



**I  
N  
A  
O  
E**

**Reconocimiento de marca y modelo de vehículos en entornos  
no controlados**

por

**Adán Herrera Martínez**

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**  
Tonantzintla, Puebla  
Septiembre del 2013

Supervisado por:

**Dr. Jorge Martínez Carballido**

© INAOE 2013



## **RESUMEN**

En temas de seguridad y vigilancia es de interés poder reconocer vehículos por marca y modelo, los cuales pueden ser de utilidad en distintas formas según el sitio y su contexto.

La clasificación por marca-modelo, se basa principalmente en la identificación de vehículos utilizando la captura de un área característica del mismo, que permita diferenciarlo de otros; esta área generalmente es: la parte frontal o la parte posterior del vehículo, aunque en ocasiones es una vista lateral.

En trabajos previos se han abordado propuestas utilizando puntos de vista como: parte trasera, contorno, aproximación 3D, parte frontal o de lado.

Este trabajo utiliza la parte frontal del vehículo como referencia/área de interés; para esto, en un ambiente uni-carril y/o multi-carril, donde en una imagen hay la posibilidad de múltiples vehículos, primero se localiza cada vehículo dentro de la toma. De ahí, para cada vehículo, se extrae la parrilla. Finalmente, la parrilla se utiliza como la referencia para encontrar características que clasifiquen a una parrilla con una marca y modelo.

Por la naturaleza del ambiente no controlado, este trabajo se distingue por ser flexible a diferentes: resoluciones de imagen, iluminación, posición del vehículo y ángulo de toma. Los resultados de seis muestras tomados en tres distintos puntos de la zona metropolitana de Puebla, dieron 86% de aciertos de extracción de parrilla y la clasificación de Marca y Modelo de vehículos dio 89%.

## **ABSTRACT**

In security and surveillance issues is necessary to recognize vehicles by make and model, which can be useful in different ways depending on the site and its context.

Classification by make-model is mainly based on vehicle identification using a vehicle's characteristic area of interest, which allows differentiation from another one; generally this area is the front or the back of the vehicle, although it is sometimes a side view.

Previous works have proposed using views as rear contour, 3D approach, front or side.

This paper uses the front of vehicle as a reference/area of interest. In a uni-lane and / or multi-lane, where in an image there is the possibility of multiple vehicles at the front of the lane, each vehicle is first located within the image. Hence, for each vehicle, the grill is extracted. Finally, the grill is used as a reference to find features that classifies it with a make and model.

By the nature of uncontrolled environment, this work is distinguished by being flexible to: different image resolutions, lighting conditions, vehicle position and camera's angle with respect to the car's plane. The results of six sets of samples taken at three different locations of the metropolitan area of Puebla, was 86% of grill correct extraction and 89% for Make and Model correct classification.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesor, Dr. Jorge Martínez Carballido, por ayudarme en la elaboración de la tesis.

A mi hermana, Adriana Herrera Martínez, por ayudarme en la toma de fotografías de vehículos utilizados en este proyecto.

## DEDICATORIA

A mis padres, a mi hermana y a mis amigos.

A los que me pusieron en el sendero donde hoy camino,

A los que me ayudaron a levantarme cuando me caía,

A los que me mostraban el camino cuando me perdía,

A los que hacían compañía, cuando me sentía solo,

A todos ellos, le dedicó mi tesis.

# INDICE

INDICE .....	6
LISTA DE ILUSTRACIONES .....	7
LISTA DE TABLAS .....	7
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN .....	8
1.1.    PREFACIO .....	8
1.2.    SISTEMAS DE RECONOCIMIENTO.....	9
1.2.1 TIPOS DE SISTEMAS DE RECONOCIMEINTO .....	10
1.3.    TRABAJOS PREVIOS .....	10
1.3.1 RESUMEN DE TRABAJOS PREVIOS .....	12
1.4.    OBJETIVO GENERAL.....	14
1.5.    PROPUESTA DE SOLUCIÓN .....	15
Capítulo 2 DISEÑO DE SOLUCIÓN .....	20
2.1 DISEÑO DE SOLUCIÓN .....	20
2.2 ESTRUCTURA DE SOLUCIÓN.....	21
2.3 MÓDULOS DEL PROGRAMA.....	23
2.3.1 MÓDULO DE SEGMENTACIÓN .....	27
2.3.2 MÓDULO DE LOCALIZACIÓN DE MATRÍCULA .....	30
2.3.3 MÓDULO DE EXTRACCIÓN DE PARRILLA .....	35
2.3.4 MÓDULO DE SUSTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS .....	36
2.3.5 MÓDULO DE CLASIFICACIÓN.....	38
Capítulo 3 RESULTADOS.....	40
3.1 DEPURACION.....	40
3.2 PRUEBAS REALIZADAS .....	45
3.3 COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS .....	50
Capítulo 4 CONCLUSIONES.....	52
4.1 CONCLUSIONES.....	52
4.2 TRABAJOS FUTUROS.....	55
REFERENCIAS.....	56
APENDICE A. MATRIZ A DE CONTROL .....	58
APENDICE B. MATRIZ B DE PARAMETROS 1 .....	59
APENDICE C. MATRIZ C DE PARÁMETROS 2 .....	60

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1. Estructura de solución.....	22
Figura 2.2. Diagrama de Segmentación .....	23
Figura 2.3. Diagrama de localización de matrícula.....	24
Figura 2.4. Diagrama de extracción de parrilla.....	26
Figura 2.5. Diagrama de sustracción de características.....	26
Figura 2.6. Diagrama de clasificación.....	27
Figura 2.7. Ejemplo del Módulo de Segmentación con 2 carriles y 1 carril.....	28
Figura 2.8. Matrícula distorsionada por el ángulo de toma. ....	29
Figura 2.9. Posiciones del vehículo desfavorables, fuera del ángulo efectivo de la cámara. ....	30
Figura 2.10. Ejemplo de Sub-módulo de Localización de sombra.....	31
Figura 2.11. Posiciones de la sombra desfavorables para el sistema. ....	32
Figura 2.12. Ejemplo de Sub-módulo de Definición de área de búsqueda .....	33
Figura 2.13. Ejemplo de Sub-módulo de Búsqueda de la Matrícula.....	34
Figura 2.14. Ejemplo de Módulo de Sustracción de Matrícula .....	35
Figura 2.15. Ejemplo de Módulo de Extracción de Características.....	37
Figura 2.16. Ejemplo de Diagrama de Clasificación .....	39
Figura 3.1. Ejemplo de entrada para depuración.....	40
Figura 3.4. Ejemplo de salida del sub-módulo de búsqueda de matrícula durante depuración. ....	43
Figura 3.6. Ejemplo de salida del módulo de sustracción de características durante depuración.....	44
Figura 3.7. Zona 1 para toma de vehículos desde puentes. Extraída de <a href="https://maps.google.com.mx/">https://maps.google.com.mx/</a> .....	45
Figura 3.8. Zona 2 para toma de vehículos desde puentes. Extraída de <a href="https://maps.google.com.mx/">https://maps.google.com.mx/</a> .....	46
Figura 3.9. Zona 3 para toma de vehículos desde puentes. Extraída de <a href="https://maps.google.com.mx/">https://maps.google.com.mx/</a> .....	46

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Base de datos de las formas de líneas.....	38
Tabla 3.1. Sub-matriz de control para módulo de segmentación.....	41
Tabla 3.3. Sub-matriz de control para sub-módulo de localización de sombra.....	43
Tabla 3.5. Resultados del primer conjunto.....	48
Tabla 3.6. Resultados de la segunda prueba. ....	48
Tabla 3.7. Resultados de la tercera prueba, doble carril. ....	49
Tabla 3.8. Resultados de la cuarta prueba, baja resolución. ....	49
Tabla 3.9. Resultados de la quinta prueba. ....	49
Tabla 3.10. Resultados de sexta prueba, marca-modelo. ....	50

# Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1. PREFACIO

El reconocimiento de marca y modelo de vehículos sirve a distintos intereses según el sitio y contexto. Entre algunos de los usos que podemos tener, están la de localización de vehículos, de control de acceso y el análisis de mercado.

El control de acceso vehicular puede ser de utilidad en empresas o centros comerciales para regular la entrada y/o la salida de los vehículos, así como la de sus conductores. También es posible advertir el total de vehículos aparcados y los espacios vacantes en los estacionamientos, y de esta forma, los conductores no pierden el tiempo buscando un espacio en estacionamientos sin vacantes.

En mercadotecnia puede ser de utilidad para realizar estudios sobre la densidad vehicular por marca y modelo en distintas regiones. De esta manera, las empresas vehiculares pueden conocer la presencia de sus marcas y modelos junto a la de la competencia en dichas regiones, y así aplicar las medidas necesarias.

En temas de seguridad y vigilancia, los vehículos, indistintamente el uso del mismo, se pueden encontrar bajo distintos riesgos de seguridad. Pueden ser objeto de robo, daños y accidentes. Ante tales situaciones, algunos gobiernos, empresas públicas y privadas han puesto en marcha programas de video vigilancia como medidas preventivas y correctivas.

El reconocimiento automático del número de placa “Automated Number Plate Recognition” (ANPR) es el primer paso para la identificación de vehículos. Para complementar la identificación es necesario hacer “Make and Model Recognition” (MMR) que proporcione la marca y modelo del vehículo. Ambos programas, en conjunto, permiten una mejor opción en la identificación automática de vehículos y posibles anomalías.

## 1.2. SISTEMAS DE RECONOCIMIENTO

Los sistemas de reconocimiento constan generalmente de dos etapas [2] [3] [4] [5] [6] [7]: la etapa de *extracción de características* y la etapa de *clasificación*.

En la primera etapa, *extracción de características*, se obtiene las características que mejor representen las cualidades del objeto, utilizando algún algoritmo que las identifique y las almacene; y finalmente, pasan por la etapa de *clasificación*, en donde las características son clasificadas y se comprueba con qué objeto de los de interés dentro de la base de datos tiene un mayor parecido o a cual pertenece.

Entre los clasificadores utilizados en trabajos de reconocimiento de vehículos se encuentran el *vecino-k más cercano* (k-nearest neighbor KNN) [3] [4] [6] [8], *el bayesiano ingenuo* (Naives Bayes) [4], *la máquina de soporte vectorial* (Support Vector Machine SVM) [8] y *la red neuronal probabilística* (Probabilistic Neural Network PNN) [9].

### 1.2.1 TIPOS DE SISTEMAS DE RECONOCIMIENTO

Actualmente, los sistemas de reconocimiento de vehículos pueden clasificarlos de dos maneras: por tipo de vehículo y por marca-modelo.

La clasificación por tipo, es una forma general de identificar el vehículo por su tamaño. Urazghildiiev et. al [1] proponen clasificar los vehículos por perfiles de altura y longitud obtenidos de un radar de microondas; las categorías que enlista son las siguientes: auto, auto con tráiler, camioneta, autobús, SUT (Single-Unit Truck) y MTT (Multi-Trailer Truck). Chen et. al [2] proponen utilizar SVM para el reconocimiento y clasificación; e incluyen tres categorías de vehículos: auto, camioneta y camión de carga (Heavy Goods Vehicles HGV). Este tipo de clasificación es muy limitada y no permite dar más información del vehículo.

La clasificación por marca-modelo, se basa principalmente en la identificación de vehículos utilizando la captura de un área característica del mismo, que permita diferenciarlo de otros; esta área generalmente es: la parte frontal o la parte posterior del vehículo, aunque en ocasiones es una vista lateral.

### 1.3. TRABAJOS PREVIOS

Huang et. al [3] proponen utilizar un análisis discriminante lineal de dos dimensiones (Two- Dimensional Linear Discriminant Analysis 2DLDA) como algoritmo de reconocimiento de vehículos en tiempo real; utilizando KNN como clasificador. Las pruebas realizadas demostraron que su método obtuvo resultados del 94.7% de un conjunto de 814 imágenes de la parte frontal del vehículo; además, que su método no era sensible a variaciones de color ni cambios de iluminación.

Pearce et. al [4] proponen comparar distintos métodos de caracterización combinados con dos clasificadores, y mostrar los respectivos resultados de sus pruebas. Los métodos utilizados fueron Canny Edge, Square Mapped Gradient, Harris Corners y Locally Normalized Harris Strengths; los cuales fueron probados con el clasificador KNN con K igual a uno y tres; y también con el clasificador Naives Bayes. Los métodos fueron comprobados con una base de datos de 262 imágenes frontales de carros. Los mejores resultados (superiores al 94%) fueron obtenidos con Locally Normalized Harris Strengths con cualquiera de los dos clasificadores; además, otro buen resultado fue obtenido con Square Mapped Gradient junto al clasificador Naives Bayes.

