



**INAOE**

# **Conjunto de Componentes para Aplicaciones de Advertencia en Colisión de Vehículos**

Por:

**Erika Pérez Aguilar**

Tesis sometida como requisito parcial para obtener  
el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN LA  
ESPECIALIDAD DE ELECTRÓNICA**

en el

**Instituto Nacional de Astrofísica,  
Óptica y Electrónica**

Noviembre 2011

Tonantzintla, Puebla

Supervisada por:

**Dr. Jorge Francisco Martínez Carballido**

©INAOE 2011

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de  
reproducir y distribuir copias de esta tesis en su  
totalidad o en partes mencionando la fuente.





# Resumen

---

En este trabajo se presenta un método sencillo para la detección de vehículos al frente con el fin de emitir una alarma para la posible realización de una acción.

El método propuesto se basa en la detección del área oscura que se forma debajo del vehículo por la sombra reflejada sobre el pavimento. Para lograr esta detección se seleccionan las áreas de interés, se realzan las sombras o colores oscuros en estas áreas y la información obtenida se convierte a una matriz sencilla donde se hace la búsqueda de los bordes de sombra. Una vez detectado el vehículo de interés en alguna de las zonas de riesgo, se emite una alarma para que el sistema CWS pueda tomar una decisión de acuerdo a la situación.

Los resultados obtenidos demuestran una eficacia del 95%, lo que hace que este método sea competitivo con los métodos que existen actualmente en el mercado.



# *Agradecimientos*

*A mis padres por su apoyo incondicional*

*A mi asesor, Dr. Jorge Martínez Carballido por su paciencia, apoyo y por los conocimientos que me brindó para poder realizar esta tesis.*

*A mis compañeros y amigos por su apoyo.*



# *Dedicatoria*

*A Alex y Aidan*





# Contenido

---

Resumen .....	i
<i>Agradecimientos</i> .....	iii
<i>Dedicatoria</i> .....	v
<b>Capítulo 1 Generalidades</b> .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Motivación .....	3
1.3. Justificación .....	3
1.4. Problema .....	4
1.5. Objetivo .....	4
1.6. Hipótesis .....	5
1.7. Organización de la Tesis .....	5
<b>Capítulo 2 Antecedentes</b> .....	6
2.1. Introducción .....	6
2.2. Sistemas Propuestos .....	6
2.3. Sistemas Comerciales .....	8
2.3.1. Ford .....	9
2.3.2. Honda .....	10
2.3.3. General Motors .....	11
2.3.4. Volvo .....	11
2.3.5. BMW .....	13
2.3.6. Nissan .....	14
2.4. Sumario .....	14
<b>Capítulo 3 Alternativas Exploradas</b> .....	15
3.1. Diferencia de Imágenes .....	15
3.2. Segmentación de zonas rojas .....	16
3.3. Histograma .....	19
3.4. Búsqueda de Bordes .....	23
3.5. Sumario .....	26

<b>Capítulo 4 Descripción General y Funcionamiento.....</b>	<b>28</b>
4.1. Detección del vehículo.....	28
4.2. Determinación de la zona de riesgo.....	34
4.3. Medición de distancias .....	38
4.4. Selección del tamaño de las ventanas.....	40
4.5. Sumario .....	41
<b>Capítulo 5 Resultados .....</b>	<b>42</b>
5.1. Verdaderos Positivos.....	46
5.2. Falsos Positivos.....	47
5.3. Verdaderos Negativos .....	48
5.4. Prueba en diferentes asfaltos .....	49
5.5. Pruebas de noche.....	49
5.6. Discusión de Resultados .....	51
5.6.1. Tiempo de ejecución.....	51
5.7. Sumario .....	53
<b>Capítulo 6 Conclusiones y Trabajo a Futuro .....</b>	<b>54</b>
6.1. Conclusiones .....	54
6.2. Trabajo a futuro .....	55
Referencias .....	56
Índice de Tablas .....	60
Índice de Figuras .....	60

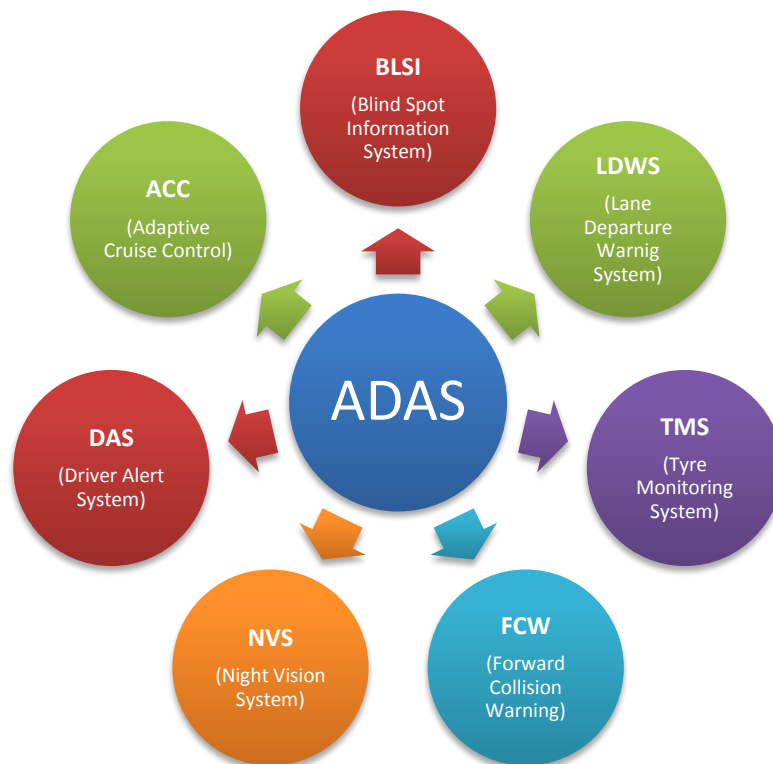
# Capítulo 1 Generalidades

---

## 1.1. Introducción

La invención del automóvil ha sido un gran logro en la historia de la humanidad y ha contribuido en muchos aspectos de la vida. En la actualidad los automóviles representan el medio de transporte más usado por las personas y, por lo mismo, el tránsito se eleva cada día, así también la tasa de accidentes vehiculares crece progresivamente, de los cuales, una gran cantidad es por colisiones en la parte trasera de los vehículos.

Tradicionalmente las compañías automovilísticas han puesto énfasis en el aumento de la seguridad dentro de los vehículos y la disminución de posibles lesiones durante un accidente mediante el uso de cinturones de seguridad, bolsas de aire, sistemas de frenado, etc., sin embargo, durante la última década, se ha puesto especial interés no sólo en la disminución de los daños, sino en la prevención de los mismos. La investigación y desarrollo de sistemas inteligentes de seguridad en los vehículos ha dado lugar a la creación de los llamados Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (*Advanced Driver Assistance Systems*, ADAS), los cuales son una variedad de sistemas electrónicos independientes diseñados para ayudar al conductor a maniobrar en diferentes condiciones de tráfico. Dentro de estos sistemas se encuentran los Sistemas de Advertencia de Colisión (*Collision Warning System*, CWS) y más específicamente los Sistemas de Advertencia de Colisión Frontal (*Forward Collision Warning System*, FCWS), tema en el cual se centra este trabajo de tesis.



**Figura 1.1. Sistemas de asistencia al conductor**

Un Sistema de Advertencia de Colisión, a través de uno o más sensores, recopila constantemente información del camino. Al detectar un obstáculo, el sistema evalúa las circunstancias para determinar si existe la posibilidad de una colisión y alerta para la posible realización de una acción, ya sea activar un sistema de frenado, esquivar el obstáculo o desplegar una advertencia con el fin de que el conductor pueda tomar una decisión ante la situación.

Este tipo de sistemas se ha vuelto de gran importancia debido a que se considera que la falta de atención mientras se maneja es la mayor causa de accidentes de tráfico.

## 1.2. Motivación

Día a día la cantidad de accidentes de tránsito se eleva, así mismo, el ritmo de vida se acelera cada vez más, y se tienen más distracciones que ponen en peligro potencial la seguridad de los conductores, como contestar el teléfono, escribir mensajes de texto, comer o beber mientras se maneja, de igual manera, el estrés y el cansancio afectan de forma importante el desempeño de los conductores. Aunado a esto, la mayoría de los vehículos que circulan en nuestro país no están debidamente equipados en materia de seguridad, o en su caso, los equipos de seguridad disponibles protegen de manera pasiva, es decir, tratan de reducir la severidad de los posibles daños en una colisión, en vez de tratar de evitar el accidente.

Los sistemas CWS presentan grandes expectativas en cuanto a prevención de accidentes se trata; sin embargo, hasta el momento, sólo están disponibles en automóviles de lujo, cuyo costo es elevado, o simplemente no entran en el mercado de nuestro país. Estos sistemas están basados en múltiples sensores como radares y cámaras, lo cual aumenta su precio, además presentan algoritmos complejos que extienden su tiempo de ejecución.

## 1.3. Justificación

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, existen al año 1.3 millones de fatalidades debidas a accidentes de tránsito [1]. En México, según cifras de la Secretaría de Salud, la cantidad de accidentes vehiculares puede ser hasta seis veces mayor a las estadísticas reportadas que marcan 890 mil accidentes al año, cerca de 40 decesos, 40 mil lesiones con discapacidad y 700 mil hospitalizaciones [2].

Estudios muestran que la falta de atención mientras se maneja es un factor en la mayoría de los accidentes. Las principales distracciones son

provocadas por actividades comunes como hablar con un pasajero, contestar el teléfono, fumar, etc. En general, las distracciones de un conductor pueden ser clasificadas en: *visuales, acústicas, cognitivas y acciones físicas*. [3]

Muchos de estos accidentes podrían ser evitados si los conductores fueran notificados con anticipación del peligro en el que se encuentran. Por esta razón, los sistemas de advertencia de colisión ofrecen un recurso prometedor en cuanto a la reducción del número y severidad de los accidentes de tránsito.

### 1.4. Problema

Los sistemas CWS que existen actualmente no están al alcance de todos, debido a su alto costo y a su disponibilidad sólo en automóviles de lujo. Además de esto, dichos sistemas consisten en más de un sensor, lo que conlleva a una gran cantidad de datos que procesar, además de que cada sensor tiene sus propias limitaciones, y, por otra parte, cuentan con algoritmos complejos que aumentan el tiempo de ejecución del mismo.

### 1.5. Objetivo

Presentar un algoritmo sencillo, orientado a hardware, capaz de realizar la detección de automóviles al frente, adaptable a diferentes velocidades y resoluciones de imágenes, usando un sensor común como lo es la cámara fotográfica, con el fin de desplegar una alarma que sirva de apoyo al conductor para prevenirlo del peligro en que se encuentra.

### **1.6. Hipótesis**

La detección de vehículos se llevó a cabo en base a la zona oscura que se forma debajo de las llantas traseras del automóvil, dado que es una característica constante en las imágenes probadas y, además su forma tiende a ser casi invariante, por lo cual, mediante la binarización y el resalte de zonas oscuras con cierto umbral parametrizado se logra la detección de rasgos específicos como son los bordes laterales.

### **1.7. Organización de la Tesis**

En el capítulo 2 se presenta una revisión sobre algunos sistemas de asistencia al conductor propuestos por diversos investigadores y algunos otros que ya han salido al mercado a cargo de compañías automovilísticas.

El capítulo 3 presenta algunas de las alternativas exploradas durante el proceso de realización del trabajo, asimismo se presenta el resultado que se obtuvo con cada una de ellas.

El capítulo 4 explica el funcionamiento de cada uno de los bloques utilizados para la integración del algoritmo final con sus respectivos resultados.

En el capítulo 5 se muestran los resultados de las pruebas realizadas al integrar los bloques presentados en el capítulo 4 en un código único, así como una breve discusión de los resultados obtenidos.

Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones más importantes referentes a los resultados obtenidos durante la realización de este trabajo y se mencionan los trabajos a futuro de la tesis.

# Capítulo 2    Antecedentes

---

## 2.1.    Introducción

Hoy en día, la importancia del uso de sistemas de asistencia al conductor crece rápidamente, debido a que se espera que estos sistemas mejoren la seguridad en el camino.

Los accidentes de tráfico tienen consecuencias negativas como fatalidades, heridos, daños materiales, interrupción del tráfico, etc. La introducción de sistemas adecuados de asistencia al conductor puede ayudar a disminuir en cierta medida estas consecuencias, tanto en términos de frecuencia como de intensidad.

