.

Acorde a la figura 1, el aumento de vehículos en circulación en un lapso de 8 años es de aproximadamente 30 mil unidades en cada municipio, lo cual impacta directamente en las vías de circulación de ambos. En casos como el de la figura 1, se deben considerar tareas como el conteo, registro y clasificación de los vehículos en circulación, ya que pueden contribuir al desarrollo de medidas que disminuyan el congestionamiento vehicular.

Existen varios métodos para el conteo y clasificación de vehículos, entre los cuales se encuentran los aforos manuales, que, en algunas ocasiones y de acuerdo a (Villegas, 2013) esto implica algunas desventajas como la exactitud y confiabilidad de los aforos; dependen del tipo y cantidad de personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona. También existen otras alternativas que han sido establecidas en los últimos años, por ejemplo, el uso de sistemas que emplean cables inductivos; los cuales envían una señal cuando un vehículo pasa sobre ellos, sin embargo tienen algunas limitantes: la instalación y mantenimiento requieren del recorte del pavimento y cierre de los carriles; la precisión de detección puede disminuir cuando requiere detectar una gran variedad de clases de vehículos; esto de acuerdo al manual para obtener los volúmenes de tráfico de la (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2016). Por otro lado, existen herramientas tecnológicas económicas como cámaras de video y actuadores; sin embargo, el rendimiento y exactitud de este tipo de herramientas es aún muy limitado, un ejemplo de ello es el trabajo hecho por (Medrano, Altuve, Belloso y Bran, 2018), los resultados muestran que, los vehículos que circulan cerca de los 90 kilómetros por hora no son detectados o difícilmente el dispositivo los identifica, afectando la precisión del conteo.

Existen algunos trabajos realizados enfocados en el conteo y clasificación de vehículos, como el de (Ramanathan y Chen, 2017), se enfoca en cómo la detección de vehículos por medio de imágenes de video puede ser errónea al momento de la clasificación de los mismos; los autores mencionan que esto se debe a que la mayoría de las veces la sombra de éstos no es eliminada y se toma como parte del mismo cuando circulan en una vía. La causa de este problema radica en el algoritmo desarrollado para la detección del vehículo, aún así, los autores definen este método como un enfoque efectivo, robusto y simple para la detección,

seguimiento, conteo y clasificación de vehículos. Por otra parte (Masutti, Pighín, y Soto, 2017); desarrollaron un dispositivo para la determinación automática del tránsito utilizando una tarjeta Raspberry PI 3, una cámara denominada camera v2.1 y un algoritmo para la detección de vehículos. El objetivo de este trabajo fue medir el tráfico y que, a través de una página web y con el procesamiento de los datos almacenados (recolectados previamente por el dispositivo); generar y recuperar la información del tráfico. Finalmente, de acuerdo a los autores; el dispositivo se debe colocar junto al semáforo para realizar las mediciones.

En un trabajo similar al anterior, realizado por (Cueva y Muñoz, 2017); se implementó un dispositivo para la detección de vehículos utilizando técnicas de visión artificial, una tarjeta Raspberry PI, una cámara y un algoritmo para el conteo de vehículos, clasificándolos en dos tipos: livianos y pesados. Como resultado de este trabajo, los registros obtenidos son almacenados en una base de datos en un servidor remoto, y a través de una aplicación web, se muestra la información analizada estadísticamente y representada a través de gráficos que, indican el número de vehículos en porcentaje de acuerdo a su tipo, porcentaje en el sentido en el que circulan y los horarios en los que circulan más vehículos.

Otro trabajo similar realizado por (Aguirre, De la Pava, Orozco y Vinasco, 2017) mencionan que, la movilidad se puede ver afectada con el incremento de los automotores tanto particulares como del transporte público, lo que compromete a la eficiencia del sistema de transporte. Como solución, los autores proponen un sistema con tres componentes principales: determinar los sensores adecuados para medir las variables asociadas al tráfico vehicular; determinar una herramienta para el procesamiento de los datos que captan los sensores y por último visualizar la información capturada a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en un entorno multiplataforma. El resultado de este trabajo, es un se muestran también en gráficos de acuerdo a rangos de fecha y puntos donde se hacen las mediciones. Por otro lado, en el artículo publicado por (Medrano et al., 2018); se propone un esquema SCADA basado en IoT (Internet of Things) para el conteo de vehículos, colocando sensores en una Unidad de Transmisión Remota (RTU) capaces de detectar los vehículos que circulan por la carretera; almacenar los datos recolectados y consultarlos por medio de una interfaz web. Los autores realizaron las pruebas con el dispositivo colocado en el semáforo.

Por lo tanto, en el trabajo que aquí se presenta como una propuesta de solución al problema, se propone el desarrollo, implementación y construcción de un sistema compuesto por una cámara ANPR (Automatic Number Plate Recognition), un lector RFID (Radio Frequency Identification) en conjunto con los módulos de almacenamiento, procesamiento y adquisición de datos que, acoplado a la red de semáforos, permita la identificación, conteo y clasificación de los vehículos que transitan en una ciudad. Con esta propuesta de solución, se pueden obtener indicadores tales como: la afluencia vehicular y tipos de vehículos que más transitan en determinadas zonas de la ciudad, la cantidad de vehículos procedentes de otras zonas del país; trayendo posibles beneficios como: reestructuración de calles (sentido del flujo vehicular), modificación de avenidas (ampliaciones, por ejemplo) y/o ubicación de zonas con mayor congestionamiento.

