



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



“ALGORITMO QUE PERMITE EL INGRESO DE VEHÍCULOS A UNA VÍA DE
ALTO TRÁFICO Y DOBLE SENTIDO, BASADO EN PROCESAMIENTO
DE IMÁGENES”

Tesis para optar el título de ingeniero electrónico

Presentado por:
Alex Santos Chávez Córdova

Lima – Perú
2007

RESUMEN

Las intersecciones de tipo “T”, entre una avenida preferencial y una secundaria, son en algunas ocasiones, zonas de congestión vehicular. Esto sucede cuando el flujo vehicular en la avenida preferencial es intenso, lo que provoca que el ingreso de algún vehículo desde la vía secundaria sea bastante difícil y riesgoso. Este trabajo de tesis, plantea como solución, un algoritmo basado en el procesamiento de imágenes, que determine la ubicación, y orientación de los vehículos que deseen ingresar a la avenida preferencial; y así, controlar dispositivos de control de tráfico (semáforos), que faciliten este ingreso.

Para el desarrollo del algoritmo, se trabajó en la intersección entre la avenida Riva Agüero y la salida vehicular de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Se construyó una maqueta a escala (1:50) de la zona de estudio, para facilitar las simulaciones de diferentes situaciones. El algoritmo en mención cuenta con tres etapas, una etapa de pre – procesamiento, en la que se ajustan la resolución y formato (escala de grises) de las imágenes capturadas mediante una cámara de video. Una etapa de procesamiento, la cual comprende diferentes rutinas, como umbralización, aplicación de filtros, operaciones morfológicas, entre otras, con la finalidad de obtener una imagen fácil de analizar. La última etapa es la de análisis, se determina el número de vehículos presentes en la zona de estudio, la ubicación y la orientación de los mismos. La interpretación de los datos obtenidos, permitirán controlar correctamente los semáforos que faciliten el proceso antes descrito.

Los resultados obtenidos son muy acertados, tanto para la determinación del número, y ubicación de vehículos, como en la determinación de la orientación. La eficiencia alcanzada por el algoritmo trabajado en esta tesis, es de 94.5%. Por otra parte, la velocidad de ejecución de todo el algoritmo varía entre 85 y 92 milisegundos, lo que permite trabajar con secuencias de imágenes de 10 cuadros por segundo. La velocidad de muestreo de imágenes es apropiada, considerando las bajas velocidades de los vehículos al ingresar a la zona de estudio.

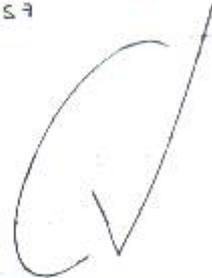




PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Algoritmo que Permite el Ingreso de Vehículos a una Vía de Alto Tráfico y Doble Sentido Basado en Procesamiento de Imágenes
 Área : Procesamiento Digital de Imágenes # 459
 Asesor : Pedro Moises Crisóstomo Romero
 Alumno : Alex Santos Chávez Córdova
 Código : 2009.2316.8.12
 Fecha : 15 de Mayo de 2007



Descripción y Objetivos

El procesamiento digital de imágenes es una técnica muy aplicada durante los últimos años en diversas áreas, como sistemas de vigilancia, control de calidad o en el monitoreo y control de tráfico vehicular, siendo ésta última la de nuestro interés. En diferentes ciudades del mundo existen sistemas de semaforización inteligentes, temporizados dependiendo de la hora del día; cuentan además con cámaras de video, ubicadas de forma estratégica en intersecciones de calles y avenidas para un constante monitoreo. Es muy común encontrar intersecciones en "T" entre una vía preferencial y una secundaria (donde la preferencial es de doble sentido) en el que no se cuenta con semáforos que controlen el tránsito en estas zonas, dado que el flujo vehicular en la vía secundaria es poco frecuente. Esto también sucede en puertas de ingreso o salida vehicular de diferentes instituciones en nuestra ciudad, que se encuentran frente a una avenida de doble sentido, especialmente a determinadas horas, las llamadas horas punta. En este trabajo de tesis, nuestra zona de análisis es la puerta de ingreso vehicular de la Pontificia Universidad Católica del Perú, situada en la avenida Riva Agüero; por ser una avenida de doble sentido, donde los vehículos que salen de esta institución suelen usar ambos, lo cual causa en algunos momentos mucha espera y/o congestión.

Esta tesis plantea un algoritmo, que permita analizar imágenes provenientes de una cámara de video, que detecta vehículos en espera, ubicados en la intersección "T" al salir de la universidad, con la finalidad de obtener datos como dimensión, orientación y ubicación, que determinará la intención del vehículo de tomar un sentido de la avenida. Este algoritmo formaría parte de un sistema semaforico inteligente especial para intersecciones en "T" entre una vía preferencial de doble sentido y una secundaria.

En este trabajo de tesis se simula el proceso de salida de la universidad, con ayuda de una maqueta en escala de la zona de análisis, se usa el lenguaje de programación "C" en entorno Linux, las imágenes están en escala de grises, y en el algoritmo se usan diferentes herramientas de procesamiento de imágenes como resta de imágenes, umbralización, operaciones morfológicas, entre otras.

Tesis No. 100
 2007

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA
 TITULO DE INGENIERO ELECTRONICO

Handwritten signature
 Pedro Moises Crisóstomo Romero



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Algoritmo que Permite el Ingreso de Vehículos a una Vía de Alto Tráfico y Doble Sentido Basado en Procesamiento de Imágenes

Índice

- 1. El control de flujo vehicular en nuestra ciudad y la problemática actual en nuestra universidad.
2. Sistemas de control de tránsito mediante la captura de imágenes.
3. Descripción del algoritmo.
4. Simulación y evaluación de resultados.

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA
Ing. ANDRÉS FLORES ESPINOZA
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



Handwritten signature and name: PEDRO CORTES ROMO

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: EL CONTROL DE FLUJO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE LIMA

Y LA PROBLEMÁTICA ACTUAL EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA

1.1	Estado actual del tránsito vehicular	1
1.2	Problemática actual en la Universidad Católica	4
1.2.1	Identificación de variables que motivan el problema	5
1.2.2	Análisis del problema a partir de variables que influyen en el proceso de salida de la universidad	6
1.3	Fundamentación de la importancia del problema	9

CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁNSITO MEDIANTE LA

CAPTURA DE IMÁGENES

2.1	Introducción	11
2.2	Tratamiento de imágenes	12
2.3	Visión artificial y la tecnología empleada en el control, y monitoreo de flujo vehicular	14
2.4	Síntesis sobre el asunto de estudio	18
2.5	Conceptualizaciones generales	19
2.6	Modelo teórico	21

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

3.1	Objetivo	24
3.2	Requerimientos	24
3.3	Consideraciones	25
3.4	Desarrollo	26
3.4.1	Etapa de pre-procesamiento	28
3.4.2	Etapa de procesamiento	29
3.4.3	Etapa de análisis	34

CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1	Pruebas de simulación	44
4.2	Evaluación de resultados	64
4.2.1	Cálculo de la eficiencia	67

<u>CONCLUSIONES</u>	69
----------------------------	----

<u>RECOMENDACIONES</u>	72
-------------------------------	----

<u>FUENTES</u>	73
-----------------------	----

INTRODUCCIÓN

Diferentes problemas de control de tráfico vehicular suceden en la ciudad de Lima, estos problemas muchas veces ocurren debido a un mal estudio de la problemática, y planteamientos de solución no eficaces. En otros casos el problema se debe a la inexistencia de dispositivos de control del tránsito vehicular en zonas de congestión, y la falta de educación vial tanto de los conductores como de lo peatones.

Los malestares que causan estos problemas suelen ser, la larga espera de los conductores y pasajeros, ante un congestionamiento originado en una vía de alto tráfico, o la imprudencia de algunos conductores, que suelen terminar en accidentes automovilísticos. Este trabajo de tesis centra su análisis en las intersecciones tipo “T”, entre una vía preferencial y una secundaria (donde la vía preferencial es de doble sentido), donde no se cuenta con dispositivos de control de tráfico debido al bajo flujo vehicular en la vía secundaria. Esta tesis analiza específicamente la intersección entre la salida vehicular de la Universidad Católica y la avenida Riva Agüero.

Para el desarrollo de este algoritmo y la simulación del mismo, se cuenta con una maqueta a escala (1:50) de la zona de análisis. La cual será bastante útil para la

simulación de distintas situaciones que se pueden presentar en la zona de estudio. El algoritmo que se desarrolla en este trabajo, permitirá determinar la intención de un vehículo para tomar un sentido de la avenida, al salir de la universidad. Esta determinación se obtendrá a partir del análisis de datos como la ubicación, dimensión, y orientación del vehículo. El algoritmo está basado en el procesamiento de imágenes, recolectadas por una cámara de video ubicada estratégicamente en la zona de análisis.



CAPÍTULO 1

EL CONTROL DE FLUJO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE LIMA Y LA PROBLEMÁTICA ACTUAL EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA

1.1 Estado actual del tránsito vehicular

La situación actual del tránsito vehicular en la ciudad de Lima, es un problema que se debe al gran crecimiento del parque automotor desde hace varios años, en especial, debido al incremento del número de transporte público. El problema también se debe a las malas condiciones de regulación y control de tránsito que atraviesa la ciudad. La falta de sistemas de regulación, el mal estado de los dispositivos de control de tránsito, o la inexistencia de éstos, contribuyen a la problemática actual. No se puede descartar tampoco la falta de educación vial de la población; no se puede generalizar, pero se tiene que tomar en cuenta que muchos de los problemas que ocurren en la actualidad, también se deben a este importante factor. El incumplimiento de las reglas de tránsito, y la informalidad en el proceso de la obtención de los permisos de conducir, afectan también a la situación actual.

Los problemas en el control de flujo de vehicular, se ven reflejados en los malestares que causan, como por ejemplo, la larga espera que tienen que hacer

los conductores y pasajeros, originado por el congestionamiento vehicular, y en el número de accidentes de tránsito que se registran.

Las intersecciones tipo “T”, entre una vía preferencial de doble sentido y una secundaria, son en algunos casos, zonas de congestionamiento, debido a que la vía preferencial es de alto tráfico (durante todo el día, o solo en horas punta), y los vehículos en la vía secundaria, pasan varios minutos sin poder acceder a ella. Esto causa incomodidad en los usuarios de la vía secundaria, debido a la larga espera que tienen que hacer, y al congestionamiento que se origina en esta vía. También hay malestar para los usuarios de la vía preferencial, debido a la imprudencia de algunos conductores de la vía secundaria. Estos intentan acceder a la preferencial, haciendo maniobras peligrosas, atentando contra el bienestar de los usuarios de ambas vías.

Este tipo de intersecciones tipo “T”, se ven también a las salidas de instituciones de diferente índole, y el problema descrito en el párrafo anterior se repite en estos casos. En las figuras que se muestran a continuación, se muestran 3 casos de intersecciones tipo “T”, 2 de ellas corresponden a la salida de instituciones (una de ellas a la salida del Hospital Naval, ubicada en la avenida Venezuela, y la otra a la salida de la Pontificia Universidad Católica del Perú, ubicada en la avenida Riva Agüero), y la tercera corresponde a la intersección entre la avenida Bolívar y la calle Abraham Lincoln, ubicada en el distrito de Pueblo libre. Estos son sólo algunos ejemplos, entre otros muchos en la ciudad.



Figura 1.1. (a) Imagen correspondiente a la intersección entre la salida del Hospital Naval y la avenida Venezuela. (b) Imagen correspondiente a la intersección entre la salida de la Universidad Católica y la avenida Riva Agüero. (c) Imagen correspondiente a la intersección entre la avenida Simón Bolívar y la calle Abraham Lincoln. Imágenes obtenidas con el software Google Earth.

1.2 Problemática actual en la Universidad Católica

Este trabajo de tesis centra su estudio, análisis, y objetivos, en la intersección entre la salida vehicular de la Universidad Católica y la avenida Riva Agüero (observar Figura 1.2). La salida de vehículos de la universidad, presenta un problema y un riesgo para los conductores y peatones que transitan diaria o regularmente esta zona. Aunque no es una situación constante, debido a que el congestionamiento que se origina en esta zona, ocurre mayormente en la tarde y en la noche (horas normales de salida del personal, como de estudiantes de la universidad); el problema que se origina en la zona de estudio, causa los mismos malestares mencionados en la sección anterior, como la larga espera, el congestionamiento en la salida de la universidad, y la imprudencia de algunos conductores.



Figura 1.2. Mapa del campus universitario.

En la Figura 1.3 se observa con más claridad la zona de análisis, y se señala específicamente donde ocurren los diferentes malestares que afectan tanto a los conductores, como peatones que transitan la zona. Se debe tener en cuenta, que hay una entrada peatonal en esta puerta de la universidad, por lo que existe un riesgo latente para los peatones, ante las imprudencias de los conductores.

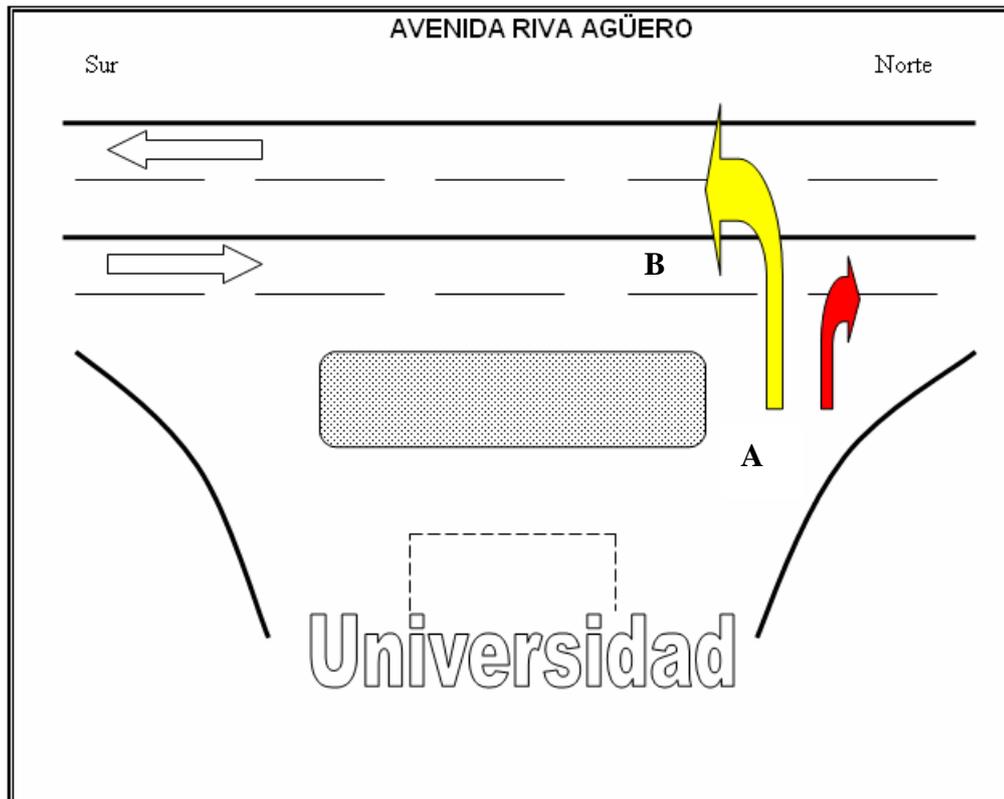


Figura 1.3. Intersección entre la avenida Riva Agüero y la salida vehicular de la Universidad Católica. El punto "A" es la zona de congestionamiento para los vehículos que salen de la universidad. El punto "B" es la zona de riesgo para los conductores de ambas vías.

1.2.1 Identificación de variables que motivan el problema

Denominaremos como proceso, a la acción de ingresar a una vía preferencial de doble sentido, desde una vía secundaria, en una intersección tipo "T". A continuación se mencionan algunas variables que afectan de cierta manera al proceso que se estudia, de una manera general.

1. La “hora punta”, es decir las horas en que el flujo vehicular es intenso, y complica el proceso, lo que origina todos los problemas ya mencionados.
2. La falta de dispositivos de control de tránsito en este tipo de intersecciones, donde el congestionamiento es realmente crítico, lo que conlleva a la necesidad del recurso humano (policía de tránsito) para poder manejar la situación cuando ésta se complica.
3. La falta de apoyo de las instituciones del estado encargadas de regular esta situación, y el apoyo en general de las autoridades municipales, que también forman parte importante de la situación actual del problema.

La tecnología es un aporte importante para la mejora del problema. Buscar el apoyo económico de entidades públicas, o privadas, con el fin de poder manejar la situación, usando correctamente con previo estudio, todas las herramientas necesarias que la tecnología pueda brindar; es una solución que está siendo muy usada en el mundo, especialmente por países desarrollados.

1.2.2 Análisis del problema a partir de variables que influyen en el proceso de salida de la universidad

A partir de esta sección, denominaremos como proceso, a la acción de salir de la Universidad Católica, por la avenida Riva Agüero (salida de automóviles). El proceso se ve afectado por variables que influyen de manera directa en el problema. Variables como el tiempo de espera, el flujo vehicular, la imprudencia de algunos conductores, y la necesidad de la policía de tránsito en algunos casos. Estas variables se pueden representar de manera más clara con el siguiente diagrama de flujo (Figura 1.4), que resume todo el proceso de salida de la universidad.

Se tiene que mencionar, que la intervención de la policía de tránsito en el proceso, no es constante. En la puerta de la universidad en mención, durante las horas punta, se cuenta con la presencia de uno o dos policías a lo más, quienes intervienen en las situaciones críticas antes mencionadas. Al ser una institución privada, la universidad esta fuera de la jurisdicción de la policía; por lo que el contar con la intervención policial ante esta situación, constituye un gasto que hace la universidad, para poder controlar el problema en estudio.