## 2.2.    Sistemas Propuestos

Desde inicios de 1990, muchos métodos de advertencia y evasión de colisiones han sido propuestos, en su mayoría por investigadores industriales. Doi *et al.* [4], estudiaron la efectividad un sistema de la evasión de colisiones traseras capaz de funcionar tanto en las secciones rectas como en las secciones curvas del camino. Ellos identificaron cuatro elementos clave: un sensor de vista frontal (radar láser), estimación de la trayectoria, predicción de la colisión y control de frenado automático. Fujita *et al.* [5], propusieron un sistema automático de frenado basado en radar para prevenir las colisiones en la parte trasera de los vehículos o reducir la velocidad de impacto sin efectos adversos en el manejo normal. Araki *et al.* [6], desarrollaron un sistema de evasión de colisiones traseras integrando cámaras CCD, un radar láser y un algoritmo de aprendizaje difuso a partir del tiempo de frenado del conductor. Barber *et al.* [7], presentaron dos algoritmos



de advertencia de colisión basados en el tiempo para la colisión, rango, rango promedio y aceleración relativa. Seiler *et al.* [8], derivaron un algoritmo de advertencia de colisión usando parámetros estimados provenientes de un esquema de estimación de fricción de llantas. [9]

Algunos tipos de sistema de asistencia al conductor necesitan muchos instrumentos para manejar la información. Wijesoma *et al.* [10], usaron radar para detectar el estado del camino. Si las condiciones eran clasificadas como casos irregulares, el sistema emitiría mensajes de alerta. Sin embargo, los accidentes automovilísticos no son causados únicamente por las condiciones del camino, sino también por distancias inapropiadas entre vehículos. Sheu *et al.* [11], propuso un sistema capaz de proveer información útil del entorno, como direcciones y distancias de los vehículos cercanos, de tal forma que se pudieran evitar colisiones innecesarias. La idea principal de esta propuesta es instalar sistemas de asistencia en todos los coches, de forma tal que cada vehículo pueda detectar a los otros por medio de antenas inteligentes que intercambien información para mantener la conducta adecuada. No obstante, estos sistemas no son prácticos ya que necesitan más instrumentos para detectar el camino y los vehículos, lo cual incrementa el costo y la limitación comparado con sistemas más sencillos. Además, en el proyecto de vehículos de seguridad avanzada de Toyota, el conductor debe vestir una muñequera con el fin de medir su ritmo cardíaco y Mitsubishi ha reportado el uso de sensores en el volante para medir el comportamiento del vehículo y detectar si el conductor se adormece mientras maneja.

Otros métodos están basados en la visión por computadora y requieren varias cámaras y el módulo que calcula la seguridad al conducir. Hayami *et al.* [12], usa el aspecto de los ojos para juzgar si el conductor se adormece. En este algoritmo pocos parámetros son calculados rigurosamente por lo que la precisión no es suficiente para proveer seguridad. Para aumentar el grado de precisión y robustez se calculan

ecuaciones más complejas y aunque el desempeño se ha mejorado, la complejidad computacional se incrementa considerablemente. [13]

Varios trabajos relacionados con este tema realizan sistemas completos capaces de ejecutar varias funciones como seguimiento y detección de autos y peatones, detección del camino y advertencia de colisiones. Stein *et al.* [14], desarrollaron un sistema en un chip con el fin de tener suficiente capacidad de cómputo para trabajar en tiempo real y mantener un tamaño pequeño en el empaquetado de tal forma que el consumo de energía sea bajo, entre otros objetivos, sin embargo, utiliza algoritmos complejos de tal forma que es necesario utilizar dos CPU's a la vez. Liang *et al.* [15], proponen un sistema de advertencia en colisiones basado en FPGA basado en tres bloques funcionales: detección de bordes usando una red fuso-resistiva, detección de objetos móviles inspirado en la propagación neuronal en el hipocampo, y evaluación del peligro y advertencia de colisión usando inferencia difusa. En este caso sólo los dos primeros bloques fueron implementados en FPGA, los cuales ocupan algoritmos complicados. Steinfeld *et al.* [16], desarrollaron un sistema de advertencia de colisiones laterales que fue implementado en un autobús, para el cual utilizaron gran cantidad de sensores, entre ellos radares y escáneres láser, cámaras y sensores de obstáculos.

### 2.3. Sistemas Comerciales

Algunas empresas han diseñado e implementado sus propios sistemas de advertencia al conductor, sin embargo, sólo pueden encontrarse en sus automóviles de gama alta, o en algunos casos, han sido prototipos que no han salido al mercado, haciendo que se vuelvan inaccesibles para la mayoría de la gente.

### 2.3.1. Ford

Advertencia de Colisión con Soporte de Frenado: El sistema usa radar para detectar vehículos en movimiento al frente y alerta al conductor del peligro con una alarma y una luz de advertencia. El sistema también precarga los frenos automáticamente y activa un sistema de frenado electrónico para ayudar a los conductores a detenerse más rápidamente.

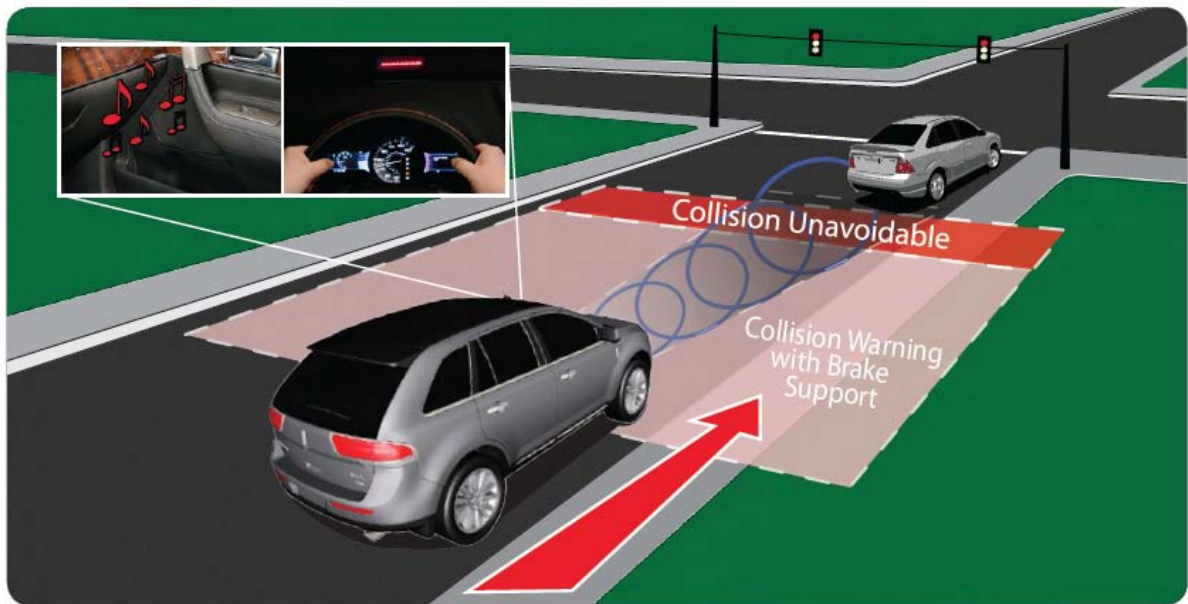


Figura 2.1. Funcionamiento del sistema presentado por la compañía Ford [17]

- El sistema provee una alerta audible cuando detecta una reducción en la velocidad de los vehículos al frente.
- Cuando se detecta peligro de colisión, provee una luz roja de advertencia que parpadea sobre el parabrisas.
- Si la respuesta del conductor se retrasa, el sistema precargará los frenos para preparar el vehículo para un frenado más agresivo para ayudar a evitar accidentes en la parte trasera el automóvil al frente.
- Si el conductor desacelera rápidamente, indicando que desea disminuir la velocidad, el sistema aplicará los frenos a un nivel nominal

para desacelerar el vehículo más rápido de lo que el conductor puede mover su pie al pedal del freno.

- Si el conductor golpea el pedal del freno rápidamente, el sistema está diseñado para proveer la capacidad de frenar completamente para evitar o mitigar un daño potencial. [17] [18]

Se anunció que este sistema estaría disponible en 2010 en el Ford Taurus, Lincoln MKS sedán y Lincoln MKT crossover.

### **2.3.2. Honda**

En el año 2003 la compañía japonesa Honda anunció el desarrollo del primer sistema de frenado para mitigación de colisiones, el cual predice las colisiones en la parte trasera y asiste la operación de los frenos para reducir el impacto en los ocupantes y el daño al vehículo. Este sistema sería lanzado al mercado en Junio de 2003.

- Primera advertencia: Cuando existe riesgos de colisión con el vehículo al frente o si la distancia entre los vehículos es demasiado corta, se activa una alarma auditiva y el mensaje “BRAKE” aparece desplegado en el tablero. Sugiriendo al conductor tomar una acción preventiva.
- Segunda advertencia: Si la distancia entre los dos vehículos continúa disminuyendo, el sistema aplica un frenado leve y el cinturón de seguridad es tensado dos o tres veces, proporcionando una advertencia táctil al conductor. En este punto, si el conductor aplica los frenos, el sistema interpreta esta acción como un frenado de emergencia, y activa el asistente de frenado para reducir la velocidad del impacto.
- Reducción del daño de la colisión: Si el sistema determina que la colisión es inevitable, los cinturones de seguridad son tensados para

asegurar al conductor. También se activan los frenos para reducir la velocidad del impacto. [19]

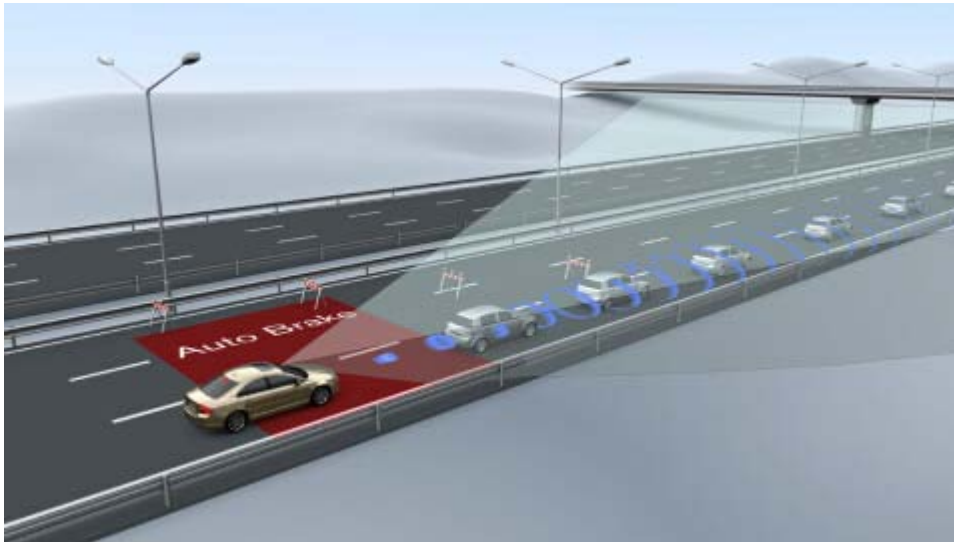
### **2.3.3. General Motors**

La compañía General Motors planea lanzar al mercado en 2012 su sistema de alerta de colisión, del cual asegura es el primer sistema “accesible” en cuanto a costo. El sistema está basado en una sola cámara detrás del espejo retrovisor para ayudar al conductor a evitar colisiones frontales y accidentes por cambios sin señalamiento en el camino.

- El sistema usa una cámara digital de alta resolución montada en el parabrisas detrás del espejo retrovisor, la cual busca formas de vehículos y marcas en el pavimento.
- Una vez detectado el vehículo, se analizan los cambios de tamaño en imágenes consecutivas para calcular el tiempo de colisión. El sistema también usa velocidad, cambios direccionales y sensores que examinan cómo han sido aplicados el acelerador y el freno para determinar cuándo alertar al conductor.
- El sistema usa alarmas auditivas y una alerta visual para advertir al conductor si está siguiendo a un vehículo demasiado cerca, si una colisión es inminente o cuando sale del camino sin señalarlo primero. [20]

### **2.3.4. Volvo**

Volvo “Collision Warning with Auto Brake”. Este sistema combina el uso de radar y cámara para detectar vehículos al frente e incorpora un frenado automático cuando una colisión es inminente.



**Figura 2.2. Funcionamiento del sistema Volvo “Collision Warning with Auto Brake” [21]**

- Utiliza un radar con un rango de 150 metros y una cámara con rango de visión de 55 metros. La cámara detecta las luces de freno del vehículo que antecede para evitar falsas señales cuando los autos están estacionados o detenidos momentáneamente.
- El sistema se activa cuando la información de ambos sensores indica que la situación es crítica.
- Si el vehículo se aproxima por detrás a otro vehículo y el conductor no reacciona, se activa una luz roja parpadeante en el parabrisas. Al mismo tiempo se emite una alarma audible.
- Si se detecta que una colisión es inminente y el conductor no frena, se activan los frenos con el fin de reducir la velocidad de impacto y por lo tanto, reducir el riesgo de lesiones de los ocupantes de ambos vehículos.
- Limitaciones visuales como poca luz, niebla, nieve y condiciones climáticas extremas pueden hacer este sistema inutilizable por momentos. [21]

### 2.3.5. BMW

BMW “Connected Drive” es un sistema que ofrece asistencia al conductor incluyendo un sistema de advertencia de colisión con activación de frenos.