2. Metodología

Se elaboró un prototipo a escala siguiendo la metodología de Proceso Unificado Ágil (PUA) de Ambler (2005), basada en la

metodología Rational Unified Process (RUP) de Pressman (2010).

Los materiales empleados para la construcción del prototipo se muestran en la Tabla 1. Se seleccionó la cámara ANPR ya que está especialmente dedicada en la detección de matrículas vehiculares, por otra parte, el lector empleado es similar a los utilizados por el Registro Público Vehicular (REPUVE); a éste se le pueden incorporar dos antenas con entrada coaxial y es capaz de leer hasta 200 etiquetas RFID por segundo. Sin embargo, tienen un costo elevado, respecto a las propuestas antes mencionadas; aun así, los beneficios obtenidos son mayores debido a las características tecnológicas de estas herramientas.

Tabla 1. Requerimientos físicos y de software del sistema.

Material	Características
Cámara	-ARH FreewayCAM ANPR. Velocidad de lectura de matrícula: hasta 255 kilómetros por hora
Lector de etiquetas RFID	-Impinj Speedway R220 Velocidad de lectura: hasta 200 etiquetas por segundo
Elementos del módulo de almacenamiento	-Servidor local o remoto con soporte para PostgreSQL. -Base de datos en PostgreSQL. -Cámara y lector puestos en red
Elementos del módulo de procesamiento	-PostgreSQL 9.6 -PgAdmin 4
Elementos del módulo de visualización	-Java NetBeans IDE 8.2 -Spring Framework MVC 4 -AJAX

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Comparativa de la cámara utilizada con respecto a otras cámaras similares en el mercado.

Características	FreewayCAM ANPR Camera (cámara seleccionada)	Geovision Gv-lpc1100	Cámara Dahua ITC602RU1AHL
Velocidad máxima de detección	255 km/h	120 km/h	200 km/h
Detección de cruce de luz roja	No	No	Sí
Porcentaje efectivo de detección	95%	No especifica	95%
Voltaje de operación	24-28V Corriente Alterna	48V Corriente Directa	90-265V Corriente Alterna
Consumo eléctrico	10-19W promedio, máximo 28W	120W PoE (Power over Ethernet)	87W
Temperatura de operación	-45°C/ +70°C	-40°C/ +50°C	-40°C/+80°C
Dimensiones (sin soporte de cámara)	390 mm de largo x 167 mm ancho x 155 mm de alto	406 mm de largo x 145 mm ancho x 109 mm de alto	540 mm de largo x 205 mm ancho x 143 mm de alto
Costo	$ 2500 USD (aproximadamente $53, 000 MXN)	$ 23,900 MXN (aproximadamente)	De $70,500 hasta $87,500 MXN

Fuente: elaboración propia.

Acorde a las pautas de la metodología, para el desarrollo del proyecto se realizaron las siguientes actividades en cada fase.

1. Fase iniciación

Se identificaron los requisitos funcionales y no funcionales (Figuras 2 y 3).

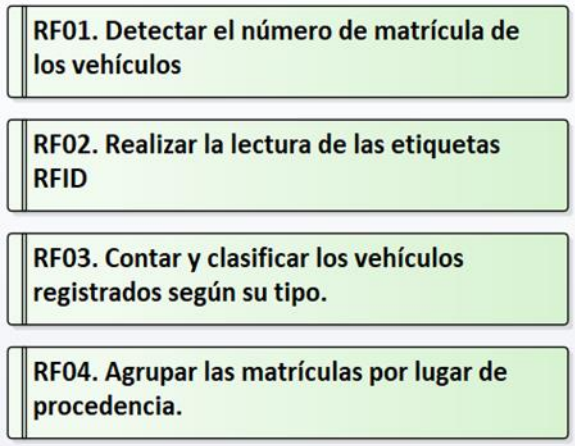


Figura 2. Requisitos funcionales. Fuente: elaboración propia.

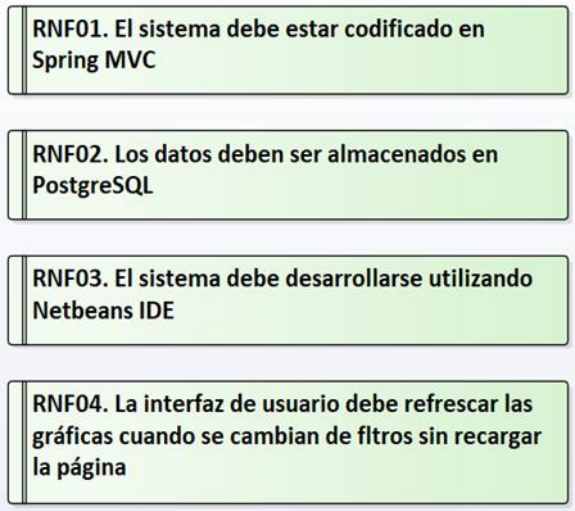


Figura 3. Requisitos no funcionales. *Fuente:* elaboración propia.

Para el modelado de esta fase se utilizó lenguaje UML (lenguaje unificado de modelado); es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema.

2. Fase elaboración

En esta etapa se elaboraron los modelos de casos de uso y requisitos, aunado a esto, se validaron los modelos de clases, de datos e interfaces.