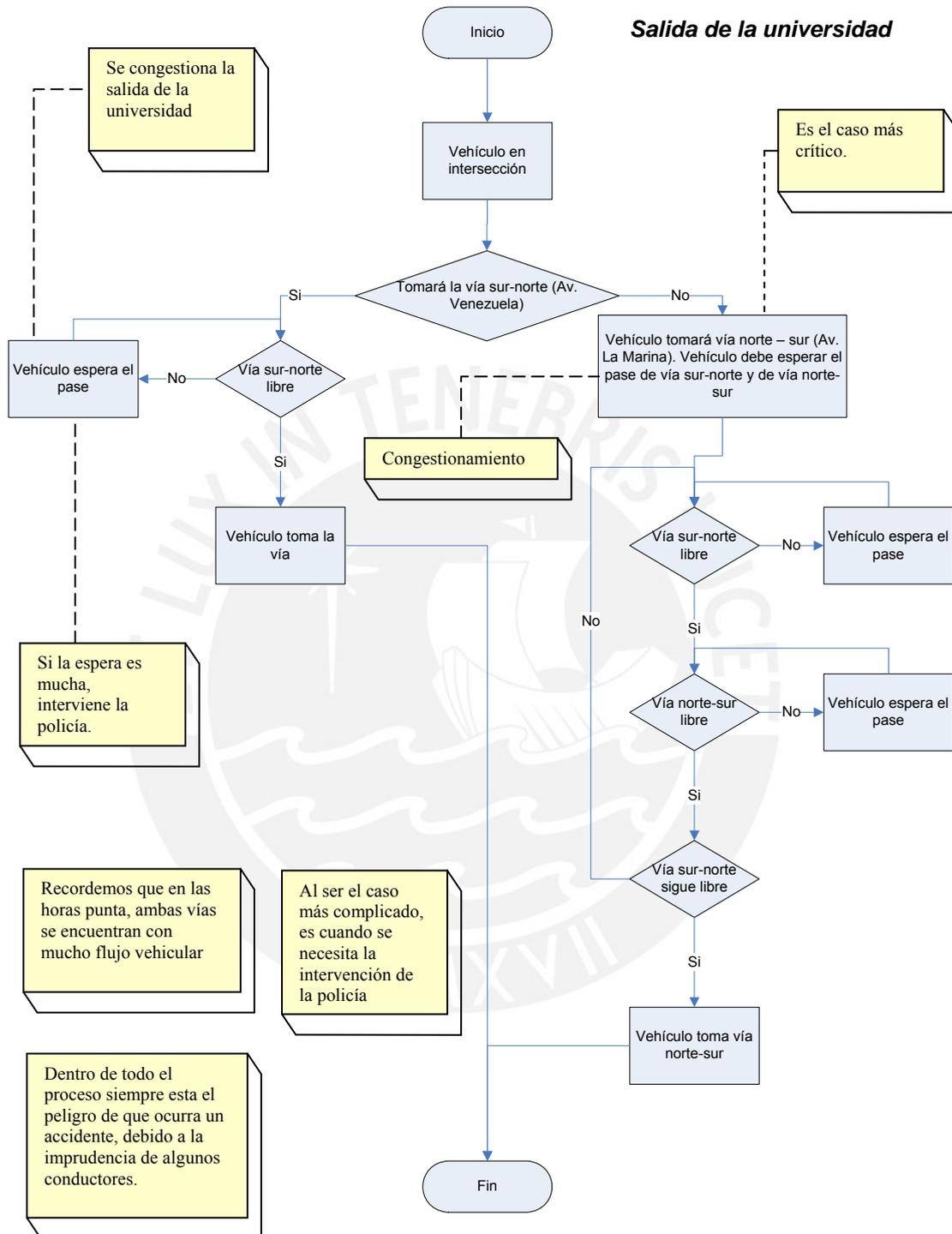


Figura 1.4. Para mejor entendimiento, Observar la Figura 1.3.

1.3 Fundamentación de la importancia del problema

El tránsito vehicular en la ciudad es un problema que aqueja a muchos, y es importante prestarle atención, pues las cifras estadísticas referidas a accidentes de tránsito son alarmantes. Las personas que conducen un vehículo y las que no lo hacen, pero están frecuentemente en algún medio de transporte público, se encuentran en peligro de sufrir un accidente de tránsito. Y es más, los peatones también están expuestos al mismo peligro. Las cifras estadísticas de accidentes de tránsito son aterradoras en la ciudad de Lima. Por ejemplo solo en el 2006 se han registrado 54594 accidentes de tránsito entre fatales y no fatales, y se estima que en el Perú hay 29 muertos por cada 10 mil vehículos [28]. En Europa esto es diferente, pues se estima 2 muertos por cada 10 mil vehículos. Sin ir muy lejos en Chile se estima 7 muertos por cada 10 mil vehículos. Como se puede apreciar, en el Perú la realidad es muy grave, y aunque parte de este problema radica en el parque automotor sobredimensionado, cabe recalcar que también hay mucha responsabilidad en la falta de cultura y educación de los conductores como de los peatones. De la cifra dada anteriormente de accidentes de tránsito en el 2006, el 25% de estos accidentes se debe a la imprudencia de los conductores, el 9% se debe a la imprudencia de los peatones, 1.3% se debe al mal estado de las pistas, y 646 de estos accidentes se debió a una señalización defectuosa o inexistente [9] [10].

Con la finalidad de reducir el número de accidentes de tránsito y su gravedad, las autoridades respectivas vienen proponiendo diferentes métodos, o utilizando diferentes dispositivos para regular esta situación. Pero la falta de un correcto estudio del tránsito no solo no resuelve el problema, sino que hasta en algunos casos empeora la situación.

La intersección entre la salida de la Universidad Católica y la avenida Riva Agüero, constituye una zona de riesgo para los conductores y las personas que transitan en esta zona. Pues las maniobras que hay que hacer para acceder a cualquiera de los 2 sentidos de la avenida, son complicadas, y se espera no lamentar algún accidente en el futuro.



CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO DE TRÁNSITO VEHICULAR

MEDIANTE LA CAPTURA DE IMÁGENES

2.1 Introducción

Desde hace décadas, se está viendo un gran incremento en el flujo vehicular, y por lo tanto se incrementa la necesidad de poder controlar esta situación. Por ejemplo en la ciudad de Lima se puede percibir esto de una manera muy fácil. Todos han sufrido un malestar cuando se viaja en el sistema de transporte urbano, sea con transporte público o con transporte privado, y casi siempre se termina fastidiado con la situación del tráfico vehicular.

Esto también se percibe en grandes ciudades donde el tráfico es muy cargado, tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo. Así, en algunos casos se ha recurrido al uso de la tecnología para poder controlar esta situación, en varios casos se usan cámaras de video cerca de los semáforos, para visualizar la situación en diferentes avenidas, calles, cruces, etc.

Todos los parámetros que se pueden capturar, van a una central de control de tráfico, donde personas encargadas y conocedoras, manejan y controlan los semáforos con el fin de mejorar la circulación del flujo vehicular. Este interesante

método se está dando en varios países como España, Estados Unidos, y sin ir tan lejos, Chile, Brasil, Argentina y otros [25] [26] [27] [32].

En lugares donde no se cuenta con estos sistemas, se recurre a la policía de tránsito, y muchas veces es tanta la demanda que no se pueden cubrir todas las zonas críticas, por eso un sistema automático que pueda afrontar esta situación es una buena idea.

En el presente documento se presentarán los avances actuales en el desarrollo de sistemas electrónicos en el tratamiento de imágenes, y su relación con los sistemas actuales de control de tránsito.

2.2 Tratamiento de imágenes

Se explicará algunos avances notorios en el tratamiento de imágenes a continuación.

El procesamiento digital de imágenes es el conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad, o facilitar la búsqueda de información. Los datos que componen una imagen digital pueden ser agrupados en una matriz espacial. De esta forma se pueden aplicar operaciones matemáticas propias del tratamiento de imágenes como son: la convolución, la transformada de Fourier, u operaciones morfológicas como la erosión, dilatación, Apertura, Cierre, residuo de erosión, o residuo de dilatación [15] [30]. Este es un pequeño resumen de toda la teoría que abarca el procesamiento de imágenes.

Hasta hace relativamente poco, los sistemas de visión artificial sólo trabajaban con imágenes estáticas, trabajaban con velocidades bajas y una cantidad de

información limitada. Pero ahora se puede procesar imágenes a velocidades muy rápidas y mayores volúmenes de información, por eso se buscan algoritmos para el procesamiento de secuencias de imágenes. Aunque esto es una tarea difícil en el campo de la visión artificial, se busca recuperar en una secuencia de imágenes, el flujo óptico, que es la velocidad aparente de la estructura de niveles de gris que constituyen la imagen, así las variaciones en los niveles de gris puede ser debida al movimiento de los objetos [14] [17]. Es así como podemos determinar el movimiento de los objetos, aunque siempre hay una pérdida de información al tratar de plasmar el mundo real en imágenes.

Otro de los avances en el tratamiento de imágenes, es el poder reconocer y representar objetos en 3D de cualquier forma (free – forms). La idea es poder acercarse lo más que se pueda a imitar la visión humana, lo cual trae consigo una árdua tarea para el mundo de la visión computarizada. Es tan grande la variedad de formas, que se comienza con una fase de representación, donde extrayendo todas las características del objeto, siguiendo métodos muy avanzados, se consigue hallar un modelo para el mismo. Luego se pasa a una fase de reconocimiento, donde el objetivo es reconocer el objeto en cualquier posición o escena en la que se encuentre, haciendo la comparación con el modelo obtenido.

En los últimos sistemas de reconocimiento de objetos, había limitaciones debido a que los objetos que se podían representar, estaban limitados en sus formas. Con el nuevo sistema de 3D que se viene trabajando, se tendrá una amplia gama de objetos que se pueda reconocer. El gran desafío que trae consigo este sistema de reconocimiento en 3D, es poder mejorar la representación de una manera más elegante y precisa de los objetos, con el fin de obtener modelos casi idénticos a los reales [1].

Estos avances expuestos anteriormente contribuyen para diferentes aplicaciones en el campo de imágenes computarizadas. Por ejemplo hay un interés y demanda que crece en el desarrollo de sistemas de vigilancias, en lugares públicos y en privados, empleando CCTV (Wide – area – closed –circuit –television), un circuito cerrado de televisión que permite tener una visualización constante de los lugares que están bajo vigilancia.

Inglaterra es uno de los países con mayor población de CCTV, especialmente en lugares públicos como por ejemplo en las redes de transporte público, y en lugares privados. Todo esto, con la finalidad de poder controlar los actos criminales que no escapen de la realidad inglesa. Esta red de cámaras requiere de un personal que pueda monitorear y controlar toda la red, y el gran crecimiento de CCTV hace que la demanda de personal crezca, y al no poder cubrir todo lo que implica esta demanda, se afecta la efectividad del sistema [2] [3].

Con el continuo crecimiento de la tecnología los problemas de vigilancia pueden ser tratados de manera profunda. La visión computarizada es una de estas tecnologías, y para estos problemas se aplica el reconocimiento de rostros, de objetos, el análisis del comportamiento humano, y la transmisión de video/audio por cables o vía inalámbrico (wire or wireless). Junto a estos avances, se vienen desarrollando nuevas aplicaciones en el campo de seguridad a través de la visión computarizada [7].

2.3 Visión artificial y la tecnología empleada en el control y monitoreo de flujo vehicular

Concerniente a la tecnología aplicada al control de tráfico; tenemos las siguientes instituciones: ITS América (Intelligent transportation society of America), es un sistema de los Estados Unidos que abarca todo lo referido a control, comunicaciones inalámbricas o alambicas, y tecnologías electrónicas que se

enfoca al control, y mejoramiento del flujo de tránsito vehicular. Este sistema tiene como objetivos, reducir la congestión vehicular, poder proponer diferentes alternativas de rutas, salvar vidas y ahorrar tiempo y dinero. La ITS cuenta con todas las herramientas necesarias para que el personal especializado en control de tráfico, pueda coleccionar, analizar, y archivar datos del desarrollo del tráfico en diferentes horas, como por ejemplo en la hora punta. Y con esta información poder responder mejor ante diferentes incidentes que se puedan suscitar en el campo [27].

Un ejemplo de aplicación realizada por la ITS, es la llamada ATMI (Advanced Transportation Management / Advanced Traveler Information System), que es todo un sistema que aporta información a los conductores para poder tomar mejores decisiones de rutas. Es decir, con todo un sistema de sensores, cámaras (CCTV), avisos de radio HAR system (Highway Advisory Radio) y otros dispositivos electrónicos, se visualizan las diferentes vías rápidas, o pistas que están incluidas en las zonas de congestión, y con paneles de mensajes CMS (Changeable Message Signs) se le puede comunicar a los conductores, donde ocurre la congestión, y que rutas alternas tomar. Este sistema lo provee la ITS para distintos eventos de gran magnitud, como son conciertos, juegos de basketbol, béisbol, y otros, donde la congestión vehicular crece notoriamente [22].

Para citar otro ejemplo, se tiene el centro de control de tráfico de Jerez (España), similar a los sistemas existentes en los Estados Unidos. Jerez cuenta con una red de cámaras en toda la ciudad, para poder visualizar y controlar el tráfico vehicular. Su tecnología es muy avanzada respecto a otras ciudades, ellos cuentan con fibra óptica para la regulación de los semáforos en tiempo real, lo que con otro tipo de líneas de transmisión se demorarían casi 2 minutos. Toda esta información llega a un centro de control, donde personal especializado, recibe todos los datos para

poder tomar mejores decisiones y descongestionar el tráfico que ocurre en la ciudad [26].

En Chile se cuenta con la UOCT (Unidad Operativa de Control de Tránsito), un organismo técnico dependiente del ministerio de transporte y telecomunicaciones de ese país, cuya principal función es administrar eficientemente el flujo de tránsito vehicular en la ciudad de Santiago. Este sistema permite coordinar y controlar toda la red de semáforos instalados en la ciudad, usando una red de cámaras que operan en tiempo real, transmitiendo información para el correcto control de los semáforos, y para recolectar información valiosa para las estadísticas [25].

Para todos estos sistemas, se cuenta con sistemas cerrados de televisión, para poder visualizar los cruces más conflictivos de las ciudades. La misión es poder detectar congestiones y desde el centro de control poder programar los diferentes semáforos para tratar de solucionar estos problemas. Además se cuenta con letreros que también son controlados desde los centros de operación. Los datos de los que dependen estos letreros también son tomados de la red de cámaras, y su función es poder guiar a los conductores a tomar mejores decisiones en sus rutas, y no congestionar más las vías que ya lo están.

En casos de emergencias, se puede controlar los semáforos para generar ondas de luz verde por la ruta que cubre la zona de emergencia. También se cuenta con un sistema de conteo de vehículos por visión computarizada. Consiste en un software especial que puede ser asociado a cualquier monitor de televisión, y mediante la definición de detectores virtuales, el sistema puede realizar conteos de vehículos, medición de velocidades e incluso el manejo de intersecciones mediante una interfaz especial [11] [12].



(a)



(b)



(c)

Figura 2.1. (a) Centro de monitoreo y control de tráfico vehicular. (b) Imagen correspondiente a una vía de alto flujo vehicular. (c) Imagen nocturna de una avenida con poco flujo vehicular. Imágenes tomadas de las páginas Web: <www.itsa.org> y <www.uoct.cl/uoct/inicio.jsp>

Un ejemplo que la tecnología nos puede brindar en este tema, es lo que está sucediendo en la actualidad en la universidad de Utrecht (Países Bajos), donde se trabaja en un proyecto de semáforos inteligentes. La idea de este proyecto es tener la capacidad de reducir el tiempo de espera que los vehículos tienen que hacer cuando se encuentran ante la luz roja. Esto se puede hacer con la ayuda de muchas variedades de sensores electrónicos, una de ellas puede ser la visión computarizada. Trabajando en nuevos algoritmos para la programación de estos semáforos, la idea es que en un cruce en forma de cruz, el semáforo tenga la capacidad de tomar promedios de tiempos de espera de las 4 vías, y no dejar que

una de estas espere demasiado. La complejidad se ve cuando el semáforo tenga que decidir en que vía tendrá que poner la luz roja y en cual la verde, esto en función de la densidad del flujo de tránsito que se encuentran en las distintas vías. Cabe recalcar que la función principal de estos semáforos es reducir el tiempo de espera ante la luz roja, y hacerlo equitativo para las diferentes vías que incluye el cruce [23].

Como se puede apreciar, hay un gran interés en el desarrollo de tecnología aplicada al control del tráfico vehicular, es un tema que crece intensamente, y es interés de muchos países y ciudades, que buscan el bienestar y aceptación total de sus servicios.

2.4 Síntesis sobre el asunto de estudio

En la actualidad varias ciudades del mundo se están preocupando en brindar mejores sistemas de control de tránsito vehicular. Esto debido al gran incremento del parque automotor en los últimos años; y más aún en ciudades como Lima, donde el parque automotor, los escasos recursos y la falta de educación vial hace de la ciudad un verdadero caos.

Países como Brasil, Chile, España, Estados Unidos, y otros, cuentan con centrales de control de tráfico vehicular, donde se puede visualizar las diversas zonas críticas de las diferentes ciudades donde se cuenta con estos sistemas, y la finalidad es descongestionar el flujo de vehículos. Y mejor aún prevenir a los demás conductores sobre problemas que están ocurriendo, y poder guiarlos por rutas alternas para llegar sin problemas a sus destinos.

Los sistemas de control de tráfico cuentan con diversos tipos de sensores electrónicos para su funcionamiento, pero también cuentan con diversos

dispositivos para la prevención, y alerta al público en general. Se usan medios como la radio, paneles electrónicos con avisos que cambian dependiendo de las circunstancias del tráfico en tiempo real. Los semáforos están acompañados de cámaras, que toman la información de la que dependerá la programación de los mismos. También se cuenta con softwares especiales que con las imágenes capturadas pueden contar los vehículos, medir velocidades, y hasta manejar intersecciones. Los semáforos inteligentes tienen la capacidad de poder programarse automáticamente, para mejorar el flujo vehicular y poder favorecer a los conductores, impidiendo la pérdida de tiempo ante una larga duración de la luz roja.

Estos sistemas son el futuro en el control del tráfico vehicular, y los avances vienen creciendo y mejorando para su consolidación. Se busca no solo el poder manejar problemas en tiempo real sino también poder prevenir y ayudar a los conductores a tomar mejores rutas para su destino final. La visión artificial es una gran herramienta para estos fines.

2.5 Conceptualizaciones generales

- **Imagen digital:** Una imagen digital es una matriz de números que representan valores de iluminación en puntos regularmente espaciados de la imagen de una escena.
- **Tratamiento de imágenes:** Se define así, como el procesamiento de los datos que comprenden una imagen.
- **Píxel:** El píxel (del inglés picture element, o sea, "elemento de la imagen") es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital, ya sea una fotografía, un fotograma de video o un gráfico.
- **Operaciones morfológicas:** Son operaciones matemáticas sobre un píxel teniendo en cuenta los píxeles vecinos.