Anthoy [5] propone una técnica de clasificación utilizando distancia Hausdorff. Éste extrae los bordes de la parte posterior del vehículo, y los representa por un conjunto de segmentos de línea para así compararlo directamente con su base de datos. Esta base de datos consta de 1103 imágenes recortadas de la parte posterior del vehículo. Las pruebas fueron realizadas con 38 imágenes, y los resultados obtenidos fueron del 42% y 59% de tasa de reconocimiento.

Clady et. al [6] proponen un arreglo de características de puntos de contorno orientados (Oriented-Contour points features array). Además utilizan dos estrategias de clasificación; la primera estrategia combina los valores obtenidos de la caracterización en una función discriminante, y la segunda consiste en crear un espacio vectorial de los votos obtenidos de la caracterización y cuya decisión final dependerá de un proceso KNN. Los resultados obtenidos de las pruebas, demuestran que su método tiene una tasa de reconocimiento superior al 90%, estas fueron realizadas de conjunto de 830 imágenes reales de la parte frontal del vehículo.

Psylos et. al [7] proponen un método basado en el cálculo de la fase de congruencia; en donde, los valores varían desde un mínimo de 0 y un máximo de 1, los cuales representan nada significativa y característica muy significativa, respectivamente. El clasificador utilizado es el PNN debido a su rápida clasificación y entrenamiento. Sin embargo los resultados obtenidos por su método no fueron muy satisfactorios debido a que su tasa de reconocimiento está por debajo del 60%.

Rahati et. al [8] proponen la transformada Contourlet y un criterio de desviación estándar para la caracterización; la cual se lleva a cabo en tres fases. En la primera fase descomponen la imagen utilizando la transformada Contourlet, obteniendo coeficientes en distintas bandas y direcciones. En la segunda fase, utilizando un criterio de desviación estándar, reducen el vector de características. En la tercera fase, normalizan el vector de característica. En su trabajo, proponen dos clasificadores para comparar los resultados: SVM y KNN. Las pruebas realizadas muestran que los mejores resultados se obtuvieron con el clasificador SVM y superan el 90% de aciertos.

### 1.3.1 RESUMEN DE TRABAJOS PREVIOS

En la tabla 1 se muestran la información resumida de los trabajos mencionados anteriormente. La tabla incluye los métodos empleados por el(los) autor(es), tanto el método de caracterización como el clasificador; el total de modelos y marcas de vehículos utilizados; total de imágenes de la base de datos de entrenamiento y de prueba; y finalmente los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

Tabla 1. Tabla comparativa de los trabajos relacionados.				
Referencia del trabajo previo.	Métodos	Modelos y marcas de vehículos.	Base de datos de imágenes.	Resultados
Huang et. al [3]	<b>Caracterización:</b> 2DLDA. <b>Clasificador:</b> KNN.	9 marcas y 20 modelos distintos.	1414 imágenes en total: 600 utilizadas para entrenamiento y 814 para pruebas. La resolución que utilizaron fue de 100x50 pixeles.	94.7% de reconocimiento
Pearce et. al [4]	<b>Caracterización:</b> Canny Edges, Square Mapped Gradient, Harris Corners y Locally Normalized Harris Strengths. <b>Clasificador:</b> Naive Bayes y KNN	74 modelos distintos.	262 imágenes utilizadas para pruebas. La resolución de que utilizaron fue de 150x150 pixeles.	96% de reconocimiento
Anthoy [5]	<b>Caracterización:</b> Distancia Hausdorff.	No mencionado en el artículo del autor.	1103 imágenes recortadas de la parte posterior del automóvil y 38 imágenes para las pruebas. Resolución no mencionada.	65.79% y 73.68% de reconocimiento en pruebas.
Clady et. al [6]	<b>Caracterización:</b> Oriented-Contour points features array <b>Clasificador:</b> KNN	50 distintas clases de vehículo.	830 imágenes. La resolución que utilizaron fue de 600x252 pixeles.	42% y 59% de reconocimiento en pruebas.
Psyllos et. al [7]	<b>Caracterización:</b> Método basado en el cálculo de la fase de	11 marcas distintas con 5 modelos cada una.	55 imágenes de entrenamiento y 110 imágenes de prueba. Las	87% de reconocimiento.

	congruencia <b>Clasificador:</b> Neural Network		resolución que utilizaron fue de 25x25, 50x50, 100x100 y 200x200 pixeles.	
<b>Rahati et. al [8]</b>	<b>Caracterización:</b> Transformada Contourlet <b>Clasificador:</b> SVM y KNN	5 clases de vehículos.	300 imágenes de base de datos, de las cuales 230 son de entrenamiento y 70 de prueba. La resolución que utilizaron fue de 128x128 pixeles.	Hasta un 99% de reconocimiento dentro de sus múltiples pruebas.
<b>Psyllos et. al [9]</b>	<b>Caracterización:</b> Scale Invariant Features Transform (SIFT) <b>Clasificador:</b> Probabilistic Neural Network (PNN)	11 clases de vehículos.	Las resoluciones que utilizaron fue de 25x25, 50x50, 100x00 y 200x200 pixeles.	85% de reconocimiento.

#### 1.4. OBJETIVO GENERAL

El objetivo del proyecto es diseñar un método para reconocimiento de marca y modelo de vehículo en un entorno real para la captura de vehículos fijos y en movimiento donde se utilicen puntos de vigilancia de interés para corporaciones municipales/estatales.

El algoritmo del programa debe ser simple y competente contra los otros trabajos previos, para ello se debe dar prioridad a las operaciones aritméticas simples y a operaciones sin punto flotante.

El programa debe diseñarse con tolerancia a las condiciones desfavorables y sin control del entorno. Debido a que se planeó que el programa trabajará en un ambiente urbano, éste debe ser capaz de trabajar

a distintas condiciones de iluminación, resolución variante de la toma, posiciones de los vehículos no centrados y/o cambios en el ángulo de toma de la cámara.

### 1.5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En todos los trabajos relacionados [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] las pruebas realizadas se hicieron con tomas de una solo vehículo, ya sean tomas del cuerpo completo o solo una zona del mismo. El presente proyecto llevará acabo el reconocimiento con tomas de varios vehículos, en otras palabras, el método será capaz de buscar e identificar un vehículo por cada carril en la misma captura de la cámara, conociendo la posición de la cámara y la zona vehicular.

En los trabajos relacionados se utiliza toda la parte frontal [3] [4] [6] [7] [8] o toda la parte posterior [5] del vehículo para poder llevar a cabo la identificación. Sin embargo no es necesario utilizar toda la imagen para ello si existe una sección de la imagen del vehículo que tenga características únicas que la diferencien de otras marcas y modelos. En este proyecto se analizó la posibilidad de utilizar solo la parrilla como un identificador único para los vehículos; este análisis resultó prometedor por lo que se decidió utilizarlo.

Para obtener la ubicación de la parrilla del vehículo se han contemplado algunas alternativas que auxilien en la búsqueda, entre ellas se encuentran las siguientes: por localización de los faros, por localización del espejo retrovisor, por localización de los espejos laterales, por localización del parabrisas, por localización de las llantas delanteras y por localización de la sombra del vehículo. Analizando cada alternativa cuidadosamente se

encuentra que no todas ellas son opciones viables que ayuden a centrar el vehículo y de esta manera localizar la posición de las parrillas.

A continuación se describen las alternativas, que sirven de auxilio en la búsqueda de la parrilla, que fueron descartadas; así también como, las alternativas que se mostraron viables.

La alternativa de ubicar las parrillas mediante el espejo retrovisor, es una de las alternativas que se descartó. Esto debido a que en tomas reales, es difícil localizar el espejo retrovisor de los vehículos debido a que el efecto espejo en el parabrisas lo obstaculiza; esto puede ser causado por la tonalidad del polarizado del parabrisas, porque el parabrisas está parcial o totalmente polarizado; por la iluminación artificial o natural del entorno, etc. Por esta misma razón también es difícil ubicar las parrillas por medio del parabrisas.

La alternativa de ubicar las parrillas mediante las llantas delanteras, es otra de las alternativas descartadas. Esto debido a que el ángulo de elevación desde donde se realizan las tomas es elevado, lo que en algunos casos impide la visibilidad de las llantas frontales y por lo tanto no serviría como base para ubicar las parrillas.

La alternativa de ubicar las parrillas mediante los espejos laterales, es una alternativa viable pero con algunos inconvenientes. Esto debido a que uno de los dos espejos puede quedar oculto a causa de la posición con la que quede capturada la toma del vehículo, o no exista; lo que ocasionaría que se perdiera una de las referencias para centrar y ubicar las parrillas; adicionalmente dado el tamaño, posiblemente se requeriría mayor resolución en las tomas.

Por las razones mencionadas anteriormente, las alternativas que se analizarán y comprobarán serán las siguientes: por ubicación de los faros y por ubicación de la sombra. La idea consiste en utilizar cualquiera de estos dos elementos para encontrar el vehículo en la toma, de esta manera centrarlo y delimitar una zona de interés donde se encuentra la parrilla. También se considera la idea de utilizar una combinación de dos alternativas que auxilien en la búsqueda de la parrilla.

La alternativa de ubicar las parrillas por medio de la sombra del vehículo, es una alternativa más viable que las mencionadas anteriormente. En las imágenes donde se realizan una toma en picada de un vehículo casi siempre se encontrará una sombra que debajo el mismo. Este fenómeno permite ayudar a distinguir si existe un vehículo dentro de la misma imagen. La sombra proyectada en el pavimento tendrá una forma de paralelepípedo o semi-rectangular con un ancho similar al del vehículo. Esta característica puede ser usada para encontrar el centro del vehículo y fácilmente determinar la ubicación de la parrilla.

Otra característica que puede complementar la ubicación de la parrilla es la placa. Sabiendo la posición de la placa dentro de la zona de la imagen donde se encuentra el vehículo, se puede determinar la altura, es decir, un punto de partida a partir de la cual se encuentra la parrilla.

En la etapa de caracterización, como se mencionó anteriormente, algunos trabajos utilizan la parte frontal [3] [4] [6] [7] y otros la parte posterior [5] [8] del vehículo. Los trabajos que utilizan la parte frontal, utilizan gran parte de la zona para proceso de caracterización. La solución propuesta es extraer solo los bordes de las parrillas como parte de la etapa de caracterización del vehículo, lo que permitirá identificar de forma única a cada automóvil de una manera más simple. Posteriormente, se planea utilizar

un método de clasificación y así mismo se determinará con qué automóvil del conjunto de referencia tiene un mayor parecido o a cual pertenece.

La resolución juega un papel importante en la etapa de caracterización, por lo tanto, se requiere de una resolución adecuada para poder determinar correctamente la forma de los bordes de las parrillas. En los trabajos relacionados, las resoluciones requeridas varían dependiendo de la zona de interés y del método de caracterización a utilizar.

Pearce et. al [4] utilizan un conjunto de imágenes de la parte frontal del automóvil de 150x150 píxeles para la caracterización, debido a la restricción que tienen con el método Canny Edge; igualmente, Rahati et. al [8] utilizan imágenes normalizadas de 128x128 debido a los requerimientos de su método de transformada Contourlet. En ambos trabajos, como se menciona, las resoluciones estuvieron restringidas por el método utilizado, es la razón por la cual las imágenes son cuadradas y con una dimensión de píxeles fijo.

Psyllos et. al [7] hacen pruebas con dimensiones de 25x25, 50x50, 100x100 y 200x200 píxeles para analizar los distintos tiempos de procesamiento. Al igual que Pearce et. al [4] y Rahati et. al [8], ellos utilizan imágenes cuadradas para sus pruebas. Sin embargo, otros trabajos como el de Clady et. al [6] utilizan imágenes rectangulares; ellos utilizan tomas de 600x252 píxeles para sus pruebas.

En la base de pruebas preliminares, la resolución que se propone para la zona de la parrilla es de mínimo 150 píxeles de ancho, por lo que se requerirá por lo menos una captura de 300 píxeles de ancho por vehículo. Debido a esto, la resolución de la cámara de vigilancia deberá ser aproximadamente de 300 píxeles por ancho de vehículo que se desee capturar en la misma toma.