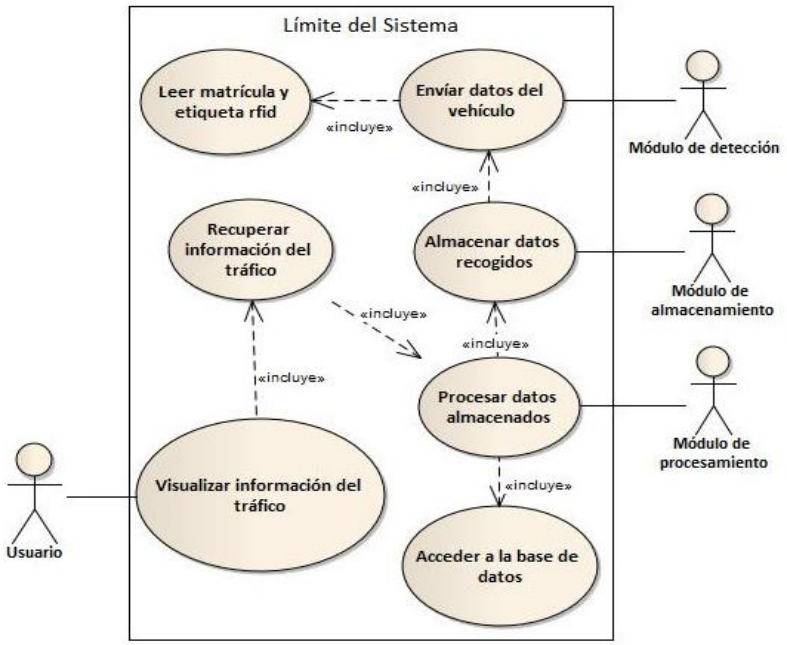


Figura 4. Caso de uso principal. Fuente: elaboración propia.

La Figura 4 ilustra el caso de uso principal del sistema bajo notación UML, donde se muestran las interacciones de los actores con el sistema, desde que se realiza la lectura de datos hasta la visualización de la información del tráfico por parte del usuario. En éste caso de uso, el actor principal es el usuario, quien visualiza la información sobre el tráfico vehicular con base a los filtros seleccionados. Además, se crearon los modelos de clase y de datos. El modelo de clases es un esquema estático de los objetos que representa la estructura y comportamiento de los objetos, junto con sus atributos, operaciones y asociaciones. En cambio, el modelo de datos está orientado a la base de datos, es decir, representa la estructura lógica de la base, lo cual incluye las relaciones y limitaciones al acceso de los datos; este modelo se representó bajo el esquema entidad-relación, éste denomina entidad a toda cosa, persona o lugar del cual se pueden obtener datos; estas entidades tienen sus propios atributos y también se relacionan entre ellas. A continuación, en la tabla 3 obtenida del diccionario de datos, se representa a la entidad conteo por clase de vehículo con su respectivo nombre y composición.

Tabla 3. Del modelo de datos; Conteo por Clase de Vehículo.

Nombre de la tabla: conteoClaseVehiculo			
Campo	**Tipo**	**Tamaño**	**Descripción**
“id_conteoClaseVehiculo”	Integer	Predeterminado	Id del conteo
Id_semaforo	Integer	Predeterminado	Id del semáforo en donde se produce el conteo
Id_claseVehiculo	Integer	Predeterminado	Id de la clase de vehículo que se registra para el conteo
Fecha_conteo	Timestamp(6)	Predeterminado	Fecha del momento en que el vehículo pasa por el semáforo.
Fecha_registro	Timestamp(6)	Predeterminado	Fecha en que se hace el registro en la base de datos
Relaciones			**Campos Clave**
Con cat_semaforo(fk_id_semaforo)			“id_conteoClaseVehiculo”
Con cat_claseVehiculo(fk_id_claseVehiculo)			

Fuente: elaboración propia.

La relación con cat_semaforo y cat_claseVehiculo representan a otras entidades dentro del modelo de datos, por ejemplo, cat_semaforo incluye datos del semáforo como número identificador, nombre asignado y ubicación, mientras que cat_claseVehiculo contiene datos de la clase del vehículo, como tipo de vehículo (automóvil, camión, motocicleta) y su descripción (p.ej. sedan, compacto o familiar, en el caso de los automóviles).

En la figura 5, se ilustra un fragmento de código de un procedimiento en la base de datos; el cual calcula el porcentaje que representa cada clase según el número de vehículos contados.

```
    SELECT COUNT(1) INTO totalv
    FROM "conteoClaseVehiculo"
    WHERE id_semaforo IN(
    SELECT cs.id_semaforo
    FROM cat_semaforo cs
    INNER JOIN destino_semaforo ds on ds.id_semaforo = cs.id_semaforo
    INNER JOIN cat_destino cd on cd.id_destino = ds.id_destino
    WHERE cd.id_destino = destinoid
  );
     FOR datosRow IN SELECT  clv.nombre AS nomclase, COUNT(ccv."id_claseVehiculo") AS total_vehiculos,(ROUND(COUNT(ccv."id_claseVehiculo"))/(
totalv))*100 AS porcentaje
     FROM cat_destino cd
     INNER JOIN destino_semaforo ds on ds.id_destino=cd.id_destino
     INNER JOIN "conteoClaseVehiculo" ccv on ccv.id_semaforo=ds.id_semaforo
     INNER JOIN "cat_claseVehiculo" clv on clv."id_claseVehiculo"=ccv."id_claseVehiculo"
     WHERE cd.id_destino=destinoid AND date_part('YEAR', ccv.fecha_conteo)=anio
     GROUP BY clv.nombre,cd.nombre

    LOOP
      INSERT INTO tmp_porcentajeVehiculos SELECT datosRow.nomclase,datosRow.total_vehiculos,datosRow.porcentaje;
    END LOOP;
```

Figura 5. Fragmento de código de un procedimiento de la base de datos. Fuente: elaboración propia.