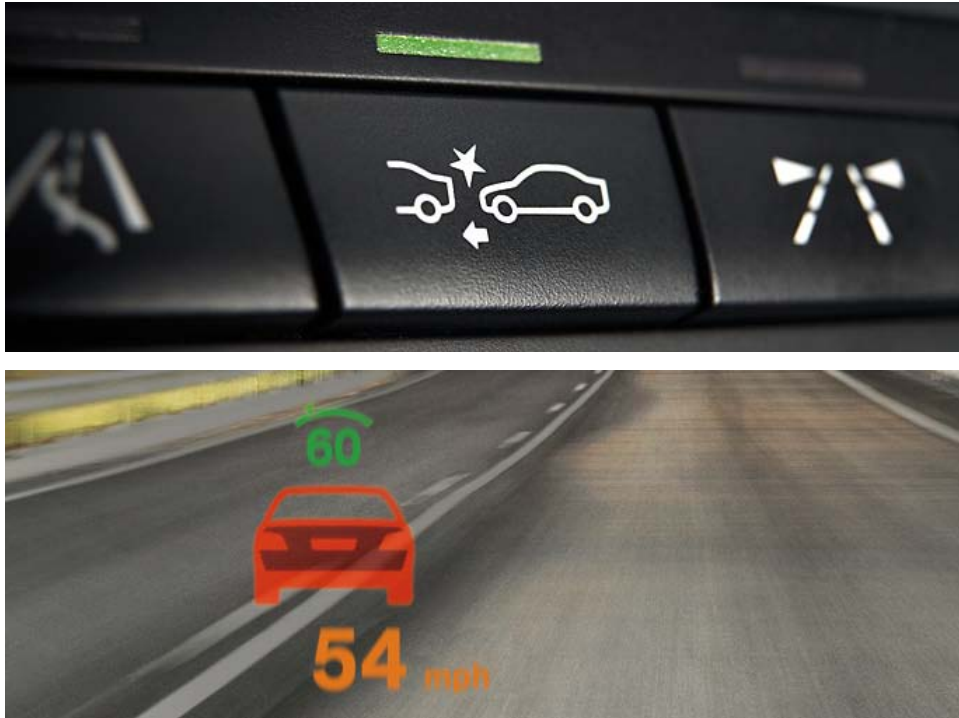


Figura 2.3. (Arriba) Botón de activación del sistema de BMW. (Abajo) Advertencia mostrada por el sistema en caso de una posibilidad de colisión. [22]

- Al presentarse la posibilidad de una colisión con el vehículo al frente, se emite un aviso preliminar con el símbolo de un vehículo rojo en el tablero. Al mismo tiempo se precargan los frenos y el nivel mínimo de activación del sistema de frenado es disminuido.
- Si una colisión es inminente, el sistema activa una señal acústica además de la señal visual. Si aún así el conductor no frena, se activa un sistema de demora donde el auto frena por 1.2 segundos con una desaceleración reducida, de esta manera, la velocidad ya ha sido reducida antes de que el conductor aplique los frenos. [23]

### **2.3.6. Nissan**

En 2011, la empresa Nissan publicó, entre otras tecnologías, su Sistema Predictivo de Advertencia de Colisión Frontal. Este sistema usa un radar de onda milimétrica para detectar la desaceleración del vehículo al frente.

- El sensor situado al frente del vehículo, analiza la velocidad relativa y la separación entre los dos vehículos al frente.
- Cuando el sistema determina la necesidad de desacelerar, advierte al conductor anticipadamente con una señal auditiva, una señal visual y también tensando el cinturón de seguridad. [24]

## **2.4. Sumario**

En este capítulo se presentó una breve reseña acerca de algunos sistemas de asistencia al conductor. Algunos de estos sistemas han sido propuestos por investigadores y otros han sido sacados al mercado por compañías manufactureras de automóviles, todos con el mismo propósito; el servir como una ayuda al conductor que pueda ser utilizada para la prevención de accidentes y el aumento de la seguridad vial.

El siguiente capítulo presenta algunos experimentos realizados durante el proceso creativo de este trabajo, todos ellos con el fin de explorar diferentes alternativas que nos llevaran al desarrollo del algoritmo que finalmente se utilizó.



## Capítulo 3 Alternativas Exploradas

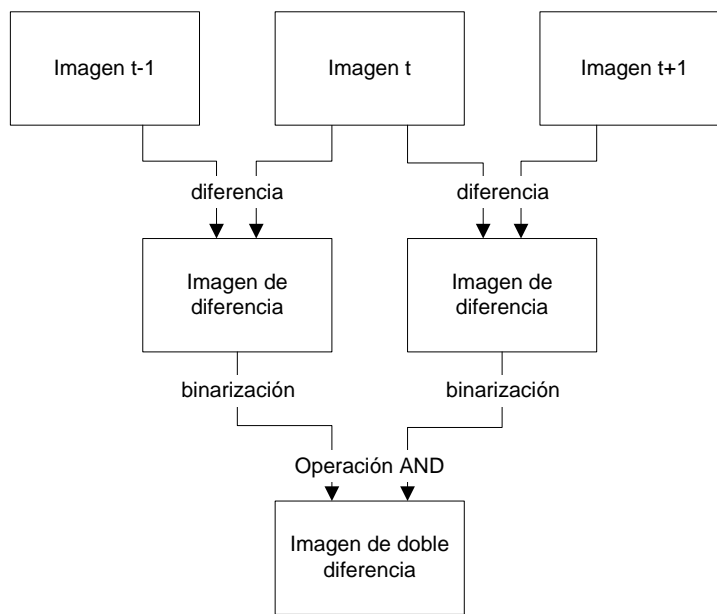
---

Durante el desarrollo de este trabajo se analizaron diferentes alternativas con el fin de lograr la detección del vehículo. En este capítulo se describen las más significativas, así como los resultados obtenidos con cada una.

### 3.1. Diferencia de Imágenes

Debido a su simplicidad, este método es popular en cuanto a detección de cambios. Para su realización únicamente se requiere calcular los valores absolutos de las diferencias de píxeles correspondientes entre dos imágenes; valores mayores representan la ubicación de los cambios.

Una de las pruebas efectuadas consistió en la aplicación del método de doble diferencia, el cual se obtiene haciendo la diferencia de imágenes sucesivas y posteriormente aplicando una operación lógica AND al resultado obtenido, como se muestra en el siguiente diagrama:



**Figura 3.1. Proceso para obtener una imagen de doble diferencia**

Éste es un proceso sencillo, sin embargo sólo es útil cuando en las imágenes no se incluye ningún objeto en movimiento, excepto por el objeto de interés. La mayor parte de las fotografías utilizadas presenta objetos en movimiento debido a que se tomaron durante el desplazamiento del vehículo. A causa de esto, existen variaciones en cuanto a los objetos capturados y las distancias entre el vehículo y los mismos. Por lo cual, con este método no se obtuvieron resultados relevantes.

### 3.2. Segmentación de zonas rojas

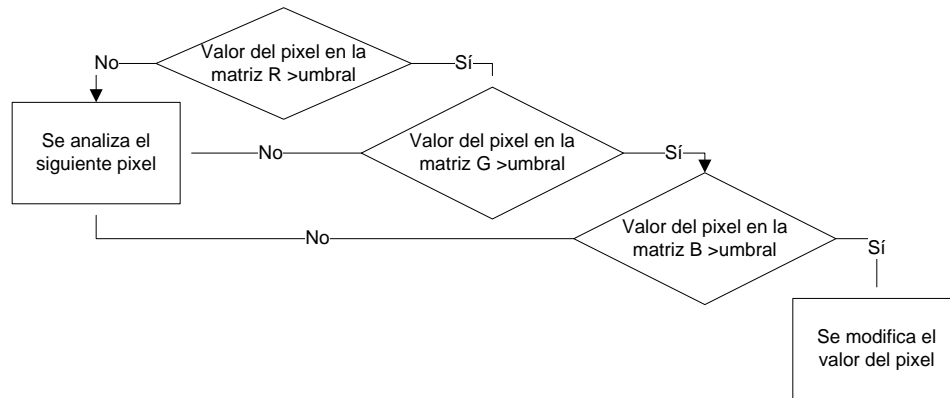
El objetivo de la segmentación es dividir o extraer partes de la imagen con una característica en común, como una intensidad o una textura, para obtener una representación más fácil de analizar.

Se observó que un rasgo usual en los automóviles son las luces de los frenos. Habitualmente estas luces son de color rojo, o en su defecto, las micas que las cubren son de este color, por lo cual, otra de las pruebas

realizadas consistió en aislar estas porciones de la imagen por medio de un umbral.

Las imágenes manejadas tienen el formato de color RGB, es decir, la imagen resulta de la combinación de los colores rojo (R), verde (G) y azul (B), por lo cual existen tres matrices para cada imagen, donde se contiene la intensidad de cada uno de estos colores para cada pixel.

Se realizó un primer experimento de este método, el cual consistió en desarrollar un algoritmo donde se estableció un umbral para cada una de las matrices con el fin de eliminar las partes rojas de la imagen. Este proceso se muestra el siguiente diagrama:



**Figura 3.2. Proceso para eliminar las partes rojas de la imagen**



**Figura 3.3. (Arriba) Imagen original. (Abajo) Imagen donde se han extraído las áreas rojas**

Una vez logrado esto, se trabajó en el proceso inverso, es decir, en vez de eliminar las áreas rojas, se eliminó el fondo dejando únicamente las partes rojas de la imagen con el siguiente resultado:



**Figura 3.4. Imagen procesada donde se ha eliminado el fondo, dejando únicamente las áreas con tonalidades rojas**

Con el algoritmo anterior se logró aislar las áreas con tonalidades rojas de la imagen, sin embargo, la imagen resultante también contiene partes con tonalidades amarillas, esto se debe a que el color amarillo es una

combinación de los tres colores, en su mayoría rojo y verde. Para tener una mejor segmentación fue necesario modificar el umbral para cada matriz, con el siguiente resultado:



**Figura 3.5. Imagen donde se han aislado las partes rojas**

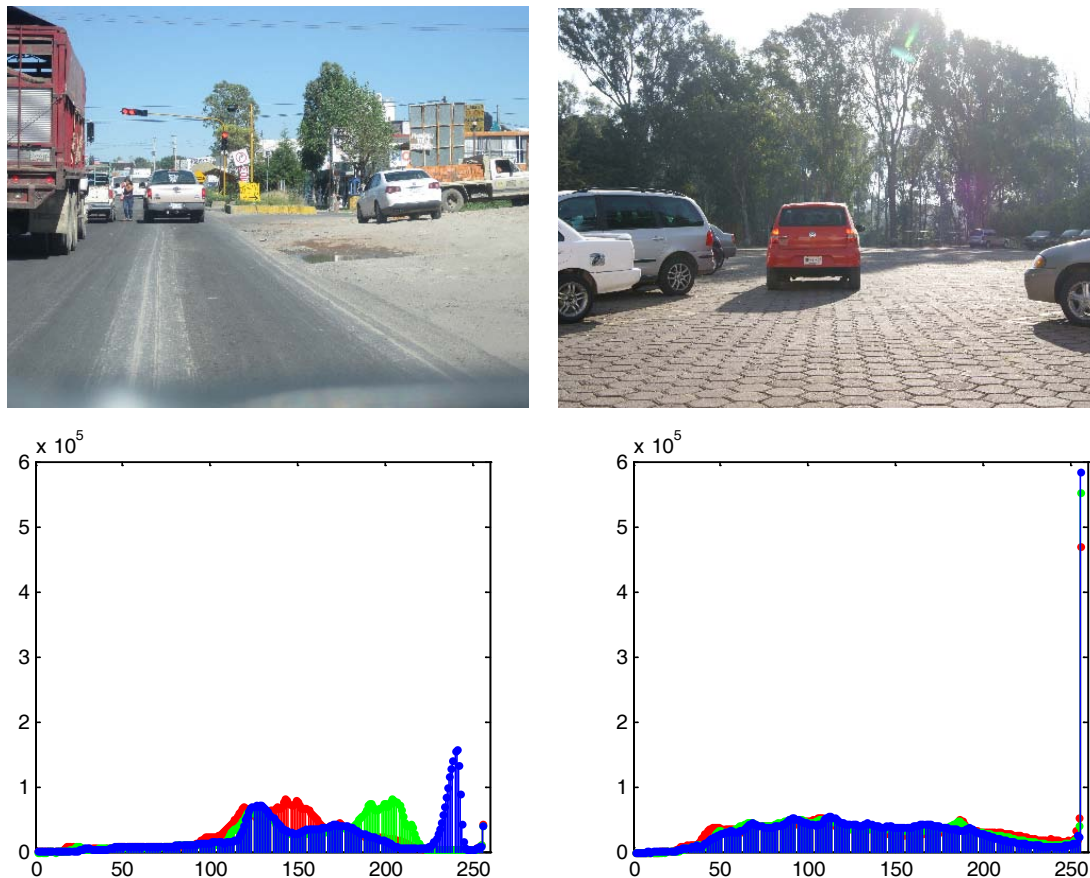
Con este método se alcanzaron resultados aceptables, sin embargo, al trabajar con las tres matrices, la carga computacional tiende a ser elevada, además nos enfrentamos a limitaciones como automóviles rojos, letreros, y todo tipo de objetos de este color. Sumado a esto, la forma y el tamaño de los faros traseros de los vehículos circulantes es muy variado, por lo que no es posible establecer una regla para todos los autos. Por estas razones se descartó este procedimiento.

### **3.3. Histograma**

El histograma de una imagen es una representación gráfica que muestra todos los posibles niveles de intensidad en la imagen y el número de píxeles con ese valor. En procesamiento de imágenes, el histograma es una valiosa herramienta que puede ser usada en áreas como mejora de imágenes, compresión, segmentación y descripción.