- **Dilatación:** La dilatación, es la primera de las dos operaciones básicas de la morfología matemática. Consiste en tomar cada píxel de la imagen (con valor "1") y setear al valor "1" todos aquellos píxeles pertenecientes al fondo (background) que tienen una conectividad con el píxel del objeto. En pocas palabras, poner a "1" los píxeles del fondo vecinos a los píxeles del objeto
- **Erosión:** Segunda operación básica de la morfología matemática. Consiste en tomar cada píxel del objeto que tiene una conectividad con los píxeles del fondo (background) y resetearlo al valor "0". En otras palabras, poner a "0" los píxeles del objeto vecinos a los píxeles del fondo.
- **Visión artificial:** La visión artificial, también conocida como Visión por Computador del inglés "Computer Vision", es un sub-campo de la inteligencia artificial. El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen.
- **Niveles de Gris:** Se denomina así a los valores de iluminación de los píxeles que conforman una imagen.
- **Umbralización:** Se basa en seleccionar un nivel de gris (umbral) por debajo del cual consideraremos los píxeles pertenecientes a los objetos, y por encima pertenecientes al fondo. Es muy utilizado en problemas en los que las condiciones luminosas están controladas.
- **Histograma:** Un histograma es un resumen gráfico de la variación de un conjunto de datos. La naturaleza gráfica del histograma nos permite ver pautas que son difíciles de observar en una simple tabla numérica.
- **CCTV:** (*Wide – area – closed –circuit –television*) Es un circuito cerrado de televisión que usa cámaras, que captura diferentes imágenes y las transmite a un receptor que en lo general son monitores que nos permiten visualizar lo que las cámaras capturan.

- **ITS:** Sistema inteligente de transporte, cuenta con todo un sistema de tecnología electrónica, para el control y manejo del flujo de tránsito, para reducir la congestión y para ofrecer rutas alternas a los conductores.
- **ATMI:** Sistema administrativo e informativo de transporte avanzado de la ciudad de “Valey” en San Diego - Estados Unidos. Brinda toda la información necesaria con respecto al tráfico de la ciudad.
- **HAR system:** Sistema de radio para conductores en las vías rápidas, que es usado frecuentemente por la policía de los Estados Unidos, para avisar a los conductores sobre congestiones vehiculares.
- **CMS:** Son paneles de mensajes y signos variables en el tiempo, que cumplen una función similar a el HAR system.
- **UOCT:** Unidad operativa de control de tránsito de la ciudad de Santiago de Chile, cumple la función de controlar y manejar el flujo de tránsito de esta ciudad, es el análogo de la ITS.

2.6 Modelo teórico

Para la zona de estudio y análisis, la intersección entre la salida de la Universidad Católica y la avenida Riva Agüero (Figura 1.3), la visión artificial será la herramienta fundamental para el desarrollo de este trabajo de tesis. Imágenes en escala de grises serán recolectadas mediante una cámara de video en la zona de estudio. Estas imágenes serán procesadas por el algoritmo que se propone en este trabajo como tema de desarrollo; el cual proporcionará los datos necesarios para poder manejar el proceso de manera automática (controlando semáforos por ejemplo).

El procesamiento de imágenes, permitirá determinar el posicionamiento de los vehículos en la intersección en mención, las dimensiones de estos, y la orientación

de los mismos. Con estos datos, podemos anticipar las intenciones de los conductores al tomar uno de los 2 sentidos de la avenida; y así, agilizar el acceso de los vehículos a ésta, minimizando los malestares ya explicados. A parte se podría llevar un conteo de los vehículos que salen de la universidad a diferentes horas del día, con un fin estadístico.

A continuación se muestra en la Figura 2.2, la representación gráfica del modelo teórico.



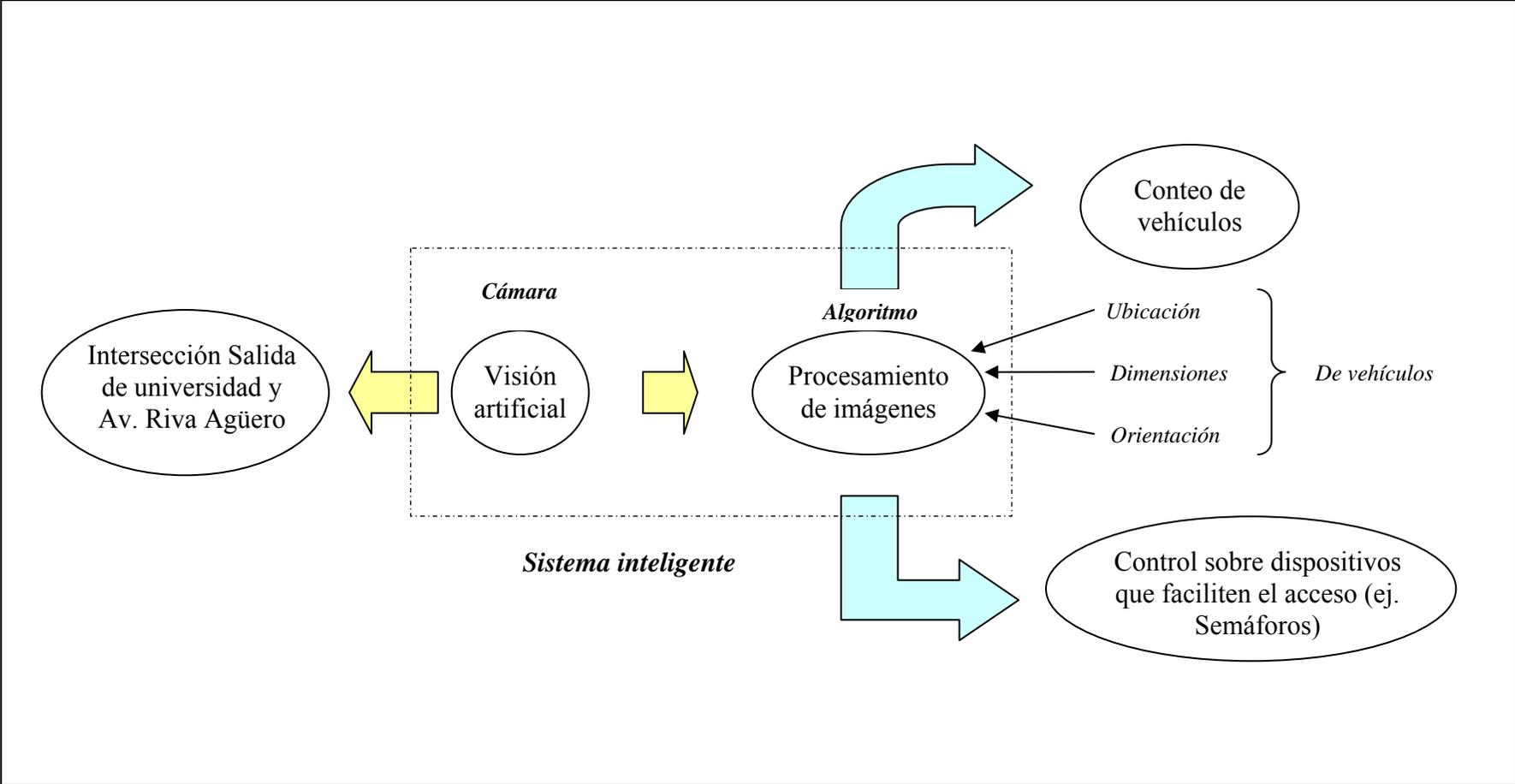


Figura 2.2. Representación gráfica del modelo teórico

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

3.1 Objetivo

El objetivo principal de este algoritmo, es determinar la presencia, ubicación y orientación de los vehículos que desean ingresar a una avenida de alto tráfico y doble sentido, desde una vía secundaria en una intersección de tipo “T” (ver Figura 1.1). Es decir, predecir a cual de los 2 sentidos de la avenida, el vehículo desea acceder; esto permitiría tener un control automático sobre semáforos, que faciliten el acceso a la avenida, previniendo el congestionamiento, malestares, y sobre todo accidentes en la zona de estudio.

Una intersección tipo “T” se presenta en la intersección entre la avenida Riva Agüero y la salida de la Universidad Católica. Este trabajo de tesis dirige los objetivos planteados a la intersección mencionada.

3.2 Requerimientos (Elementos utilizados)

- Una computadora personal, Pentium IV, 512MB de memoria RAM como mínimo, y sistema operativo Linux.

- Programa VIP4L “Video and image processing for Linux”, desarrollado en lenguaje C, elaborado por el grupo GPDSI de la Pontificia universidad Católica del Perú.
- Cámara analógica de video NTSC SONY, modelo CCD – TR940.
- Una maqueta de la zona de estudio y análisis en escala 1:50.
- Vehículos a escala.

Se utiliza el sistema operativo Linux, ya que es un software libre, muy popular entre muchos programadores y desarrolladores, incorpora una gama de sistemas de interfaz gráfica (ventanas), de igual o mejor calidad que otras ofrecidas en muchos otros paquetes comerciales. Utiliza varios formatos de imagen que son compatibles con casi todos los sistemas operacionales utilizados en la actualidad (JPG, BMP, GIF). Se usa el programa VIP4L versión 1.0, un programa diseñado para el procesamiento y análisis de imágenes y video, elaborado por el grupo GPDSI de la Universidad Católica. Este software cuenta con varias herramientas que ayudarán al desarrollo del algoritmo en estudio. El programa está desarrollado en lenguaje C, lo cual permite con facilidad la modificación, y creación de nuevas funciones, para alcanzar con éxito los objetivos trazados.

3.3 Consideraciones

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones para el desarrollo del algoritmo:

- Todas las pruebas y diferentes simulaciones se realizaron con la maqueta expuesta a luz natural, durante el día y la tarde, no se ha trabajado con luz artificial.

- No se ha trabajado con vehículos a escala que sean réplicas de camiones, ómnibus, o motos. Todos los vehículos son modelo sedán.
- Los colores de los automóviles son claros. No se ha trabajado con colores oscuros, ya que en la escala de grises, los vehículos de color oscuro, son difíciles de rescatar con la umbralización (se confunden con el color de la pista).
- La disposición de la cámara se puede apreciar a partir de la Figura 3.1 y 3.3. La escala de la maqueta y de los vehículos es de 1:50, conservando esta escala, la cámara está ubicada a una altura de 0.35 m y con un ángulo de 85° con respecto a la horizontal, aproximadamente.

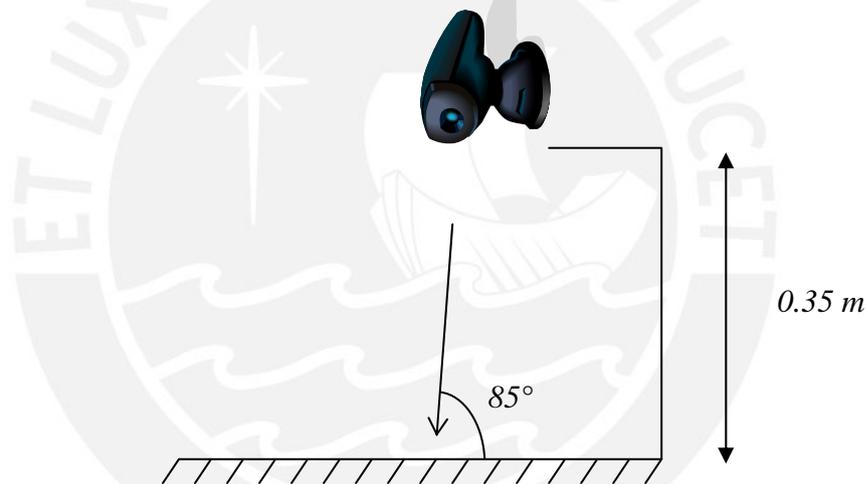


Figura 3.1. Disposición de la cámara de video con respecto a la superficie de la maqueta.

3.4 Desarrollo

Para poder tener acceso de una manera cómoda y económica a la zona de estudio (intersección entre avenida Riva Agüero y la Universidad Católica), se decidió construir una maqueta de la zona de análisis en una escala de 1:50. Esta maqueta será una herramienta fundamental en el desarrollo de este trabajo de tesis.

En las figuras a continuación se muestra la maqueta en mención, la zona específica de análisis, y una disposición de vehículos en ella.

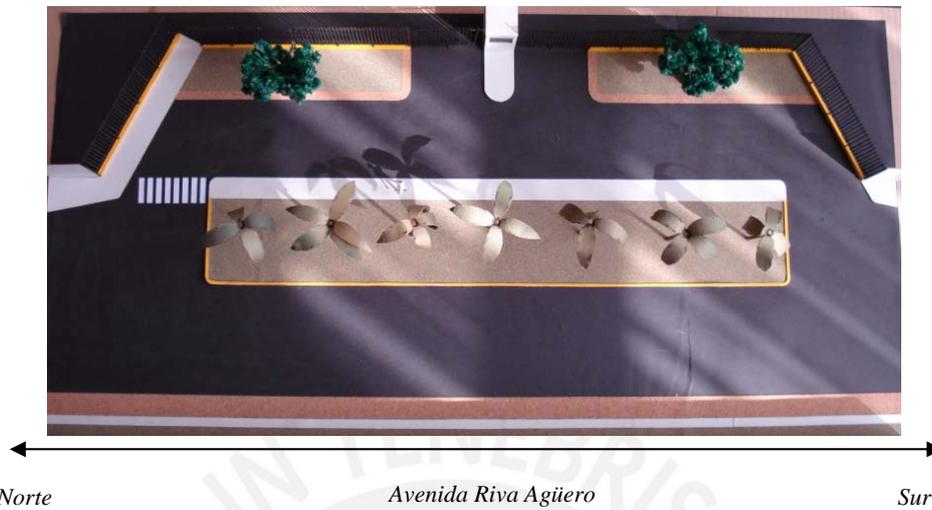


Figura 3.2. Se muestra la maqueta en escala 1:50 de la zona de estudio. El sentido hacia el norte es hacia la avenida Venezuela, y el sentido hacia el sur es hacia la avenida La Marina.



Figura 3.3. Se muestra la zona específica de análisis, intersección de la avenida Riva Agüero con la salida de la universidad Católica. Así mismo esta será disposición de la cámara que capturará las imágenes.



Figura 3.4. Se muestra la disposición de los vehículos en la zona de análisis, esta es la forma convencional de dos vehículos en la intersección, el de arriba con orientación hacia la avenida La Marina y el de abajo con orientación a la avenida Venezuela.

El desarrollo del algoritmo está dividido en tres etapas las cuales se irán desarrollando en este capítulo. La primera etapa es la de pre-procesamiento, en la cual se convierte la imagen de colores a escala de grises, y también se ajusta la resolución de la imagen. La segunda etapa es la de procesamiento, en la cual se aplica todas las herramientas propias del procesamiento de imágenes, como operaciones morfológicas, umbralización, etc. Y la última etapa es la de análisis, en la cual se analiza las imágenes para determinar ubicación, dimensión, y orientación.

3.4.1 Etapa de pre-procesamiento

En esta etapa, se extrae el plano rojo a la imagen de colores (la imagen a colores está comprendida por los planos rojo, azul, y verde), para luego convertirla a escala de grises. La finalidad de este primer paso es resaltar la diferencia entre los niveles de grises de los vehículos, y los de la pista. Esta diferencia es importante para la umbralización en la etapa de procesamiento (se escogió eliminar el plano rojo después de varias pruebas con diferentes imágenes). El siguiente paso es ajustar la resolución de la imagen con la que se trabajará, que es de 320 píxeles de ancho por 240 píxeles de alto (La cámara de video captura imágenes con una resolución de 640 por 480 píxeles). Esto es muy importante, ya que para la etapa de análisis, la determinación de la ubicación como de las dimensiones del vehículo, se ve afectada directamente por este factor.

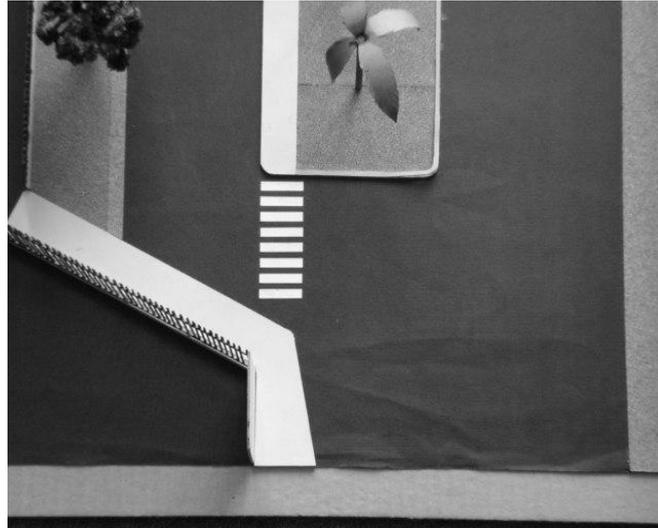


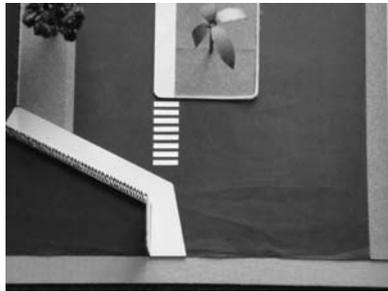
Figura 3.5. Se muestra la imagen de la zona de estudio en escala de grises. La resolución es de 320 por 240 píxeles.

3.4.2 Etapas de procesamiento

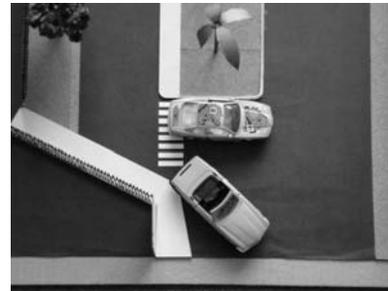
En esta etapa, se aplican diferentes herramientas propias al procesamiento de imágenes, con el fin de obtener una imagen simple, sobre la cual se podrá aplicar el análisis, y obtener los datos necesarios para alcanzar el objetivo de este trabajo de tesis.

El primer paso en esta etapa es eliminar, o en su defecto, opacar todo aquello que esté presente en la imagen, que no sea de interés. Para este fin, se calcula el valor absoluto de la resta entre la imagen base (imagen almacenada en memoria de la zona de análisis sin ningún vehículo); y la imagen en tiempo real que se captura con la cámara. Al ser imágenes en escala de grises, se tienen valores que van desde 0 a 255 en la matriz de píxeles, donde 0 se refiere al color negro, y 255 al color blanco. En las zonas en que las imágenes tengan los mismos valores de iluminación, el resultado de la resta de matrices será 0, y se mostrarán las zonas

implicadas de color negro. El valor absoluto de la resta evitará los valores negativos.



(a). Matriz A



(b). Matriz B



(c). | Matriz A - Matriz B |

Figura 3.6. (a) Imagen base de la zona de estudio. (b) Imagen capturada por la cámara de video. (c) Valor absoluto de la resta (b)-(a).

El segundo paso de esta etapa, es la umbralización, y para escoger el correcto valor umbral, se analizaron las imágenes con ayuda de histogramas.