3. Fase construcción

Consistió en la implementación de los modelos de clases, datos e interfaces, en el lenguaje de programación seleccionado de acuerdo a las funcionalidades priorizadas por el cliente.

A partir de los modelos en UML obtenidos en las fases anteriores, se procedió a la programación del prototipo propuesto. Se eligió la programación en código Java ya que es una plataforma compatible con la mayoría de los sistemas operativos, y con una extensa documentación con soporte al desarrollo de aplicaciones basadas en este lenguaje. Se utilizó el framework Spring MVC versión 4 para el desarrollo web y PostgreSQL 9.6 para el almacenamiento, ya que estos son de licencia libre y además de la ventaja que PostgreSQL ofrece: un buen soporte a la alta concurrencia de accesos a los registros en la base de datos; ventaja que permite llevar de manera más eficiente el almacenamiento, recuperación y procesamiento de los datos.

Para organizar el desarrollo de esta fase del proyecto, el código del sistema se dividió en unidades funcionales, éstas fueron identificadas y desarrolladas siguiendo el ciclo que se muestra en la Figura 5.

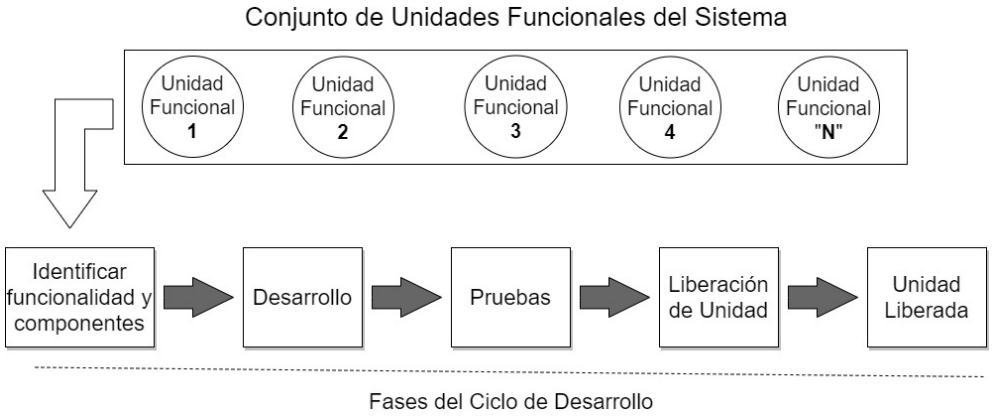


Figura 5. Flujo de codificación de unidades funcionales. Fuente: elaboración propia.

4. Fase Transición

El objetivo de esta fase fue desplegar las funcionalidades desarrolladas en cada iteración. Al disponer de los datos de aforo vehicular obtenido de las etapas previas, se implementó una interfaz en un ambiente Web. Esta interfaz se utilizó como el frontend del sistema, en el cual el usuario tiene la libertad de elegir los filtros disponibles para recuperar de manera selectiva diferentes bloques de información. Para la creación de los gráficos los cuales consisten en gráficas de pastel y de barras, se utilizó lenguaje JSP acoplado al código Ajax, debido a que puede agilizar el despliegue de las gráficas. Este lenguaje también se utilizó para la recuperación y envío de formularios.

5. Fase de Pruebas al Prototipo

Con la finalidad de verificar el funcionamiento del prototipo. Se utilizó un escenario de prueba a escala reducida. Este consiste en un crucero integrado por la intersección de cuatro avenidas localizado en el cruce Constitución y Sevilla del Río en el municipio de Colima ya que es muy concurrido y es una vía que dirige al municipio de Villa de Álvarez. Los cuatro semáforos correspondientes se equiparon con los dispositivos monitoreo. La Figura 6 ilustra el escenario de prueba.

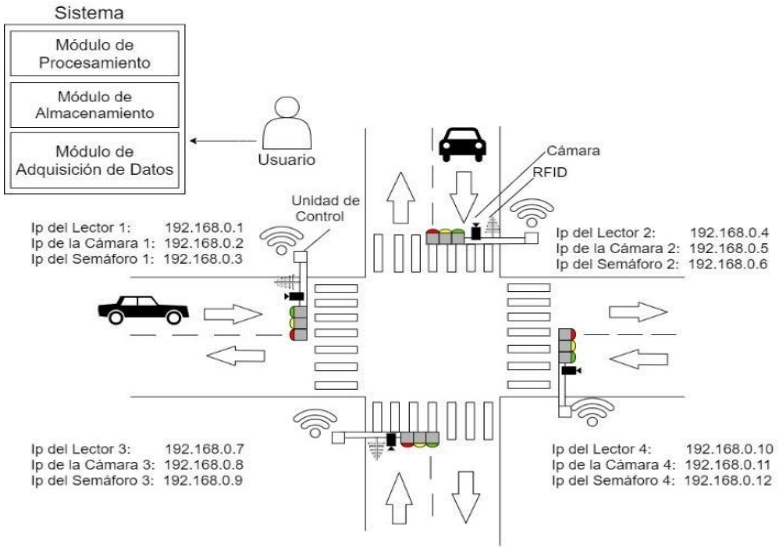


Figura 6. Esquema del prototipo. Fuente: elaboración propia.