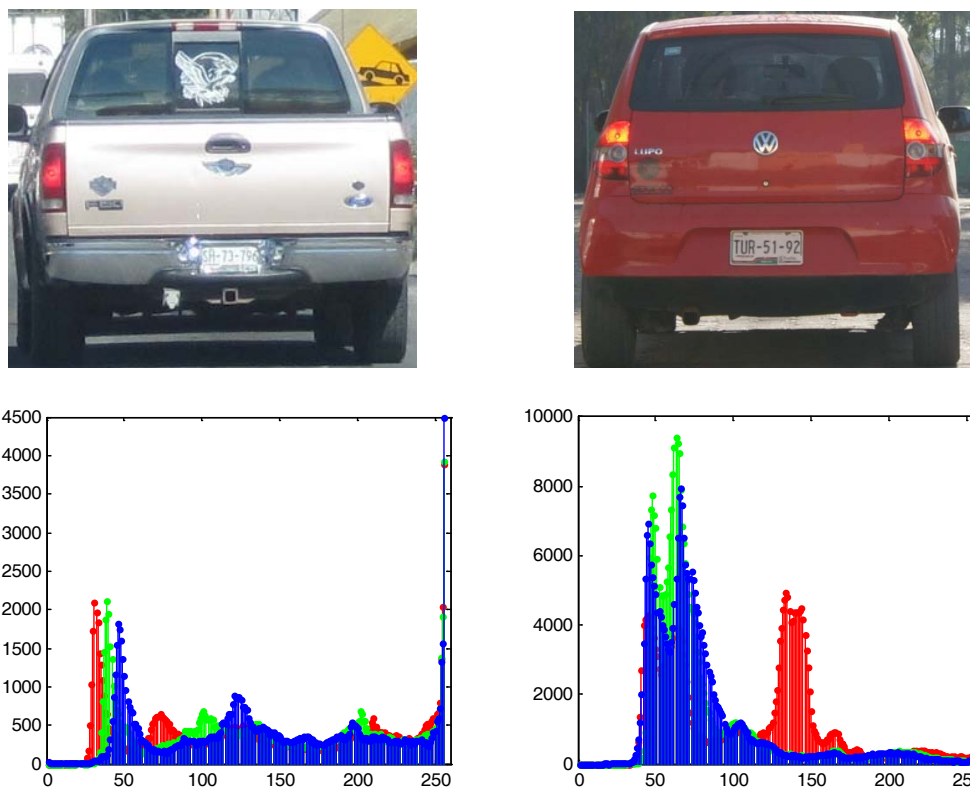
Con el fin de encontrar características significativas, que fueran comunes en la mayoría de los automóviles, y con las cuales se pudiera

detectar de manera eficaz un vehículo, se tomaron fotografías digitales de automóviles en condiciones reales y se obtuvieron sus histogramas:



**Figura 3.6. Imagen de vehículos en condiciones reales con sus respectivos histogramas**

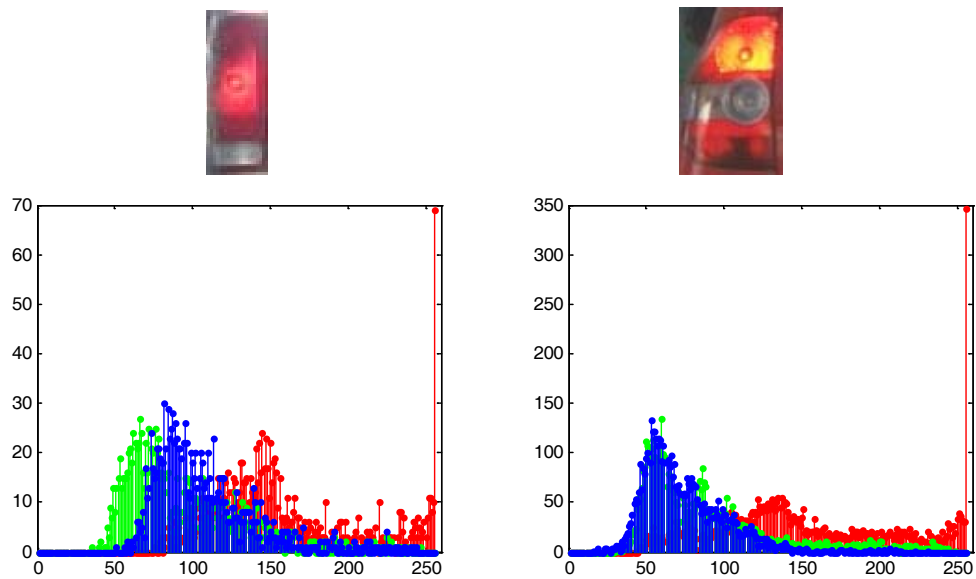
En los histogramas anteriores no se observan características semejantes, debido a que las imágenes presentan condiciones muy diferentes, como el color del piso, la posición del sol, las condiciones de iluminación, el color del vehículo y de los objetos alrededor, entre otras cosas. En base a esto, se decidió cambiar el área de interés, examinando únicamente en el vehículo a detectar.



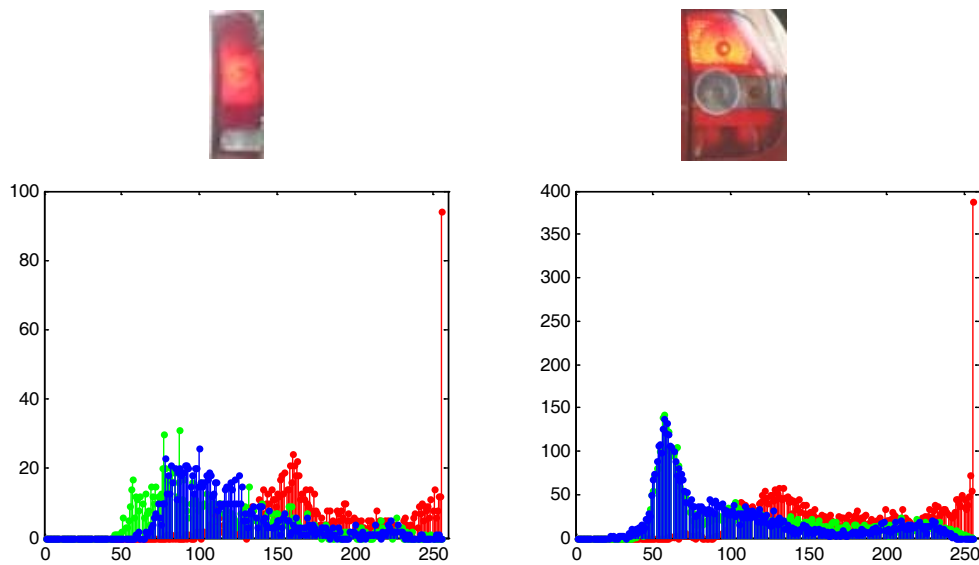
**Figura 3.7. Imágenes con el área reducida al vehículo de interés con sus respectivos histogramas**

Al igual que en los histogramas mostrados previamente, estos histogramas no presentan rasgos afines, lo cual es causado por las diferencias en el color del vehículo, de los colores del fondo y de la iluminación.

Anteriormente se mencionó que los faros traseros de color rojo son característicos en la mayoría de los vehículos, por tanto, se redujo aún más el área de interés analizando exclusivamente estas partes.



**Figura 3.8. Faros traseros del lado izquierdo de vehículos diferentes con sus respectivos histogramas**



**Figura 3.9. Faros traseros del lado derecho de vehículos diferentes con sus respectivos histogramas**

Los histogramas anteriores muestran detalles similares, sin embargo, al observar la escala, podemos notar que estos detalles dependen del tamaño de la imagen, por lo que si la imagen es demasiado pequeña, serán



despreciables. Además de esto, existe una gran variedad en cuanto a diseño de faros, algunos presentan partes blancas de diferentes tamaños y formas, lo cual causa interferencia para este método.

### 3.4. Búsqueda de Bordes

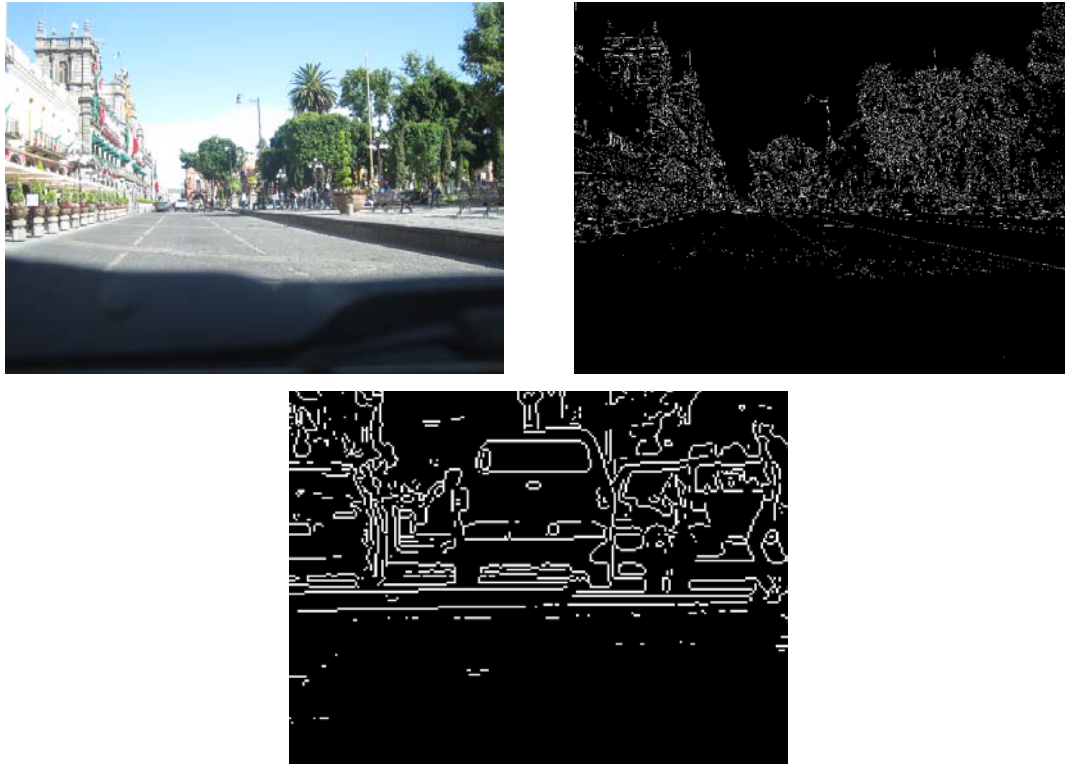
Los bordes de una imagen se pueden definir como las transiciones entre dos regiones de tonalidades significativamente distintas. Estas variaciones proporcionan información valiosa sobre las fronteras de los objetos que puede ser útil para segmentar la imagen, reconocer objetos, etc.

Existe una gran cantidad de métodos para detectar bordes, la mayoría de ellos están basados en operaciones como gradientes y logaritmos. Estos métodos suelen ser muy precisos, aunque por otra parte, implican carga computacional.

Inicialmente se experimentó con la función `edge` de Matlab. Esta función puede utilizar diferentes métodos de detección. Para este experimento se utilizó la función con el método Sobel, así, la función detecta los bordes aproximando el gradiente de intensidad de la imagen. El resultado es una imagen binaria del mismo tamaño que la original donde los pixeles con valor '1' corresponden a los bordes. La figura 3.10 muestra una imagen en la cual ha sido aplicada esta función.

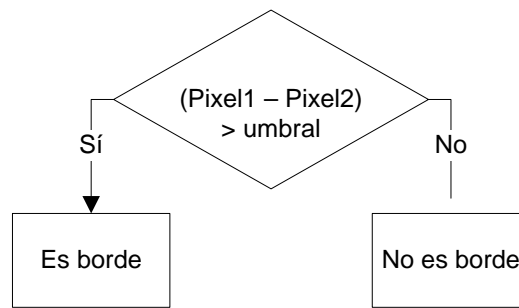
Como se puede ver en la figura 3.10 (Arriba derecha), este método de detección es bastante detallado, lo que no resulta conveniente para este trabajo ya que se detectan bordes de pequeños detalles como son marcas e irregularidades en el pavimento, contornos de árboles y edificio, señalamientos, dibujos, calcomanías y letras en los vehículos, entre muchos otros detalles que interfieren con la correcta detección de los vehículos. La

imagen 3.10 (Abajo) muestra el área de interés aumentada, donde puede notarse la gran cantidad de líneas de contorno producidas por este método.



**Figura 3.10. (Arriba izquierda) Imagen original. (Arriba derecha) Imagen donde se ha aplicado la función de detección de bordes. (Abajo) Imagen donde ha sido aumentada del área de interés.**

Puesto que el objetivo de este trabajo no es la perfecta detección de objetos, sino únicamente encontrar un rasgo común que permita la identificación de automóviles en general se decidió utilizar un método sencillo de detección de bordes, que se basa en la comparación de los valores de dos pixeles consecutivos, en caso de encontrarse una diferencia significativa, el pixel es considerado un borde, como muestra la siguiente figura.



**Figura 3.11. Proceso utilizado para la búsqueda de bordes**

Esta técnica se aplicó a las fotografías obtenidas para las pruebas, pero, debido a que estas imágenes no retratan únicamente los automóviles de interés, la detección de los bordes de los objetos alrededor del vehículo produjo una gran cantidad de información para ser analizada. Esta situación dio lugar a la reducción del área de interés examinando otra de las características parcialmente invariantes en los autos, ésta es la matrícula o placa vehicular.

Se consideró que esta parte es una característica significativa por ser de un tamaño definido ya que de acuerdo a la norma oficial mexicana vigente, publicada en el Diario Oficial de la Federación, las placas metálicas utilizadas por automóviles deben tener dimensiones fijas de 300 mm de largo por 150 mm de ancho [25].