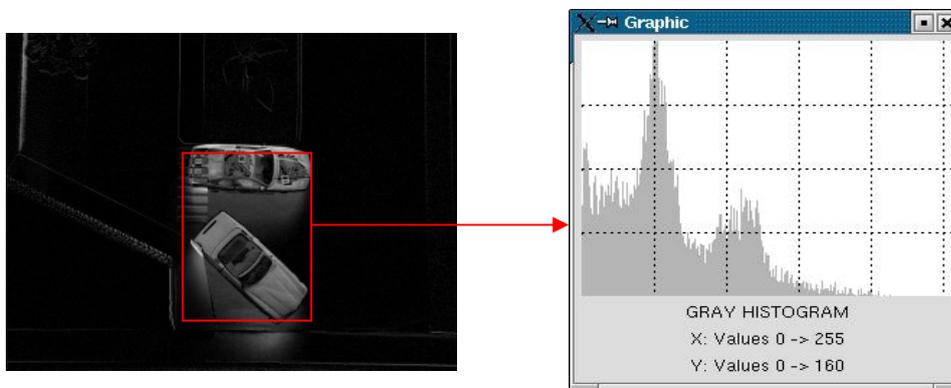


Figura 3.7. Izquierda.- Valor absoluto de la resta de imágenes. Derecha.- Histograma de la zona indicada.

El programa VIP4L cuenta con una herramienta para mostrar el histograma de imágenes completas o parte de éstas. Analizando el histograma de la sección señalada en la Figura 3.7, se observa que los valores en escala de grises más altos, correspondiente a los vehículos, están por encima de 55; por lo tanto, para este caso el valor umbral correcto sería 55. Haciendo pruebas con diferentes imágenes, todas tomadas a la luz del día (ver consideraciones, sección 3.3), se determinó el valor umbral utilizado en el algoritmo, en 65. Este valor umbral es fijo, y se mantiene para todas las pruebas simuladas en este trabajo de tesis, dado que la iluminación no varía notoriamente. El resultado de la umbralización se muestra en la Figura 3.8.

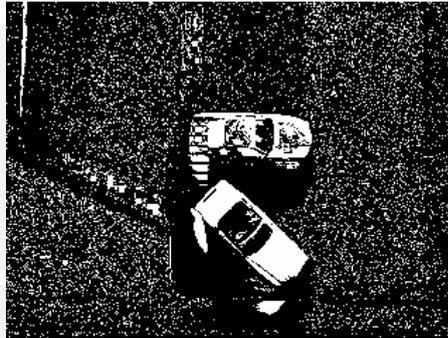


Figura 3.8. Resultado de la umbralización.

De la zona de análisis, solo una parte es la que interesa, la parte donde los vehículos esperan el pase hacia la avenida. Todo lo demás se elimina con una máscara que se aplica a la imagen, para facilitar el trabajo (Figura 3.9). Por esta razón, en el paso anterior, se aplica el histograma sólo a la sección señalada en la Figura 3.7. Para eliminar el ruido que aparece después de la umbralización, se aplica un filtro mediana (Figura 3.10). El más mínimo movimiento de la cámara, hace que la resta de imágenes genere este ruido (viento, vibraciones, etc.).

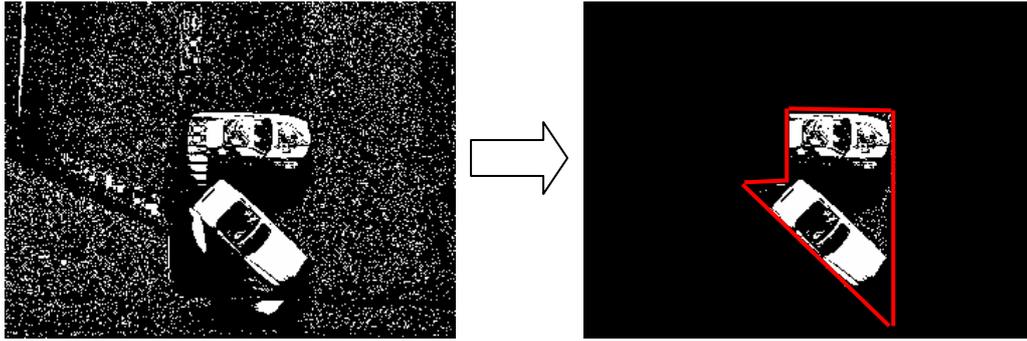


Figura 3.9. Izquierda.- Imagen umbralizada.
 Derecha.- Imagen enmascarada.

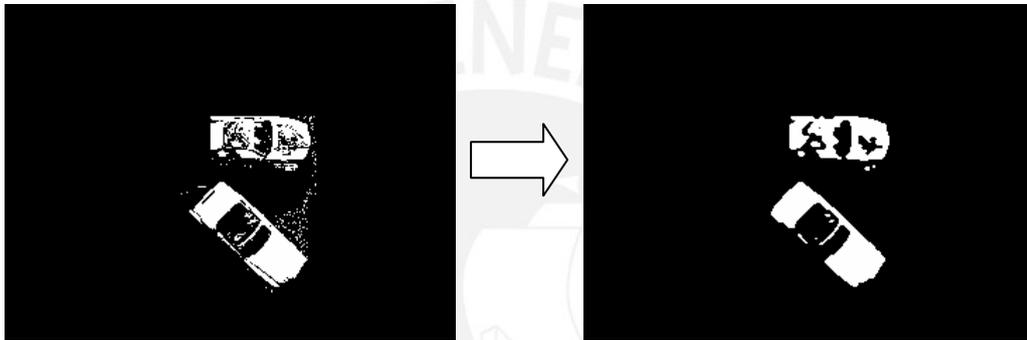


Figura 3.10. Izquierda.- Imagen enmascarada.
 Derecha.- Imagen después de aplicar el filtro mediana.

La función del filtro mediana, es hacer un barrido sobre toda la imagen, y a cada píxel, con sus vecinos (matriz de 3 x 3) los ordena en un vector de 9 elementos en forma ascendente, escogiendo el elemento central del vector, y colocándolo en la posición del píxel donde se inició el proceso.

El siguiente y último paso de la etapa de procesamiento, es aplicar las operaciones morfológicas. Las operaciones que se realizan son la dilatación, y una llamada "llenado de agujeros" (fill holes), cuya función es llenar los espacios de color negro dentro de las regiones de píxeles blancos. Se aplica la dilatación para expandir el área correspondiente a los vehículos, y formar un solo bloque de píxeles blancos por automóvil, el llenado de agujeros, ayuda a la dilatación, con el fin de no deformar mucho los bloques formados.

Así termina la etapa de procesamiento, con una imagen simple, fácil de analizar (Figura 3.13). En este ejemplo, se aprecian 2 vehículos ubicados en la zona de análisis, el procesamiento funciona de igual manera para imágenes con un solo vehículo. En el próximo capítulo se verán diferentes situaciones.

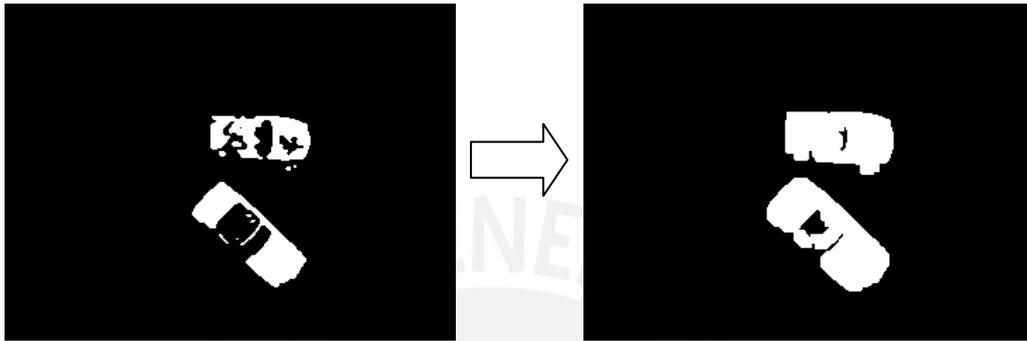


Figura 3.11. Izquierda.- Imagen después de aplicar el filtro mediana.
 Derecha.- Imagen dilatada.

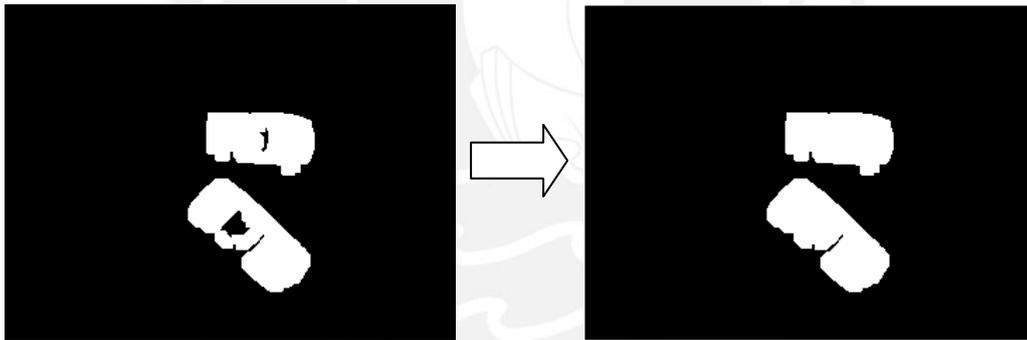


Figura 3.12. Izquierda.- Imagen dilatada.
 Derecha.- Imagen después de aplicar la rutina fill holes.

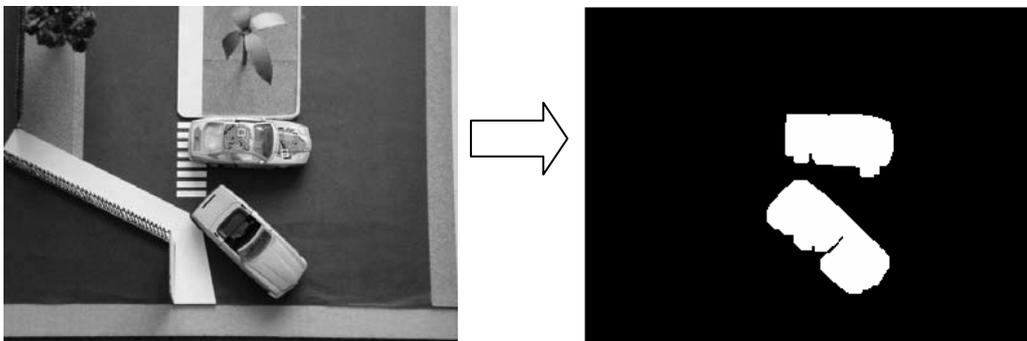
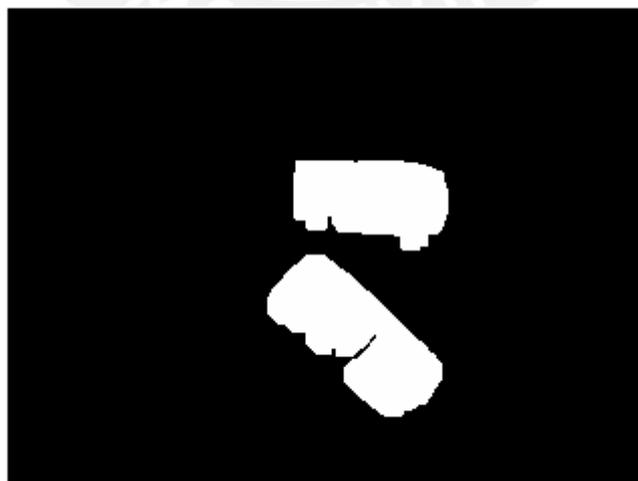


Figura 3.13. Izquierda.- Imagen final de la etapa de pre-procesamiento.
 Derecha.- Imagen final de la etapa de procesamiento.

3.4.3 Etapa de análisis

El análisis es la etapa final del algoritmo, el objetivo de esta etapa es determinar el número de vehículos en la zona de estudio, la ubicación de los mismos, sus dimensiones (para poder descartar la presencia de otros objetos que perjudiquen el resultado), y lo más importante, la orientación de los vehículos.

El primer paso de esta etapa es la segmentación basada en regiones, se denomina regiones a los bloques de píxeles blancos que representan a los automóviles. El programa VIP4L, cuenta con una función para esta segmentación. La función hace un conteo de las regiones presentes en la imagen, por cada región realiza un análisis, y se obtienen los siguientes datos: número de píxeles que abarca la región, posición del centro de masa, color, coordenadas mínima y máxima de píxeles de cada región tanto en el eje “x” como “y”, las coordenadas iniciales donde se reconoció la región, y el nuevo color que se le asigna. En la siguiente figura se muestra el resultado de la segmentación, aplicada a la imagen final de la etapa de procesamiento.



(a)

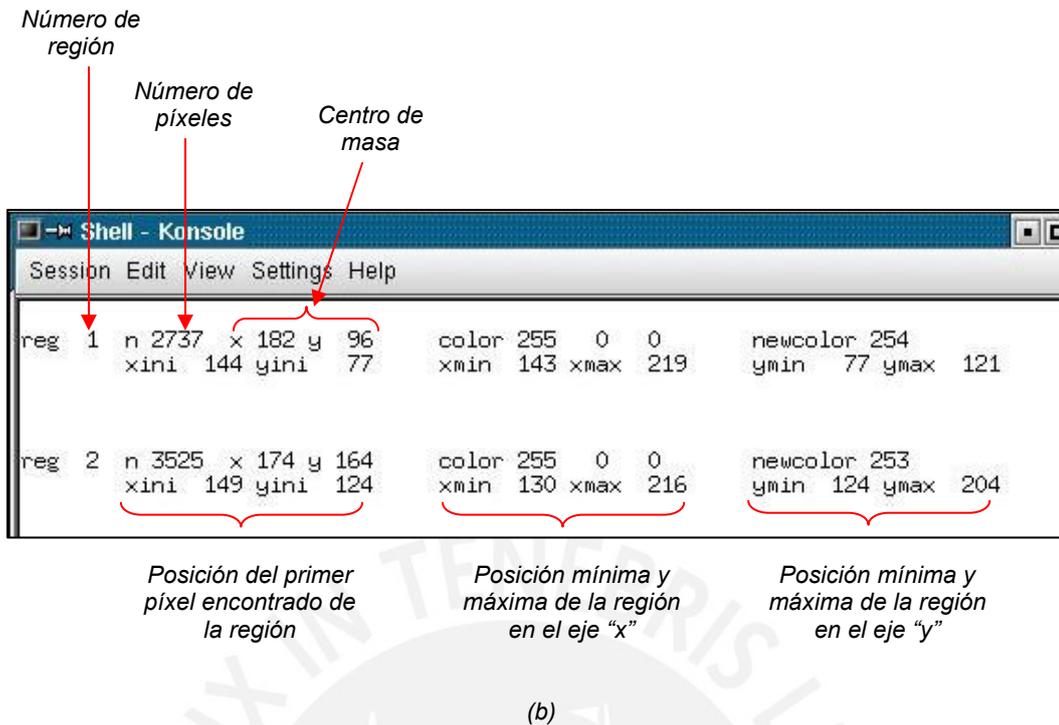


Figura 3.14. (a) Imagen final de la etapa de procesamiento. (b) Resultado de la segmentación en la etapa de análisis.

La función segmentación comienza haciendo un barrido de la imagen desde la posición (0,0); por lo que el orden en el que se enumeran las regiones en el resultado es en forma ascendente, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Con el ejemplo mostrado, la región "1" corresponde al vehículo que está arriba (para todas las demás simulaciones este orden se conserva).

Con el resultado obtenido de la segmentación, se obtiene el número de regiones, en este caso 2, y se procede a continuación a confirmar el correcto posicionamiento de las regiones. En la Figura 3.15 se muestra la zona, donde deben estar ubicados los centros de masa de las regiones, para seguir con los siguientes pasos.

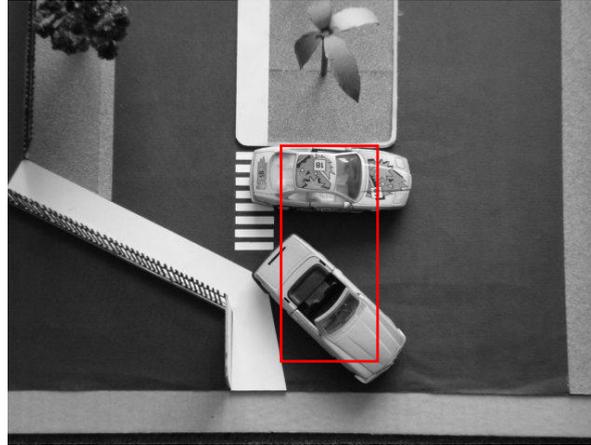


Figura 3.15. Se muestra la zona donde deben estar ubicados los centros de masa de las regiones encontradas, para poder continuar con el siguiente paso. De no ser así, el algoritmo arroja como resultado, que no hay vehículos.

La resolución de la imagen es de 320 píxeles de ancho por 240 píxeles de alto, y la zona específica que se analiza en este paso, esta comprendida por los píxeles que están dentro de las siguientes coordenadas: $x_i = 140$; $x_f = 220$; $y_i = 75$; $y_f = 200$.

Se continúa con los siguientes pasos, solo si se encuentra que los centros de masa de las regiones encontradas, están en la zona indicada.

Después de haber confirmado la presencia de regiones en la zona de análisis, se procede a descartar la presencia de otros objetos que no sean vehículos, esto se logra analizando las dimensiones de las regiones. El resultado de la segmentación arroja el número de píxeles que abarca cada región. Con estos datos y con las distintas pruebas realizadas en este trabajo de tesis se determinó que el número de píxeles mínimo para considerar la región como un automóvil sea 2100 píxeles.

Para el ejemplo de demostración en mención, el resultado en esta etapa de análisis es como se muestra en la figura.

```

Shell - Konsole
Session Edit View Settings Help

reg 1  n 2737  x 182 y 96      color 255  0  0      newcolor 254
      xini 144 yini 77      xmin 143 xmax 219      ymin 77 ymax 121

reg 2  n 3525  x 174 y 164    color 255  0  0      newcolor 253
      xini 149 yini 124    xmin 130 xmax 216      ymin 124 ymax 204

Numero de regiones: 2

HAY VEHICULO ARRIBA Y ABAJO!!
  
```

Figura 3.16. Se muestra en la figura los primeros resultados del algoritmo, como se puede observar el número de regiones es 2, y se reconoce dos vehículos. Observe los datos correspondientes al centro de masa y el número de píxeles.

El segundo paso y el último de esta etapa de análisis, es la de encontrar la orientación de los vehículos, lo cual permitirá predecir el sentido de la avenida que el vehículo tomará. Para determinar la orientación de los vehículos, se utilizó el concepto del momento de inercia.

Refiriendo el momento de inercia a un eje de referencia, la expresión analítica es:

$$\mu = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (3.1)$$

μ : Momento de inercia

m_i : Masa del punto "i"

r_i : Radio vector del punto "i" con respecto al eje considerado.