La base de datos constará de imágenes con marcas de interés para corporaciones policiacas estatales/municipales en México. Algunas de las marcas de interés son las siguientes: Audi, BMW, Chrysler, Ford, General Motors, Honda, Mazda, Nissan, Toyota y Volkswagen. Los modelos de automóviles y marcas dependerán de las tomas de imágenes que se realicen. La cantidad de marcas y modelos queda sujeta a cambios durante el proyecto de acuerdo a intereses que presente la corporación estatal con la que se cooperará.

## Capítulo 2 DISEÑO DE SOLUCIÓN

### 2.1 DISEÑO DE SOLUCIÓN

En este trabajo, como ya se ha mencionado, se utiliza la parte frontal del vehículo; para esto, en un ambiente uni-carril y/o multi-carril, donde en una imagen hay la posibilidad de múltiples vehículos, se extrae la región de cada vehículo. De ahí, para cada vehículo, se extrae la parrilla auxiliándose del entorno. La parrilla se utiliza como la zona del vehículo que identifica marca y modelo; debido a que en ella se encuentran características que permiten clasificar a los vehículos.

Los sistemas de reconocimiento de vehículos se enfrentan a distintos inconvenientes como cualquier otro sistema de identificación.

En una toma realizada, la resolución de la imagen puede ser variable y/o insuficiente, debido a que el vehículo se puede encontrar a diferentes distancias del punto de control, aunque también puede deberse al uso de una cámara de baja resolución. Así mismo, la iluminación puede ser pobre y de bajo contraste debido a sobreexposición, reflexión o sombras. Otro punto es que en el carril no hay control de la posición angular del vehículo.

Hay distintos intereses y necesidades que se presenta al sistema reconocimiento; al ser requerido en distintas zonas de una ciudad. Debido a esto las cámaras deberán ser ubicadas a distintas alturas y posiciones; es decir que las tomas se realizan a distintos ángulos y distancias. En consecuencia, el programa requerirá de ser tolerante a la captura de las parrillas a un rango de ángulos y resoluciones/distancias.

Como se mencionó anteriormente, por la naturaleza del ambiente no controlado, es necesario trabajar bajo distintas contrariedades. Debido a esto, varios sistemas de reconocimiento establecen con anterioridad las condiciones que debe tener las imágenes de los vehículos con las que trabajan; por ejemplo, un tamaño fijo de la toma, iluminación suficiente y/o posición centrada del vehículo. Sin embargo, este proyecto empezó a realizar sus pruebas con tomas de vehículos bajo distintas situaciones.

Las tomas realizadas, para empezar a construir el programa, se hicieron a distintos horarios y ángulos de toma para trabajar directamente con los problemas encontrados al trabajar en ambientes no controlados. Como consecuencia, el programa se caracteriza por tener como base flexibilidad en: *resolución de imagen, iluminación, posición del vehículo y ángulo de toma.*

El software que se utilizó para desarrollar el código del sistema y realizar las pruebas correspondientes fue MATLAB 2013<sup>a</sup> v8.1.0.604

## 2.2 ESTRUCTURA DE SOLUCIÓN

Como ya se mencionó anteriormente, los sistemas de reconocimiento constan generalmente de dos etapas [2] [3] [4] [5] [6] [7]: la etapa de *extracción de características* y la etapa de *clasificación*; el sistema de este proyecto también adaptará estos dos etapas en su estructura de solución. Además, debido a las características que la diferencian de otros sistemas, se requieren de otras etapas para describir el sistema; estas características son la entrada multi-carril, la auto-localización del vehículo y la utilización de la parrilla como identificador único.

La estructura del programa, por la naturaleza del sistema y para una mejor comprensión del mismo, puede ser descrito en cinco módulos: *segmentación,*

*localización de matrícula, extracción de parrilla, substracción de características y clasificación.*

Estos módulos realizan sus tareas de manera independiente y van guardando las variables necesarias en una *matriz de control* que se va generando durante su ejecución.

Debido a la naturaleza del programa, también son necesarias algunas constantes/parámetros predefinidas, las cuales se ajustan dependiendo de las condiciones presentes en el entorno de trabajo cuando se ejecute el programa, estas son controladas desde la *matriz de parámetros*.

Ambas matrices son globales por lo que todos los módulos tienen acceso a ellas, lo que evita que cada módulo tenga que enviar toda su información recolectada y/o predefinida a los otros módulos cada vez que se ejecute. Esta medida permite que los módulos trabajen de manera débilmente acoplados por estos parámetros/variables entre ellos.

La estructura de solución se puede ejemplificar en la Figura 2.1.

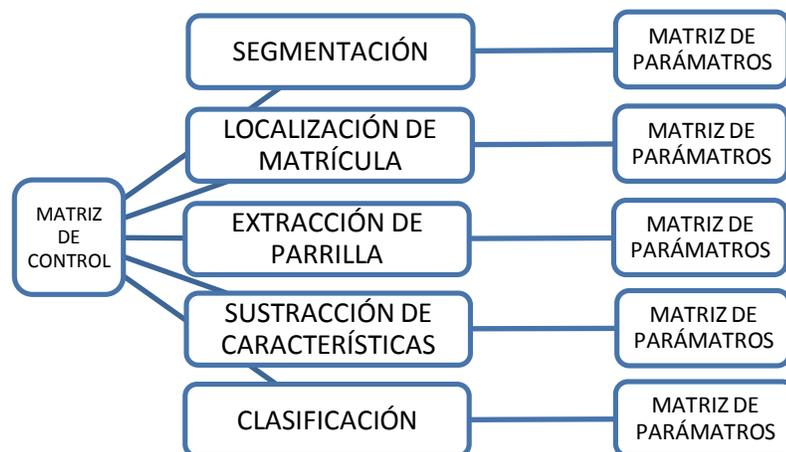


Figura 2.1. Estructura de solución.

### 2.3 MÓDULOS DEL PROGRAMA

Los módulos del programa son los siguientes: *módulo de segmentación*, *módulo de localización de matrícula*, *módulo de extracción de parrilla*, *módulo de sustracción de características* y *módulo de clasificación*. A continuación se describirán brevemente cómo funcionan los módulos y sus sub-módulos correspondientes de la estructura de solución. Posteriormente, se describirán a mayor detalle.

El módulo de *segmentación* se encarga de recortar áreas de la toma dependiendo el número de carriles con los que se trabaje. El número de carriles se establece con anterioridad y está predefinida como un parámetro. Este módulo determina una primera área de búsqueda donde se puede encontrar el vehículo, evitando así que se trabaje con toda la imagen. Esta medida también permite definir un área de búsqueda efectiva donde la resolución y el enfoque no se vean afectados debido a la posición de vehículo dentro de la toma. El diagrama de este módulo se muestra en la Figura 2.2.



Figura 2.2. Diagrama de Segmentación

El módulo de *localización de matrícula* se divide en tres sub-módulos: *localización de sombra*, *definición de área de búsqueda* y *búsqueda de la matrícula*. El diagrama de este módulo se muestra en la Figura 2.3.

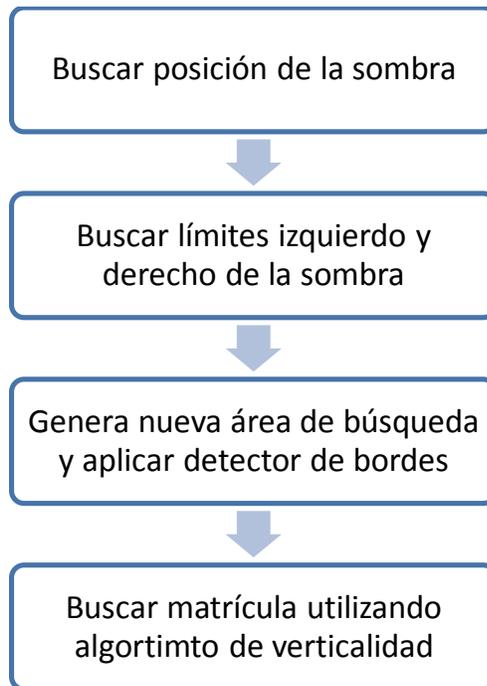


Figura 2.3. Diagrama de localización de matrícula

El primer sub-módulo de *localización de sombra* se encarga de buscar la sombra bajo el vehículo dentro del recorte de la toma. Esto permite establecer la primera posición de control que será necesaria para los siguientes sub-módulos, y es la base para el resultado correcto de la ejecución de este programa.

Es necesario recalcar que a diferencia de otros trabajos de identificación de vehículos, éste proyecto no trabaja con tomas pre-ajustados de vehículos, es decir que las tomas con las que se trabaja no tienen un ángulo de toma y/o resolución fija ni una iluminación controlada o pre-procesada.

El segundo sub-módulo de *definición de área de búsqueda* encuentra la primera área donde buscar la matrícula, y ésta muy posiblemente abarque toda o parte de la parrilla. Esta área se genera al intersectar la posición del área de la sombra ya encontrada con el área del pavimento que circunda el vehículo. Aunque hay una gran posibilidad de encontrar la parrilla dentro de esta área, debido a las variaciones de la posición de la sombra (iluminación y/o fecha y hora del día), es probable que el área seleccionada no esté centrada; por esta razón, es necesario poder contar con otra posición de control que nos permita determinar el centro del vehículo. En consecuencia, se utiliza la posición de la matrícula, la cual se extrae en el siguiente sub-módulo.

El tercer sub-módulo de *localizar de matrícula* se encarga de encontrar la posición de la matrícula valiéndose de la forma rectangular de ésta. Este sub-módulo realiza un recorrido dentro del área preestablecida para buscar un conjunto de líneas que asemejen la forma rectangular de la matrícula; esto es posible debido a un algoritmo que hace búsquedas de líneas verticales. Cabe mencionar que este algoritmo de verticalidad toma en consideración que el ambiente es no controlado, por lo que los bordes se pueden ver distorsionados por diferentes factores.

El módulo de *extracción de parrilla* utiliza la posición ya encontrada de la matrícula como referencia para determinar el área donde se encuentra y de donde se extraerá la parrilla. Debido a que las tomas realizadas son en picada, la altura de las matrículas están comprometidas; en consecuencia, la única referencia no comprometida que sirva para como base patrón dentro de la imagen es el ancho de la matrícula, el cual, a diferencia de la altura de la matrícula, solo se ve afectado levemente por la posición y el ángulo de la toma. Con esta distancia como base se extrae un área predefinida alrededor de la matrícula que se define como *zona de parrilla*. El diagrama de este módulo se muestra en la Figura 2.4.

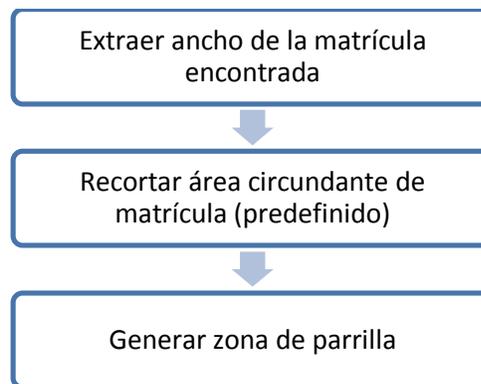


Figura 2.4. Diagrama de extracción de parrilla

El módulo *de sustracción de características* construye una matriz de características con la ayuda de detectores de ejes [10] [11] [12] [13] [14] [15] y un algoritmo reconocedor de formas relevantes [16] a las contenidas en parrillas típicas de marcas y modelos seleccionados. La zona de la parrilla se divide en tres regiones y cada una pasa por un detector de ejes seguido de un reconocedor de formas. Estos dos algoritmos en conjunto describen las diferentes líneas/formas de las que se componen la parrilla así como su orden y posición. Las características obtenidas de estos procesos son almacenadas en una matriz de características. El diagrama de este módulo se muestra en la Figura 2.5.

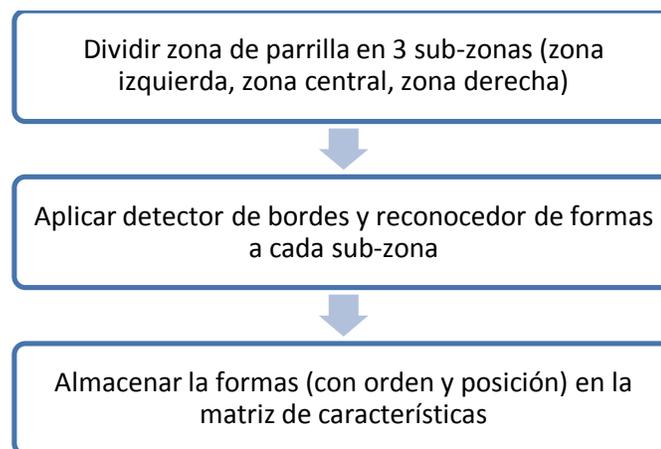


Figura 2.5. Diagrama de sustracción de características

El módulo de clasificación utiliza la matriz de características obtenidas en el módulo anterior y la compara con las matrices almacenadas en la base de datos. El programa da prioridad a la zona central debido a que esta presenta una mayor descripción, y por lo tanto, una mayor diferencia entre parrillas de diferentes marcas y modelos. El diagrama de este módulo se muestra en la Figura 2.6.