Al utilizar este método se obtuvieron los siguientes resultados al analizar vehículos a distintas distancias y en diferentes condiciones:



**Figura 3.12. Imágenes de placas vehiculares y sus respectivos bordes**

Esta prueba arrojó resultados que pueden ser aprovechables, sin embargo existen grandes limitaciones al tener que aplicar varias veces sobre la misma imagen el algoritmo para detectar los bordes verticales y los bordes horizontales, además de esto, los bordes de las letras y de los distintos relieves del diseño en la variedad de placas mexicanas representan un obstáculo complicado de superar. De igual manera, la detección certera de los bordes depende en gran medida de las condiciones de iluminación en la imagen, ya que si la imagen no está suficientemente clara, los bordes no son detectados eficazmente.

### 3.5. Sumario

En el presente capítulo hemos visto algunos de los experimentos realizados al tratar de llegar a un algoritmo simplificado capaz de realizar la detección del vehículo.

En el capítulo siguiente, se explicará a detalle el procedimiento seguido por el algoritmo final para lograr la detección de vehículos por medio de la sombra que reflejan sobre el piso.

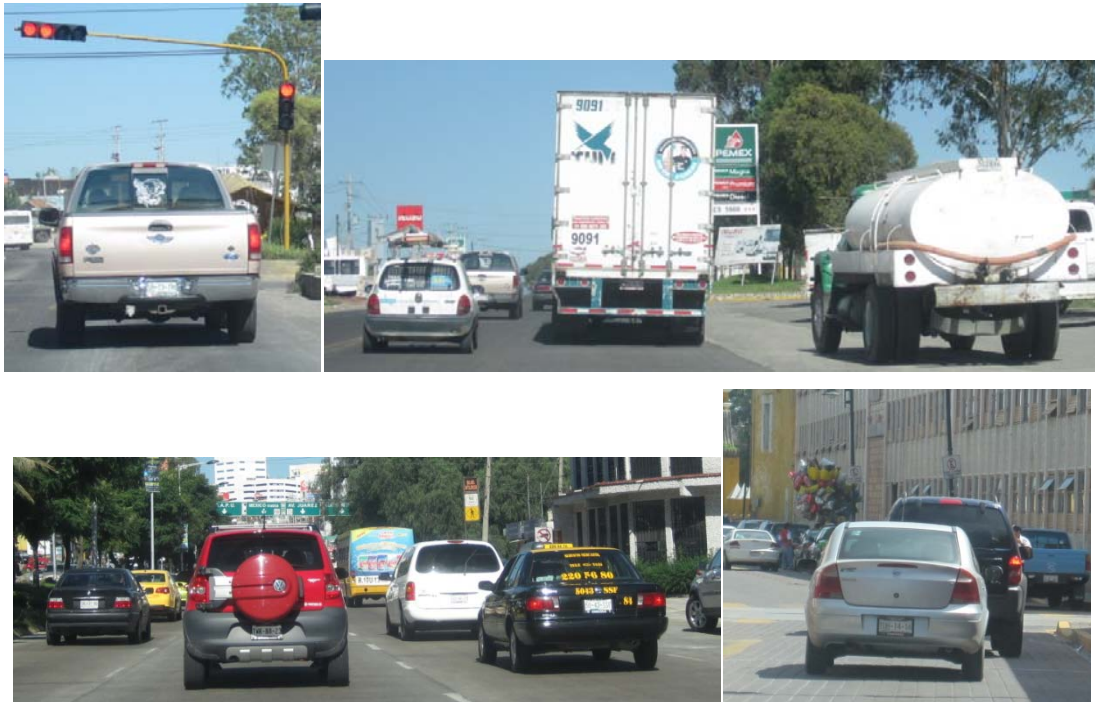
# Capítulo 4 Descripción General y Funcionamiento

---

## 4.1. Detección del vehículo

Después de buscar con varios métodos sin obtener resultados contundentes, se volvieron a analizar las fotografías tomadas, notando así una característica más, con la cual se pudo trabajar y obtener resultados sin variaciones significativas, lo cual resultó favorable en el proceso de este trabajo. Esta característica es la sombra proyectada por cualquier vehículo sobre el piso.

A continuación se presentan algunas fotografías de las pruebas realizadas, donde se observa con regularidad la presencia de sombras a diferentes horas del día, en diferentes situaciones y con diferencias en la iluminación.



**Figura 4.1. Diferentes situaciones donde se presentan sombras**

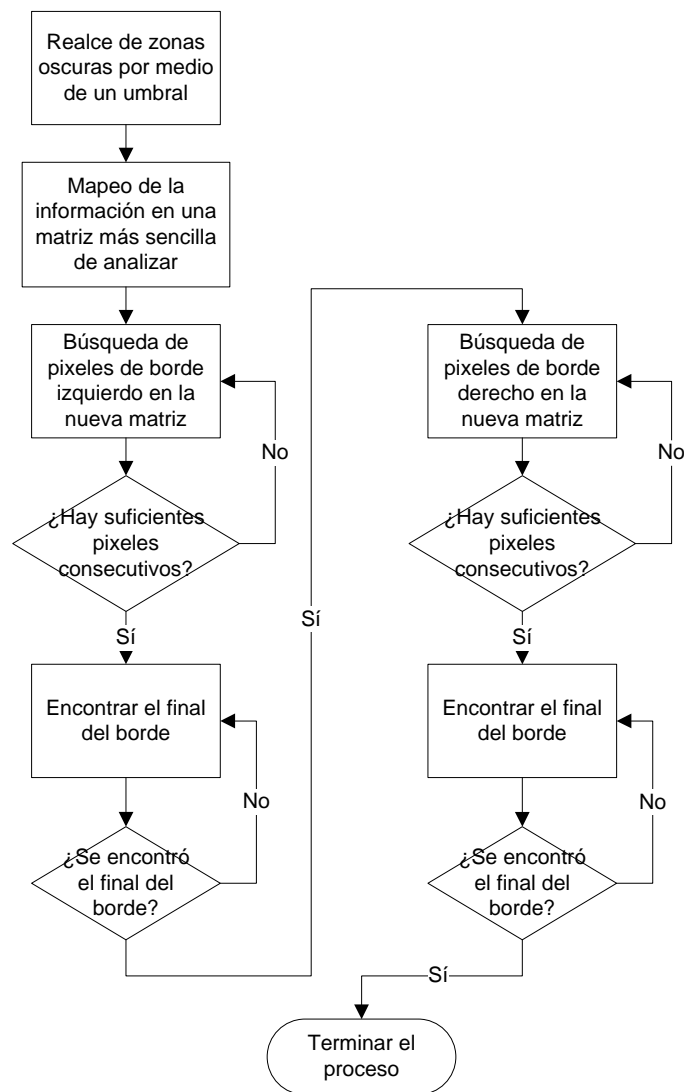
De la misma manera, en las imágenes anteriores se puede notar que las sombras debajo de los vehículos presentan una forma casi definida; construyendo un rectángulo oscuro debajo de los autos, usando como límites laterales las llantas del mismo vehículo.



**Figura 4.2. Forma de la sombra debajo de los vehículos**

Con el fin de detectar esta zona se desarrolló un algoritmo sencillo que se conforma primordialmente por los siguientes pasos:





**Figura 4.3. Proceso para detección de bordes laterales**

Para el realce de las sombras se utilizó un umbral que nos permite destacar las sombras de acuerdo a la iluminación en la fotografía, es decir, este umbral no es un número fijo, sino que ha sido tomado como parámetro variable para poder ajustarse a los diferentes casos que se presentan a diferentes horas del día y condiciones de iluminación.

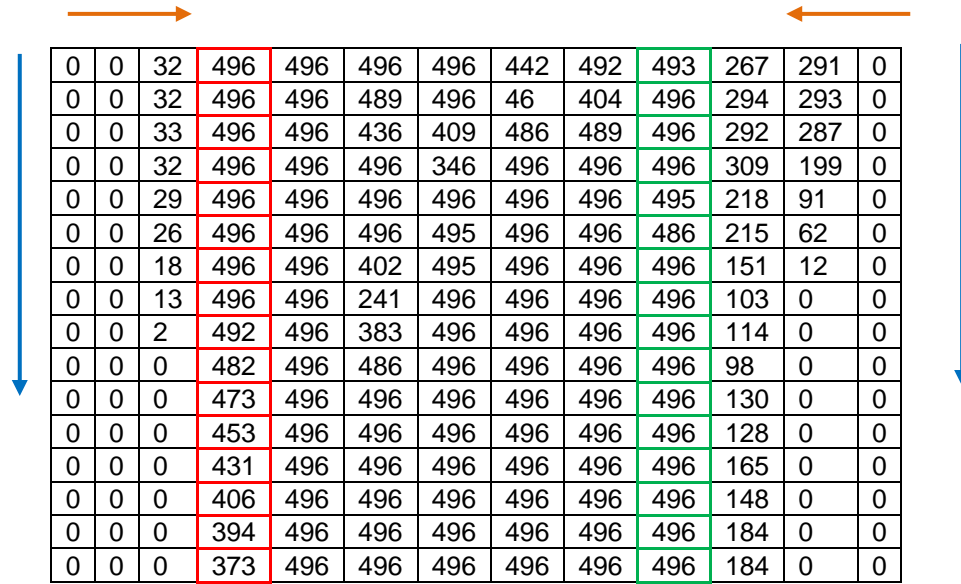
El mapeo de la información en una matriz más simple, consistió en la selección de una ventana de tamaño definido que pasa por el área de interés

en la imagen y nos da razón de la cantidad de pixeles que corresponden a las sombras o colores oscuros en la imagen. La cantidad en cada ventana está dada por la siguiente fórmula:

$$N_v = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^a (m_{ij} < umbral)$$

Donde  $N_v$  representa el número contenido en cada ventana,  $h$  la altura de la ventana,  $a$  el ancho de la ventana y  $m$  los pixeles sobre los cuales está posicionada la ventana. Estas ventanas en conjunto forman una matriz, y las celdas de esta matriz contienen el valor de cada ventana. Así las celdas con valores mayores representan áreas con mayor cantidad de pixeles de sombra, de esta manera, al encontrar una fila con celdas cuyos valores son grandes, precedida por celdas de valores pequeños, podemos considerar esta fila como borde izquierdo. De igual forma, el borde derecho estará representado por celdas con valores grandes mientras que las celdas de las filas siguientes mostrarán una disminución significativa en el valor que contienen.

Después de obtener la nueva matriz, se buscaron, de izquierda a derecha y de arriba a abajo, las celdas que cumplieran con un porcentaje alto de pixeles de sombra y que además fueran consecutivas. Al alcanzar un número suficiente de celdas sobre la misma fila, el algoritmo procede a buscar celdas con las mismas características empezando por el otro lado de la matriz, es decir de derecha a izquierda.



0	0	32	496	496	496	496	442	492	493	267	291	0
0	0	32	496	496	489	496	46	404	496	294	293	0
0	0	33	496	496	436	409	486	489	496	292	287	0
0	0	32	496	496	496	346	496	496	496	309	199	0
0	0	29	496	496	496	496	496	496	495	218	91	0
0	0	26	496	496	496	495	496	496	486	215	62	0
0	0	18	496	496	402	495	496	496	496	151	12	0
0	0	13	496	496	241	496	496	496	496	103	0	0
0	0	2	492	496	383	496	496	496	496	114	0	0
0	0	0	482	496	486	496	496	496	496	98	0	0
0	0	0	473	496	496	496	496	496	496	130	0	0
0	0	0	453	496	496	496	496	496	496	128	0	0
0	0	0	431	496	496	496	496	496	496	165	0	0
0	0	0	406	496	496	496	496	496	496	148	0	0
0	0	0	394	496	496	496	496	496	496	184	0	0
0	0	0	373	496	496	496	496	496	496	184	0	0

Figura 4.4. Matriz donde se presenta la información de una imagen

En la matriz anterior se han resaltado las celdas de borde izquierdo en color rojo y de borde derecho en color verde, mientras que las flechas indican la dirección en que se hizo la búsqueda de la información; primero de arriba hacia abajo como indica la flecha azul y luego de izquierda a derecha como indica la flecha naranja. El número mayor encontrado en esta matriz es 496, esto es debido a que el tamaño de las ventanas es de 8 pixeles de alto por 62 de ancho, esto quiere decir que los pixeles de estas celdas corresponden en su totalidad a sombras o colores oscuros y las celdas con número diferentes a éste corresponden a ventanas que contienen un conjunto de pixeles de colores oscuros y también claros.

Después de haber detectado el borde izquierdo se hizo lo mismo en sentido contrario, es decir de arriba a abajo y de derecha a izquierda. Una vez detectados los bordes, el algoritmo se detiene, disminuyendo con esto el tiempo de ejecución ya que no se sigue buscando en toda la imagen.

Para realizar esta prueba se recortaron imágenes del área de interés y se aplicó el algoritmo anterior únicamente sobre la matriz R de la imagen. A

continuación se presentan algunos resultados de la detección de sombras, aplicando el algoritmo anterior sobre las imágenes de prueba:



Figura 4.5. Resultados de la detección de vehículos por medio de su sombra

#### 4.2. Determinación de la zona de riesgo

El siguiente paso a la detección del vehículo fue la determinación de la zona de riesgo.