Si se tienen infinitos puntos, las sumatorias se convierten en integrales, y al trabajar con densidades constantes igual a la unidad, la medida de la masa de una forma se convierte en una medición de área. El momento de inercia puede generalizarse para cualquier orden. En este trabajo de tesis se analizan regiones

en dos dimensiones, y los momentos de orden pq quedan definidos con la siguiente expresión:

$$\mu_{p,q} = \int (x - X_m)^p (y - Y_n)^q g(x, y) dx dy \quad (3.2)$$

La integración incluye el área del objeto, esta expresión tiene como eje de referencia al centro de masa de la región (X_m, Y_n) , estos momentos son frecuentemente llamados momentos centrales. Para el dominio discreto, el cálculo de momentos de orden pq se reduce a la fórmula:

$$\mu_{p,q} = \sum \sum (x - X_m)^p (y - Y_n)^q; (m, n) \in Forma \quad (3.3)$$

La orientación de la región en análisis, esta definido como el ángulo “ φ ” entre el eje de las abscisas, y el eje sobre el cual la región puede ser rotada con mínima inercia (la región es mas prolongada en esta dirección). Para hallar el valor del ángulo, el momento de inercia debe ser derivado con respecto a “ φ ” e igualado a cero (momento mínimo).

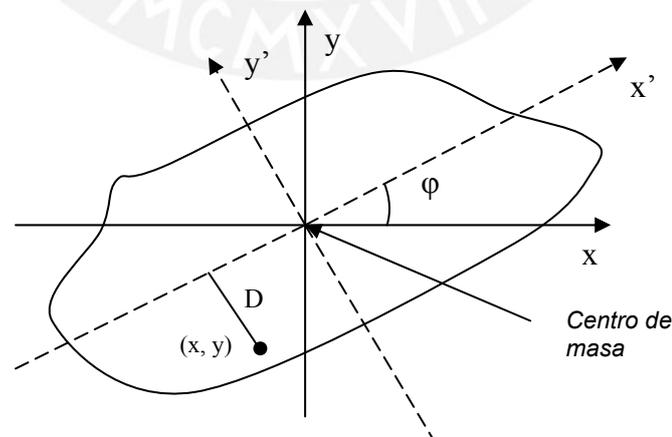


Figura 3.17. Se muestra una región cualquiera ubicada en el plano xy , y el eje para el cual el momento de inercia es mínimo.

De la figura anterior, el momento de inercia de la forma con respecto al eje x' , en función de φ es:

$$\mu = \sum_x \sum_y D^2(\varphi) \quad (3.4)$$

$$D^2(\varphi) = [(y - Y_n)\cos \varphi - (x - X_m)\sin \varphi]^2 \quad (3.5)$$

Derivando la ecuación (3.4) con respecto a φ , e igualando la expresión a cero, se resuelve la ecuación trigonométrica, obteniendo así el valor del ángulo φ [33].

$$\frac{\partial \mu}{\partial \varphi} = \sum_x \sum_y \frac{\partial}{\partial \varphi} D^2(\varphi) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} D^2(\varphi) = [(x - X_m)^2 - (y - Y_n)^2] \sin 2\varphi - 2(x - X_m)(y - Y_n) \cos 2\varphi = 0$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan \frac{2 \sum_x \sum_y (x - X_m)(y - Y_n)}{\sum_x \sum_y [(x - X_m)^2 - (y - Y_n)^2]}$$

Usando la ecuación (3.3), el cálculo de φ se reduce a resolver la siguiente ecuación:

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{2,0} - \mu_{0,2}} \quad (3.6)$$

El algoritmo cuenta con una función denominada “orientación”, la cual realiza el cálculo del ángulo φ , que forma el eje horizontal de la matriz de píxeles, con el eje de la región para el cual el momento de inercia es mínimo. Este cálculo se realiza por región, y aquí reside la importancia de la función segmentación; cada región esta enumerada, se sabe qué regiones corresponden a los vehículos, y también se sabe en qué posición están ubicados los centros de masa. Con estos datos, la

función orientación hace un barrido de toda la imagen, y por cada región correspondiente a un vehículo realiza el cálculo de su orientación, resolviendo las ecuaciones (3.3) y (3.6). La función orientación, arroja como resultado un ángulo positivo o negativo, en la Figura 3.18 se muestra los 2 casos.

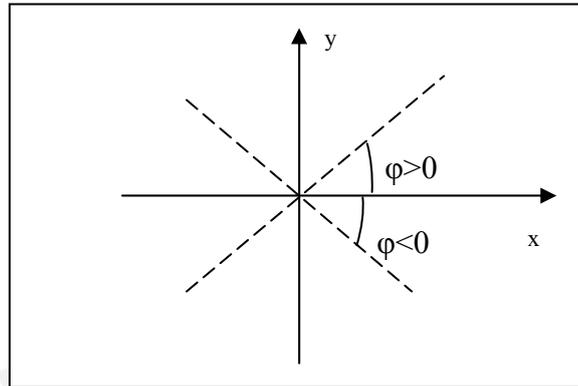


Figura 3.18. Se muestra los ejes de referencia "x" e "y", y los casos en que φ es positivo y negativo.

En la Figura 3.19 se muestra el resultado de las etapas anteriores, mientras que en la Figura 3.20 se muestra el resultado de la función orientación al ejemplo que se viene tratando en este capítulo.

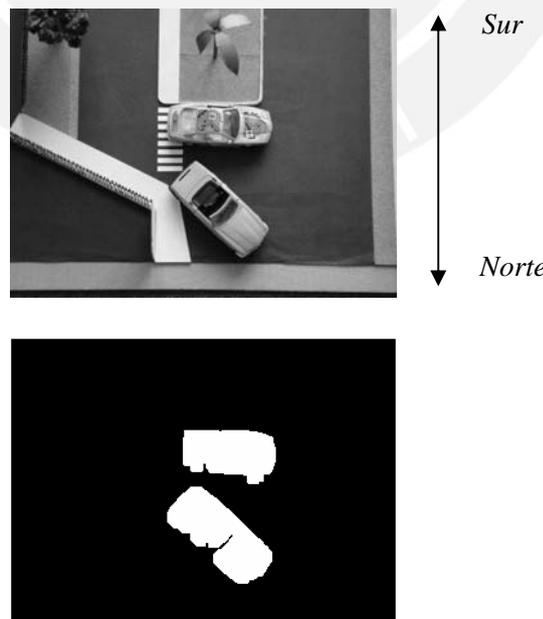
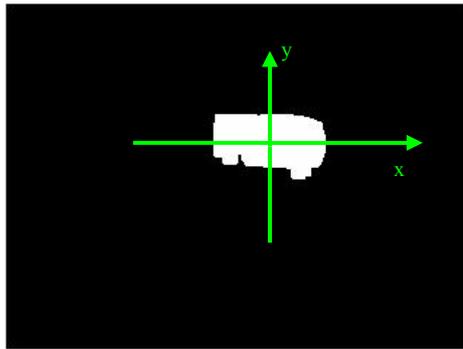
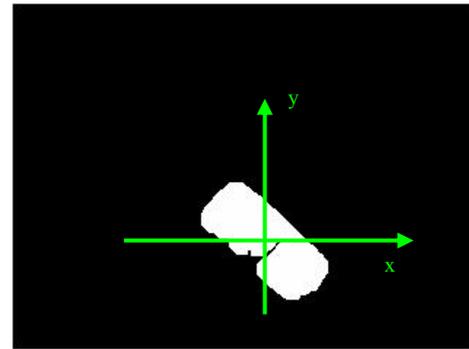


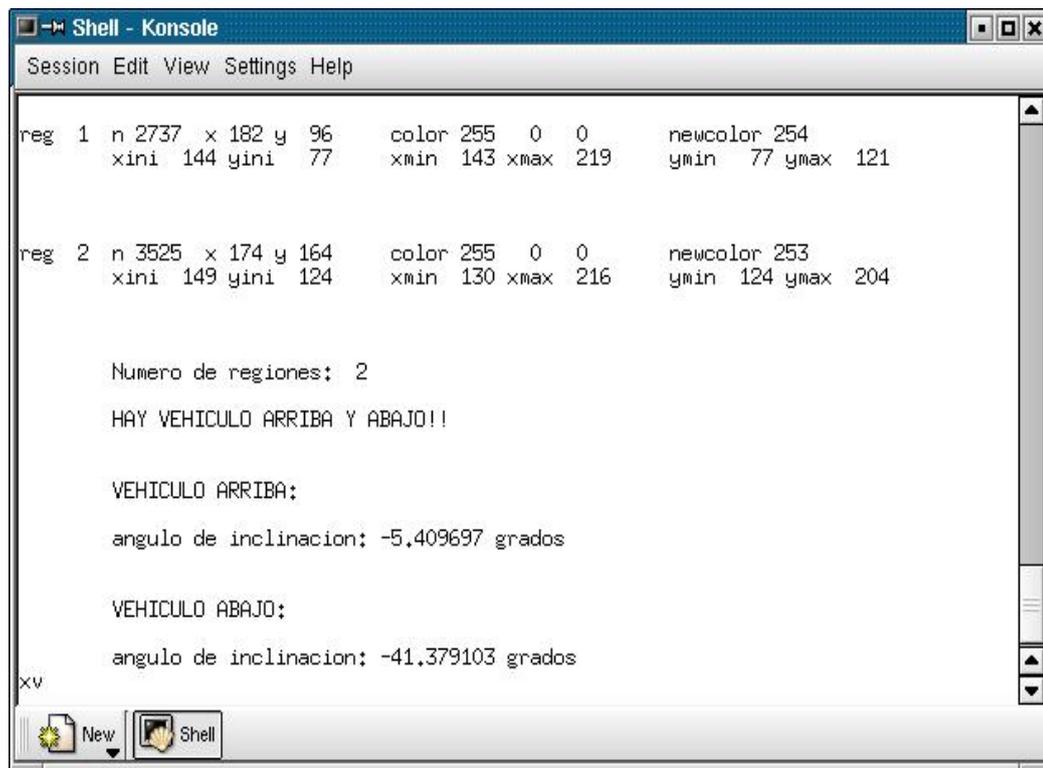
Figura 3.19. Arriba.- Imagen resultante de la etapa de pre-procesamiento.
Abajo.- Imagen resultante de la etapa de procesamiento.



(a)



(b)



```

Shell - Konsole
Session Edit View Settings Help

reg 1  n 2737  x 182 y 96   color 255  0  0   newcolor 254
      xini 144 yini 77   xmin 143 xmax 219   ymin 77 ymax 121

reg 2  n 3525  x 174 y 164  color 255  0  0   newcolor 253
      xini 149 yini 124  xmin 130 xmax 216   ymin 124 ymax 204

Numero de regiones: 2
HAY VEHICULO ARRIBA Y ABAJO!!

VEHICULO ARRIBA:
angulo de inclinacion: -5.409697 grados

VEHICULO ABAJO:
angulo de inclinacion: -41.379103 grados

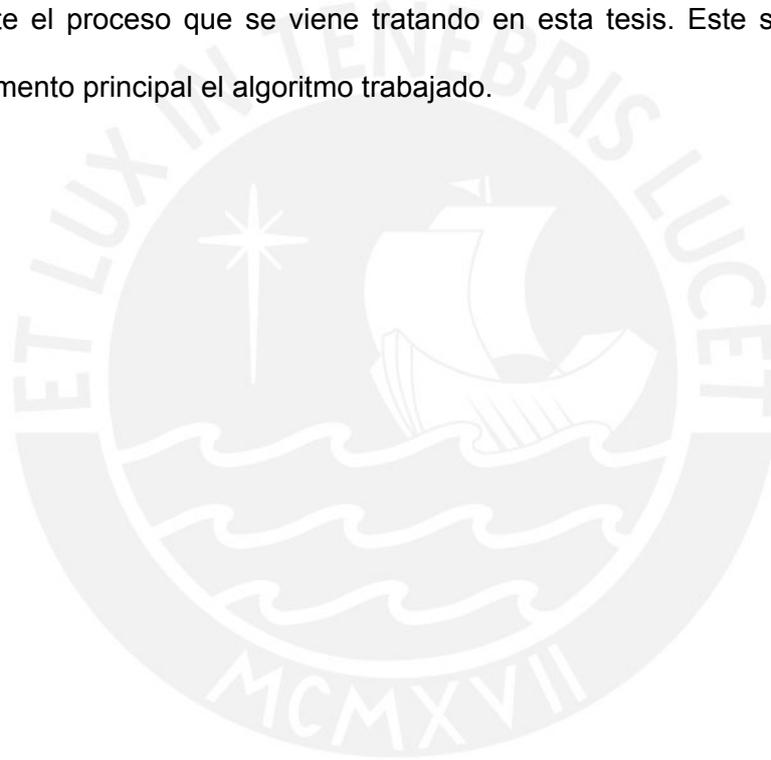
xv
  
```

(c)

Figura 3.20. (a) y (b) Se muestran las regiones correspondientes a los vehículos, y los ejes de referencia, así se puede apreciar la orientación de los vehículos. (c) Se muestra el resultado final de todo el algoritmo, se puede apreciar el resultado de la función segmentación y la función orientación.

Se ha conseguido el objetivo principal de este algoritmo, determinar la ubicación de vehículos en la zona de análisis y la orientación de los mismos. La interpretación de estos datos, sería la continuación de este trabajo de tesis. Esto se puede explicar de la siguiente manera: Si un vehículo está ubicado en la mitad superior de la zona específica de estudio (ver Figura 3.19), tiene bastante probabilidad de

tomar el sentido norte – sur; para mejorar esta probabilidad, se utilizaría el dato de la orientación. Si un vehículo está ubicado en la mitad inferior de la zona específica de estudio (ver Figura 3.19), no se puede afirmar nada, hasta interpretar el dato de orientación. En este trabajo de tesis, después de muchas pruebas, se considera que el vehículo tomará el sentido sur – norte, si el ángulo de orientación es menor a -16 grados, de lo contrario se considera que el vehículo tomará el sentido norte – sur. La visión general que se tiene, es contar con un sistema inteligente, que controle uno o dos semáforos, ubicados estratégicamente en la zona de estudio, que facilite el proceso que se viene tratando en esta tesis. Este sistema tendría como elemento principal el algoritmo trabajado.



REPRESENTACION GRAFICA DEL PROCESO

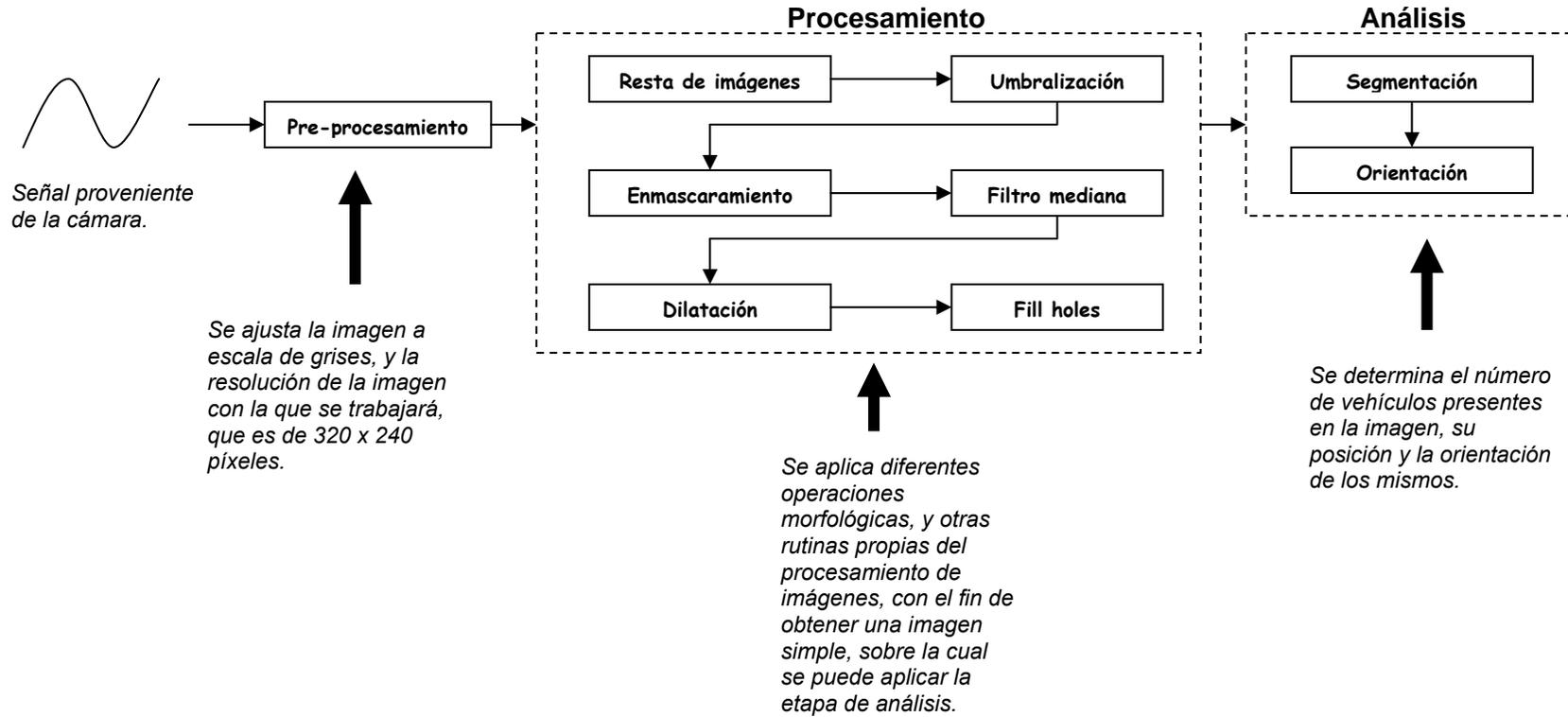


Figura 3.21

CAPÍTULO 4

SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Pruebas de simulación

Se muestra a continuación diferentes pruebas del proceso que se viene estudiando, con diferentes vehículos y en distinta disposición. Teniendo en cuenta las consideraciones nombradas en la sección 3.3, se muestran los resultados obtenidos.

Para todos los casos mostrados, la imagen base con la que se realiza la resta de imágenes, es la misma, y se encuentra almacenada en la memoria del computador.

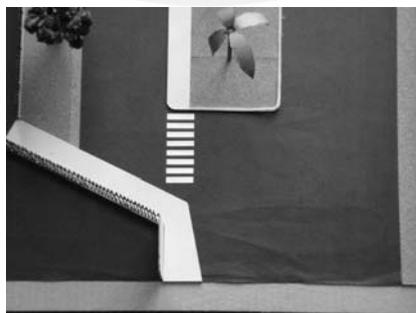


Figura 4.1. Imagen base de la zona de estudio.