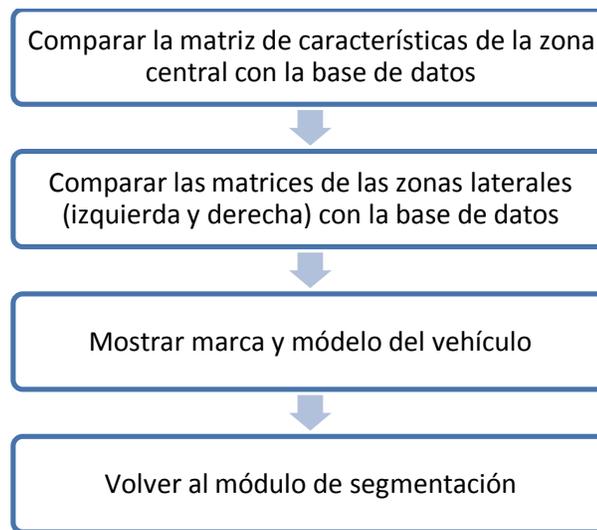


Figura 2.6. Diagrama de clasificación

### 2.3.1 MÓDULO DE SEGMENTACIÓN

El módulo de *segmentación* se encarga de recortar áreas de la toma dependiendo el número de carriles con los que se trabaje. El número de autos/carriles por toma se preddefine en la posición 2 de la matriz B de parámetros (Apéndice B), mientras que las variables que definen, en píxeles, el alto y ancho de la toma completa, así como el alto y ancho de los recortes por carriles se van guardando en las primeras cuatro posiciones de la matriz A de control (Apéndice A). A decir *Ancho original*, *Alto original*, *Ancho carril*, *Alto carril*.

Este módulo delimita una primera opción de búsqueda donde se puede encontrar la sombra del vehículo en condiciones de resolución que permita localizar la placa, esto evita que el programa recorra la imagen por completo y aumente el tiempo de ejecución. Además permite definir un área de búsqueda efectiva donde la resolución y el enfoque no se vean afectados debido a la posición de vehículo dentro de la toma. Este parámetro de delimitación se puede encontrar en la posición 1 de la matriz B de parámetros, *Altura de búsqueda de sombra (Apéndice B)*.

Como ejemplo podemos dar dos casos: a) dos carriles, b) un solo carril. La figura 2.7 ilustra estos dos casos.

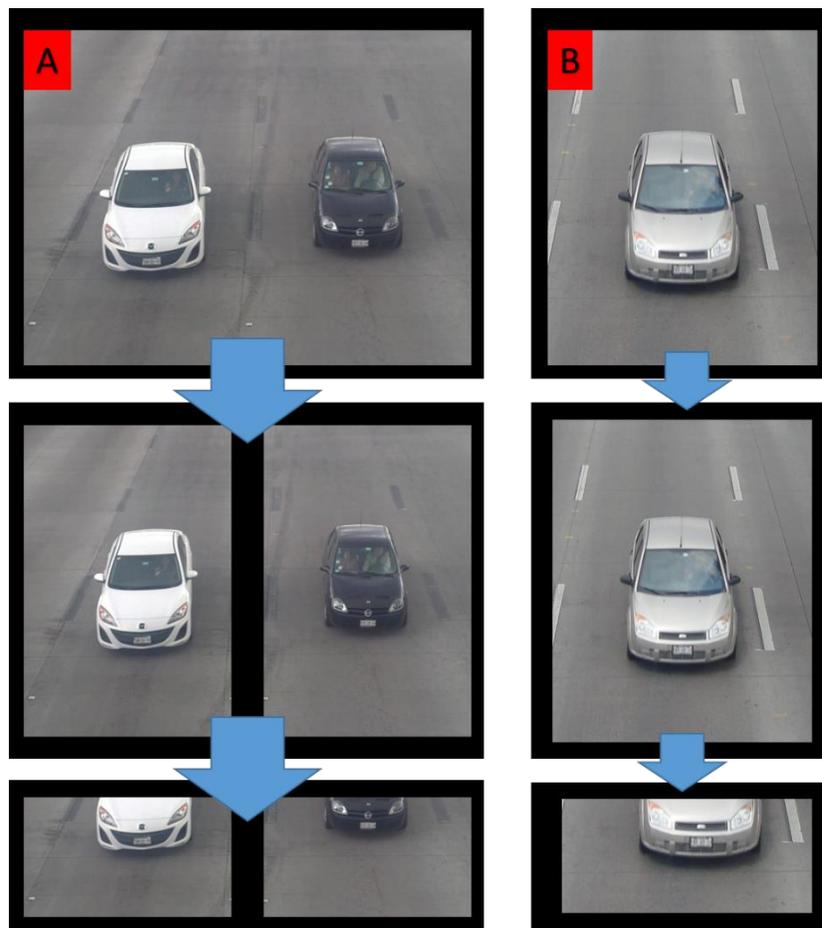


Figura 2.7. Ejemplo del Módulo de Segmentación con 2 carriles y 1 carril.

El sistema, debe ser capaz de localizar el vehículo dentro de la toma, a pesar de las posiciones donde el vehículo se encuentre. Sin embargo, el vehículo no puede estar muy alejado de la toma debido a que la resolución resultante de la parrilla sería insuficiente para poder extraer correctamente sus características. Además, si el vehículo se encuentra muy cerca al perpendicular pavimento-cámara, la toma capturará una matrícula poco distinguible, con una altura distorsionada con respecto a su anchura, como el que se muestra en la parte izquierda de la figura 2.8. Mientras que si se encuentra en una zona efectiva, es decir, no tan cercana a esta perpendicular, la matrícula será distinguible y su altura podrá tener una relación cercana de 1:2 con respecto a su anchura, como lo indica la norma mexicana de placas, por lo que se podrá localizar correctamente la matrícula.



Figura 2.8. Matrícula distorsionada por el ángulo de toma.

Sin embargo, a pesar de estos inconvenientes que se presentan con matrículas, el ángulo en el que se pueden encontrar los vehículos, es amplio, por lo que se el sistema es capaz de operar flexible al ángulo de toma. La figura 2.9 ilustra este ejemplo.

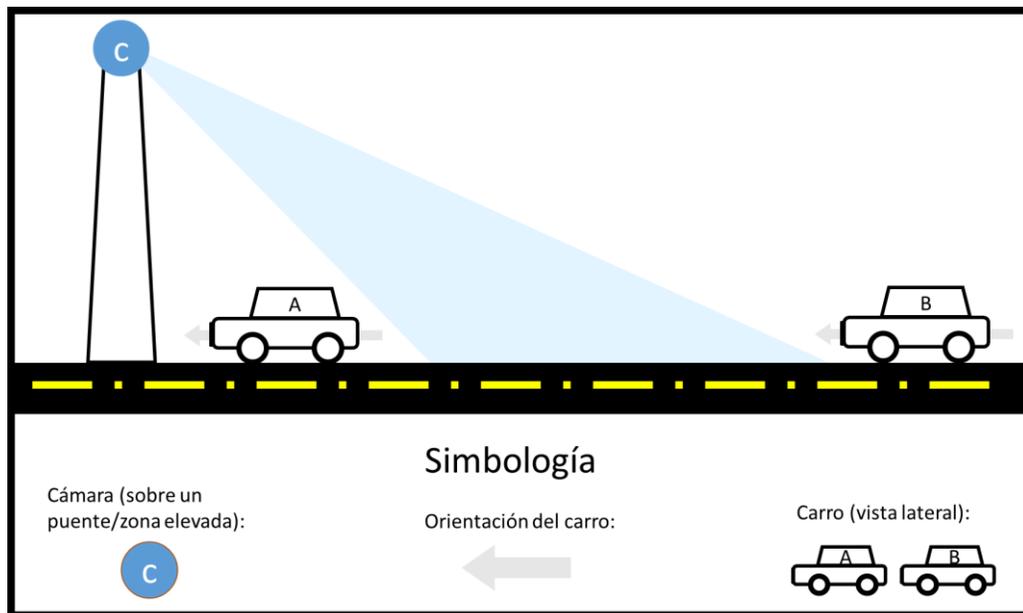


Figura 2.9. Posiciones del vehículo desfavorables, fuera del ángulo efectivo de la cámara.

### 2.3.2 MÓDULO DE LOCALIZACIÓN DE MATRÍCULA

El módulo de *localización de matrícula* consta de tres sub-módulos, los cuales trabajan en conjunto para localizar la matrícula y son los siguientes: *localización de sombra*, *definición de área de búsqueda* y *búsqueda de la matrícula*.

El primer sub-módulo de *localización de sombra* se encarga de buscar la sombra bajo el vehículo dentro del recorte de la toma obtenida del módulo de *segmentación*. Esto permite establecer la primera posición de control, la altura de la sombra, que será necesaria para los siguientes sub-módulos, y es la base para la correcta ejecución de este programa. La altura de la sombra se guarda en la posición 7 de la matriz A de control (Apéndice A). Este sub-módulo se puede ejemplificar con la figura 2.10, donde la letra 'H' representa la *altura de la sombra* encontrada.



Figura 2.10. Ejemplo de Sub-módulo de Localización de sombra

Cabe mencionar, que es importante disponer de sombra, aunque su proyección dentro de las tomas sea mínima, porque en caso contrario el sistema no podrá establecer su primera posición de control, y por lo tanto no será capaz de proseguir con los siguientes sub-módulos. El único caso, en donde un vehículo, visto desde enfrente, no proyecte alguna sombra sobre el pavimento, es cuando el sol o fuente de iluminación se encuentra frente a éste y la sombra generada, por obviedad, se encontrará proyectada hacia atrás de éste. Esto se ejemplifica con la figura 2.11, en donde se muestran tres casos donde la posición del sol es desfavorable para el sistema.

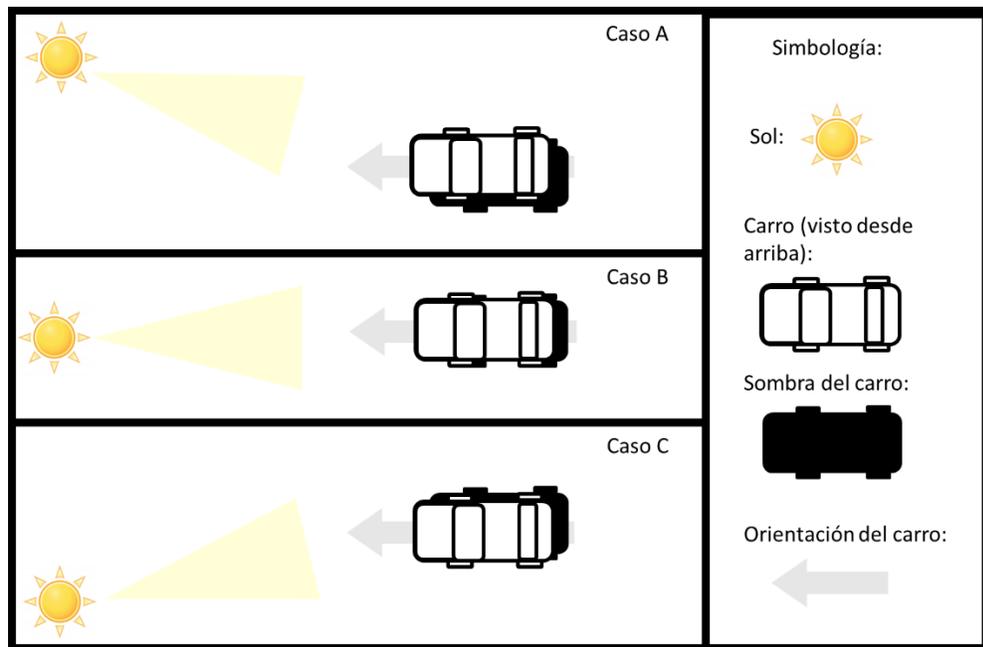


Figura 2.11. Posiciones de la sombra desfavorables para el sistema.