El campo de visión del dispositivo forma un triángulo isósceles con su vértice en el centro del vehículo o donde se localice el sensor. Mientras un objeto se acerca al frente del vehículo, se alcanza un rango o intervalo de tiempo para la advertencia diferente [26]. Dentro de este campo de visión, existen tres áreas relevantes en cuanto a la detección; si el vehículo precursor ha sido detectado, pero se encuentra en un área donde el peligro

de colisión es mínimo, se considera una zona de riesgo bajo, mientras la distancia entre los vehículos disminuye, se consideran dos áreas más; la zona de riesgo medio y la zona de riesgo alto.

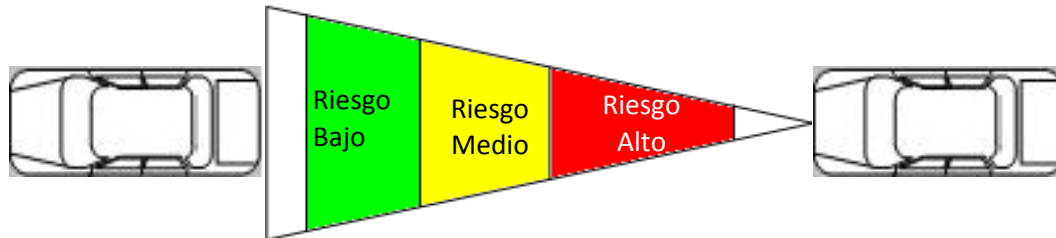


Figura 4.6. Zonas de riesgo para un vehículo

Con el fin de calcular el tamaño de cada una de las zonas de riesgo es necesario tomar en cuenta ciertos parámetros. De acuerdo a [27], el tiempo que tarda un vehículo en detenerse está compuesto por diferentes variables:

1. **Tiempo del proceso mental.** Es el tiempo que tarda el conductor en percibir una señal y decidir una respuesta. Este tiempo depende de varios factores como la atención del conductor, el consumo de drogas, la edad, cansancio, etc.
2. **Tiempo del movimiento.** Una vez seleccionada la respuesta, es el tiempo que le toma al conductor levantar el pie del acelerador, moverlo lateralmente hacia el pedal del freno y presionarlo.
3. **Tiempo de respuesta del dispositivo.** Un vehículo no se detiene inmediatamente al pisar el pedal del freno. En vez de esto, la detención del vehículo está en función de fuerzas físicas como gravedad y fricción.

Para determinar el tiempo de detención total del vehículo se suman estas tres cantidades y se tiene un estimado. Algunos investigadores llaman

a la suma del tiempo del proceso mental y del tiempo del movimiento, tiempo de reacción y ha sido calculado desde 0.5 segundos hasta 2 segundos.

Es necesario calcular las distancias recorridas durante la suma total de estos tiempos para determinar la distancia mínima necesaria que deben medir las zonas de riesgo.

Existen diferentes fórmulas para calcular la distancia recorrida por un automóvil durante el tiempo de respuesta del dispositivo. La norma española de trazado de carreteras 3.1-IC [28], define la distancia de parada de un vehículo con la siguiente fórmula:

$$D_p = \frac{V \cdot t_p}{3.6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f_l + i)}$$

Siendo:  $D_p$  = distancia de parada (m).

$V$  = velocidad (km/h).

= coeficiente de rozamiento longitudinal rueda-pavimento

$i$  = inclinación de la rasante (en tanto por uno).

$t_p$  = tiempo de percepción y reacción (s).

Otros textos ofrecen una fórmula más sencilla para calcular esta misma distancia:

$$D_p = \frac{V^2}{170}$$

Donde  $D_p$  es la distancia de parada en metros,  $V$  es la velocidad en km/h y la cantidad de 170 es una constante que está ligada a la masa del vehículo, el rozamiento, las condiciones del terreno, etc., por lo que es un cálculo aproximado que sirve para un vehículo normal, en condiciones de clima y de terreno normales [29].

En este trabajo se utiliza la cantidad de  $\frac{3}{4}$  de segundo como límite inferior y 1.5 segundos como límite superior para el tiempo de reacción, debido a que esta cantidad es manejada como número estándar en la reconstrucción de accidentes [27], sin embargo, estas cantidades no son estrictamente fijas, ya que se pueden tomar como parámetros variables de acuerdo a las necesidades y condiciones del conductor y del vehículo. En cuanto a la distancia recorrida durante el tiempo de respuesta del dispositivo se utilizó la fórmula anterior.

A continuación se muestra una tabla con las distancias de detención de un vehículo de acuerdo a la velocidad:

<b>Distancias de detención aproximadas para un vehículo a diferentes velocidades</b>						
Velocidad (km/h)	Distancia de reacción (m)		Distancia de parada (m)	Distancia total recorrida (m)		Diferencia (m)
	$\frac{3}{4} s$	1.5 s		$\frac{3}{4} s$	1.5 s	
5	1.04	2.08	0.15	1.19	2.23	1.04
10	2.08	4.17	0.59	2.67	4.75	2.08
15	3.13	6.25	1.32	4.45	7.57	3.13
20	4.17	8.33	2.35	6.52	10.69	4.17
25	5.21	10.42	3.68	8.88	14.09	5.21
30	6.25	12.50	5.29	11.54	17.79	6.25
35	7.29	14.58	7.21	14.50	21.79	7.29
40	8.33	16.67	9.41	17.75	26.08	8.33
45	9.38	18.75	11.91	21.29	30.66	9.38
50	10.42	20.83	14.71	25.12	35.54	10.42
55	11.46	22.92	17.79	29.25	40.71	11.46
60	12.50	25.00	21.18	33.68	46.18	12.50
65	13.54	27.08	24.85	38.39	51.94	13.54
70	14.58	29.17	28.82	43.41	57.99	14.58
75	15.63	31.25	33.09	48.71	64.34	15.63
80	16.67	33.33	37.65	54.31	70.98	16.67
85	17.71	35.42	42.50	60.21	77.92	17.71
90	18.75	37.50	47.65	66.40	85.15	18.75
95	19.79	39.58	53.09	72.88	92.67	19.79
100	20.83	41.67	58.82	79.66	100.49	20.83

Tabla 4.1. Distancia total recorrida por un vehículo de acuerdo a la velocidad

De la tabla anterior se tomó la distancia total recorrida con un tiempo de reacción de  $\frac{3}{4}$  de segundo como distancia mínima a la que se debe establecer la zona de riesgo algo. La distancia total recorrida con un tiempo de reacción de 1.5 segundos establece la distancia a la que termina la zona de riesgo alto, mientras que la diferencia entre estas dos cantidades fue tomada como el tamaño total de cada una de las zonas de riesgo. Por ejemplo, a 20 km/h la zona de riesgo alto comienza a los 6.5 metros a partir del vehículo, y termina a los 10.7 metros, con una longitud aproximada de 4 metros. Para calcular el ancho de las zonas de riesgo se tomó en cuenta un carril de 3 m de ancho.

De igual forma, el tamaño de la ventana utilizada para mapear la información está en función del área de interés en la que se esté ejecutando el algoritmo, su tamaño y la velocidad a la que transite el vehículo.



**Figura 4.7. Zonas de riesgo establecidas para un vehículo a 20 km/h**

### 4.3. Medición de distancias

Para realizar la medición de distancias, se eligió un lugar fijo, en este caso, el estacionamiento del INAOE, donde se colocó una cinta métrica y se tomaron fotografías a diferentes distancias.





**Figura 4.8. Proceso de medición de distancias**

Con ayuda de la cinta métrica se obtuvieron las distancias con respecto a la profundidad en la fotografía, mientras que el ancho de las zonas de riesgo fue obtenido por medio de la placa vehicular, que fue utilizada como referencia, ya que como se había mencionado anteriormente, tiene dimensiones fijas de 30 cm de largo por 15 cm de alto.

Los valores de las distancias obtenidas fueron útiles para determinar la zona de interés, ya que sabiendo estos valores se puede determinar el tamaño de cada una de las zonas de riesgo para cada velocidad y, con esto también se estableció el área de la imagen donde se aplicaría el algoritmo, es decir, el algoritmo trabaja únicamente en rectángulos del ancho y alto de cada zona de riesgo; esto último con el fin de reducir la carga computacional y evitar procesamiento innecesario. En la figura 4.9 se muestra con un rectángulo rojo el área donde se aplicaría el algoritmo para la zona de riesgo alto, con un rectángulo amarillo el área para la zona de riesgo medio y con un rectángulo verde el área para la zona de riesgo bajo. Todo esto para una imagen de 3408 x 2272 pixeles y una velocidad de 20 km/h.



**Figura 4.9. Áreas donde se aplica el algoritmo**

Una vez obtenidas las distancias necesarias para la detección del vehículo, se establecieron estos valores como parámetros del algoritmo, ya que estas cantidades son útiles para fotografías con la misma resolución, mientras que para fotografías de otros tamaños, es necesario escalar estos valores.

#### **4.4. Selección del tamaño de las ventanas**

Al seleccionar el tamaño de las ventanas utilizadas para hacer el mapeo de la información se consideró que los vehículos más angostos miden aproximadamente 1.5 m de ancho. Se analizó la fotografía de un vehículo de este tipo en la zona de riesgo alto y se buscó que la ventana pudiera ser posicionada sobre la sombra reflejada por lo menos 5 veces tanto a lo alto como a lo ancho. Así se eligió el tamaño de la ventana de 20 pixeles de alto por 100 de ancho para las zonas de riesgo de un vehículo a 20 km/h. Para las otras zonas de riesgo y otras velocidades, las ventanas se calcularon proporcionales con respecto al tamaño de la anterior y de las zonas de riesgo.

#### **4.5. Sumario**

Este capítulo ha descrito detalladamente el proceso que realizan los principales bloques del algoritmo utilizado. Estos bloques han sido unidos para formar un algoritmo que sea capaz de realizar la detección de los vehículos al frente y pueda emitir una alarma para que el conductor pueda tomar una decisión de acuerdo a la situación.

En el siguiente capítulo se tratan los resultados del algoritmo resultante de la unión de los bloques expuestos anteriormente, al igual que el conjunto de pruebas realizadas para poder determinar la eficacia del algoritmo.

## Capítulo 5 Resultados

---

En esta sección se muestran resultados obtenidos al conjuntar las partes reportadas en capítulos anteriores en un código integrado. El capítulo anterior muestra algunos resultados con imágenes seccionadas, en cambio, los resultados que se muestran a continuación se produjeron utilizando imágenes completas y seleccionando las áreas de interés a diferentes velocidades.

El algoritmo realiza los mismos procesos presentados en el capítulo previo: se lee la imagen; se selecciona una de las tres matrices de color; de acuerdo a las dimensiones de la imagen se seleccionan las áreas de interés y consecuentemente, el tamaño de la ventana; se realzan las sombras escribiendo la información en una matriz reducida y se buscan los bordes izquierdo y derecho dentro de esta matriz; una vez encontrado el objeto de interés, el programa muestra la leyenda del área de riesgo donde se encuentra el vehículo o la no detección de este. La figura 5.1 muestra un diagrama de los procesos que realiza el algoritmo.

