

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA LA LOCALIZACIÓN
AUTOMÁTICA DE PLACAS VEHICULARES PERUANAS USANDO
TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

MARCIO BORIS SALAZAR MÁRQUEZ

Asesores: Mg. Ing. Kristians Edgardo Díaz Rojas

Mg. Ing. Miguel Angel Cataño Sánchez

LIMA – PERÚ

2014

RESUMEN

La necesidad de identificar un vehículo está relacionada con el reconocimiento de las placas correspondientes; esto se hace necesario debido a que se podría tener un mejor control en casos de infracciones, así como robos o accidentes vehiculares. La seguridad ciudadana está ligada con estos factores, por lo que el desarrollo de un sistema automático de reconocimiento de placas vehiculares ayudaría a tener una ciudad más segura.

Esta Tesis plantea como solución el desarrollo de un algoritmo para la localización automática de placas vehiculares basado en técnicas de procesamiento digital de imágenes, detecta placas hechas en el Perú, las cuales cuentan principalmente con caracteres oscuros en fondo de color uniforme. Se investiga algunos métodos existentes para la extracción de las regiones de interés en las imágenes, placas, describiendo las técnicas principales que resuelven la problemática, indicando la eficiencia de éxito y las dificultades de cada una de ellas.

Consta de cuatro capítulos: en el primero, se detalla la importancia de desarrollar sistemas automáticos de identificación de placas en base al uso de aplicaciones prácticas y se indican las consideraciones generales que se toman en cuenta para delimitar el alcance del trabajo. En el segundo capítulo se describe el estado del arte lo cual consta de métodos que se utilizarán como referencia para la realización del trabajo propuesto. El tercer capítulo describe detalladamente el desarrollo del algoritmo planteado a partir de dos procesos principales: umbralización automática y extracción.

El proceso de umbralización automática consiste en el cálculo del valor umbral para la obtención de la imagen binaria requerido para el siguiente proceso, se determinan los puntos de interés en base a las características de la existencia de caracteres en la imagen. El proceso de extracción logra extraer la región de la imagen que contiene la placa vehicular a partir de las propiedades geométricas de la misma.

Por último, el capítulo cuatro expone los resultados obtenidos mediante el uso de una herramienta de software especializado en procesamiento de imágenes, se realizan comparaciones con algoritmos desarrollados inicialmente y se concluye el método más eficiente que cumple con el objetivo establecido.

FACULTAD DE
 CIENCIAS E
 INGENIERÍA

 PONTIFICIA
 UNIVERSIDAD
 CATÓLICA
 DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Desarrollo de un Algoritmo para la Localización Automática de Placas Vehiculares Peruanas Usando Técnicas de Procesamiento de Imágenes
 Área : Procesamiento Digital de Imágenes # 1243
 Asesor : Mg. Ing. Kristians Díaz Rojas / Mg. Ing. Miguel Cataño Sánchez
 Alumno : Marcio Boris Salazar Márquez
 Código : 20069018
 Fecha : 07/10/14


Descripción y Objetivos


En la actualidad, el sistema vehicular en el Perú requiere de sistemas avanzados que utilicen la identificación automática de las placas de rodaje para hacer frente a problemas como infracciones de tránsito y falta de control eficaz en las autopistas. Como ejemplos tenemos un sistema de monitoreo de violaciones de tráfico, sistema de detección de vehículos robados, sistema de estacionamiento inteligente, de control de acceso a áreas restringidas, etc.

El sistema de identificación automática de placas consiste en tres etapas: Localización, Segmentación y Reconocimiento. Primero, la etapa de localización ubica la región en la que se encuentra la placa usando técnicas como características morfológicas de la imagen, color, tamaño y forma. Segundo, la segmentación separa las regiones donde se encuentran los caracteres en la imagen extraída. Tercero, el reconocimiento clasifica y analiza los caracteres segmentados según patrones entrenados y devuelve el número de la placa. La localización del área de la placa es la etapa más importante de las tres mencionadas para su posterior reconocimiento. Por ello, se requiere que esta etapa tenga mayor atención en exactitud y precisión.

El objetivo principal de la tesis es el desarrollo de un algoritmo para la primera etapa del sistema de identificación de placas vehiculares peruanas (Localización) usando una herramienta de software matemático especializado en Procesamiento de Imágenes. El algoritmo propuesto deberá ser lo suficientemente robusto para localizar placas en imágenes dañadas, de diferente color y forma. El desarrollo de la tesis implica pruebas de las técnicas de Procesamiento para la localización, combinaciones de los mismos y comparaciones entre ellos para luego determinar el método con mayor tasa de éxito en la detección del área de la placa.