El segundo sub-módulo de *definición de área de búsqueda* define una primera área donde buscar la matrícula, y ésta muy posiblemente abarque toda o parte de la parrilla. Esta área se genera al intersectar la altura (posición en la imagen) de la sombra ya encontrada con los extremos laterales del vehículo. Para encontrar los extremos, se realiza un recorrido para determinar dos zonas uniformes en color circundantes al vehículo, tomando como referencia la posición de la sombra. Estas posiciones *límite izquierdo* y *límite derecho* se guardan en la posición 8 y 9, respectivamente, de la matriz A de control (Apéndice A). Este sub-módulo se puede ejemplificar con la figura 2.12.

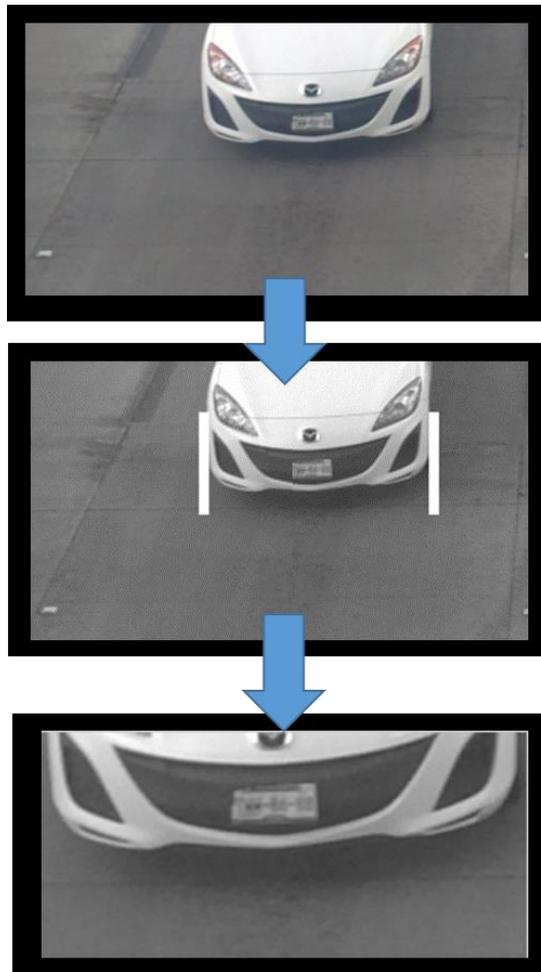


Figura 2.12. Ejemplo de Sub-módulo de Definición de área de búsqueda

El tercer sub-módulo de *búsqueda de matrícula* se encarga de encontrar la posición de la matrícula valiéndose de la forma rectangular de ésta. Este sub-módulo aplica un detector de bordes al área preestablecida seguido de un recorrido para buscar un conjunto de líneas que asemejen la forma rectangular de la matrícula; esto es posible debido a un algoritmo que hace búsquedas de líneas verticales. Las coordenadas obtenidas de este sub-módulo (*posición matrícula superior, posición matrícula inferior, posición matrícula izquierda, posición matrícula derecha*) se guardan en las posiciones 11, 12, 13 y 14 de la matriz A de control (Apéndice A). Este sub-módulo se puede ejemplificar con la figura 2.13.

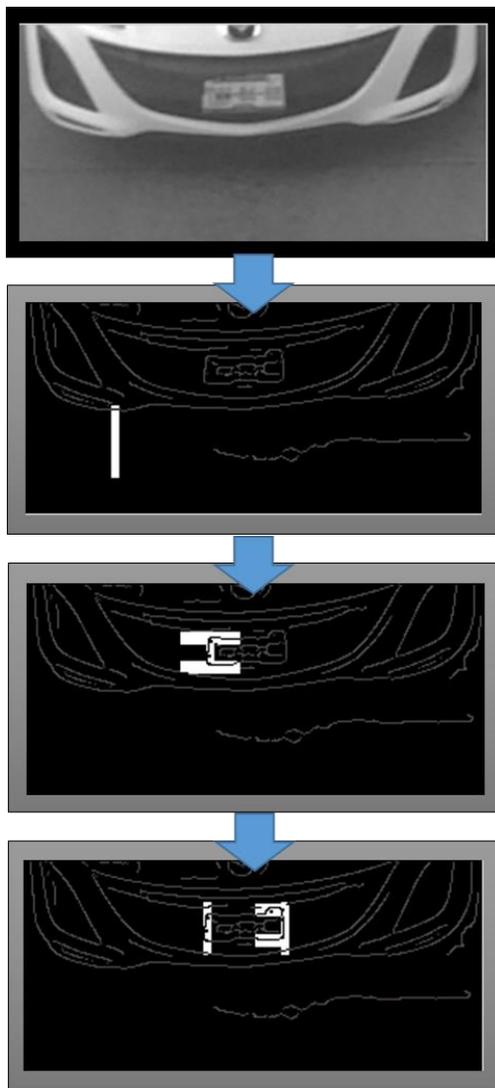


Figura 2.13. Ejemplo de Sub-módulo de Búsqueda de la Matrícula

La relación mínima y máxima aceptable, para que las formas rectangulares encontradas dentro del área de búsqueda sean consideradas matrículas potenciales está definidas por las posiciones 7 y 8 de la matriz de parámetros (Apéndice B). Para las pruebas realizadas, los valores utilizados fueron de: 3.0 de *Rango máximo de búsqueda de matrícula* y 1.8 de *Rango mínimo de búsqueda de matrícula, respectivamente.*

### 2.3.3 MÓDULO DE EXTRACCIÓN DE PARRILLA

El módulo de *extracción de parrilla* utiliza la posición ya encontrada de la matrícula como referencia para determinar el área donde se encuentra y de donde se extraerá la parrilla. Como se mencionó anteriormente, las tomas realizadas son en picada, es por ello que la altura de las matrículas en las tomas están comprometidas; en consecuencia, la única referencia no comprometida que sirva para como base patrón dentro de la imagen es el ancho de la matrícula, el cual, a diferencia de la altura de la matrícula, solo se ve afectado levemente por la posición y el ángulo de la toma. Con esta distancia como base se extrae un área predefinida alrededor de la matrícula que se define como *zona de parrilla*.

Este módulo se puede ejemplificar con la figura 2.14, en donde la imagen superior representa la posición encontrada de la matrícula y la imagen inferior represente el área que se define como zona de parrilla.

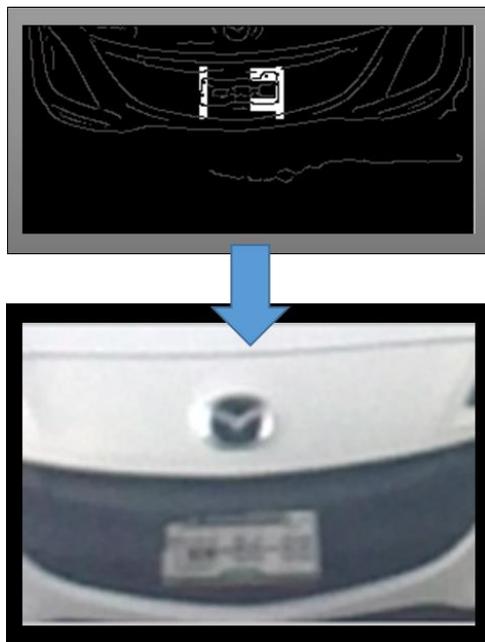


Figura 2.14. Ejemplo de Módulo de Sustracción de Matrícula

#### 2.3.4 MÓDULO DE SUSTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS

El módulo de *sustracción de características* construye una matriz de características con la ayuda de detectores de ejes y un algoritmo reconocedor de formas relevantes a las contenidas en parrillas típicas. La zona de la parrilla se divide en tres regiones para obtener una descripción más detallada de la misma, estas zonas son: *la zona izquierda, la zona central y la zona derecha*. Las dimensiones de estas regiones están determinada por las posiciones 11 y 20 de la matriz B de parámetros (Apéndice B), *proporción de recorte central de sub-parrilla* y *proporción de recorte lateral de sub-parrilla* respectivamente.

Cada zona pasa por un detector de ejes seguido de un reconocedor de formas; estos dos algoritmos en conjunto describen las diferentes líneas/formas de las que se componen la parrilla así como su orden y posición. Las características obtenidas de estos procesos son almacenadas en una matriz de características. Este módulo se puede ejemplificar con la figura 2.15.

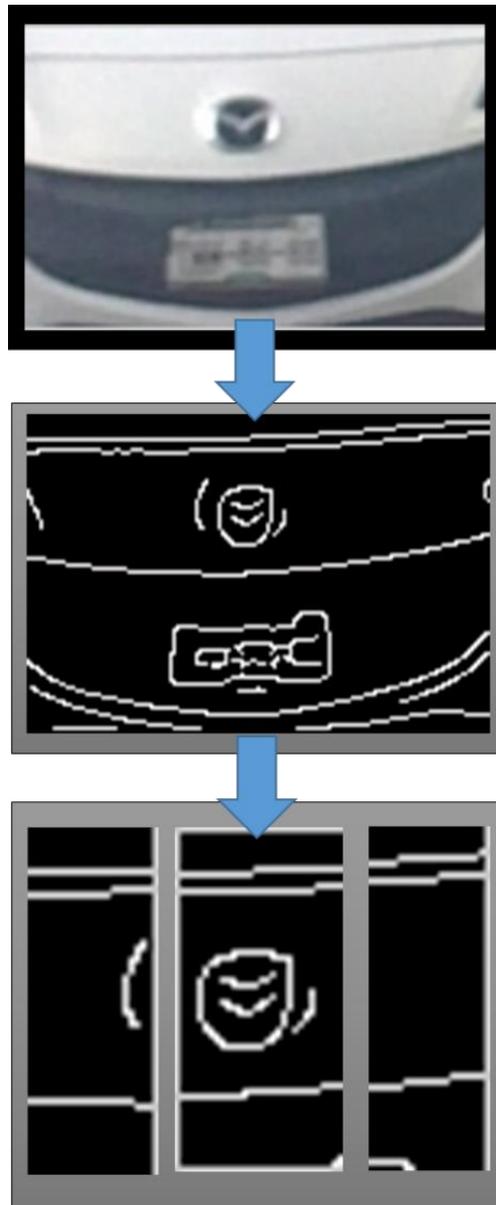
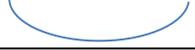


Figura 2.15. Ejemplo de Módulo de Extracción de Características

Las matrices de características están conformadas por las diferentes formas encontradas en las parrillas; además de su orden y posición dentro de la parrilla. En la base de datos de formas de este sistema están almacenadas siete formas de líneas que se pueden encontrar en las parrillas de los vehículos más comunes, éstas se pueden mostrar en la Tabla 2.1.

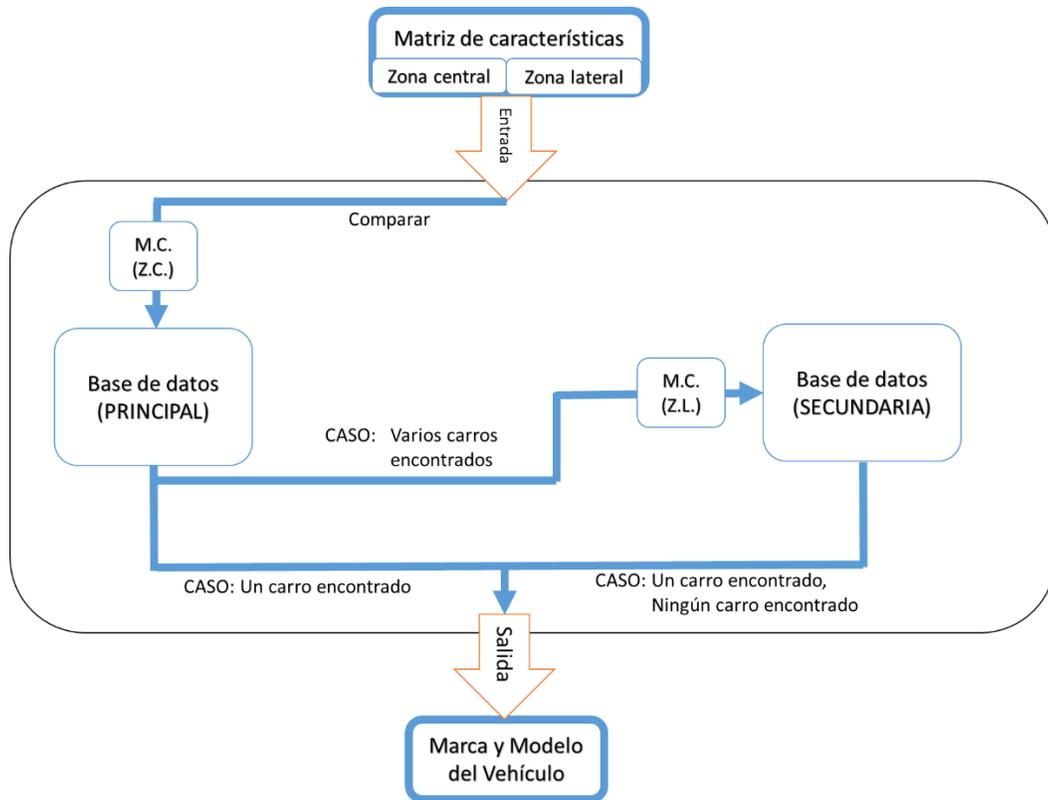
Tabla 2.1. Base de datos de las formas de líneas

Nombre de la forma	Representación gráfica
Recta	
Recta con curva	
Recta con curva inversa	
Curva	
Curva inversa	
Curva pronunciada	
Curva pronunciada inversa	

En la zona central de la parrilla es común encontrar cualquiera de las siete formas de línea mencionadas en la tabla 2.1; y en las zonas laterales es común encontrar las formas de línea rectas. Es por ello, que se prioriza la matriz de características de la zona central para el módulo de *clasificación*.