El proceso de monitoreo y conteo del aforo vehicular se definió en sesiones con la duración necesaria para contabilizar el paso de vehículos en cada avenida.

El sistema utilizado por el prototipo consta de los siguientes módulos funcionales (Figura 7):

1. Módulo de detección y conteo de vehículos: Se empleó un lector de etiquetas basado en la identificación de radiofrecuencia (RFID), ya que es instrumento utilizado frecuentemente en el conteo de inventarios y de vehículos, esto de acuerdo a (Tapia et al. 2007). En conjunto al lector, se utilizó una cámara de reconocimiento de la matrícula del vehículo (ANPR), la cual ha mostrado un alto desempeño en la detección de violaciones a la luz roja del semáforo en tiempo real, y la detección de vehículos que exceden los límites de velocidad en los cruceros donde es instalada, esto según al artículo publicado por (Amr, Abdelwahab,

Thabet y Abdelsadek, 2011) y Adaptative Recognition, este último es el fabricante oficial de la cámara utilizada en este trabajo.

En la figura 7, se muestra el modelo conceptual de la solución para la detección, conteo y clasificación de los vehículos. Si bien, esta propuesta no es nueva pues ya existen trabajos de éste tipo como el de (Colina, 2012) y (Loza, 2015), su aplicación ha mostrado alto desempeño y sobretodo la generación de información que es útil para estudios de ingeniería de tránsito en las ciudades, esto último de acuerdo al autor (Acha, 2018).

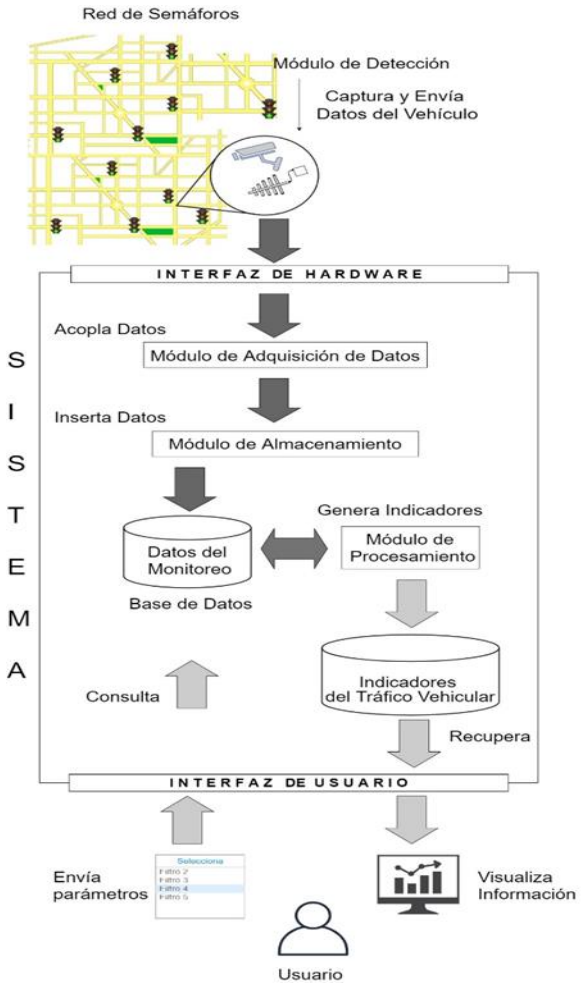


Figura 7. Modelo conceptual de la solución mostrando el flujo de datos en cada componente del sistema. Fuente: elaboración propia.

2. Módulo de almacenamiento: es una estructura relacional desarrollada en el diseño de la base de datos y permite almacenar las lecturas resultantes de la detección de vehículos. Este módulo, contiene el conjunto de datos cuantitativos que, son el ingrediente esencial para el procesamiento y obtención de indicadores del flujo vehicular.

3. Módulo de procesamiento: consiste en un conjunto de instrucciones de código que, a través de filtros utilizados en el sistema, permite obtener los diferentes indicadores del flujo vehicular. Para lograrlo, fue necesario codificar y ejecutar funciones de ordenamiento, agrupación y conteo, programadas en PostgreSQL, con el objetivo de reducir el tiempo de consulta por parte del usuario final. El funcionamiento del módulo de procesamiento comienza cuando el usuario selecciona los filtros de búsqueda (fecha y municipio a analizar) en la interfaz web. Estos son utilizados como parámetros de búsqueda en la base de datos, de forma que, se extraigan y contabilicen solo aquellos registros que coincidan. Una vez extraídos, los datos son ordenados cronológicamente y agrupados por tipo de vehículo. Finalmente, los resultados son enviados a la interfaz de usuario para su posterior análisis.