 Kristians Díaz

 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA


 M. Sc. Ing. MIGUEL ÁNGEL CATANO SÁNCHEZ
 Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

 MÁXIMO 50 PÁGINAS

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Desarrollo de un Algoritmo para la Localización Automática de Placas Vehiculares Peruanas Usando Técnicas de Procesamiento de Imágenes

Índice

Introducción

1. Problemática y Motivación
2. Técnicas para el Sistema Propuesto
3. Metodología y Desarrollo del Sistema
4. Análisis y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos




Kristians Diaz

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



M. Sc. Ing. MIGUEL ANGEL CATANO SANCHEZ
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



MÁXIMO 50 PÁGINAS

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y MOTIVACIÓN	1
1.1 ESTADO ACTUAL DEL TRÁNSITO VEHICULAR	1
1.2 SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE PLACAS	2
1.2.1 APLICACIONES ACTUALES	3
1.2.1.1 DETECCIÓN DE VEHÍCULOS ROBADOS	3
1.2.1.2 ESTACIONAMIENTOS INTELIGENTES	4
1.2.1.3 CONTROL DE ACCESO A ZONAS RESTRINGIDAS	5
1.2.1.4 MONITOREO DE INFRACCIONES DE TRÁNSITO	5
1.3 PRESENTACIÓN DEL ASUNTO DE ESTUDIO	6
1.3.1 IMPORTANCIA	6
1.3.2 MOTIVACIÓN	6
1.4 CONSIDERACIONES GENERALES	7
CAPÍTULO 2: TÉCNICAS PARA EL SISTEMA PROPUESTO	8
2.1 ESTADO DEL ARTE	8
2.1.1 EL ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1.2 PRINCIPALES MÉTODOS	9
2.2 OBJETIVOS	17
2.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	17
2.2.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS	17
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL SISTEMA	18
3.1 DESARROLLO DEL ALGORITMO	18
3.1.1 DESCRIPCIÓN	18
3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN ADQUIRIDA	19
3.1.3 PROCESO DE UMBRALIZACIÓN	20
3.1.3.1 DETERMINACIÓN DE LOS MÁXIMOS REGIONALES	21

3.1.3.2 DETERMINACIÓN DE LOS PICOS MÁXIMOS	28
3.1.3.3 ANÁLISIS Y AGRUPAMIENTO DE DATOS	29
3.1.3.4 CÁLCULO PROMEDIO DEL VALOR UMBRAL	30
3.1.4 PROCESO DE EXTRACCIÓN	32
3.1.4.1 ETIQUETADO Y PROPIEDADES DE LOS OBJETOS	32
3.1.4.2 FORMACIÓN DE CUADROS	33
3.1.4.3 POSIBLES CANDIDATOS DE PLACA	35
3.1.4.4 FILTRO FINAL	36
3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES COMPLETO	37
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS	38
4.1 PROBLEMAS Y DIFICULTADES	38
4.1.1 DESARROLLOS INICIALES	38
4.1.2 PROBLEMAS EN EL ALGORITMO DESARROLLADO	41
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS	42
4.2.1 EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE PROCESAMIENTO	42
4.2.2 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA	43
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	
PROGRAMA EN MATLAB (CD)	
IMÁGENES (CD)	
CUADRO DE RESULTADOS (CD)	

INTRODUCCIÓN

Existen muchos problemas ligados al monitoreo de infracciones de tránsito como robos de vehículos o accidentes vehiculares, el mal estudio de la problemática conlleva a implementar sistemas ineficientes que tratan de dar solución a dichos problemas. Uno de los principales problemas es la cantidad de vehículos que transitan en las calles, lo que hace complicado el monitoreo de todos los vehículos infractores [2].

En la actualidad el sistema de control de tráfico que se emplea no resulta muy preciso y eficaz, ya que el proceso se realiza de forma manual; por lo tanto, se requiere como necesidad sistemas automáticos como la identificación de placas para resolver el problema.

Esta Tesis propone una solución al problema, con el desarrollo de un algoritmo de localización de placas vehiculares mediante técnicas de procesamiento de imágenes. La localización es la etapa fundamental en los sistemas de identificación o reconocimiento de los caracteres de matrículas, ya que un error cometido en este proceso determinaría con seguridad el fracaso en el reconocimiento posterior [3], por ello la realización de esta propuesta motiva a que se requiera un algoritmo capaz de detectar placas en cualquier posición de la imagen y de diferente tipo en cuanto al color de fondo de la placa.

La propuesta implica un estudio y desarrollo metodológico para dar solución a las entidades estatales y particulares en los problemas de control de tráfico, mediante aplicaciones que usan este tipo de sistemas de reconocimiento de placas. El presente trabajo expone inicialmente la problemática que genera la falta de sistemas automáticos y la necesidad de implementarse en el Perú, a su vez algunas técnicas que se han ido desarrollando en base a procesamiento de imágenes en diferentes países desarrollados. Además se explica detalladamente la metodología empleada para la ubicación de la placa vehicular, donde la umbralización automática es la etapa más importante para la localización final. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos y se comparan con otras técnicas desarrolladas inicialmente, donde se elige la mejor propuesta según el nivel de éxito del total de las imágenes capturadas.

CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA Y MOTIVACIÓN

1.1 ESTADO ACTUAL DEL TRÁNSITO VEHICULAR

La situación actual en el que se encuentra nuestro tránsito vehicular es cada vez más alarmante, ya que a raíz del gran crecimiento de la economía se generan problemas debido al fuerte incremento del Parque Automotor, especialmente el aumento de vehículos de transporte público [1], ello hace que la inseguridad ciudadana aumente en el país, donde el robo de vehículos es uno de los factores más comunes. En el Perú, se registra un promedio de 3,468 vehículos robados anualmente; según la División de Robos de Vehículos (DIROVE-PNP) [2]. Otro punto importante es la falta de educación vial en la población, ya que en su mayoría las personas no hacen caso al reglamento vehicular y a las señales de tránsito.

Estos problemas se deben a que no se aplican sistemas automáticos que faciliten la regulación y control de los vehículos en las calles, además la falta de herramientas tecnológicas acrecienta el problema y no permite la rápida y efectiva acción policial, dejando a los vehículos infractores transitar libremente por las autopistas.

Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado sistemas de control de flujo de vehículos e identificación digital de placas de rodaje en aplicaciones que puedan ayudar a solucionar los problemas mencionados. Muestra de ello es el desarrollo de un algoritmo que permita localizar las placas vehiculares en una imagen digital, utilizada en sistemas de reconocimiento de matrículas para la detección de vehículos robados, así como también en estacionamientos inteligentes, control de acceso de vehículos a zonas restringidas, monitoreo de infracciones de tránsito, etc. Estas aplicaciones se explicarán más adelante.

1.2. SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DIGITAL DE PLACAS

El sistema de identificación o de reconocimiento de placas de rodaje consiste en 4 etapas principales: la primera etapa es la adquisición de la imagen mediante el uso de una cámara; en esta etapa es necesario considerar los parámetros de la imagen como resolución, orientación y brillo, ya que de ello dependerá el nivel de éxito en la identificación de la placa; es decir, la no ubicación de la placa llevaría a no reconocer los caracteres finales; la segunda etapa es la localización y extracción de la placa en la imagen, considerándose las características de la misma como la textura, color, bordes, brillo y la existencia de caracteres. Esta parte se considera la más importante del sistema debido a que el éxito de esta etapa dependerá el logro en las demás; la tercera etapa consiste en la segmentación de los caracteres de la placa, en los cuales se extraen los objetos posibles como números y letras de la porción de imagen extraída en la etapa anterior. La etapa final es la del reconocimiento y clasificación de los objetos segmentados en números y letras. La figura 1.1 muestra la estructura del sistema de identificación o reconocimiento de la placa vehicular [3].

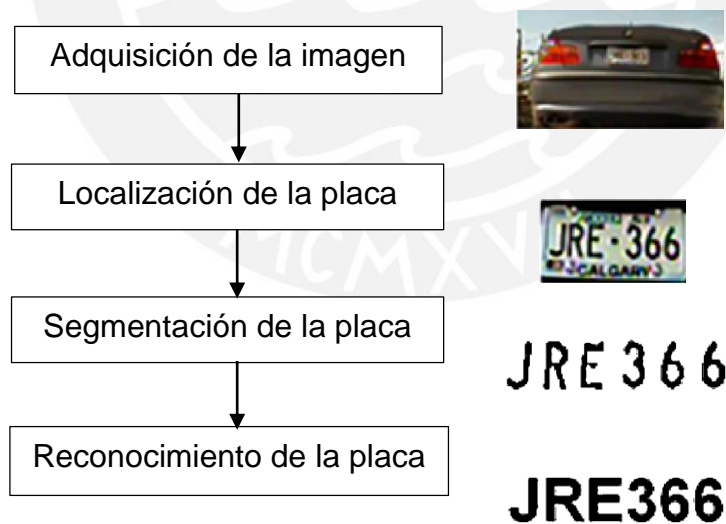


Figura 1.1 Etapas del Sistema de Reconocimiento de placas vehiculares

1.1.1 APLICACIONES ACTUALES

El sistema de identificación de placas de rodaje es una herramienta importante en numerosas aplicaciones de la vida cotidiana, algunos de los principales usos se presentan a continuación:

1.1.1.1 DETECCIÓN DE VEHÍCULOS ROBADOS

Debido a la gran cantidad de robo de vehículos en el Perú, se tiene el reconocimiento automático de la placa del vehículo como su aplicación más importante. Para ilustrar la importancia del desarrollo de esta tesis la figura 1.2 muestra el número de vehículos robados y recuperados en el Perú en los últimos 6 años, según los datos de la DIROVE-PNP [2].