PRUEBA Nº 1

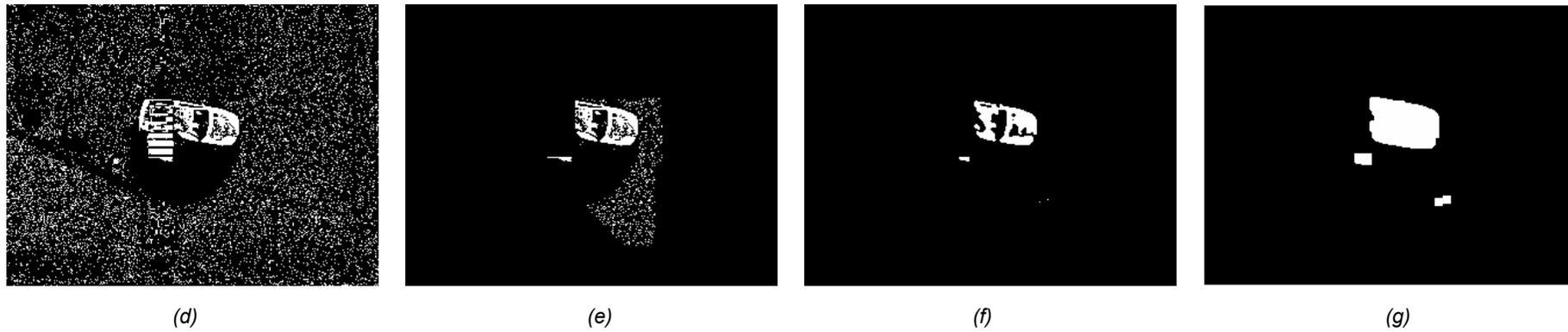
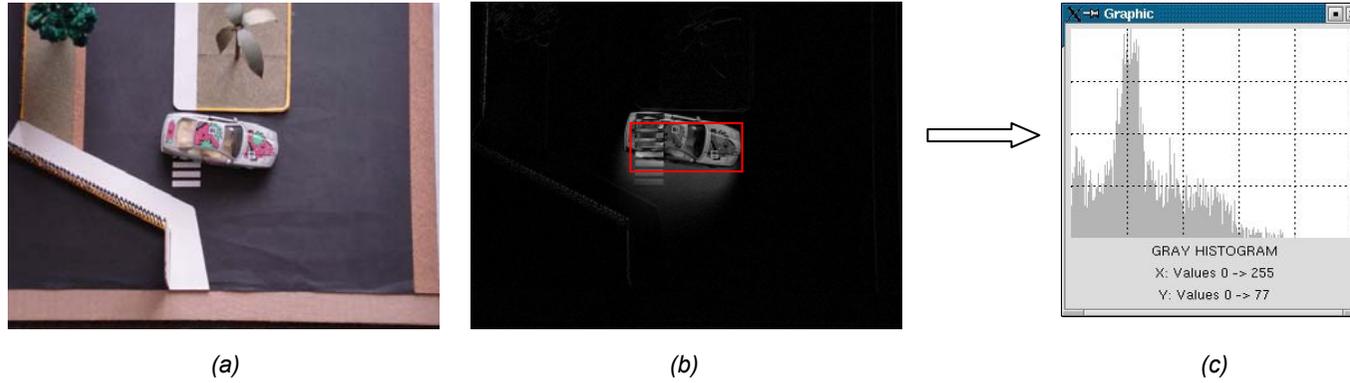
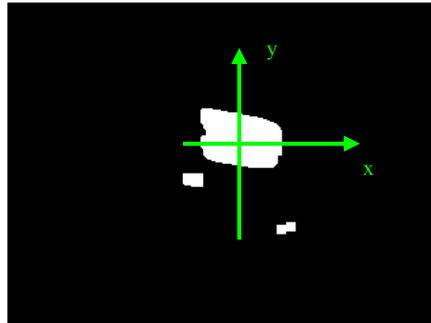


Figura 4.2. (a) Imagen original. (b) Resultado del valor absoluto de la resta de imágenes. (c) Histograma aplicado a la zona señalada en (b). (d) Imagen umbralizada. (e) Imagen enmascarada (f) Imagen después de aplicar el filtro mediana. (g) Imagen final de la etapa de procesamiento.



(h)

reg 1	n 2147 x 172 y 101	color 255 0 0	newcolor 254
	xini 144 yini 79	xmin 143 xmax 202	ymin 79 ymax 122
reg 2	n 143 x 137 y 131	color 255 0 0	newcolor 253
	xini 130 yini 127	xmin 130 xmax 144	ymin 127 ymax 136
reg 3	n 98 x 206 y 167	color 255 0 0	newcolor 252
	xini 206 yini 163	xmin 199 xmax 212	ymin 163 ymax 171
Numero de regiones: 3			
HAY VEHICULO ARRIBA			
Angulo de inclinación: -15.565467 grados			

(i)

Figura 4.2. (h) Se puede apreciar la inclinación del vehículo y compararlo con el resultado final. (i) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo identifica un vehículo, ubicado en la parte superior de la zona específica de análisis. Aparecen en el resultado otras 2 regiones, las cuales son descartadas del análisis, pues el número de píxeles que comprenden las regiones, están fuera del rango determinado, así como sus centros de masa. La presencia de estas pequeñas regiones, se debe al ruido producido por la resta de imágenes. El algoritmo determina una inclinación del vehículo de -15 grados, se podría interpretar este resultado, afirmando que el vehículo tomará el sentido norte – sur de la avenida (ver figura 3.19).

PRUEBA Nº 2

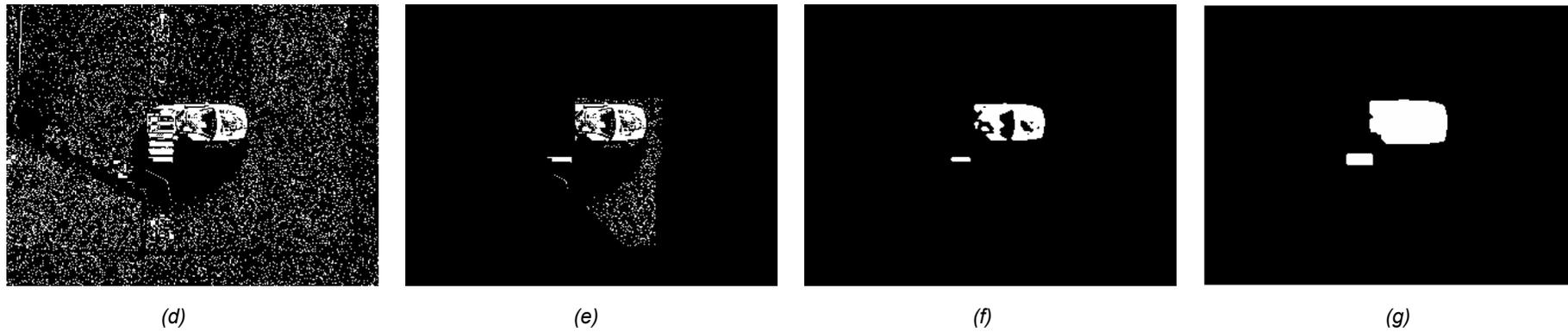
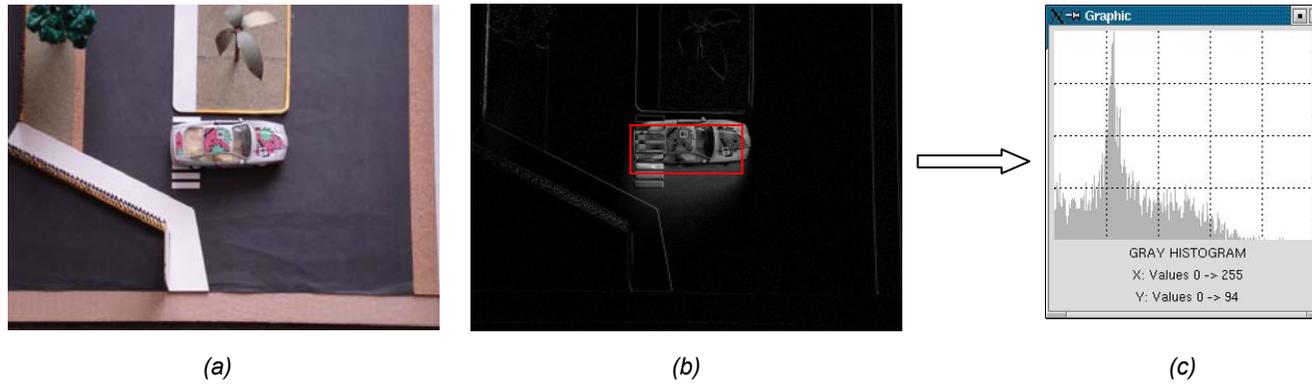
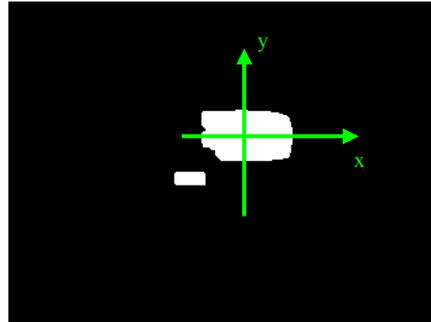


Figura 4.3. (a) Imagen original. (b) Resultado del valor absoluto de la resta de imágenes. (c) Histograma aplicado a la zona señalada en (b). (d) Imagen umbralizada. (e) Imagen enmascarada (f) Imagen después de aplicar el filtro mediana. (g) Imagen final de la etapa de procesamiento.



(h)

reg 1	n 2284 x 176 y 99	color 255 0 0	newcolor 254
	xini 168 yini 81	xmin 143 xmax 209	ymin 81 ymax 118
reg 2	n 227 x 134 y 132	color 255 0 0	newcolor 253
	xini 124 yini 127	xmin 123 xmax 145	ymin 127 ymax 136
Numero de regiones: 2			
HAY VEHICULO ARRIBA			
Angulo de inclinación: -2.729684 grados			

(i)

Figura 4.3. (h) Se puede apreciar la inclinación del vehículo y compararlo con el resultado final. (i) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo identifica un vehículo, ubicado en la parte superior de la zona específica de análisis. En este caso aparece una región adicional, la cual es descartada por la misma razón que en el caso anterior. El algoritmo determina una inclinación del vehículo de -2.72 grados, se podría interpretar este resultado, afirmando que el vehículo tomará el sentido norte – sur de la avenida (ver figura 3.19).

PRUEBA Nº 3

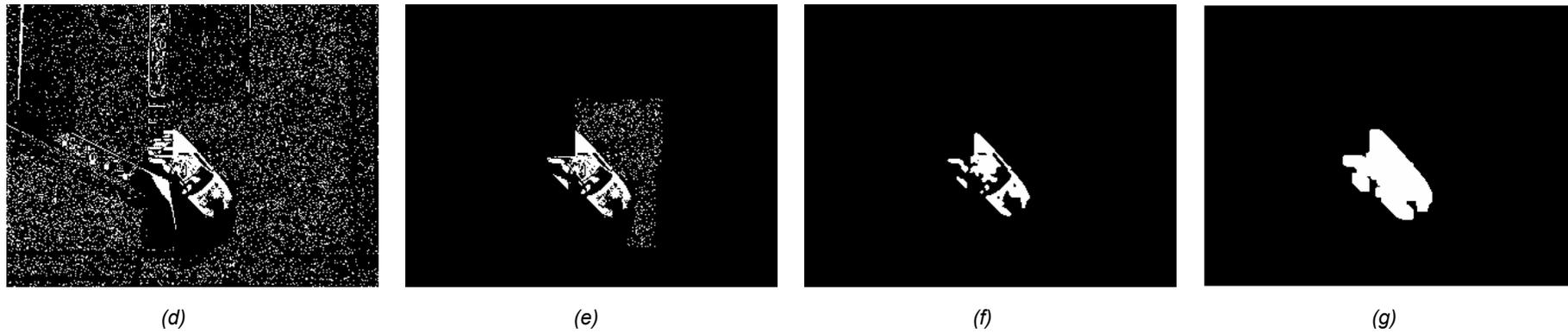
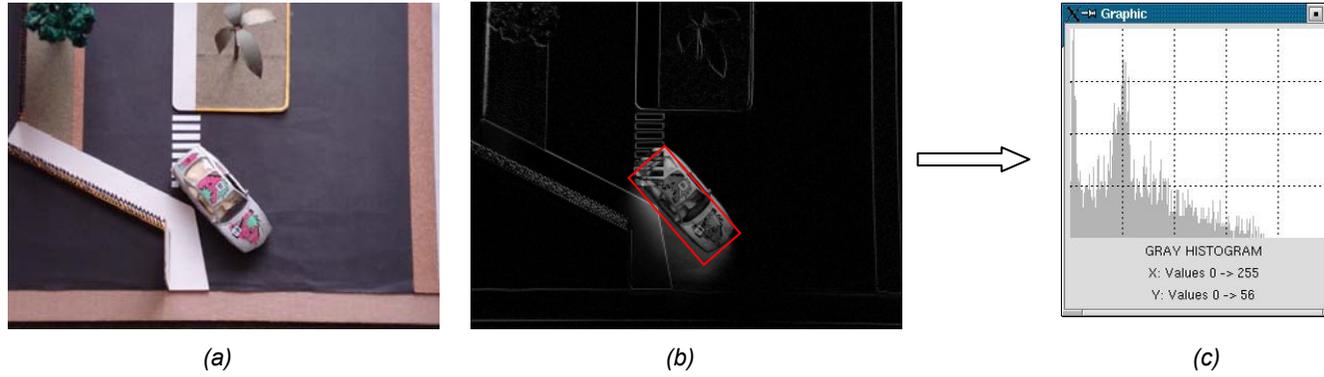
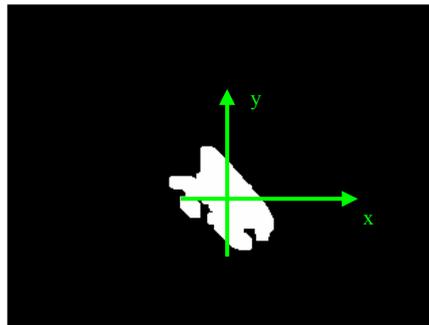


Figura 4.4. (a) Imagen original. (b) Resultado del valor absoluto de la resta de imágenes. (c) Histograma aplicado a la zona señalada en (b). (d) Imagen umbralizada. (e) Imagen enmascarada (f) Imagen después de aplicar el filtro mediana. (g) Imagen final de la etapa de procesamiento.



(h)

reg 1	n 2974	x 161	y 146	color 255 0 0	newcolor 254	
	xini 144	yini 106	xmin 120	xmax 196	ymin 106	ymax 182
Numero de regiones: 1						
HAY VEHICULO ABAJO						
Angulo de inclinación: -47.455365 grados						

(i)

Figura 4.4. (h) Se puede apreciar la inclinación del vehículo y compararlo con el resultado final. (i) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo identifica un vehículo, ubicado en la parte inferior de la zona específica de análisis. El algoritmo determina una inclinación del vehículo de -47.45 grados, se podría interpretar este resultado, afirmando que el vehículo tomará el sentido sur - norte de la avenida (ver figura 3.19).

PRUEBA Nº 4

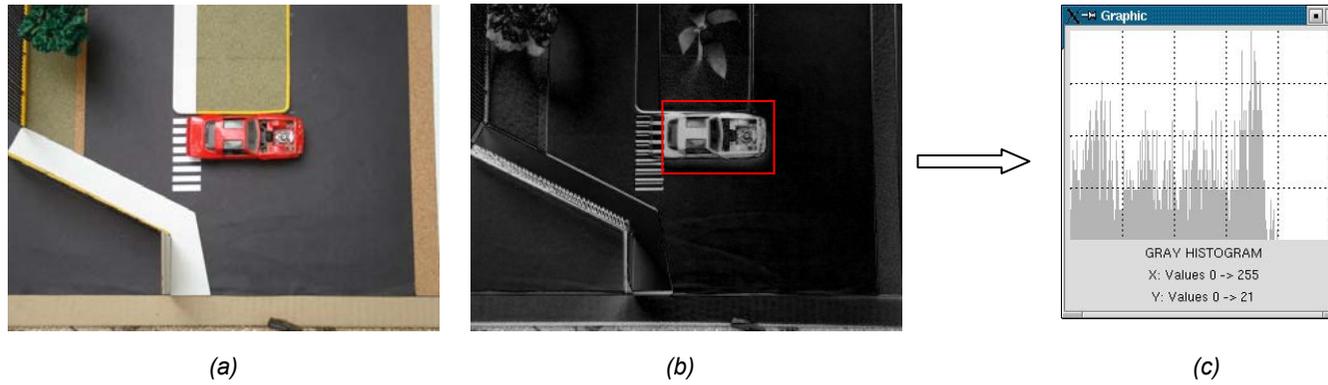
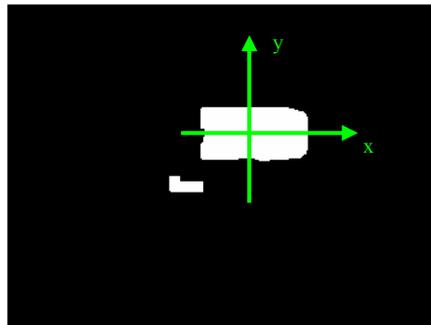


Figura 4.5. (a) Imagen original. (b) Resultado del valor absoluto de la resta de imágenes. (c) Histograma aplicado a la zona señalada en (b). (d) Imagen umbralizada. (e) Imagen enmascarada (f) Imagen después de aplicar el filtro mediana. (g) Imagen final de la etapa de procesamiento.



(h)

reg 1	n 2981 x 182 y 96	color 255 0 0	newcolor 254
	xini 144 yini 77	xmin 143 xmax 221	ymin 77 ymax 116
reg 2	n 231 x 131 y 135	color 255 0 0	newcolor 253
	xini 120 yini 128	xmin 120 xmax 144	ymin 128 ymax 139
Numero de regiones: 2			
HAY VEHICULO ARRIBA			
Angulo de inclinación: 0.878473 grados			

(i)

Figura 4.5. (h) Se puede apreciar la inclinación del vehículo y compararlo con el resultado final. (i) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo identifica un vehículo, ubicado en la parte superior de la zona específica de análisis. El algoritmo determina una inclinación del vehículo de 0.87 grados, se podría interpretar este resultado, afirmando que el vehículo tomará el sentido norte – sur de la avenida (ver figura 3.19).