4. Módulo de visualización: Este módulo tiene la finalidad de mostrar la información procesada al usuario final, esto consiste en la generación de gráficas para facilitar su análisis e interpretación. Para lograrlo, se utilizó el framework Spring Framework MVC mediante páginas

JSP e implementando instrucciones de código AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), siendo así el módulo, capaz de proporcionar datos históricos recabados a través de una plataforma de libre acceso, y baja demanda de cómputo. Los gráficos se incorporaron a un ambiente web para facilitar el acceso de la información desde cualquier dispositivo con acceso a Internet.

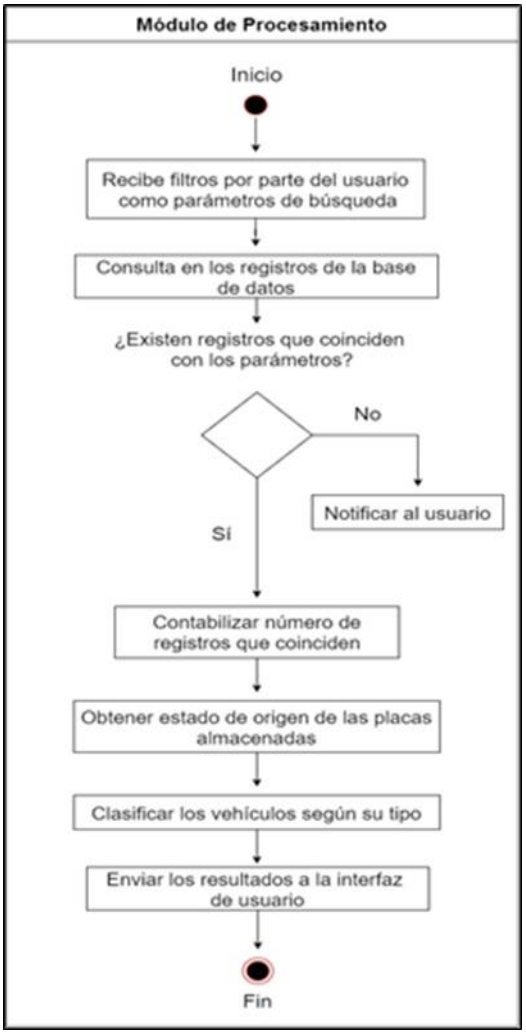


Figura 8. Diagrama de flujo del procesamiento de los datos. Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

La incorporación de los dispositivos de monitoreo al semáforo de tránsito, no afecta la funcionalidad de este instrumento de señalización, ya que las dimensiones de los dispositivos cubren un área de 390 mm × 167 mm × 155 mm (sin base de soporte) por parte de la cámara y 190.5 mm x 175.3 mm x 30.5 mm por parte del lector; tamaños que son lo suficientemente pequeños respecto al semáforo. A la par de la propuesta de un sistema robusto para el monitoreo del aforo de tránsito, este dispositivo posee un sistema de almacenamiento por medio de la inserción de memorias extraíbles para asegurar la permanencia de los datos en un medio físico en caso de existir fallas en la señal de la red.

Al concluir la etapa de montaje del dispositivo, transferencia y despliegue de datos históricos, se evaluó la funcionalidad del sistema. La figura 9 muestra el porcentaje del tipo de vehículos detectados en un año especifico; este es obtenido gracias al módulo de procesamiento que, con la información contenida en las etiquetas permite generar información a través del procesamiento de los datos almacenados, resultando en una gráfica circular en la cual se puede ver el porcentaje de vehículos según su tipo.

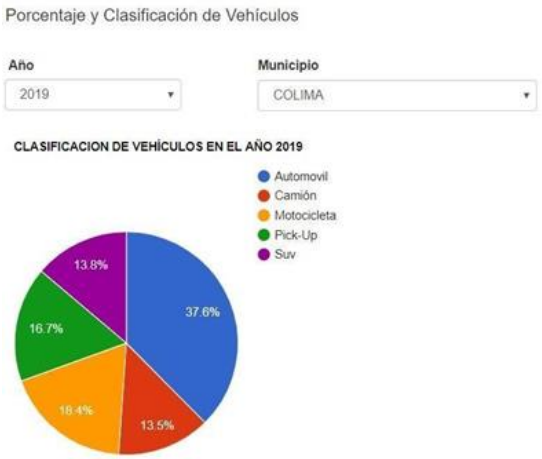


Figura 9. Clasificación por tipo de vehículos. Fuente: elaboración propia.

La figura 10, muestra la cantidad de vehículos detectados con matrícula foránea que circularon por el crucero seleccionado para el monitoreo.

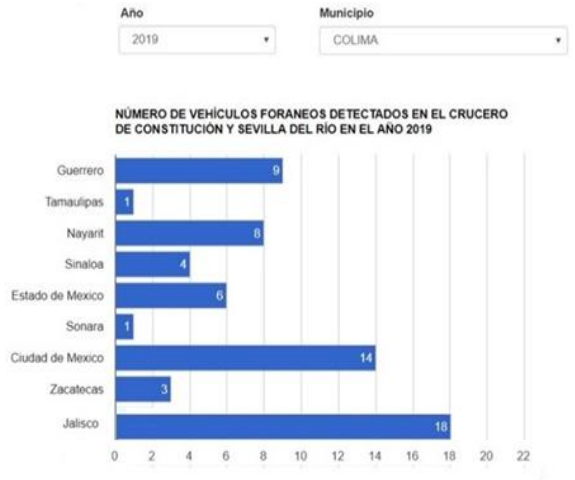


Figura 10. Conteo de matrículas de distinta procedencia. Fuente: elaboración propia.