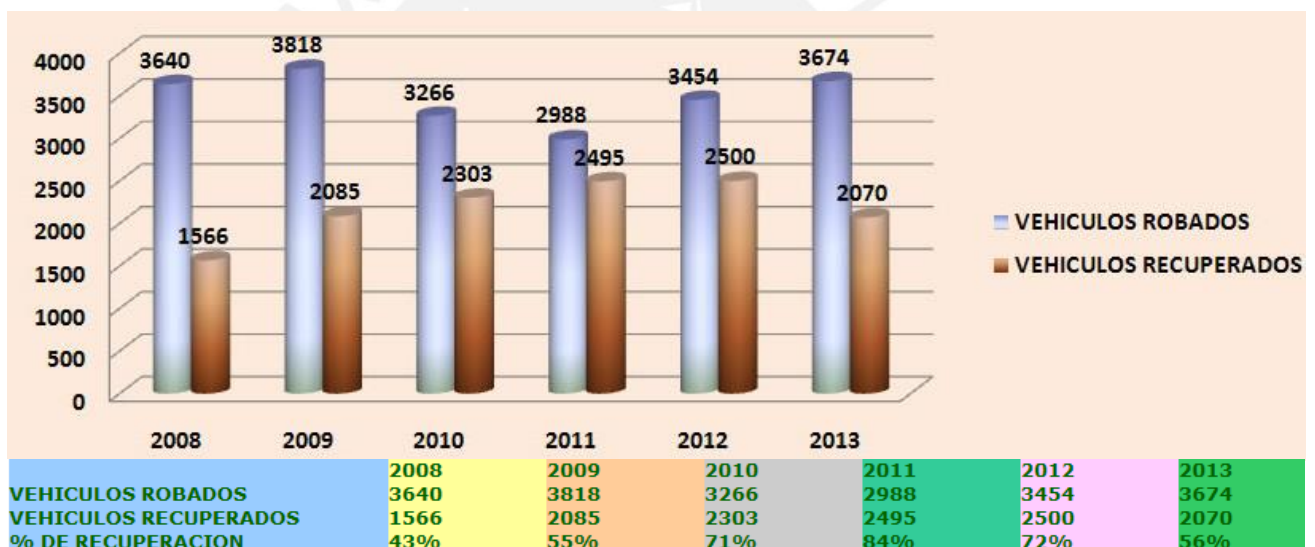


Figura 1.2 Gráfica comparativa de vehículos robados y vehículos recuperados en el Perú desde enero del 2008 hasta 2013

Según la gráfica, se observa que en los últimos 6 años se tienen en promedio 10 robos de vehículos diarios, mientras que sólo 6 son recuperados diariamente. Esta cifra de recuperación va disminuyendo cada vez, debido a la dificultad que se tiene para controlar la enorme cantidad de vehículos circulantes en el país. Por ello, es necesario elaborar un algoritmo eficiente que asegure el mayor éxito en el desarrollo del sistema de identificación de placas y, de esta manera ayude a la recuperación de vehículos.

1.1.1.2 ESTACIONAMIENTOS INTELIGENTES

Hoy en día encontrar estacionamiento en zonas comerciales es muy difícil y el problema aumenta cuando no recordamos la ubicación donde se encuentra el vehículo al salir, esto genera delitos como el parqueo en zonas prohibidas, pueden ser las veredas, áreas verdes, frente a garajes, etc. y también pérdida de tiempo y aumento de estrés en las personas al no recordar donde se realizó el parqueo de su vehículo. Para enfrentar este problema se ha creado un sistema de parqueo inteligente [4] que consiste en la colocación de una cámara inteligente en el ingreso, que le permita leer el número de la placa (Figura 1.3), un tablero donde indican los lugares libres y se genere un ticket cuando el conductor realiza el pago del estacionamiento, un software reconoce el recibo y se muestra en la pantalla del tablero la posición del vehículo (Figura 1.4).

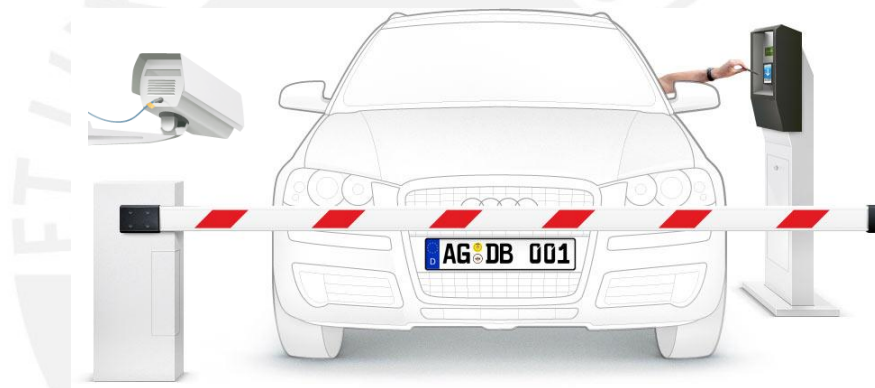


Figura 1.3 Ingreso del Estacionamiento inteligente. Reconocimiento de la placa y generación del ticket