### 2.3.5 MÓDULO DE CLASIFICACIÓN

El módulo de *clasificación* utiliza la matriz de características obtenidas en el módulo anterior y la compara con las matrices almacenadas en la base de datos. El programa primero compara la *zona central* debido a que esta presenta una mayor descripción, y por lo tanto, una mayor diferencia entre parrillas de diferentes marcas, en caso de encontrar más de una coincidencia se utiliza las *zonas laterales* para tomar la decisión y obtener solo un resultado. Este módulo se puede ejemplificar con la figura 2.16.



**Figura 2.16. Ejemplo de Diagrama de Clasificación**

*Nota: M.C (Z.C) hace referencia a la matriz de características de la zona central; y M.C (Z.L), a la matriz de características de las zonas laterales.*

## Capítulo 3 RESULTADOS

### 3.1 DEPURACION

El programa, además de las matrices de control y de parámetros, cuenta con otra matriz para fines depurativos, cuya función es la de mostrar al programador de manera visual los procesos internos; esta matriz es llamada *matriz de animación*. Esta matriz, aparte de controlar qué animación de proceso mostrar, también controla los tiempos para cada una de ellos.

A continuación se mostrará una ejecución usando parámetros de depuración del programa, para observar las entradas/salidas de cada módulo, también se podrá observar el llenado de *la matriz de control* en cada uno de los módulos. La imagen de entrada que se usará de prueba es la que se muestra en la Figura 3.1.

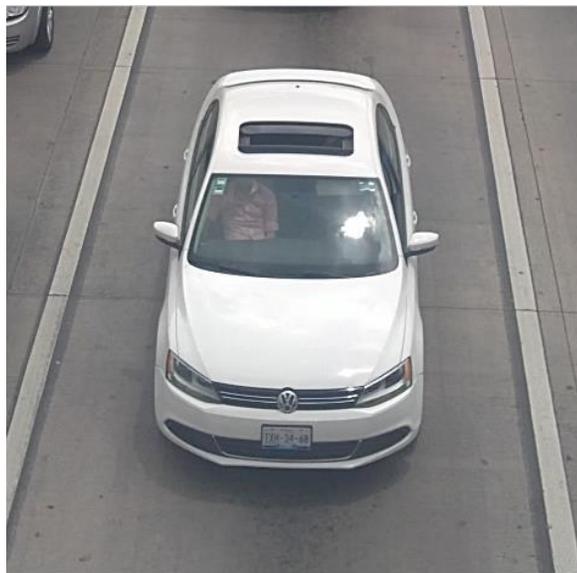


Figura 3.1. Ejemplo de entrada para depuración.

En el *módulo de segmentación*, el cual recibe la captura del vehículo, se registra los primeros datos de control, los cuales son las dimensiones en pixeles de la toma completa y la toma segmentada por número de carriles. La tabla 3.1 muestra los valores capturados en la *matriz de control*; y como se puede ver, las dimensiones originales son iguales a las dimensiones por carril, debido a que el ejemplo es de un solo carril.

Tabla 3.1. Sub-matriz de control para módulo de segmentación

Posición	Valor que representa	Valor registrado
1	Ancho original	957
2	Alto original	937
3	Ancho carril	957
4	Alto carril	937

En el sub-módulo de *localización de matrícula* se busca la altura de la sombra así como la posición del extremo izquierdo y derecho en el eje horizontal Y. Esto se puede ejemplificar con la figura 3.2, en donde la altura fue encontrada en la sección de la izquierda; y las posiciones de los extremos, en la sección de la derecha.



Figura 3.2. Ejemplo de salida del sub-módulo de localización de sombra durante depuración.

La tabla 3.2 muestra los valores capturados en la *matriz de control*, durante la depuración del sub-módulo de *localización de sombra*. Cabe mencionar que para imágenes, las posiciones en el eje vertical Y se leen de arriba hacia abajo, y para las posiciones en el eje horizontal X se leen de izquierda a derecha.

Tabla 3.2. Sub-matriz de control para sub-módulo de localización de sombra.

Posición	Valor que representa	Valor registrado
7	Altura sombra	777
8	Posición límite izquierda de sombra	242
9	Posición límite derecha de sombra	685

En el sub-módulo de *definición de área de búsqueda* se delimita un área para la búsqueda de la matrícula, para este ejemplo se tiene como salida del sub-módulo la figura 3.3.



Figura 3.3. Ejemplo de salida del sub-módulo de definición de área de búsqueda durante depuración.

En el sub-módulo de *búsqueda de la matrícula* se buscan los bordes que delimitan la matrícula, utilizando un algoritmo para búsqueda de líneas verticales en área delimitada por el sub-módulo anterior, este proceso se puede ejemplificar con la figura 3.4.

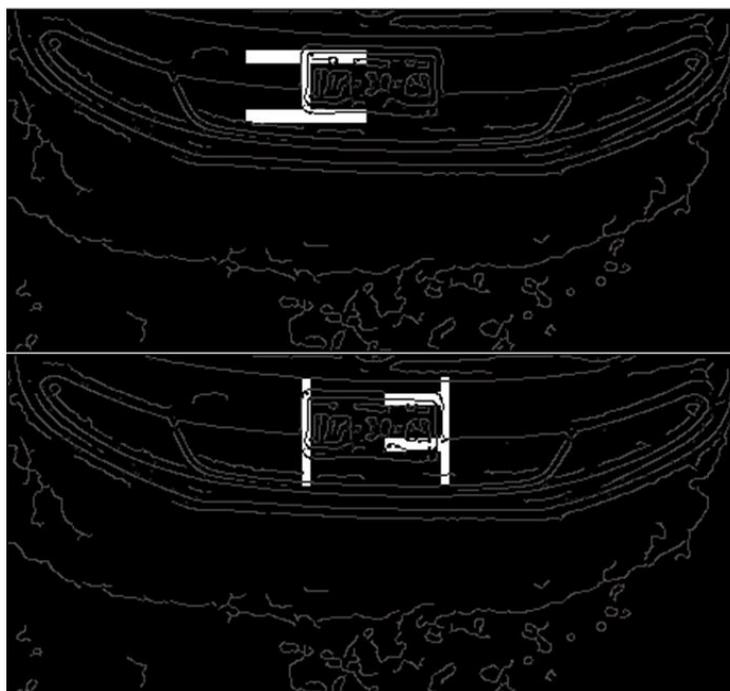


Figura 3.4. Ejemplo de salida del sub-módulo de búsqueda de matrícula durante depuración.

En la figura 17, la imagen superior muestra que el borde derecho de la matrícula (desde el punto de visto del conductor) fue encontrado por la barra en forma de “I”; la imagen inferior muestra que el otro borde también fue encontrado, lo que indica que ya se conoce la posición de la matrícula dentro de la toma. Las coordenadas de la matrícula se guardan en la *matriz de control* como se puede ver en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Sub-matriz de control para sub-módulo de localización de sombra.

Posición	Valor que representa	Valor registrado
11	Posición matrícula superior	693
12	Posición matrícula inferior	731
13	Posición matrícula izquierda	424
14	Posición matrícula derecha	508

En el módulo de *extracción de matrícula* utilizando como referencia el ancho de la matrícula, se extrae la zona de la parrilla. Para este ejemplo de depuración podemos observar esta área en la figura 3.5.



Figura 3.5. Ejemplo de salida del módulo de extracción de parrilla durante depuración.

En el módulo de *sustracción de características* se divide la parrilla en tres sub-zonas y se extraen las formas de líneas que conforman a cada una y se almacena en una *matriz de características*. Para este ejemplo de depuración podemos observar la zona de la parrilla dividida en tres sub-zonas en la figura 3.6.



Figura 3.6. Ejemplo de salida del módulo de sustracción de características durante depuración.

Finalmente, en el *módulo de clasificación* se compara con la base de datos y si el vehículo está registrado muestra como salida la marca y el modelo. Para este ejemplo, la salida del módulo fue “VW JETTA STYLE ACTIVE”.

### 3.2 PRUEBAS REALIZADAS

Se realizaron pruebas con un conjunto de tomas de vehículos con los siguientes datos:

1. Horario: entre 1:00 pm y 8:00 pm (horario de invierno).
2. Estado del clima: soleado y nublado.
3. Lugares:
  - a. Ave. Zeta del Cochero 407, Reserva Territorial Atlixcáyotl, C.P. 72810, Heroica Puebla de Zaragoza, Puebla. (Figura 3.7)
  - b. Boulevard del Niño Poblano 2510, Concepción La Cruz, C.P. 72450, Heroica Puebla de Zaragoza, Puebla. (Figura 3.8)
  - c. Vía Atlixcáyotl 5208, C.P. 72000, Heroica Puebla de Zaragoza, Puebla. (Figura 3.9)
4. Resolución de la cámara: 7.2 megapíxeles (3072,2304) píxeles.

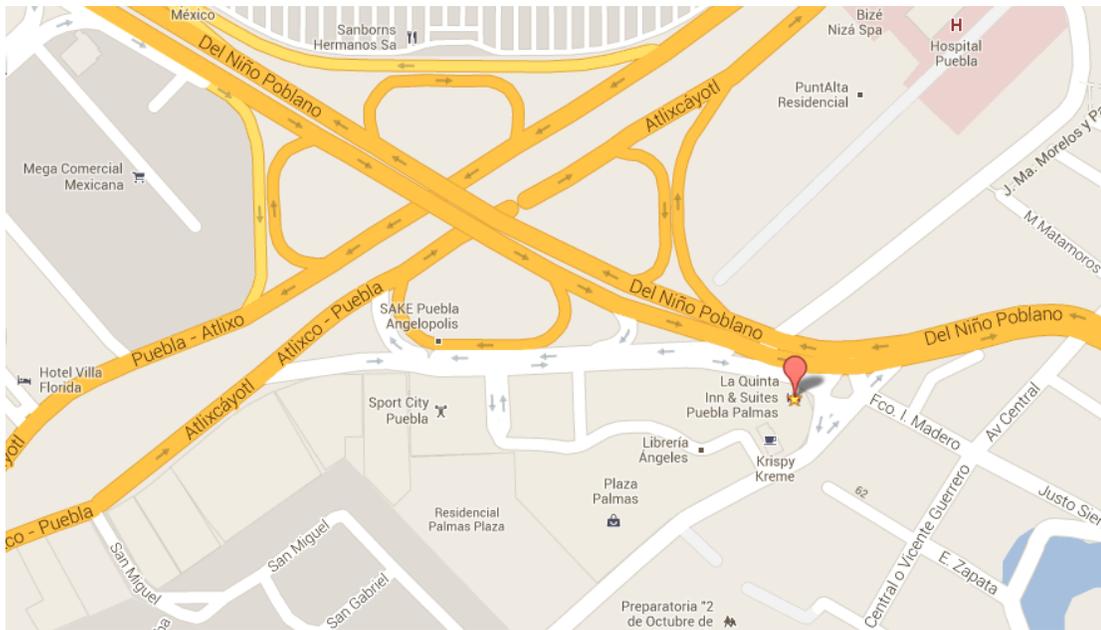


Figura 3.7. Zona 1 para toma de vehículos desde puentes. Extraída de <https://maps.google.com.mx/>