En la figura 11, se muestra el porcentaje de vehículos de procedencia foránea en comparación del porcentaje de los vehículos locales.

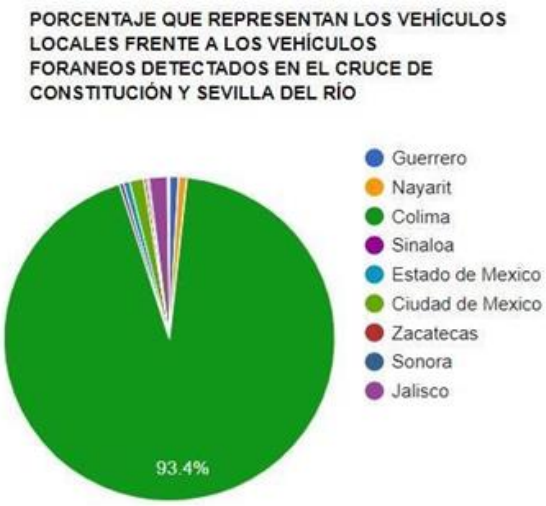


Figura 11. Porcentaje de vehículos con matrícula local frente a los vehículos con matrícula foránea. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Comparación del trabajo presentado con algunos trabajos relacionados.

	Trabajo presentado	Development of SCADA using a RTU based on IoT controller	Medición de Tráfico Mediante IoT Y SIG	Sistema de Análisis de Video para Medición Automática de Intensidad de Tráfico
Codificación del algoritmo de detección	No	Sí	No	Sí
Detección de vehículos	Hasta 255 km/h en la posición indicada en el manual de la cámara. Hasta 200 etiquetas por segundo con el lector RFID	Máximo 60 km/h en una posición adecuada de la cámara	No especifica. Máximo detectado 65.26 km/h.	No especifica
Clasificación de vehículos	Sí	No	No	Sí, generalizada (p. ej. autos y camionetas pertenecen a la misma categoría)
Generación de información	Sí	Sí	Sí	Sí
Visualización de indicadores	Sí	No	No	No
Consulta de la información vía web	Sí	No (sólo en escritorio)	Sí	No

Fuente: elaboración propia.

Aunado a los resultados anteriores; en acuerdo con las autoridades de tránsito del municipio de Colima, se colocó el sistema en 3 sesiones de muestreo en distintos horarios del día, los horarios fueron establecidos por las autoridades de la siguiente manera: el primero de 7 a 10 horas, el segundo de las 13 a las 15 horas y el tercero de las 18 a las 20 horas respectivamente. Las autoridades establecieron el límite de conteo de cada sesión a mil vehículos para el análisis. Las mediciones se realizaron durante una semana para obtener la siguiente información que las autoridades consideraron de su interés: la cantidad de vehículos que son locales, el cual se obtiene con la lectura de la matricula; cuantas veces circuló un mismo vehículo por el crucero, debido a que existen rutas establecidas para las unidades de patrullaje, así como de transporte público.

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos de las sesiones; teniendo en consideración que la duración de cada ciclo de semáforo es de un minuto.

Tabla 5. Conteo por ciclos de semáforo.

Horario	Número de vehículos locales contabilizados (limitado a mil vehículos)	Máximo de veces que pasó un mismo vehículo el crucero	Cantidad máxima de vehículos que pasaron en un ciclo de semáforo	Cantidad mínima de vehículos que pasaron en un ciclo de semáforo
7:00-10:00 horas	979	4	34	22
13:00-15:00 horas	983	7	42	16
18:00-20:00 horas	998	3	16	7

4. Conclusiones

Ha sido posible implementar un sistema que detecta, contabiliza y genera indicadores importantes relacionados con el aforo vehicular, confirmando el objetivo propuesto al inicio de este proyecto. Sin embargo, hubo algunas dificultades técnicas con los dispositivos; en el caso del lector, éste no detectaba las etiquetas debido a que el cable conector de la antena no funcionaba y tuvo que ser reemplazado; el problema respecto a la cámara fue la alimentación eléctrica de la misma, ya que ésta no incluía un adaptador de corriente por lo que se tuvo que disponer de uno que operara entre 24 y 28 Voltios (así lo indica el manual) de corriente alterna para su funcionamiento.

Por otra parte, el software seleccionado para el almacenamiento de datos (PostgreSQL) tuvo un desempeño satisfactorio comprobando así su alta capacidad de concurrencia al momento de guardar los registros obtenidos de las etiquetas RFID; debido a la velocidad del lector empleado pues éste puede leer hasta 200 etiquetas por segundo.

Por otro lado, la ventaja principal es que se obtendrá información más precisa dando paso a la realización de un análisis en retrospectiva que ayude en la toma de decisiones relacionadas con el manejo del tráfico vehicular en las ciudades. Así mismo, el uso de un sistema como el que se presenta, puede proporcionar otros beneficios tales como: determinar los tiempos de estadía en sitios turísticos; monitoreando los puntos de entrada y salida, cuántos vehículos realmente visitan un destino turístico y con qué periodicidad; esto puede ayudar en la mejora de la infraestructura en atención a la demanda del número de autos que arriban. Otro beneficio que se podría obtener, sería la

estimación del tiempo de traslado de un punto a otro en distintos horarios y días; esto en favor a una mejor toma de decisiones sobre el control de tráfico, ya que se podrían determinar zonas con un mayor número de incidentes derivados de la congestión vehicular.