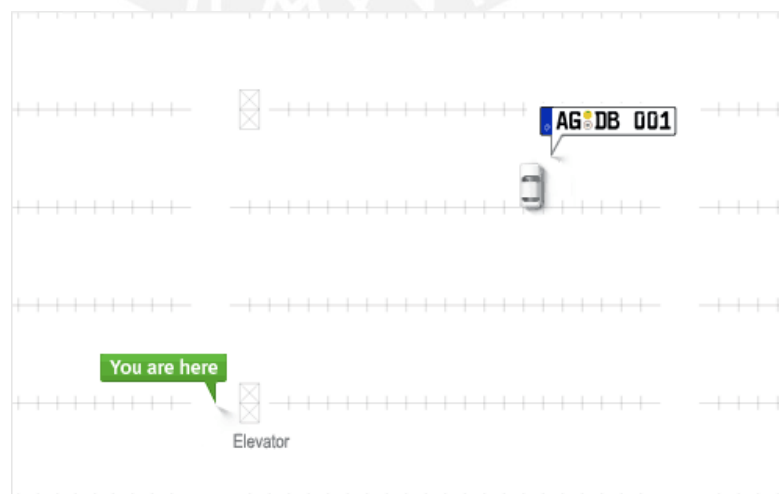


Figura 1.4 Posición del vehículo mostrado en la pantalla del tablero

1.1.1.3 CONTROL DE ACCESO A ZONAS RESTRINGIDAS

La inseguridad en nuestro país es proporcional al incremento de vehículos y ello hace que existan más robos de los mismos; sin embargo, la tecnología también está en crecimiento, por lo cual los sistemas automatizados en el control de acceso a áreas restringidas en base a la identificación de matrículas sean aún más seguros. La Figura 1.5 muestra un esquema del sistema de control de acceso mediante el uso de reconocimiento del número de placas de vehículos a través de una cámara convencional y una base de datos para validar el permiso de ingreso [5].

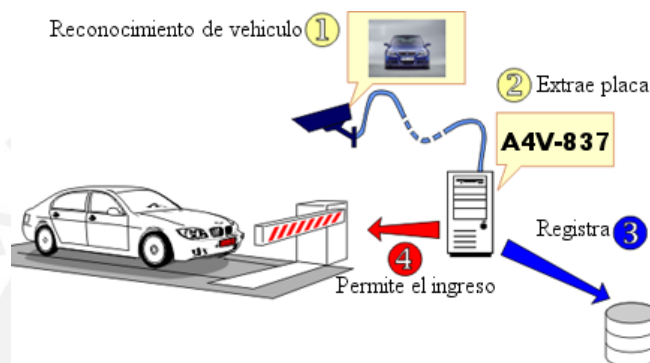


Figura 1.5 Esquema de un sistema de control de acceso

1.1.1.4 MONITOREO DE INFRACCIONES DE TRÁNSITO

Un factor principal de los accidentes de tránsito es la excesiva velocidad en la que los conductores incurren, debido a que infringen las reglas de tránsito, ya sea por la velocidad no permitida o cruzar las pistas cuando el semáforo está en rojo. Por ello, a pesar de que se tienen sistemas que eviten la excesiva velocidad de los vehículos, como son los badenes o rompe muelles, tachones u ojo de gato, es necesario sistemas eficientes de control y monitoreo de los vehículos en base a la identificación de placas para contener las infracciones de tránsito (Figura 1.6) [6].



Figura 1.6 Ejemplo de Sistema de monitoreo de infracciones de tránsito. La cámara reconoce la placa del vehículo al pasar la luz roja.

1.2 PRESENTACIÓN DEL ASUNTO DE ESTUDIO

La importancia del desarrollo de la segunda etapa del sistema de identificación de placas de rodaje (localización), el enfoque que se da, así como la motivación para futuros proyectos, como el sistema mencionado para el refuerzo en el control del tránsito vehicular se exponen a continuación.

1.2.1 IMPORTANCIA

En el sistema de reconocimiento de matrículas, la etapa de localización es básicamente la más importante de todas, ya que no se ha tomado en cuenta la manera en la que se adquiere la imagen, la correcta extracción de la posición de la placa afecta directamente en la precisión global del sistema, para hacer que éste proceso de localización tenga éxito con menor tiempo de procesamiento se requiere que se resuelvan muchas dificultades, como la mala calidad de la imagen, tomando en cuenta el brillo excesivo, el ángulo de observación y la distancia del vehículo a la cámara.

1.2.2 MOTIVACIÓN

En el Perú, hacen falta sistemas de identificación de placas automáticas para diversos aplicativos, algunos distritos de la capital invierten en equipos sofisticados para controlar la seguridad de su entorno; estos equipos se basan en cámaras estáticas ubicadas en puntos estratégicos y toman imágenes para que el personal lo analice y compruebe los datos de cada vehículo. Otros, como el personal de seguridad en los estacionamientos usan cámaras portátiles, las cuales las imágenes capturadas son enviadas a una central de verificación y comprobación de los datos del vehículo y del conductor. Aunque de alguna manera se usen sistemas de identificación de placas, son pocos los usados. La propuesta logra demostrar que el algoritmo desarrollado para la localización de la placa vehicular en imágenes es preciso y robusto ante placas de diferentes colores de fondo, brillo, ángulo de inclinación, etc. Además, es factible de realizarse en sistemas de bajo costo ya que se hace uso de técnicas de procesamiento de imágenes los cuales pueden ser implementados en equipos comerciales.