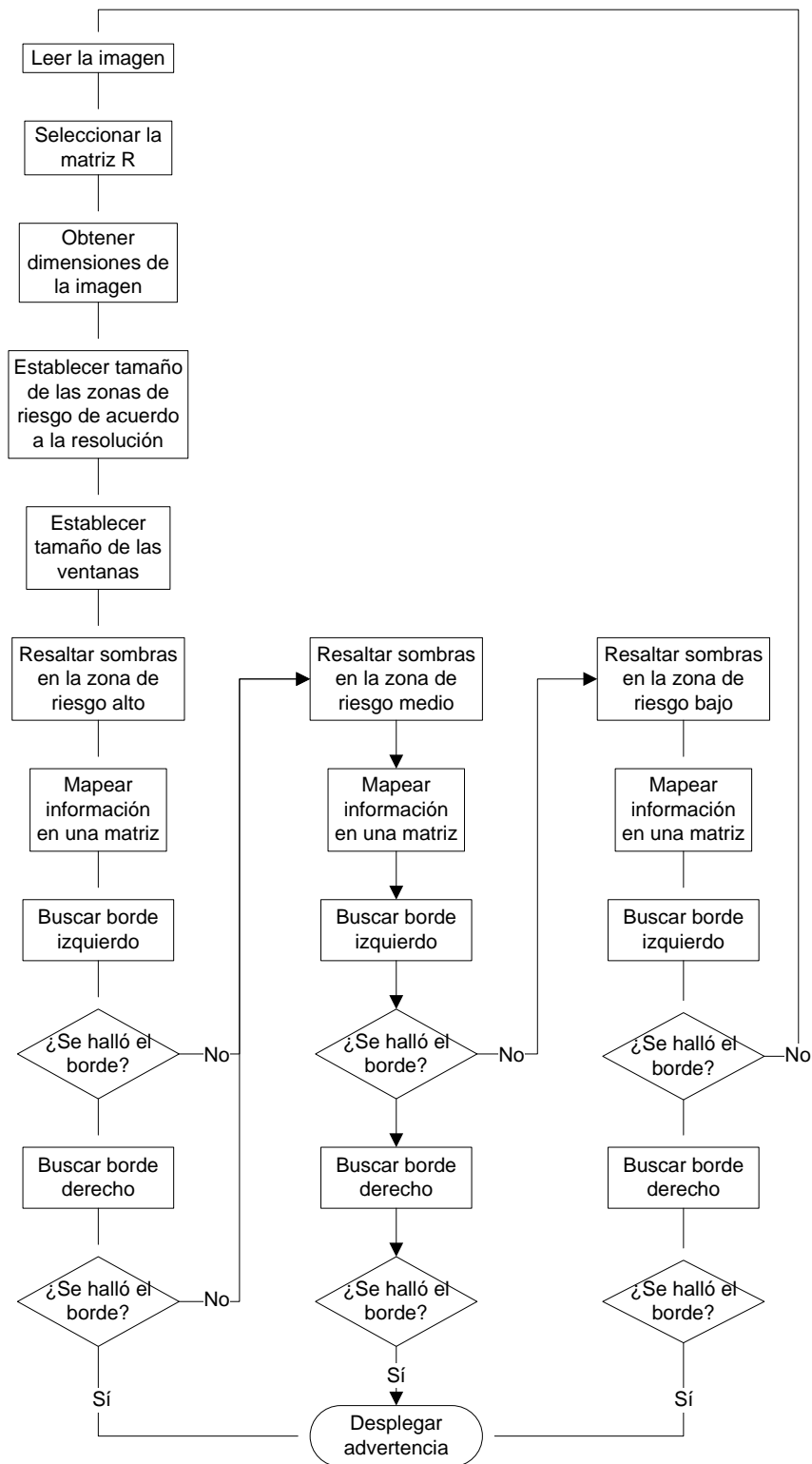


Figura 5.1. Diagrama del algoritmo completo

El conjunto de pruebas realizadas consistió en el análisis de varias imágenes capturadas en el estacionamiento institucional del INAOE y durante recorridos realizados en la ciudad de Puebla y en Cholula para obtener imágenes en distintas condiciones. La siguiente figura muestra algunos ejemplos de imágenes utilizadas para la detección, donde se pueden observar las distintas condiciones de iluminación, las diferencias en el pavimento y las distintas distancias a las que se encuentra el vehículo de interés.



**Figura 5.2. Ejemplos de imágenes utilizadas para las pruebas**

Las pruebas se llevaron a cabo con dos cámaras diferentes; una de la marca Sony, modelo  $\alpha 290$ , en modo de disparo continuo, con una velocidad aproximada de 2.5 capturas por segundo y con una resolución de 7.7 Mpx (3408 x 2272 pixeles); y la otra cámara de la marca Canon modelo PowerShot SD1200 IS, de igual manera en modo continuo, con una

velocidad aproximada de 1.4 capturas por segundo, con una resolución de 6 Mpx (2816 x 2112 pixeles).

Aplicando el algoritmo a imágenes completas, fueron analizadas en total 100 imágenes, de distintos vehículos, variando el lugar, la iluminación, el tipo de pavimento, la distancia, etc. Los resultados obtenidos pueden agrupar en cuatro categorías:

- *Verdaderos Positivos*: Donde está presente el objeto de interés y se obtiene una detección correcta.
- *Falsos Negativos*: Donde a pesar de estar un vehículo dentro de las zonas de riesgo no ha sido detectado.
- *Falsos Positivos*: Donde se ha detectado un objeto que no corresponde al vehículo de interés.
- *Verdaderos Negativos*: Donde no hay objeto de interés y no hay detección.

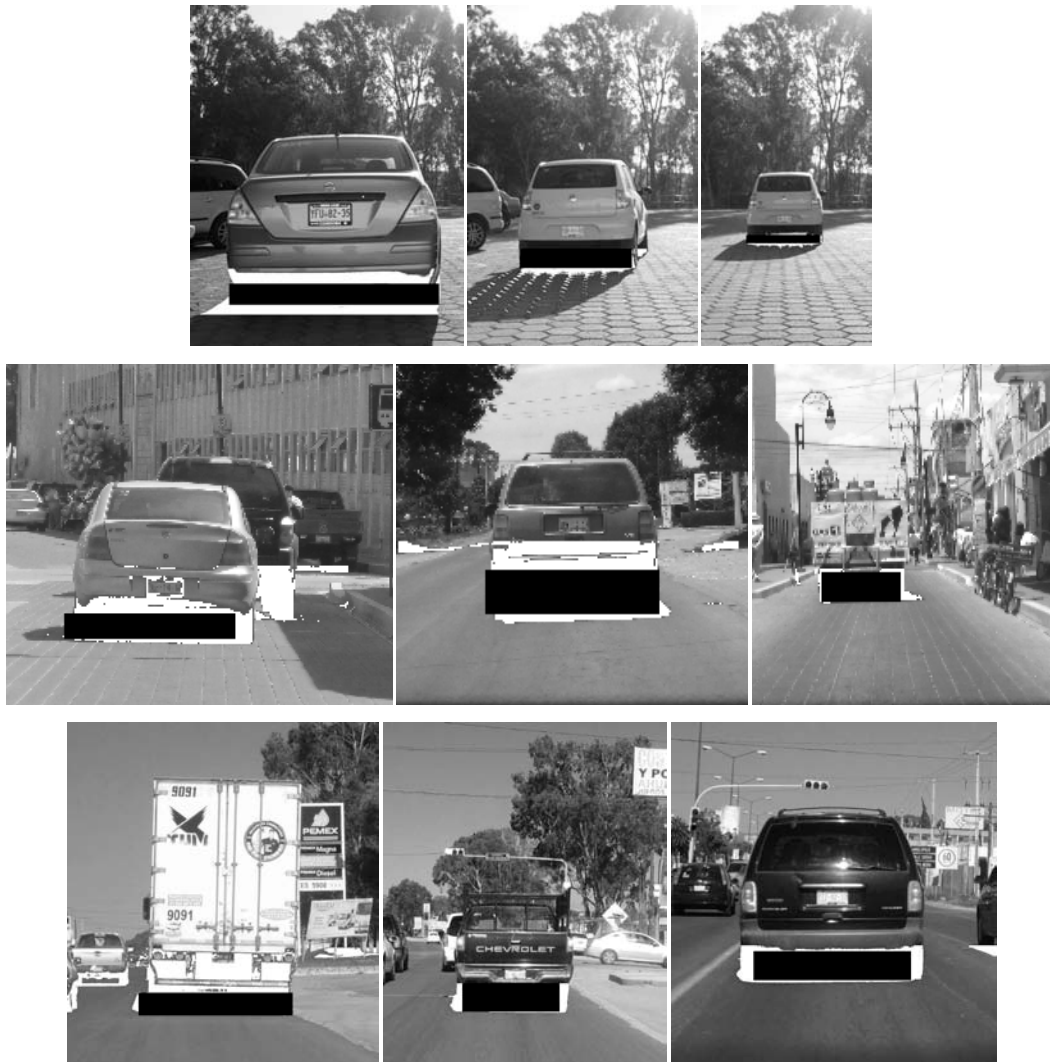
Verdaderos Positivos	Falsos Negativos	Falsos Positivos	Verdaderos Negativos	Total
83	0	5	12	100

Tabla 5.1. Resultados obtenidos al aplicar el algoritmo a diferentes imágenes

La tabla anterior muestra que el algoritmo tiene un porcentaje de eficacia muy alta, dado que de las 100 imágenes analizadas, en 83 se encontraron vehículos dentro de las zonas de riesgo, los cuales fueron detectados satisfactoriamente. Además en 12 imágenes no existía objeto de interés y no se hizo ninguna detección, finalmente sólo existieron 5 imágenes en las cuales se detectó un objeto que no correspondía al vehículo de interés; dando esto un 95% de eficacia. A continuación se muestran algunas imágenes que ejemplifican los resultados obtenidos.



### 5.1. Verdaderos Positivos



**Figura 5.3. Muestra de detecciones correctas en diferentes zonas**

La figura 5.3 muestra imágenes donde se ha detectado correctamente el vehículo. En estas imágenes, los vehículos se encuentran a diferentes distancias, además, estas imágenes son de diferentes resoluciones, sólo que han sido recortadas para fines de la exposición en el presente trabajo.



## 5.2. Falsos Positivos



**Figura 5.4. Detecciones incorrectas realizadas por el algoritmo**

La figura anterior muestra algunas imágenes donde se hizo una detección errónea, puesto que el objeto detectado no es el vehículo de interés. Estos errores pueden deberse a las diferencias de contraste, sombras reflejadas u objetos oscuros en la imagen que posean bordes similares a los del rectángulo que el algoritmo busca.

La primera imagen de la figura 5.4 muestra que se ha seleccionado una sección amplia fuera del carril, esto se debe a que esta imagen fue capturada en una curva, por esta razón la cámara enfocó un área que no corresponde a la carretera, resultando en la detección de un falso positivo.

### 5.3. Verdaderos Negativos



**Figura 5.5. Imágenes donde no hay vehículo dentro de las zonas y no ha habido detección**

La figura 5.5 presenta algunas imágenes donde no se encuentran vehículos dentro de las zonas de riesgo, conforme a esto, el algoritmo ha funcionado correctamente al no mostrar detección alguna. Para reafirmar este desempeño adecuado del algoritmo, se ha hecho una prueba más sobre diferentes asfaltos.

#### 5.4. Prueba en diferentes asfaltos



**Figura 5.6. Pruebas en diferentes asfaltos**

La figura 5.6 muestra los resultados de las pruebas realizadas sobre diferentes asfaltos donde no se encuentran objetos de interés. Esta prueba fue hecha con el fin de verificar que el algoritmo funciona correctamente cuando sólo está presente el asfalto. En ninguno de los casos anteriores se indicó la presencia de algún vehículo.

#### 5.5. Pruebas de noche

En la segunda sesión de fotos se capturaron imágenes con iluminación limitada, puesto que se hicieron de noche. Estas pruebas

también nos arrojaron resultados aceptables, sin embargo, no se han tomado en cuenta para calificar el desempeño del código debido a que las condiciones de estas tomas son bastante alejadas a la realidad, es decir, estas fotografías muestran la parte trasera de un vehículo donde se puede observar una ligera sombra reflejada en el pavimento, sin embargo, en condiciones reales, si la cámara estuviera montada en un vehículo, los faros de éste alumbrarían la parte trasera del automóvil de interés y cambiarían las condiciones de iluminación, consecuentemente la imagen obtenida sería diferente. Además la iluminación parcial o la falta de iluminación en los diferentes caminos afectaría directamente los resultados para estos casos. A continuación se presentan algunos resultados obtenidos de noche.



**Figura 5.7. Resultados de las pruebas realizadas de noche**

## 5.6. Discusión de Resultados

De acuerdo a la tabla 5.1, el porcentaje de eficacia del algoritmo desarrollado en el presente trabajo es bastante alto, puesto que el 83% corresponde a Verdaderos Positivos, es decir, se detectaron correctamente los vehículos dentro de las zonas de riesgo; el 12% corresponde a los Verdaderos Negativos, donde al no haber vehículos dentro de las zonas de riesgo, no ha habido detección alguna. Estas dos cantidades pueden ser reunidas debido a que son los casos en los que el algoritmo ha funcionado correctamente, sumando así un 95% de eficacia. El 5% restante corresponde a los Falsos Positivos, es decir, los casos en los que se ha detectado un objeto diferente a un vehículo dentro de las zonas de riesgo. Estas cantidades nos muestran que el algoritmo desarrollado es eficaz para la detección de vehículos en imágenes con condiciones reales.

### 5.6.1. Tiempo de ejecución

El tiempo de ejecución del programa es una característica cuantitativa directamente ligada al desempeño del mismo. Sin embargo, en este trabajo es difícil expresar de manera precisa una cantidad de tiempo utilizado para la ejecución del programa, esto se debe a que el objeto buscado no siempre aparece en la misma área en todas las fotografías, por lo cual el programa tomará menos tiempo en detenerse si el vehículo es detectado en la zona de riesgo alto que si el vehículo se detecta en la zona más lejana de la imagen, además de la influencia directa del tamaño de la imágenes manejadas, ya que como se mencionó anteriormente, se hicieron pruebas con imágenes de resoluciones desde 7.7 Mpx hasta 2 Mpx.

Para tener una idea más certera de estos conceptos, se ha medido el tiempo de ejecución del programa en imágenes donde el vehículo se

encuentra cerca y también donde el vehículo está más alejado. Esta prueba se realizó para dos resoluciones diferentes como muestra la siguiente tabla.

Tiempos de ejecución del programa		
Resolución	Zona de riesgo alto	Zona de riesgo bajo
7.7 Mpx	0.47 s	0.57 s
6 Mpx	0.39 s	0.40 s

Tabla 5.2. Tiempos medidos de ejecución del programa

Aunado a las propiedades de la imagen mencionadas anteriormente, la duración del procesamiento variará significativamente de acuerdo a las características del equipo utilizado para su operación, en la tabla 5.3 se muestran las características de la computadora donde se realizaron las pruebas.