PRUEBA Nº 5

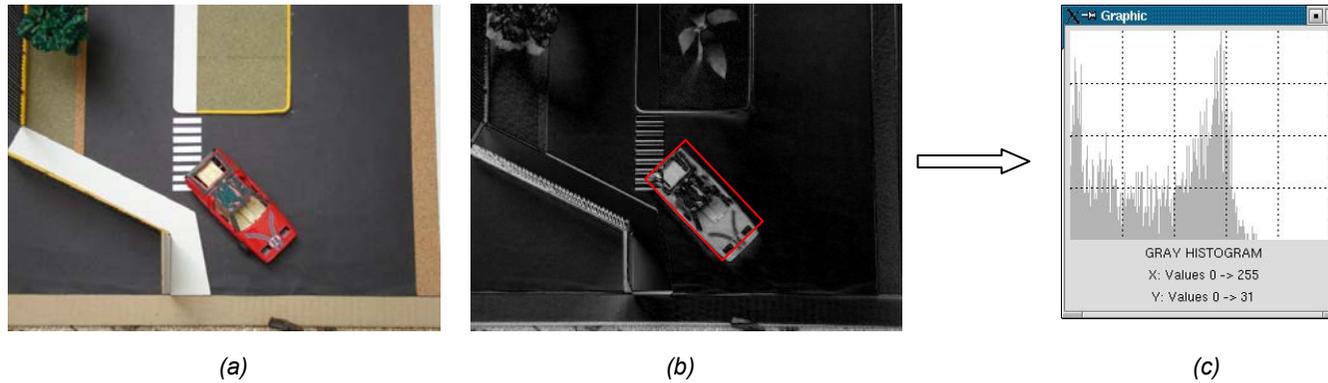
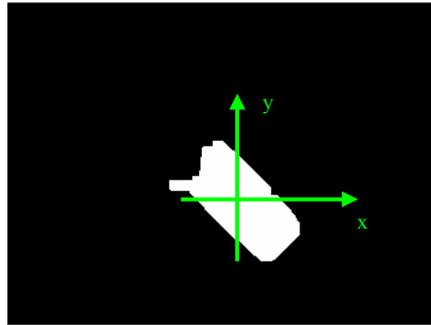


Figura 4.6. (a) Imagen original. (b) Resultado del valor absoluto de la resta de imágenes. (c) Histograma aplicado a la zona señalada en (b). (d) Imagen umbralizada. (e) Imagen enmascarada (f) Imagen después de aplicar el filtro mediana. (g) Imagen final de la etapa de procesamiento.



(h)

```
reg 1 n 4008 x 173 y 148      color 255 0 0      newcolor 254
xini 152 yini 103          xmin 120 xmax 215    ymin 103 ymax 191
```

Numero de regiones: 1

HAY VEHICULO ABAJO

Angulo de inclinación: -46.399397 grados

(i)

Figura 4.6. (h) Se puede apreciar la inclinación del vehículo y compararlo con el resultado final. (i) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo identifica un vehículo, ubicado en la parte inferior de la zona específica de análisis. El algoritmo determina una inclinación del vehículo de -46.39 grados, se podría interpretar este resultado, afirmando que el vehículo tomará el sentido sur – norte de la avenida (ver figura 3.19).

PRUEBA Nº 6

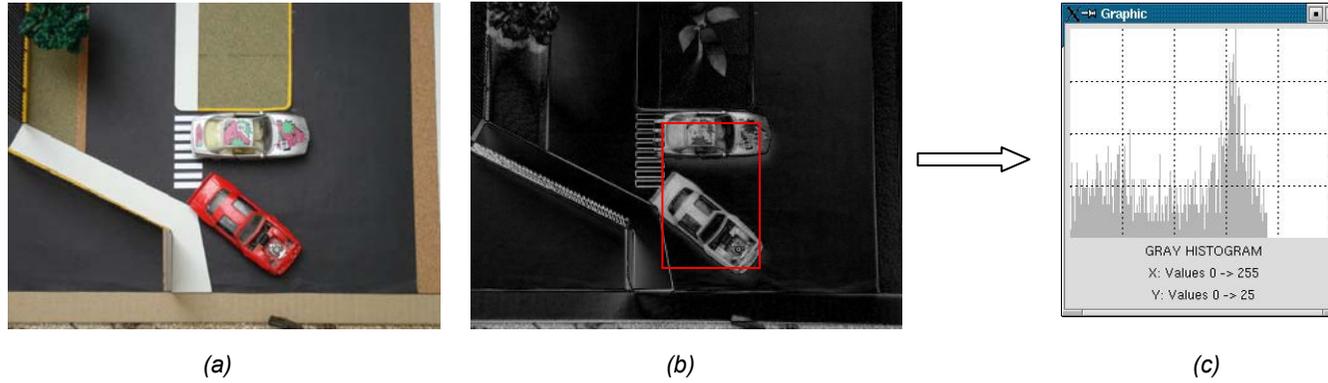
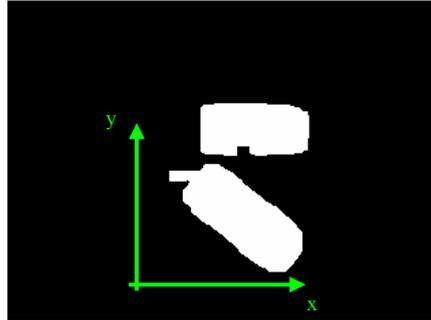


Figura 4.7. (a) Imagen original. (b) Resultado del valor absoluto de la resta de imágenes. (c) Histograma aplicado a la zona señalada en (b). (d) Imagen umbralizada. (e) Imagen enmascarada (f) Imagen después de aplicar el filtro mediana. (g) Imagen final de la etapa de procesamiento.



(h)

reg 1	n 2881 x 182 y 96	color 255 0 0	newcolor 254
	xini 153 yini 77	xmin 143 xmax 222	ymin 77 ymax 115
reg 2	n 3926 x 173 y 161	color 255 0 0	newcolor 253
	xini 146 yini 122	xmin 120 xmax 217	ymin 122 ymax 201
Numero de regiones: 2			
HAY VEHICULO ARRIBA Y ABAJO			
VEHICULO ARRIBA:			
Angulo de inclinación: 0.194862 grados			
VEHICULO ABAJO:			
Angulo de inclinación: -36.160441 grados			

(i)

Figura 4.7. (h) Se puede apreciar la inclinación del vehículo y compararlo con el resultado final. (i) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo identifica dos vehículos, ubicados en la parte superior e inferior de la zona específica de análisis. El algoritmo determina la inclinación de ambos vehículos, se podría interpretar este resultado, afirmando que el vehículo ubicado en la parte superior tomará el sentido norte - sur de la avenida, mientras que el vehículo ubicado en la parte inferior tomará el sentido sur – norte (ver figura 3.19).

PRUEBA Nº 7

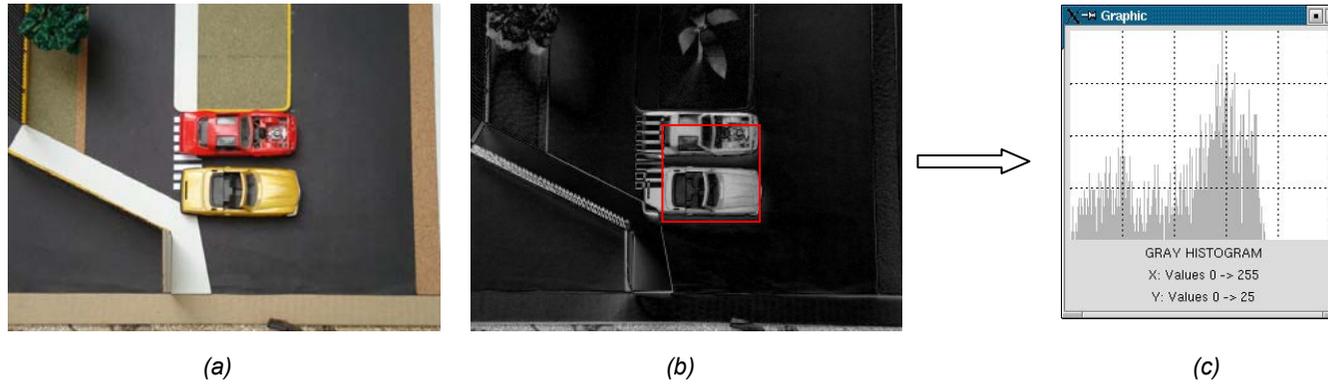
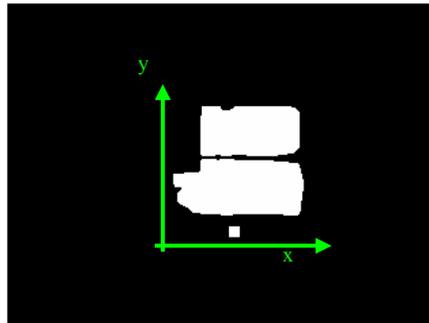


Figura 4.8. (a) Imagen original. (b) Resultado del valor absoluto de la resta de imágenes. (c) Histograma aplicado a la zona señalada en (b). (d) Imagen umbralizada. (e) Imagen enmascarada (f) Imagen después de aplicar el filtro mediana. (g) Imagen final de la etapa de procesamiento.



(h)

reg 1	n 2606 x 179 y 95	color 255 0 0	newcolor 254
	xini 144 yini 77	xmin 143 xmax 215	ymin 77 ymax 113
reg 2	n 3469 x 173 y 137	color 255 0 0	newcolor 253
	xini 144 yini 116	xmin 123 xmax 218	ymin 116 ymax 157
reg 3	n 64 x 168 y 170	color 255 0 0	newcolor 252
	xini 164 yini 166	xmin 164 xmax 171	ymin 166 ymax 173
Numero de regiones: 3			
HAY VEHICULO ARRIBA Y ABAJO			
VEHICULO ARRIBA:			
Angulo de inclinación: 1.557424 grados			
VEHICULO ABAJO:			
Angulo de inclinación: 4.682660 grados			

(i)

Figura 4.8. (h) Se puede apreciar la inclinación del vehículo y compararlo con el resultado final. (i) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo identifica dos vehículos, ubicados en la parte superior e inferior de la zona específica de análisis. El algoritmo determina la inclinación de ambos vehículos, se podría interpretar este resultado, afirmando que ambos vehículos tomarán el sentido norte - sur de la avenida (ver figura 3.19). La inclinación que arroja el algoritmo del vehículo inferior, es ligeramente mayor al que aparenta observando la imagen correspondiente (ver sección 4.2).

PRUEBA Nº 8

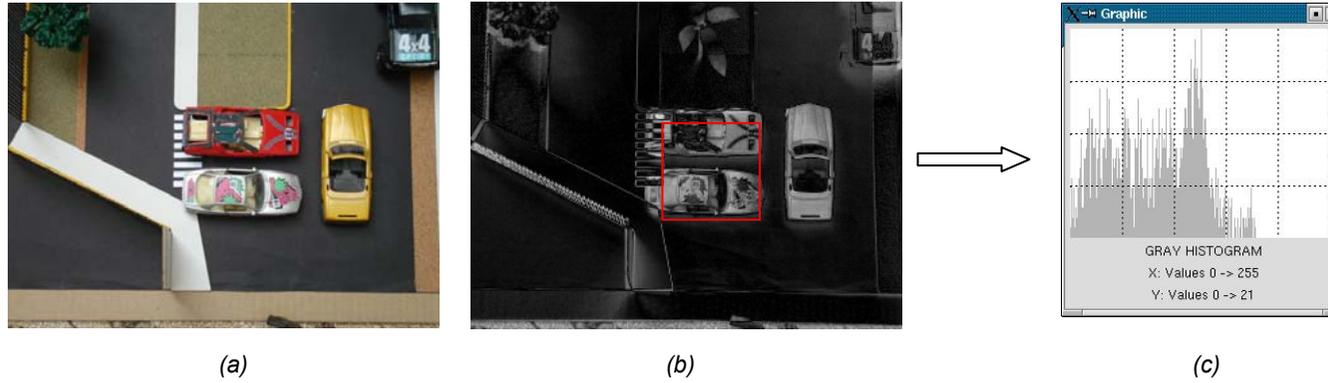
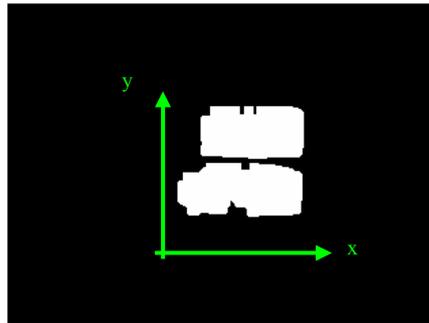


Figura 4.9. (a) Imagen original. (b) Resultado del valor absoluto de la resta de imágenes. (c) Histograma aplicado a la zona señalada en (b). (d) Imagen umbralizada. (e) Imagen enmascarada (f) Imagen después de aplicar el filtro mediana. (g) Imagen final de la etapa de procesamiento.



(h)

reg 1	n 2777 x 181 y 96	color 255 0 0	newcolor 254
	xini 150 yini 77	xmin 143 xmax 218	ymin 77 ymax 115
reg 2	n 3116 x 173 y 138	color 255 0 0	newcolor 253
	xini 147 yini 119	xmin 126 xmax 217	ymin 119 ymax 158
Numero de regiones: 2			
HAY VEHICULO ARRIBA Y ABAJO			
VEHICULO ARRIBA:			
Angulo de inclinación: 1.892455 grados			
VEHICULO ABAJO:			
Angulo de inclinación: 4.154851 grados			

(i)

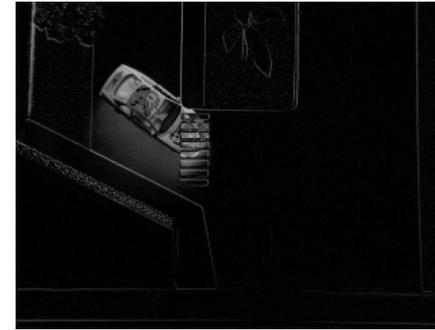
Figura 4.9. (h) Se puede apreciar la inclinación del vehículo y compararlo con el resultado final. (i) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo identifica dos vehículos, ubicados en la parte superior e inferior de la zona específica de análisis. El algoritmo determina la inclinación de ambos vehículos, se podría interpretar este resultado, afirmando que ambos vehículos tomarán el sentido norte - sur de la avenida (ver figura 3.19). La inclinación que arroja el algoritmo del vehículo inferior, es ligeramente mayor al que aparenta observando la imagen correspondiente (ver sección 4.2).

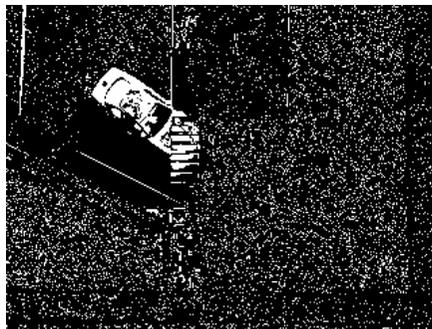
PRUEBA Nº 9



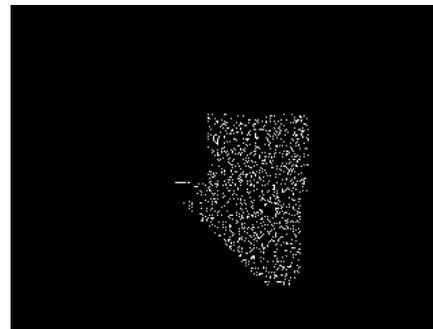
(a)



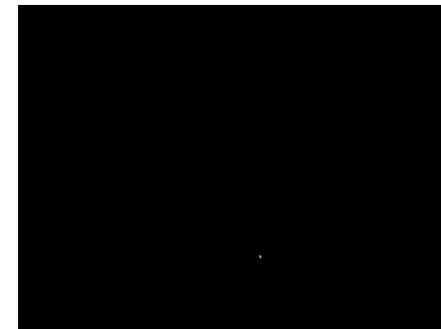
(b)



(c)

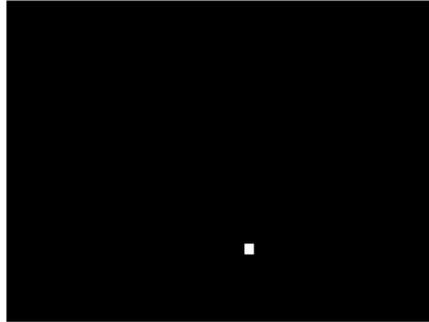


(d)



(e)

Figura 4.10. (a) Imagen original. (b) Resultado del valor absoluto de la resta de imágenes. (c) Imagen umbralizada. (d) Imagen enmascarada (f) Imagen después de aplicar el filtro mediana.



(f)



(g)

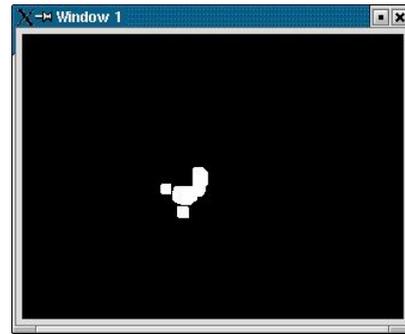
Figura 4.10. (f) Imagen final de la etapa de procesamiento. (g) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo no identifica vehículos. El vehículo que se observa en el primer cuadro de esta prueba, es un vehículo que no ha llegado a posicionarse correctamente en la zona específica de análisis.

PRUEBA N° 10



(a)



(b)

reg 1	n 79 x 120 y 130	color 255 0 0	newcolor 253
	xini 117 yini 126	xmin 116 xmax 124	ymin 126 ymax 134
reg 2	n 556 x 142 y 129	color 255 0 0	newcolor 254
	xini 144 yini 112	xmin 126 xmax 155	ymin 112 ymax 143
reg 3	n 98 x 135 y 150	color 255 0 0	newcolor 252
	xini 130 yini 145	xmin 130 xmax 139	ymin 145 ymax 154
Numero de regiones: 3			
NO HAY VEHICULOS			

(c)

Figura 4.11. (a) Imagen original. (b) Imagen final de la etapa de procesamiento. (c) Resultado final del algoritmo.

El resultado del algoritmo no identifica vehículos. Como en la prueba anterior, el vehículo que se observa en el primer cuadro de esta prueba, es un vehículo que no está correctamente posicionado en la zona específica de análisis.

4.2 Evaluación de resultados

Como se puede apreciar en las pruebas anteriores, los resultados son muy acertados. El algoritmo determina correctamente la ubicación de los vehículos, y determina la orientación de los mismos. El algoritmo tiene una eficiencia de 94.5%, es muy acertado. En la mayoría de las pruebas, el ruido generado por la resta de imágenes es eliminado completamente. En los pocos casos en que no fue así, se aprecia en la imagen final, regiones pequeñas que son descartadas del análisis por sus dimensiones y ubicación. Por la misma razón que se genera el ruido después de la umbralización, queda en la imagen trazos del cruce peatonal presente en la zona de estudio. Como estos trazos no afectan directamente a la zona específica de análisis, el enmascaramiento busca eliminarlos.