El alcance al que se puede llegar es muy amplio, debido a que la tecnología crece y por tanto se tienen equipos con procesadores más veloces y potentes, los cuales hacen que se puedan desarrollar programas más complejos y en tiempo real.

Una ventaja adicional de la propuesta a desarrollar es su implementación en equipos de mayor versatilidad y portabilidad, como los teléfonos inteligentes, ya que últimamente éstos tienen mayor capacidad de procesamiento en su interior, pudiendo desarrollarse aplicaciones como el sistema de reconocimiento de placas mediante el uso de técnicas eficientes explicadas.

1.3 CONSIDERACIONES GENERALES

Antes de comenzar con el desarrollo del algoritmo propuesto, es necesario tomar ciertas consideraciones generales para delimitar el algoritmo a desarrollar, las que se toman en cuenta para este trabajo son las siguientes:

- Se realizarán las pruebas con imágenes a color de dimensiones estándar suficiente para facilitar el procesamiento del sistema de localización.
- Las placas pueden ser antiguas, con fondo de diferentes colores y las placas nuevas con fondo blanco y letras negras, siendo este el formato establecido en el Perú.
- El sistema está limitado a la detección de placas en vehículos de 4 ruedas, por tanto están excluidas las placas de motocicletas y de otros tipos.
- Imagen frontal y posterior del vehículo.
- Imágenes de vehículos en reposo
- La imagen puede tener una ligera variación en el punto de vista; sin embargo, no debe excederse ya que afectaría el éxito en la detección.

Las técnicas desarrolladas para la localización y extracción de la placa deben ser consideradas para cualquier tipo de imágenes que cumplen con las especificaciones anteriores y deberá detectarse en cualquier posición de la imagen original.

CAPÍTULO 2

TÉCNICAS PARA EL SISTEMA PROPUESTO

2.1 ESTADO DEL ARTE

2.1.1 ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN

Los algoritmos existentes hasta la fecha para la localización de placas vehiculares poseen sus restricciones y condiciones para su funcionamiento, debido al reto que implica la detección, como la diversidad de los formatos de placas de diferentes países y la uniformidad en la iluminación en el momento de la adquisición de la imagen.

La etapa de localización en el sistema de reconocimiento de matrículas tiene como resultado la extracción de un único objeto de imagen, la cual debe ser potencialmente la placa del vehículo, esta porción puede estar en cualquier parte de la imagen de entrada; por tanto, se requiere que el algoritmo no procese cada pixel de la imagen, lo cual aumentaría el tiempo de procesamiento sino se emplean técnicas que distingan las características propias que tienen las placas.

Las investigaciones realizadas hasta la fecha para sistemas de localización de matrículas, se describen a continuación y son enfocados en el uso de propiedades propias de las placas en las imágenes adquiridas, como son su forma rectangular, la textura y la información global de la imagen, el contraste de color, entre los caracteres y el fondo de la placa de rodaje, etc.

Las propuestas planteadas ayudan a seleccionar las técnicas que pueden funcionar en imágenes de vehículos peruanos y los posibles resultados en diferentes equipos utilizados.

2.1.2 PRINCIPALES MÉTODOS

Se presentan algunas técnicas investigadas que ayudan a dar solución a la localización y extracción de matrículas [3, 7]. El objetivo es entender las lógicas empleadas en los procesos y el uso de los algoritmos según los resultados obtenidos en cuanto a su factibilidad y complejidad.

1) USO DE LA INFORMACIÓN DE LÍMITES O CONTORNOS DE LA IMAGEN

a) “A Hybrid License Plate Extraction Method Based on Edge Statistics and Morphology” [8]

Una característica para la localización de la placa es usar la forma rectangular que tiene la misma. Este artículo presenta un algoritmo basado en cuatro etapas, las dos primeras analizan los bordes que tiene la imagen. En la primera, se obtienen los bordes de la imagen; para ello, se aplica el operador Sobel [9], el cual permite obtener contornos verticales y horizontales mediante cálculos de gradiente vertical (g_V) y horizontal (g_H). Luego, en la segunda etapa se forman líneas analizando la continuidad de los puntos característicos (FP: *feature points*) en cada fila de la imagen. Luego de formarse y seleccionarse las líneas horizontales, se procede a formar rectángulos, de acuerdo a un rango de distancia mínima y máxima. Una vez obtenidos los posibles candidatos de placa se procede a combinar o eliminar los rectángulos para tener un solo resultado. Este método depende ampliamente de la calidad de la imagen, ya que se requiere una buena información de líneas continuas al detectarse los bordes.

$$g_V(i, j) = |[f(i-1, j-1) + 2f(i, j-1) + f(i+1, j-1)] - [f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1)]| \quad (1)$$

$$g_H(i, j) = |[f(i-1, j-1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1)] - [f(i+1, j-1) + 2f(i+1, j) + f(i+1, j+1)]| \quad (2)$$

Las ecuaciones 1 y 2 son máscaras o *kernels* de 3x3 de las gradientes y estas al ser convolucionados con la imagen en escala de grises $f(i, j)$ se obtienen los contornos verticales y horizontales respectivamente.