Hardware	Características
Computadora portátil Compaq610	Procesador: Intel Core 2 Duo T5879 2.0 GHz Memoria RAM: 3 GB Sistema Operativo: Microsoft Windows XP Profesional
Software	
Matlab	Versión: R2010a 32-bit

Tabla 5.3. Características del equipo utilizado para el desarrollo y pruebas del algoritmo

Además de todos los factores que afectan el tiempo de ejecución que han sido señalados previamente, está el hecho de que el lenguaje utilizado por el programa MATLAB es un lenguaje interpretado, es decir, es un lenguaje que tiene que ser traducido para que el procesador pueda

comprenderlo, lo que lo hace más lento, aproximadamente 10 o más veces, que un lenguaje compilado que es directamente ejecutable. [30] [31]

### **5.7. Sumario**

En este capítulo se ha presentado el funcionamiento del algoritmo integrado y los resultados obtenidos con el mismo. También se han presentado los casos en que el algoritmo ha funcionado de manera favorable y los casos en que no se ha tenido el resultado deseado. Además se ha presentado un análisis de la eficacia del algoritmo.

El capítulo siguiente expone las conclusiones más importantes con referencia a los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, además se mencionan los trabajos a futuro.

# Capítulo 6 Conclusiones y Trabajo a Futuro

---

## 6.1. Conclusiones

El presente trabajo propone un nuevo método para la detección de vehículos en imágenes, basado en un algoritmo que se distingue por ser sencillo y orientado a hardware, ya que no utiliza las funciones propias de Matlab, en vez de esto se utilizó un conjunto de instrucciones sencillas como operaciones básicas; sumas, restas, comparaciones, entre otras.

Se tienen grandes expectativas en cuanto a la prevención de accidentes de tráfico con el presente algoritmo, puesto que los sistemas de advertencia de colisión existentes usan sensores como radar, láser, ultrasonido, cámaras infrarrojas, combinación de sensores, etc., y a pesar del tipo de tecnología, su desempeño no es insuperable. Además de esto, la mayoría usa más de un sensor, lo que provoca un diseño de más elementos y su integración, dando generalmente una solución de mayor complejidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos con las pruebas realizadas, reflejados en la tabla 5.1 del capítulo anterior, donde se muestra que el porcentaje de eficacia del algoritmo es del 95%, podemos concluir que este algoritmo funciona de una manera aceptable siempre y cuando se elija correctamente el tamaño de la ventana de acuerdo a la distancia y la velocidad a la que circule el vehículo, pudiendo así reflejar resultados que pueden competir con los obtenidos con sistemas comerciales y de costos mucho más elevados que los recursos utilizados para el presente trabajo.

Otra cualidad del algoritmo es que está preparado para el uso de imágenes de cámaras con características diferentes, ya que como se ha



mencionado anteriormente, para las pruebas realizadas se utilizaron dos cámaras fotográficas diferentes y un teléfono celular con cámara, manejando imágenes de 7.7Mpx, 6Mpx y 2Mpx.

Además el tiempo de ejecución, a pesar de ser variable de acuerdo al tamaño, velocidad y posición donde se encuentre el objeto de interés, es suficientemente pequeño y la carga computacional es reducida. Al ser un algoritmo orientado a hardware, este tiempo de ejecución puede reducirse aún más si su implementación se hace en un microprocesador o un dispositivo FPGA. Asimismo, su implementación en FPGA traería otras ventajas como la ejecución de procesos en paralelo y la adaptación de nuevos módulos complementarios que conformen un sistema completo de asistencia al conductor.

## **6.2. Trabajo a futuro**

En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un algoritmo para la detección de vehículos al frente, el cual ha sido diseñado, desarrollado y probado en base al software Matlab, en una computadora portátil con las características mostradas en la tabla 5.3 Como trabajo a futuro se puede implementar el algoritmo en un dispositivo como un FPGA o un microcontrolador.

De la implementación en hardware hacer pruebas que determinen la conveniencia de paralelizar algunos componentes.

En el capítulo 4 se han mostrado los resultados de pruebas realizadas de noche, sin embargo no se ha hecho una investigación con una cantidad extensa de pruebas y profundidad para extender la eficacia del algoritmo en estas condiciones, dicha investigación se propone como trabajo a futuro.

# Referencias

---

- [1] World Health Organization. "Global status report on road safety: time for action". 2009. [Online]. [www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2009](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009).
- [2] Blanca Valadez, "Registra Salud más de 5 millones de accidentes automovilísticos en México," *Milenio*, Aug. 2009.
- [3] Fleet Safety Forum. "The dangers of distraction. Guidance for fleet managers". 2009. [Online]. [www.brake.org.uk](http://www.brake.org.uk)
- [4] A. Doi et al., "Development of a rear-end collision avoidance system with automatic brake control," *JASE Review*, vol. 15, pp. 335-340, Octubre 1994.
- [5] Y. Fujita, K. Akuzawa, and M. Sato, "Radar brake system," in *Proceedings of Annual meeting of ITS America*, 1995, pp. 95-101.
- [6] H. Araki, K. Yamada, Y. Hiroshima, and T. Ito, "Development of rear-end collision avoidance system," in *Intelligent Vehicles Symposium*, vol. JSAE Review, Tokyo, 1996, pp. 224-229.
- [7] P. Barber and N. Clarke, "Advanced collision warning systems," in *IEE Colloquium on Industrial Automation and Control: Applications in the Automotive Industry*, London, 1998, p. 2/1–2/9.
- [8] P. Seiler, B. Song, and K. Hedrick, "Development of a collision avoidance system," in *International Congress & Exposition*, Detroit, Febrero 1998, p. 97–103.
- [9] K. Lee and H. Peng, "Evaluation of automotive forward collision warning and collision avoidance algorithms," *Vehicle System Dynamics*, vol. 43, no. 10, pp. 735-751, Octubre 2005.

- [10] W. S. Wijesoma, K. R. S. Kodagoda, and A. P. Balas, "Road-boundary detection and tracking using ladar sensing," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 20, no. 3, pp. 456-464, Junio 2004.
- [11] S. T. Sheu, J. S. Wu, C. H. Huang, Y. C. Cheng, and L. W. Chen, "DDAS: Distance and direction awareness system for intelligent vehicles," *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 23, no. 3, pp. 709-722, Octubre 2007.
- [12] T. Hayami, K. Matsunaga, K. Shidoji, and Y. Matsuki, "Detecting drowsiness while driving by measuring eye movement: A pilot study," in *Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2002, pp. 156-161.
- [13] Chao-Jung Chen, Hsin-Yuan Peng, Bing-Fei Wu, and Ying-Han Chen, "A Real-Time Driving Assistance and Surveillance System," *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 25, no. 5, pp. 1501-1523, Septiembre 2009.
- [14] Gideon P. Stein, Elchanan Rushinek, Gaby Hayun, and Amnon Shashua, "A Computer Vision System on a Chip: a case study from the automotive domain," in *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, California, 2005, pp. 1063-6919.
- [15] Haichao Liang et al., "An FPGA-based Collision Warning System Using Hybrid Approach," in *Seventh International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, Kaiserlautern, 2007, pp. 30-35.
- [16] Aaron Steinfeld et al., "Development of the Side Component of the Transit Integrated Collision Warning System," in *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Washington, 2004, pp. 343-348.
- [17] Ford Motor Company. "MEDIA.FORD.COM". Julio 2011. [Online]. [http://media.ford.com/images/10031/Adaptive\\_Cruise\\_Edge.pdf](http://media.ford.com/images/10031/Adaptive_Cruise_Edge.pdf)
- [18] Ford Motor Company. *FORD*. Abril 2009. [Online]. [http://blog.ford.com/article\\_display.cfm?article\\_id=29188#rel](http://blog.ford.com/article_display.cfm?article_id=29188#rel).

[Accessed: Octubre 25, 2011]

- [19] Honda Motor Co. *Honda Worldwide*. Mayo 2003. [Online]. <http://world.honda.com/news/2003/4030520.html>. [Accessed: Octubre 25, 2011]
- [20] Joseph Szczesny. "The DETROIT Bureau". Septiembre 2011. [Online]. <http://www.thedetroitbureau.com/2011/09/gm-develops-new-collision-warning-system/>
- [21] Volvo. *The Volvo Owners Club*. Agosto 2007. [Online]. [http://www.volvoclub.org.uk/press/releases/2007/collision\\_warning.shtml](http://www.volvoclub.org.uk/press/releases/2007/collision_warning.shtml). [Accessed: Octubre 25, 2011]
- [22] BMW. *The International BMW Website*. [Online]. [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2010/safety/dri ve\\_assistance/collision\\_warning.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2010/safety/dri ve_assistance/collision_warning.html). [Accessed: Octubre 27, 2011]
- [23] Gregg Berkowitz. *Park Ave BMW*. Mayo 2010. [Online]. <http://www.parkavebmw.com/blog/2010/may/26/new-bmw-5-series-collisio.htm>. [Accessed: Octubre 27, 2011]
- [24] Nissan Motor Co., Ltd. *NISSAN*. Octubre 2011. [Online]. <http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2011/ STORY/111012-01-e.html>. [Accessed: Octubre 27, 2011]
- [25] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, "Norma Oficial Mexicana NOM-001-SCT-2-2000," SCT, México, Norma 2000.
- [26] Amy Houser, John Pierowicz, and Roger McClellan, "Concept of Operations and Voluntary Operational Requirements for Forward Collision Warning Systems (CWS) and Adaptive Cruise Control (ACC) Systems On-board Commercial Motor Vehicles," Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA)., Washington, DC, Technical Report FMCSA-MCRR-05-007, 2005.
- [27] Marc Green. "Visual Expert Human Factors". 2009. [Online].

<http://www.visualexpert.com/Resources/reactiontime.html>

- [28] Gobierno de España, "Trazado- Instrucción de carreteras- Norma 3.1-IC," Dirección General de Carreteras, Madrid, Norma 2000.
- [29] Gabinete de Educación y Seguridad Vial. *GESEVI*. Noviembre 2011. [Online]. <http://geduvial.blogspot.com/>. [Accessed: Noviembre 23, 2011]
- [30] Kioskea.net. *Kioskea.net*. Octubre 2008. [Online]. <http://es.kioskea.net/contents/langages/langages.php3>. [Accessed: Diciembre2011]
- [31] MiTecnologico.com. *Comparación Intérpretes y Compiladores*. [Online]. <http://www.mitecnologico.com/Main/ComparacionInterpretesYCompiladores>. [Accessed: Diciembre2011]

## Índice de Tablas

---

Tabla 4.1. Distancia total recorrida por un vehículo de acuerdo a la velocidad .....	37
Tabla 5.1. Resultados obtenidos al aplicar el algoritmo a diferentes imágenes.....	45
Tabla 5.2. Tiempos medidos de ejecución del programa .....	52
Tabla 5.4. Características del equipo utilizado para el desarrollo y pruebas del algoritmo.....	52

## Índice de Figuras

---

Figura 1.1. Sistemas de asistencia al conductor .....	2
Figura 2.1. Funcionamiento del sistema presentado por la compañía Ford [17].....	9
Figura 2.2. Funcionamiento del sistema Volvo “Collision Warning with Auto Brake” [21] .....	12
Figura 2.3. (Arriba) Botón de activación del sistema de BMW. (Abajo) Advertencia mostrada por el sistema en caso de una posibilidad de colisión. [22] .....	13
Figura 3.1. Proceso para obtener una imagen de doble diferencia .....	16
Figura 3.2. Proceso para eliminar las partes rojas de la imagen .....	17
Figura 3.3. (Arriba) Imagen original. (Abajo) Imagen donde se han extraído las áreas rojas.....	18
Figura 3.4. Imagen procesada donde se ha eliminado el fondo, dejando únicamente las áreas con tonalidades rojas.....	18
Figura 3.5. Imagen donde se han aislado las partes rojas .....	19
Figura 3.6. Imagen de vehículos en condiciones reales con sus respectivos histogramas .....	20
Figura 3.7. Imágenes con el área reducida al vehículo de interés con sus respectivos histogramas .....	21
Figura 3.8. Faros traseros del lado izquierdo de vehículos diferentes con sus respectivos histogramas .....	22

Figura 3.9. Faros traseros del lado derecho de vehículos diferentes con sus respectivos histogramas .....	22
Figura 3.10. (Arriba izquierda) Imagen original. (Arriba derecha) Imagen donde se ha aplicado la función de detección de bordes. (Abajo) Imagen donde ha sido aumentada del área de interés. ....	24
Figura 3.11. Proceso utilizado para la búsqueda de bordes.....	25
Figura 3.12. Imágenes de placas vehiculares y sus respectivos bordes .....	26
Figura 4.1. Diferentes situaciones donde se presentan sombras .....	29
Figura 4.2. Forma de la sombra debajo de los vehículos .....	30
Figura 4.3. Proceso para detección de bordes laterales .....	31
Figura 4.4. Matriz donde se presenta la información de una imagen .....	33
Figura 4.5. Resultados de la detección de vehículos por medio de su sombra .....	34
Figura 4.6. Zonas de riesgo para un vehículo .....	35
Figura 4.7. Zonas de riesgo establecidas para un vehículo a 20 km/h .....	38
Figura 4.8. Proceso de medición de distancias.....	39
Figura 4.9. Áreas donde se aplica el algoritmo .....	40
Figura 5.1. Diagrama del algoritmo completo.....	43
Figura 5.2. Ejemplos de imágenes utilizadas para las pruebas.....	44
Figura 5.3. Muestra de detecciones correctas en diferentes zonas.....	46
Figura 5.4. Detecciones incorrectas realizadas por el algoritmo .....	47
Figura 5.5. Imágenes donde no hay vehículo dentro de las zonas y no ha habido detección .....	48
Figura 5.6. Pruebas en diferentes asfaltos.....	49
Figura 5.7. Resultados de las pruebas realizadas de noche .....	50