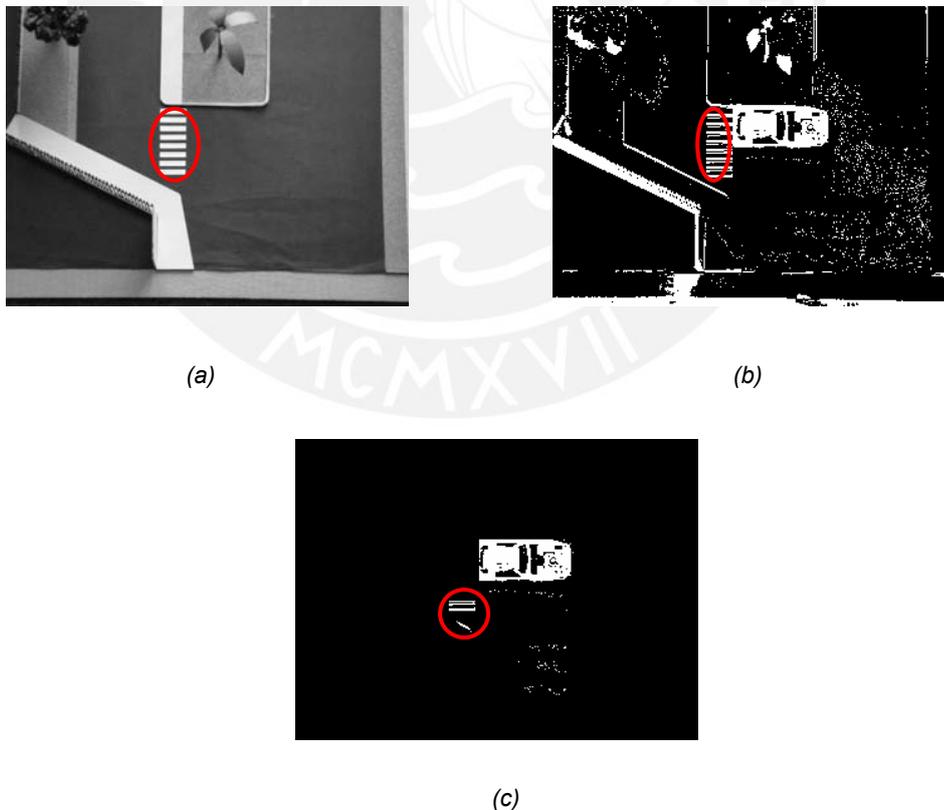


Figura 4.12. (a) Imagen base de la zona de estudio. (b) Imagen capturada con la cámara de video, después de la umbralización. (c) Imagen enmascarada.

Los vehículos presentan partes de color oscuro en sus superficies, esto provoca un agujero negro en el resultado previo a la dilatación y llenado de agujeros, esto es un problema que el programa subsana en el siguiente paso. El problema radica cuando los vehículos son de color entero y oscuro, estos casos no son considerados en este trabajo de tesis (ver sección 3.3).



*Figura 4.13. Izquierda.- Imagen posterior al filtro mediana.
Derecha.- Imagen final de la etapa de procesamiento.*

En las pruebas 7 y 8 mostradas anteriormente, la inclinación del vehículo ubicado en la parte inferior es ligeramente mayor a la que aparenta en la imagen correspondiente. Apareciendo la Figura 4.14, se puede calcular un ángulo de inclinación de los vehículos inferiores, aproximadamente igual a los superiores con un margen de ± 1 grados. Sin embargo, el algoritmo arroja una inclinación de aproximadamente $+ 3$ grados, con respecto a los vehículos superiores. Esto se debe a una pequeña distorsión de la región que la origina el enmascaramiento, pues en la parte posterior de la región, se pierde ligeramente la forma rectangular. Así el centro de masa varía, y el eje del momento de inercia mínimo también.

En la figura 4.15, se muestra una tabla con los ángulos de inclinación de los vehículos hallados por el programa, y los ángulos de inclinación hallados con la ayuda de un transportador (el transportador se usa en la imagen original de cada prueba, para hallar la inclinación del vehículo con respecto a la horizontal).

Al comparar estos datos, se obtiene el margen de error de la rutina de orientación.

Como se puede apreciar, el margen de error varía en el rango de 0 y 5 grados.



Figura 4.14. Izquierda.- El algoritmo arroja como resultado que el vehículo superior está inclinado 1.8 grados, mientras el inferior lo está 4.1 grados. Derecha.- El algoritmo arroja como resultado que el vehículo superior está inclinado 1.5 grados, mientras el inferior lo está 4.6 grados.

Prueba	Angulo Programa	Angulo transportador	Error
Prueba N°1	-16°	-11°	5°
Prueba N°2	-3°	1	4°
Prueba N°3	-47°	-49°	2°
Prueba N°4	1°	0°	1°
Prueba N°5	-46°	-45°	1°
Prueba N°6	0°	0°	0°
Prueba N°6	-36°	-39°	3°
Prueba N°7	2°	1°	1°
Prueba N°7	5°	0°	5°
Prueba N°8	2°	-1°	2°
Prueba N°8	4°	-1°	5°

Figura 4.15. Se muestra en la presente tabla los márgenes de error de la rutina de orientación, en las distintas pruebas realizadas en este trabajo de tesis. Los valores mostrados están ajustados al valor entero más cercano.

Finalmente, el tiempo promedio de ejecución del algoritmo varía ligeramente de acuerdo al número de vehículos presentes en la imagen. Para los casos con un vehículo el tiempo promedio es 85 milisegundos, y para los casos con 2 vehículos el tiempo promedio es 92 milisegundos. La etapa de procesamiento, es la que más demora, pues toma un tiempo entre 67 y 71 milisegundos. Se muestra a continuación los tiempos que toma cada rutina de esta etapa (tiempos en milisegundos).

<i>Resta de imágenes</i>	[0.92 1.15]
<i>Umbralización</i>	[0.66 0.83]
<i>Enmascaramiento</i>	[2.00 2.18]
<i>Filtro mediana</i>	[41.6 43.12]
<i>Dilatación</i>	[2.13 2.38]
<i>Fill holes</i>	[20.36 22.24]

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, la rutina del filtro mediana, es la que más demora. Esto se debe, a que esta rutina trabaja con variables de tipo “char”, y utiliza operaciones con punteros, lo que requiere más ciclos del procesador, sacrificándose el tiempo de ejecución. De la misma manera sucede con la rutina de fill holes.

4.2.1 Cálculo de la eficiencia

Hasta la rutina de segmentación, en la etapa de análisis, la eficiencia alcanzada es de 100%, pues el algoritmo ubica correctamente los vehículos presentes en la zona de análisis, en todas las pruebas realizadas. En la rutina de orientación, el cálculo de inclinación de las regiones, compromete la función arco tangente, lo que significa que el ángulo de inclinación varía entre -90 y 90 grados. El error máximo

será cuando la inclinación de la región sea exactamente 90 grados opuesta a la verdadera (ver Figura 4.16).

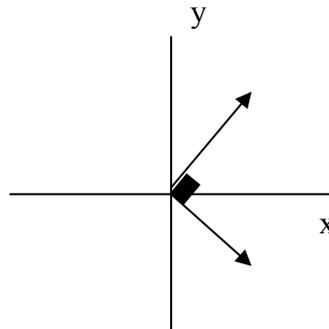


Figura 4.16. Se muestra el error máximo posible de la rutina de orientación (90 grados).

En la sección 4.2 se demuestra que el margen de error de la rutina de orientación varía entre 0 a 5 grados. En el peor de los casos el error es de 5.5 % (con respecto al error máximo posible de 90 grados), lo que se traduce en una eficiencia que varía entre 94.5 y 100 por ciento.

$$\left(\frac{x}{100}\right) * 90^\circ = 5^\circ$$

$$x = 5.5$$

$$\eta = 100\% - 5.5\% = 94.5\% \quad \text{Peor de los casos}$$

Para hallar la eficiencia total de todo el algoritmo, se toma el caso más crítico; así, la eficiencia queda definida como: 94.5 %

CONCLUSIONES

- La visión artificial es una herramienta muy útil para aplicaciones de control de tráfico vehicular. Aunque en algunos casos resulte ser menos económica que otros dispositivos electrónicos que realicen la misma tarea, la visión artificial es una herramienta completa y compacta. Y como se demuestra en este trabajo de tesis, el procesamiento de imágenes permite el manejo y monitoreo de muchas variables y parámetros, con una correcta programación.
- El algoritmo desarrollado, es una forma de alcanzar los objetivos trazados en esta tesis, pero no la única. En este trabajo, se ha usado el sistema operativo Linux, y el lenguaje de programación C, pero se puede usar el sistema operativo Windows y otro lenguaje de programación como el Matlab. Asimismo, pueden variar las rutinas desarrolladas en el algoritmo, siempre y cuando los objetivos se alcancen eficientemente. Esto último depende exclusivamente del programador.
- Las decisiones de último momento de los conductores, pueden limitar el correcto funcionamiento del algoritmo en mención. El programa puede arrojar como resultado, que un vehículo tomará el sentido sur – norte; sin embargo, el conductor decide tomar repentinamente el sentido opuesto, afectando la confiabilidad del programa. Aunque estas situaciones escapan al alcance del algoritmo, éstas no son muy comunes.

- La rutina correspondiente a la determinación de la orientación de los vehículos, es muy eficiente, y tiene un margen de error muy bajo (94.5% de eficiencia). La rutina está comprendida por operaciones matemáticas simples, lo cual no afecta significativamente a la velocidad de ejecución del programa (5.3 milisegundos en promedio, de tiempo de ejecución). Se recomienda el uso de este pequeño algoritmo para diferentes aplicaciones, donde se requiera determinar la orientación o inclinación de regiones.
- Los resultados arrojados por el programa son muy acertados, como se puede apreciar en el capítulo 4, la eficiencia alcanzada por el algoritmo trabajado en esta tesis es 94.5%. La velocidad de ejecución del programa varía entre 85 y 92 milisegundos aproximadamente, lo que indica que se puede trabajar sin problemas con secuencias de imágenes de 10 cuadros por segundo. Para las velocidades de los vehículos presentes en la zona de estudio (menores a 40 Km/seg cuando ingresan a la zona específica de análisis), resulta ser una velocidad de muestreo apropiada para esta aplicación. La etapa que toma más tiempo de ejecución es la de procesamiento, con un tiempo que varía entre 67 y 71 milisegundos. La etapa con menos tiempo de ejecución es la de análisis, con un tiempo promedio de 8 milisegundos.
- El ruido generado después de la resta de imágenes, es un factor inevitable. Capturar imágenes en tiempo real, idénticas a la imagen base, es poco probable debido a las ligeras vibraciones que pueda ocasionar el viento a la cámara de video (ver disposición de la cámara en la Figura 3.1). En este algoritmo se utilizó el filtro mediana para eliminar el ruido (un tipo de filtro no lineal), ya que el resultado del filtro media, mostraba los bordes de las regiones correspondientes a los vehículos, distorsionados. Ambos filtros son herramientas del programa VIP4L.
- El aporte de este trabajo de tesis, es la utilización de diferentes rutinas ya conocidas en el procesamiento de imágenes (umbralización, resta de

imágenes, filtros, operaciones morfológicas, segmentación y otros), para una aplicación específica como el control automático de tráfico vehicular en intersecciones de tipo “T”; de manera que sea accesible para ciudades de bajo desarrollo económico y tecnológico, pero con serios problemas de tráfico vehicular. El algoritmo desarrollado puede ser ejecutado desde una tarjeta FPGA, a un bajo costo. El resto de la inversión recaería en las instalaciones de la cámara de video y los dispositivos actuadores, como semáforos.



RECOMENDACIONES

Se plantea a continuación algunas recomendaciones, con el fin de extender los objetivos del algoritmo trabajado.

1. Hacer pruebas durante la noche, con luz artificial. Tanto con luz blanca como amarilla, y comparar resultados.
2. En escala natural, la altura de la cámara con respecto al suelo es de 17.5 metros. Esto puede mejorarse, pues una altura menor reduciría costos de instalación.
3. Trabajar con más profundidad la etapa de pre-procesamiento, con el objetivo de ampliar la gama de colores de los vehículos con los que trabaja el algoritmo.
4. Trabajar diferentes herramientas para eliminar el ruido que se presenta en la resta de imágenes. Usar otros tipos de filtros, como el gaussiano, o implementar otras rutinas que mejoren el resultado obtenido con el filtro mediana, y/o reducir el tiempo de ejecución de éste.
5. Mejorar la rutina de umbralización, de manera que el valor umbral se modifique automáticamente dependiendo de los niveles de iluminación de la imagen. Trabajar con un valor umbral variable, facilitaría las pruebas con luz artificial.
6. Aplicar el algoritmo a secuencias de imágenes (video), y tomar en cuenta los resultados para mejorar el programa.

FUENTES

- [1] MAMIC, George y MOHAMMED, Bennamoun.
2002 Representation and Recognition of 3D Free – Form Objects. *Digital Signal Processing*, 12 (1): 47 - 76
- [2] VELASTIN, Sergio y VALERA, M.
2005 Intelligent distributed surveillance systems: a review. *IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, 152 (2): 192 - 204
- [3] MICHELONI, FORESTI y SNIDARO.
2005 A network of co – operative cameras for visual surveillance. *IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, 152 (2): 205 – 212
- [4] CUCCHIARA, GRANA, PRATI Y VEZZANI.
2005 Computer vision system for in – house video surveillance. *IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, 152 (2): 242 – 249
- [5] HSU, LIAO, JENG y FAN.
2004 Real – time traffic parameter extraction using entropy. *IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, 151 (3): 194 - 202
- [6] TSANG, P y YU, Z.
2003 Genetic algorithm for model – based matching of projected images of three-dimensional objects. *IEE Proceedings Vision, Image and Signal*

- [7] DESURMONT, BASTIDE, CHAUDY, PARISOT, DELAIGLE y MACQ.
2005 Image analysis architectures and techniques for intelligent surveillance systems. *IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing*, 152 (2): 224 – 231
- [8] RADELAT, Guido.
2003 Principios de ingeniería de tránsito.
Washington, D.C.: Instituto de ingenieros de transporte.
- [9] DEXTRE QUIJANDRIA, Juan Carlos.
2001 Curso de ingeniería de tráfico. Gestión de tránsito.
San Isidro: Colegio de ingenieros del Perú.
- [10] DALL'ORTO, Augusto.
1992 Ingeniería de tránsito
San Isidro: Colegio de ingenieros del Perú.
- [11] BOX, Paul.
1985 Manual de estudios de ingeniería de tránsito. 4ta. Ed.
México, D.F.: Representaciones y servicios de ingeniería.
- [12] MC GEE, Hugh.
2003 Making intersection safer: a toolbox of engineering countermeasures to reduce red light running
Washington, D.C: Institute of transportation engineers.

[13] INSTITUTO DE INVESTIGACION SOBRE REPARACION DE VEHICULOS,
Centro Zaragoza.

2003 Los sistemas inteligentes de transporte.
Zaragoza: Centro Zaragoza.

[14] PARKER, J.

1996 Algorithms for image processing and computer vision
New York: Willey

[15] ESCALERA HUESO, Arturo.

2001 Visión por computadora: fundamentos y métodos
Madrid: Prentice Hall.

[16] MYLER, Harley.

1999 Fundamentals of machine vision.
Bellingham (Estados Unidos): SPIE Optical engineering press.

[17] ZULOAGA EYZAGUIRRE, Aitzol

1997 Determinación del movimiento a partir de secuencias de imágenes.
Mundo Electrónico, (278): p. 55 – 59.

[18] ACHING SAMATELO, Jorge.

2003 Algoritmos para el reconocimiento de imágenes de huellas dactilares.
Electrónica UNMSM, (12): p. 11 – 20.

[19] ANDREGUETTI, Marco.

2003 Soluciones para el tratamiento de imágenes en el automóvil. *Mundo electrónico*, (345): p. 52 – 56.

[20] CERVERON, DOMINGO, VICENS.

1992 Tratamiento digital de imágenes. *Mundo electrónico*, (233): p. 78 – 85.

[21] ORTUZAR, JUAN.

2000 Modelos de demanda de transporte. 2da. ed.
México, D.F.: Alfaomega grupo editor.

[22] DAVIS, Anne G.

2003 Managing Traffic in Mission Valley is "The Main Event". *ITS America News* [En línea], 13 (9). Septiembre [Consultado 20/09/06].
<<http://www.itsa.org/>>

[23] WERING, Marco

2003 Intelligent Traffic Light Control. *Ercim News* [En línea], (53). Abril [Consultado 22/09/06].
<http://www.ercim.org/publication/Ercim_News/enw53/wiering.html>

[24] GAMINO CARRANZA, Arturo

2004 Operaciones morfológicas rápidas por descomposición del elemento de estructura mediante discos [En línea]. Tesis (Ing.). Centro de investigación y de estudios avanzados del instituto politécnico nacional.

México, D.F. [Consultado 3/10/06]

<http://www.ctrl.cinvestav.mx/~biene/ThesisFiles/TesSkelMorfolArturo.pdf>

[25] UOCT: Unidad operativa de control de Transito

[Consultado 10/09/06]

http://www.uoct.cl/uoct/mapas_info/ind_congestion.jsp#

[26] JEREZ

Centro de control de tráfico [En línea] Jerez (España).

[Consultado 10/09/06]

<http://www.webjerez.com/index.php?id=609>

[27] ITS AMERCIA

[Consultado 10/09/06]

<http://www.itsa.org/>

[28] MTC

[Consultado 15/09/06]

<http://www.mtc.gob.pe>

[29] INTI, Electrónica e informática

[Consultado 15/09/06]

<http://www.inti.gov.ar/citei>

[30] VISION ARTIFICIAL

[Consultado 2/10/06]

<http://www-etsi2.ugr.es/depar/ccia/mia/transparencias/t1/T1bn.pdf>

[31] MIX, Ingeniería

Sistemas de control de infracciones de tránsito vehicular [En línea].

Buenos Aires. [Consultado 3/10/06]

<http://www.mixingenieria.com.ar/>

[32] RM, Municipalidad de Rosario

Centro de control de tránsito [En línea]. Rosario (Argentina)

[Consultado 6/10/06].

http://www.rosario.gov.ar/sitio/servicios/transito/control_transito.jsp

[33] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMATICAS APLICADAS Y EN SISTEMASRM, UNAM

Reconocimiento invariante de objetos aplicado a un sistema de visión para robots [En línea]. [Consultado 16/06/07].

<http://paas.cinstrum.unam.mx/~rkm/somi17/extensos/extensos/66-SOMI2002%20extenso.doc>