Como se mencionó líneas arriba, este algoritmo comprende etapas, por ello los resultados se mencionarán adelante, en el uso de la información global de la imagen.

b) “A New Vertical Edge Detection Algorithm and Its Application” [10]

Se propone un nuevo algoritmo de detección de bodes verticales (VEDA, por sus siglas en inglés: *Vertical Edge Detection Algorithm*), el cual consiste en disminuir el tiempo de procesamiento haciendo que esta técnica sea 7-9 veces más rápido que el operador Sobel. Para lograr este resultado, el presente método comprende varios procesos (Figura 2.1): primero, la imagen se transforma en una imagen en escala de grises, luego se aplica una umbralización adaptativa [11] que promedia los pixeles en una vecindad de $s \times s$ centrado en dicho pixel y se compara con los pixeles vecinos de la imagen. Una vez se tenga la imagen umbralizada, se eliminan las líneas no deseadas para disminuir la velocidad de procesamiento. Por último, VEDA es aplicado consiguiendo resultados más eficaces en cuanto al tiempo de procesamiento. La Figura 2.1 muestra los resultados de este algoritmo.

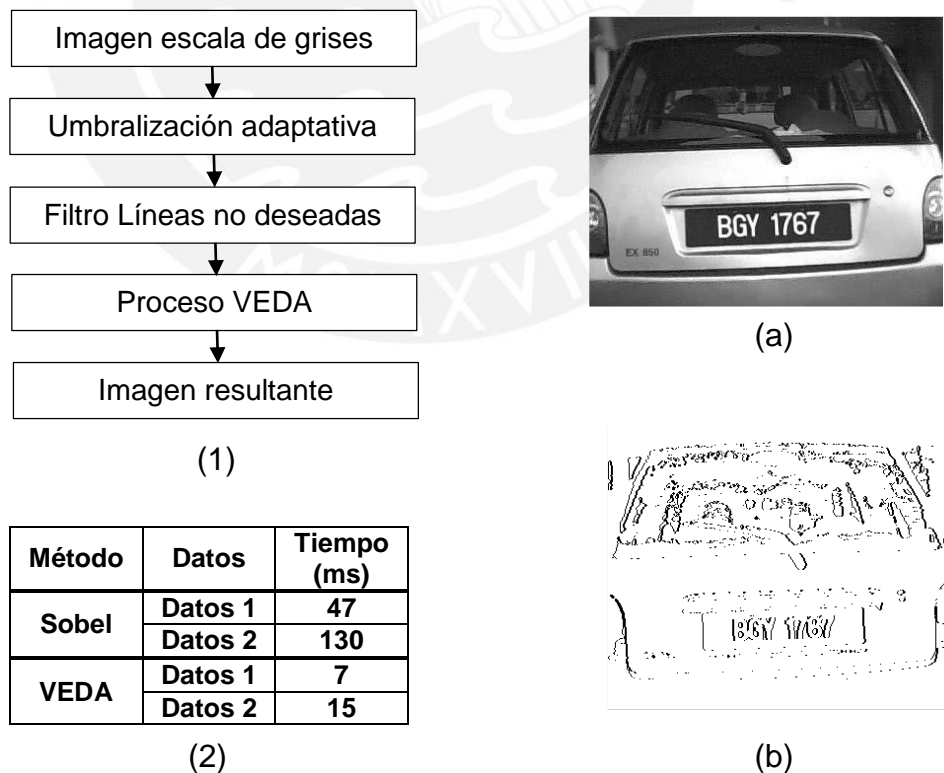


Fig. 2.1 (1) Procesos del algoritmo. (2) Tabla de comparación Sobel y VEDA.
(a) Imagen en escala de grises. (b) Imagen resultante VEDA.

c) **“An Efficient implementation of the Hough Transform for detecting vehicle license plates using DSPs” [12]**

Este método describe un algoritmo para la localización de los límites de placas vehiculares americanas usando la transformada de Hough (HT: *Hough Transform*) [13]. El proceso consiste en la detección de los bordes de la imagen a partir de la imagen en escala de grises, luego se aplica la transformada de Hough para la formación de líneas rectas. El problema en este tipo de método para la formación de líneas es que en imágenes de baja resolución no hay una buena continuidad en los puntos obtenidos de la detección de contornos. En el artículo [14], se presenta el mismo algoritmo con la ventaja adicional de detección de líneas rectas robustas con un ángulo de inclinación mayor a 30, en este artículo, se hace hincapié a la etapa de localización en el sistema de reconocimiento de placas por ser la de mayor dificultad e importancia en sistemas de control vehicular. El algoritmo propuesto se compone de las siguientes etapas: primero la etapa de pre-procesamiento que consiste en convertir la imagen RGB a escala de grises, luego se aplica el operador Sobel para la detección de contornos; segundo, la etapa de detección tiene como entrada la imagen umbralizada con los bordes de la imagen para encontrar objetos cerrados y obtener candidatos a ser placas, una vez obtenidos estos candidatos son verificados cada uno mediante cortes horizontales y determinar si existen o no caracteres dentro del objeto analizado.