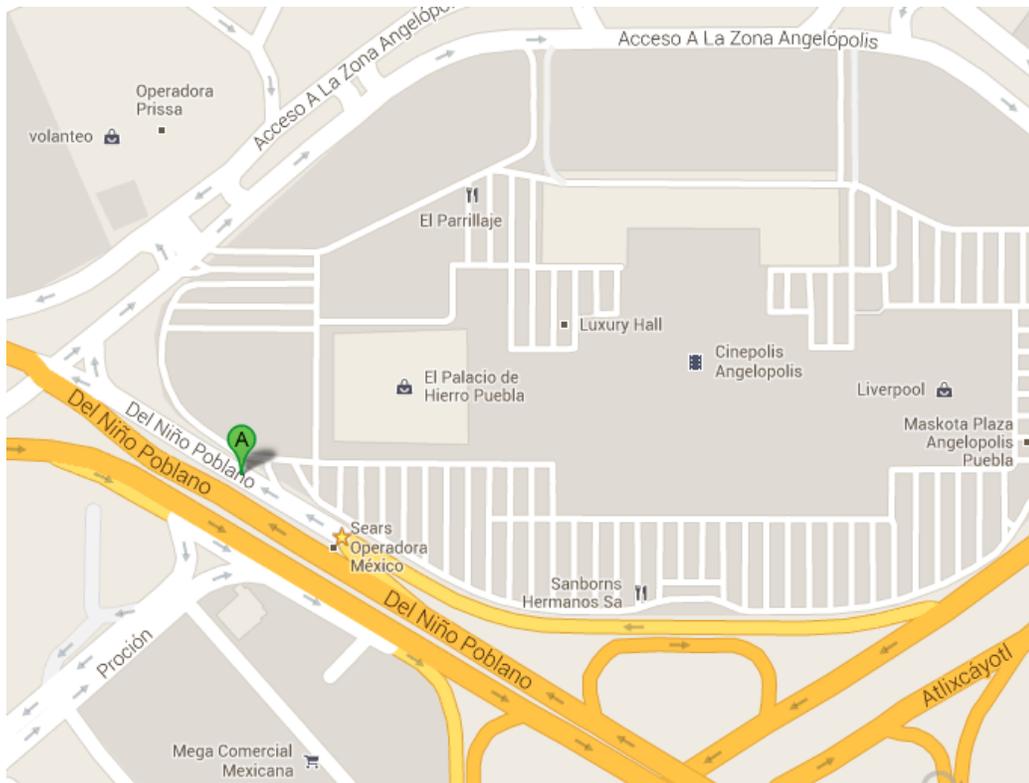


Figura 3.8. Zona 2 para toma de vehículos desde puentes. Extraída de <https://maps.google.com.mx/>

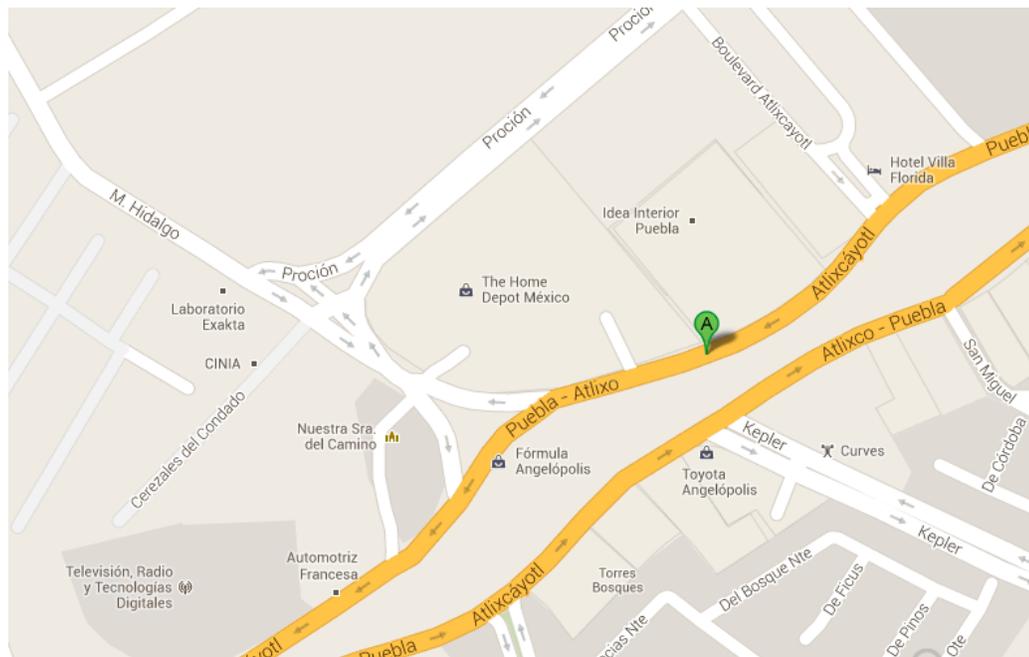


Figura 3.9. Zona 3 para toma de vehículos desde puentes. Extraída de <https://maps.google.com.mx/>

Las imágenes tomadas fueron procesadas posteriormente por el sistema, es decir, fuera de línea; y los tiempos de ejecución fueron medidos con la interfaz *Profiler* de MATLAB en una laptop de procesador de 2.13Ghz y 4Gb de RAM. Los tiempos obtenidos en imágenes de resolución suficiente de entre 450 pixeles de ancho y 600 pixeles de alto, dieron un tiempo promedio de 200 ms por cada uno; mientras que las imágenes de resolución mayor, de 550x800, y 650x100, dieron tiempos de procesamiento de 500ms y 900 ms, respectivamente.

Para comprobar la respuesta a distintas circunstancias se realizaron varias pruebas con distintos tipos de tomas. Los resultados de estas pruebas se muestran en la siguiente tabla 3.4, donde el porcentaje de extracción de parrilla correcta promedio es del 86%. Las diferentes pruebas serán detalladas posteriormente.

Tabla 3.4. Pruebas realizadas.

<b>Total de tomas</b>	<b>Tomas desfavorables</b>	<b>Tomas favorables</b>	<b>Parrillas extraídas</b>	<b>Porcentaje de extracción correcto</b>
<b>25</b>	4	21 (84%)	21	100%
<b>30</b>	0	30 (100%)	23	77%
<b>5</b>	0	5 (100%)	4	80%
<b>20</b>	0	20 (100%)	17	84%
<b>30</b>	0	30 (100%)	25	83%

El primer conjunto se compone de 25 tomas de vehículos aleatorios individuales a distintas resoluciones y horario del día, en la tabla 3.5 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas para extracción de parrilla.

Tabla 3.5. Resultados del primer conjunto

Total de tomas	Tomas desfavorables	Tomas favorable	Parrillas extraídas	Porcentaje de extracción correcto
25	4	21 (84%)	21	100%

El conjunto se conforma de 21 tomas con resolución y/o iluminación suficiente y las 3 con resolución insuficiente e iluminación insuficiente y 1 toma con ángulo mal posicionado. Esta primera prueba se realizó con la intención de comprobar los resultados con dos o más condiciones desfavorables, y determinar los límites del programa; y como se puede notar, si solo se toman en cuenta las 21 tomas favorables, el porcentaje de parrillas extraídas correctamente es el 100%

El segundo conjunto se compone de 30 tomas aleatorias de un conjunto de toma en picada (aéreas) de otro proyecto [17]. Este proyecto es el de un reconocedor automático de matrículas de automóviles, y la prueba realizada fue con el fin de comprobar la compatibilidad con otro proyecto relacionado. Los resultados se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Resultados de la segunda prueba.

Total de tomas	Tomas desfavorables	Tomas favorables	Parrillas extraídas	Porcentaje de extracción correcto
30	0	30	23	77%

El tercer conjunto se compone de 5 tomas de doble carril, como ya se mencionó anteriormente, el programa es capaz de trabajar con tomas multi-carril y se confirma con esta prueba. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7. Resultados de la tercera prueba, doble carril.**

Total de tomas	Tomas desfavorables	Tomas favorables	Parrillas extraídas	Porcentaje de extracción correcto
<b>5</b>	0	5	4	80%

El cuarto conjunto se compone de 20 tomas uni-carril con resolución baja, de entre 450 pixeles a 600 pixeles de ancho del carril. Como ya se mencionó anteriormente la resolución mínima por parrilla es de 150 pixeles, y unos 300 pixeles por ancho del vehículo. Los resultados se muestran en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8. Resultados de la cuarta prueba, baja resolución.**

Total de tomas	Tomas desfavorables	Tomas favorables	Parrillas extraídas	Porcentaje de extracción correcto
<b>20</b>	0	20	17	84%

El cuarto conjunto se compone de 30 tomas uni-carril con resolución suficiente. Los resultados se muestran en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9. Resultados de la quinta prueba.**

Total de tomas	Tomas desfavorables	Tomas favorables	Parrillas extraídas	Porcentaje de extracción correcto
<b>30</b>	0	30	25	83%

Como se puede observar en las tablas 7 y 8, el programa mantiene su funcionalidad con tomas con la resolución al mínimo y con resolución suficiente. En otras palabras, se demuestra la tolerancia de resolución que se mencionó anteriormente.

El sexto conjunto consta de tomas de grupos carros con misma marca y modelo. En la tabla 3.10 se muestra los resultados con cinco diferentes clases de vehículos.

Tabla 3.10. Resultados de sexta prueba, marca-modelo.

Marca y modelo	Número de tomas	Parrillas extraídas	Porcentaje extracción.	Vehículos reconocidos	Porcentaje reconocimiento sobre reconocidos
<b>VW – Jetta Classic</b>	10	8	80%	6	75%
<b>VW – Jetta Active Style</b>	5	3	60%	3	100%
<b>Chevrolet - Chevy</b>	5	5	100%	5	100%
<b>Chrysler - Town &amp; Country</b>	5	4	80%	4	100%
<b>Jeep</b>	10	9	90%	8	89%
<b>Todos</b>	35	29	83%	26	89%

En la tabla anterior, podemos determinar que la tasa de extracción de parrilla para estas marcas y modelos de vehículos seleccionados es del 83%, cercana al porcentaje promedio obtenida de los conjuntos de prueba anteriores; y la tasa de reconocimiento fue del 89%, un porcentaje no tal alto como otros trabajos previos, en otros contextos, pero que demuestra su funcionalidad en entornos no controlados.

### 3.3 COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS

El sistema mostrado en este trabajo demuestra ciertas ventajas y desventajas contra los otros trabajos previos citados anteriormente. A continuación se comparan los métodos utilizados en trabajos previos y el método utilizado en el sistema del proyecto.

Como se mencionó anteriormente, en el módulo de *sustracción de características*, se utilizan dos algoritmos para su propósito: detector de ejes y reconocedor de formas relevantes. Para la detección de ejes se utiliza el método *canny edge*, el mismo utilizado en los trabajos de Pearce et. al [4], los cuales mostraron una tasa de reconocimiento satisfactoria.

Con respecto a los tiempo de procesamiento solo el trabajo de Huang et. al [3] revela sus tiempo obtenidos. Ellos utilizaron el método de caracterización de 2DLDA, asegurando su bajo complejidad computacional con respecto a otros métodos como SIFT, y obtuvieron tiempos de 371 ms. Su sistema al igual que el sistema de este proyecto, se centró en un código sencillo y con una rápida respuesta para poder implementarse en tiempo real. El tiempo de procesamiento de su sistema [3] incluyen tres etapas: una etapa de localización y pre-procesamiento del área de interés, extracción de características y clasificación; en donde la etapa de localización trabajaba con imágenes. Sin embargo, su primera etapa de localización consiste en ubicar la placa dentro de una imagen controlada del frente del vehículo, mientras que el módulo de *localización de matrícula* de este proyecto, consistió en buscar primero el vehículo dentro de una toma en un ambiente urbano, y posteriormente buscar la matrícula del vehículo con ayuda de sombra.

Anthony [5] et. al mencionan que su sistema tiene una alta complejidad computacional debido a su método de caracterización, el cual afecta la tasa de reconocimiento, sin embargo, considera que el tiempo puede mejorar si se implementa su algoritmo en un lenguaje de bajo nivel como C/C++. Este proyecto, como ya se mencionó, empezó a desarrollarse con la idea de una estructura simple que no requiriera de procesos complejos, y que cada etapa siguiente, requiriera de menos procesamiento.

En algunos trabajos como los de Pearce [4] et. al, se emplean imágenes recortadas previamente marcadas, es decir, que el área de interés de las tomas de los vehículos son marcadas manualmente antes de ser procesadas en sus sistema; a diferencia de Huang et. al [3], el cual no altera de antemano el contenido de las imágenes, solo las recorta para facilitar la búsqueda del área de interés.