Como trabajo a futuro se contempla desarrollar estrategias de aforo para realizar la validación de los datos obtenidos por el prototipo y evaluar su desempeño. Aunado a esto, se propone minimizar el costo de fabricación de este dispositivo para que sea incorporado en puntos de conflicto de la ciudad.

5. Agradecimientos

Agradezco a mis asesores por brindarme siempre el apoyo necesario y guiarme en los distintos obstáculos que existieron en este trabajo, también agradezco al TecNM Campus Colima por proporcionarme la oportunidad de realizar un proyecto con estas características tecnológicas ampliando mi conocimiento.

6. Referencias

1.Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2018). Vehículos de motor registrados en circulación. (Consultado 2019/03/15). Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/transporte/vehiculos.asp

2.Villegas, Karla. (2013). Medición de Aforos en Carreteras en México. Comparación de los Resultados entre Aforo Automático y Aforo Manual. Recuperado de: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6123/Medici%C3%B3n%20de%20Aforos%20en%20Carreteras%20en%20M%C3%A9xico.pdf?sequence=1

3.Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (SCT). (2016). Manual para Obtener los Volúmenes de Tránsito en Carreteras. Recuperado de: http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual_volumen_de_transito/Manual_volumenes__2016_v2.pdf

4.Medrano, Karens., Altuve, Denis., Belloso, Kelman., y Bran, Carlos. (2018). "Development of SCADA using a RTU based on IoT controller". *IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA).* (pp.17-19). Recuperado de: https://ieeexplore.ieee.org/document/8609700

5.Ramanathan, Abirami., y Chen, Min. (2017). "Spatiotemporal Vehicle Tracking, Counting and Classification". *IEEE Third International Conference on Multimedia Big Data (BigMM)*. (pp.246-247). Recuperado de: https://ieeexplore.ieee.org/document/7966754

6.Masutti, Diego., Píghín, Juan., y Soto, María. (2017). Monitoreo de tránsito vehicular en tiempo real. Recuperado de: https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/1597/P.%20Final%20Grado.UTN%20FRP.Ing.%20Electronica.%20IEEE%20-%20Masutti_Pighin_Soto.pdf?sequence=2

7.Cueva, Wilson., y Muñoz, Fernando. (2017). Análisis, monitoreo e implementación de un algoritmo para el

conteo del tráfico vehicular aplicando visión artificial. Recuperado de: http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6914

8.Aguirre, Erika., De la Pava, José., Orozco, John., y Vinasco, Jennifer. (2017). Medición de tráfico mediante IOT Y SIG. Recuperado de: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/3133

9.Pressman, Roger. S. (2010). Desarrollo Ágil. Ingeniería del software un enfoque práctico (pp.75-76). Recuperado de: http://artemisa.unicauca.edu.co/~cardila/Libro_Pressman_7.pdf

10.Tapia, Dante., Cueli, José., García, Oscar., Corchado, Juan., Bajo, Javier., y Saavedra, Alberto. (2007). 1as Jornadas Científicas Sobre RFID. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Javier_Bajo2/publication/228931313_Identificacion_por_Radiofrecuencia_Fundamentos_y_Aplicaciones/links/02bfe50c8ba3bce80b000000/Identificacion-por-Radiofrecuencia-Fundamentos-y-Aplicaciones.pdf

11.Amr Badr, Mohamed., Thabet, Ahmed., y Abdelsadek, Ahmed. (2011). "Automatic Number Plate Recognition System". *Annals of the University of Craiova, Mathematics and Computer Science Series*, 38(1), pp. 62-71. Recuperado de: http://inf.ucv.ro/~ami/index.php/ami/article/view/388/351

12.Adaptative Recognition. (2020). FREEWAYCAM ANPR CAMERA. Recuperado el 15 de enero de 2020. Disponible en: https://adaptiverecognition.com/products/freewaycam-anpr-camera/

13.Colina, Dagnis. (2012). Sistema de Evaluación, Control Y Distribución de Tránsito Vehicular Basado en Semáforos Inteligentes Para El Municipio Sucre, Ubicado en Cagua, Estado Aragua. Recuperado de: https://www.academia.edu/38732952/UNIVERSIDAD_BICENTENARIA_DE_ARAGUA_FACULTAD_DE_INGENIER%C3%8DA_ESCUELA_DE_INGENIER%C3%8DA_DE_SISTEMAS_MARACAY_VENEZUELA

14.Loza, Washington. (2015). Estudio de Factibilidad del Uso de un Dispositivo de Radiofrecuencia que Permita Recopilar Información para el Análisis del Comportamiento Vehicular en el Distrito Metropolitano De Quito-Caso de Estudio Ciudad de Quito. Recuperado de: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9318/Caso%20de%20Estudio%20de%20factibilidad%20de%20uso%20de%20RFID%20para%20conteo%20vehicular%20Final-Washington%20Loza.pdf?sequence=1&isAllowed=y

15.Acha, Jorge. (2018). Aplicaciones del procesamiento automático de imágenes en la Ingeniería de tráfico (p.7). Sanfandilla, Qro. Instituto Mexicano del Transporte. (IMT). Recuperado de: https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt532.pdf