## Capítulo 4 CONCLUSIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

El programa de este proyecto, a diferencia de otros, es tolerante a cambios, y es capaz de trabajar con tomas de vehículos en ambientes no controlados. La iluminación, la posición, la resolución y el ángulo de toma, en variaciones/parámetros regulares, no entorpecen la funcionalidad del mismo; en otras palabras, cuando estos factores en conjunto o individualmente no presentan valores extremos, por ejemplo que la toma sea completamente en oscuro, sin iluminación o el ángulo de toma en picada sea casi vertical; el programa funciona correctamente.

La variación de iluminación en las tomas no interfiere con la funcionalidad del programa. Esto se debe a que durante el desarrollo del programa y las pruebas realizadas se contemplaron de antemano trabajar con tomas a distintos horarios, esto con el fin de poder corregir o rediseñar el código al momento.

Se toleran variaciones en la posición/orientación del vehículo sin afectar la localización de la parrilla en el programa, a pesar de que esto distorsiona visualmente el centro del vehículo, en otras palabras, un carro centrado solo mostrará el frente del vehículo (parrilla, cofre, parabrisas y techo), mientras que un carro orientado hacia la izquierda o derecha mostrará aparte, uno de sus costados. Esto es una de las razones por la cual se requiere una segunda referencia que permita determinar el centro del vehículo, y esta es la posición de la matrícula; puesto que los marcos de las matrículas están ubicados generalmente en el centro de la parrilla.

La resolución de la toma es otro factor que no interfiere con la funcionalidad del programa. Pero como ya se mencionó en el reporte, se requiere de mínimo una resolución de 150 pixeles por parrilla, o también 300 pixeles por frente del vehículo para poder asegurar la correcta extracción de características de la parrilla. Sin embargo, una resolución mayor a las mínimas establecidas no afectará el comportamiento del programa debido a que el programa trabaja con referencias y medidas proporcionales basadas primeramente por el *Ancho Original* (Apéndice A).

El ángulo de la toma afecta las medidas/posiciones de las referencias utilizadas, la sombra y la matrícula. Pero solo afecta medidas/posiciones que se encuentren en el eje vertical (eje Y); es decir, que no afecto medidas relacionados con el ancho. Para evitar esta contrariedad, solo se utilizan medidas a lo largo del eje horizontal (eje X) como referencias, y se establecieron rangos de tolerancias obtenidas a lo largo de las pruebas.

Otra característica, como ya se mencionó anteriormente, es que el programa también trabaja con imágenes fijas/estáticas donde el vehículo se encuentre estacionado y la toma sea centrada. El ambiente de trabajo de este programa se refleja en un ambiente urbano real donde los vehículos están estacionados y/o en movimiento, por consiguiente, se requiere de otra etapa adicional, aparte de la extracción de características y clasificación. Esta etapa extra, con lo que otros trabajos no cuentan, es ubicar el vehículo dentro de la imagen.

En el diseño y desarrollo del programa se mantuvo como objetivo la sencillez y la fluidez del programa. Con esto presente, el programa evita el uso de operaciones complejas y de números flotantes. Las operaciones dentro del programa se componen principalmente de operaciones aritméticas simples entre números enteros. Además, para disminuir el tiempo de

procesamiento, las dimensiones de las secciones/recortes con las que se trabajan van disminuyendo conforme se van ejecutando los módulos.

La tasa de extracción de parrilla en las pruebas realizadas de vehículos aleatorios y específicos fue del 86%, y la tasa de reconocimiento de marca y modelo fue del 89%. Los porcentajes obtenidos, aunque bajos comparados con otros trabajos, demuestran que el programa es competente y funcional frente a un entorno real y no controlado. Además, se afirma que la parrilla resulta ser un identificador útil para el reconocimiento de vehículos por marca y modelo.

Aunque los métodos utilizados en otros trabajos previos, pueden presentar mayores tasas de reconocimiento, algunos sacrifican para ello complejidad computacional, es decir, mayores tiempos de procesamiento. Por otra parte, la mayoría de estos trabajos no están ambientados para trabajar en entornos reales, puesto que sus sistemas requieren de imágenes previamente procesadas para trabajar; a diferencia del sistema de este proyecto, que está ambientando para trabajar en entornos urbanos, y además, cuenta con un módulo especializado para ubicar el vehículo dentro de la toma, así como el área de interés (parrilla) dentro del mismo.

## 4.2 TRABAJOS FUTUROS

El reconocimiento de marca y modelo, como ya se mencionó, ofrece varias aplicaciones/utilidades; sin embargo, si se desea ampliar sus funciones, este podría acoplarse a un Reconocedor Automático de Matrículas de Automóviles (RAMA) [18] [19]. Para ello es necesario, redefinir el mínimo de pixeles necesarios por ancho de vehículo de 300 pixeles, a 900 pixeles aproximadamente; esto con el fin de asegurar un mínimo de 120 pixeles por ancho de placa necesarios para poder ejecutar correctamente un algoritmo reconocedor de caracteres. El ancho en pixeles necesarios por letra de la matrícula es la mínima sugerida en trabajos previos [17] [20], que es de 12 pixeles.

Como trabajo futuro, aparte de acondicionar el programa para adaptar el Reconocedor Automático de Matrículas de Automóviles, se sugiere incrementar la base de datos para así reconocer más vehículos. Así también, se sugiere incrementar la capacidad del algoritmo reconocedor de formas para poder extraer las características de las parrillas con formas sofisticadas y poco comunes.

## REFERENCIAS

- [1] Ildar Urazghildiiev, Rolf Ragnarsson, Pierre Ridderström, and Anders Rydberg, "Vehicle Classification Based on the Radar Measurement of Height Profiles," *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, vol. 8, no. 2, pp. 245-253, Junio 2007.
- [2] Zezhi Chen, Nick Pears, Michael Freeman, and Jim Austin, "Road Vehicle Classification using Support Vector," in *Intelligent Computing and Intelligent Systems 2009*, Shanghai, 2009, pp. 214-218.
- [3] Hua Huang, Qian Zhao, Yulan Jia, and Shuming Tang, "A 2DLDA Based Algorithm for Real Time Vehicle Type Recognition," in *Conference on Intelligent Transportation Systems*, Beijing, China, 2008, pp. 298-303.
- [4] Greg Pearce and Nick Pears, "Automatic Make and Model Recognition from Frontal Images of Cars," in *8th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance*, 2011, pp. 373-378.
- [5] David Anthony Torres, "More Local Structure Information for Make-Model Recognition," The University of California at San Diego, San Diego, 2005.
- [6] Xavier Clady, Pablo Negri, Maurice Milgram, and Raphael Poulénard, "Multi-class Vehicle Type Recognition System," in *International Workshop on Artificial Neural Networks in Pattern Recognition*, 2008, pp. 228-239.
- [7] Psyllos A., C. N. Anagnostopoulos, and E. Kayafas, "Vehicle Authentication from Digital Image Measurements," in *16th Symposium on Electrical Measurements and Instrumentation & 13th Workshop on ADC Modelling and Testing*, Florence, Italy, 2008.
- [8] Saeid Rahati, Reihaneh Moravejani, Ehsan Mohamad, and Farhad Mohamad, "Vehicle Recognition Using Contourlet Transform and SVM," in *Fifth International Conference on Information Technology: New Generations*, 2008, pp. 894-898.
- [9] A. Psyllos, C.N. Anagnostopoulos, and E. Kayafas, "Vehicle model recognition from frontal view image measurements," *Computer Standards & Interfaces*, pp. 142-151, 2011.
- [10] Chris Harris and Mike Stephens, "A combined corner and edge detector," *In Proc. of Fourth Alvey Vision Conference*, pp. 147-152, 1988.

- [11] John Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, vol. 8, no. 6, pp. 679-698, Noviembre 1986.
- [12] C. Cafforio, E. Di Sciascio, C. Guaragnella, and G. Piscitelli, "A simple and effective edge detector," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1310, pp. 134-141, 1997.
- [13] Paul L. Rosin, "Pattern Recognition," *The Journal of the Pattern Recognition Society*, pp. 2363-2371, 2009.
- [14] Yiqiang Chen, Jing Li, Biming Li Yutian Wang, "The Harris Corner Detection Method Based on Three Scale Invariance Spaces," *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, vol. 9, no. 2, pp. 18-22, Noviembre 2012.
- [15] Mike Stephens Chris Harris, "A combined corner and edge detector," pp. 147-152, 1988.
- [16] Thanh Phuong Nguyen and Isabelle Debled-Rennesson, "Decomposition of a curve into arcs and line segments based on dominant point detection," *Proceedings of the 17th Scandinavian conference on Image analysis*, pp. 794-805, 2011.
- [17] Jorge Martínez Carballido, Rubén Alfonso López, and Juan M. Ramírez-Cortés, "License Plate Digit Recognition using 7x5 Binary Templates at an Outdoor Parking Lot entrance," *CONIELECOMP*, pp. 18-21, February 2011.
- [18] K.Pranathi, A.Srisaila S.Kranthi, "Automatic Number Plate Recognition," *International Journal of Advancements in Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 408-422, Julio 2011.
- [19] Xiangjian He, Qiang Wu and Tom Hintz Lihong Zheng, "Number Plate Recognition without Segmentation," *Annals of the University of Craiova, Mathematics and Computer Science Series*, no. 164-168, pp. 164-168, Diciembre 2007.
- [20] Li-Shien Chen, Yun-Chung Chung, and Sei-Wan Chen, Senior Member Shyang-Lih Chang, "Automatic License Plate Recognition," *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, vol. 5, no. 1, pp. 42-53, Marzo 2004.

## APENDICE A. MATRIZ A DE CONTROL

<b>POSICIÓN</b>	<b>VALOR QUE REPRESENTA</b>
<b>1</b>	Ancho original
<b>2</b>	Alto original
<b>3</b>	Ancho carril
<b>4</b>	Alto carril
<b>5</b>	Ancho barra auxiliar
<b>6</b>	Alto barra auxiliar
<b>7</b>	Altura sombra
<b>8</b>	Posición límite izquierda de sombra
<b>9</b>	Posición límite derecha de sombra
<b>10</b>	Altura temporal parrilla
<b>11</b>	Posición matrícula superior
<b>12</b>	Posición matrícula inferior
<b>13</b>	Posición matrícula izquierda
<b>14</b>	Posición matrícula derecha
<b>15</b>	Altura parabrisas
<b>16</b>	Error límite de color del cofre R
<b>17</b>	Error límite de color del cofre G
<b>18</b>	Error límite de color del cofre B
<b>19</b>	Posición límite puerta izquierda
<b>20</b>	Posición límite puerta derecha
<b>21</b>	Ancho de matrícula
<b>22</b>	Alto de matrícula
<b>23</b>	Altura de matrícula relativa

APENDICE B. MATRIZ B DE PARAMETROS 1

<b>POSICIÓN</b>	<b>VALOR QUE REPRESENTA</b>
<b>1</b>	Altura de búsqueda de sombra
<b>2</b>	Carros por toma
<b>3</b>	Mínimo de ancho de parrilla en pixeles
<b>4</b>	Límite mínimo de concentración
<b>5</b>	Máxima diferencia de color del cofre y parrilla
<b>6</b>	Altura de pixel placa
<b>7</b>	Rango máximo de búsqueda de matrícula
<b>8</b>	Rango mínimo de búsqueda de matrícula
<b>9</b>	Ancho de PLACA_I 1 para buscar verticalidad
<b>10</b>	Altura tentativa de parrilla contra sombra relativa
<b>11</b>	Alto de PLACA_I 2 relativo a verticalidad
<b>12</b>	Ancho de CEJAS relativo al PLACA I
<b>13</b>	Alto de CEJAS
<b>14</b>	Verticalidad mínima de CEJAS relativo al ancho de CEJA
<b>15</b>	Relación mínima entre PLACA_I 1 y 2
<b>16</b>	Proporción de recorte superior de parrilla
<b>17</b>	Proporción de recorte inferior de parrilla
<b>18</b>	Proporción de recorte lateral de parrilla
<b>19</b>	Proporción de recorte central de sub-parrilla
<b>20</b>	Proporción de recorte lateral de sub-parrilla
<b>21</b>	Porcentaje de error separación de formas

## APENDICE C. MATRIZ C DE PARÁMETROS 2

<b>POSICIÓN</b>	<b>VALOR QUE REPRESENTA</b>
<b>1</b>	Rango de color
<b>2</b>	Color de sombra
<b>3</b>	Error máximo individual
<b>4</b>	Error máximo RGB
<b>5</b>	Relación ancho de sombra y altura de cofre