Este método da errores con imágenes de mala calidad, además, al usar la transformada de Hough aumenta el tiempo computacional lo que no resulta eficiente en cuanto a sistemas de tiempo real; sin embargo, se pueden obtener grandes tasas de éxito al mejorar el tipo de adquisición de la imagen.



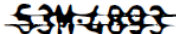

Candidatos de placa	Número de cruces	Resultado
	2	No es placa
	2	No es placa
	10	Es placa
	4	Es placa

Figura 2.2 Tabla de verificación de candidatos a ser placa

d) **“Rectangle detection based on a windowed Hough transform” [15]**

Otra técnica que usa la transformada de Hough para la localización de placas vehiculares es la que se presenta en este artículo, en este caso, se hace uso de la HT para determinar figuras rectangulares en la imagen. El algoritmo propuesto consta de las siguientes etapas: primero, se tiene la imagen en escala de grises, luego se obtiene la detección de contornos; en este caso se hace uso del operador de Canny [16], simultáneamente, se ubica el punto central de la imagen y se analiza si hay un objeto rectangular dentro del punto. Una vez obtenido la nueva imagen umbralizada se hallan el diagonal mínimo y máximo de cada objeto cerrado para determinar el rectángulo de menor y mayor tamaño. Finalmente, se detectan los rectángulos que cumplen con los patrones asignados como el ángulo máximo de inclinación, el tamaño de la diagonal del rectángulo debe estar en el rango especificado y el área que encierra el objeto debe cumplir con el rango colocado. En la investigación, se analizaron con imágenes de 240 x 320 pixeles, los cuales dependen de su calidad para tener una buena tasa de eficiencia. Este método es factible cuando la placa vehicular se encuentra en el centro de la imagen como se muestra en la figura 2.3.

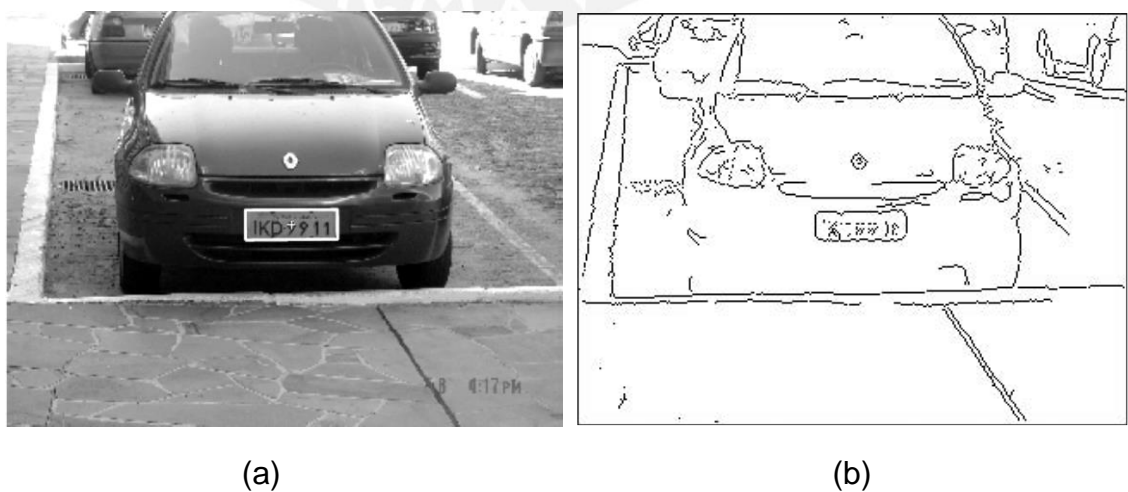


Figura 2.3 (a) Imagen en escala de grises. (b) Imagen aplicando el operador Canny

2) USO DE LA INFORMACIÓN GLOBAL DE LA IMAGEN

e) *“A Hybrid License Plate Extraction Method Based on Edge Statistics and Morphology”* [8]

En este artículo se muestran las dos primeras etapas para la detección de la placa vehicular usando algoritmos para la obtención de los bordes y así determinar rectángulos, los cuales pueden ser posibles candidatos de placas; sin embargo, algunas veces las imágenes pueden estar dañadas o ser de mala calidad, ello hace que se detecten falsos candidatos y en ocasiones no esté incluido la placa original. Entonces, las dos etapas que siguen son la localización de la placa basado en jerarquía de umbralización y la localización mediante operaciones morfológicas de la imagen [17].

La primera, consiste en determinar los candidatos de placas considerando diferentes escalas de umbralización. A mayor valor de umbral se detectan menos candidatos, pero la detección es más difícil en muchos casos y a menor valor de umbral existen mayores probables valores por lo que aumenta la probabilidad de error en la detección y el tiempo de procesamiento.

La última etapa aplica operaciones morfológicas en la imagen para determinar la localización de la placa. Una etapa de pre-procesamiento determinado por binarización de la imagen y filtrado de líneas horizontales antecede a esta aplicación, la morfología matemática consiste en corregir el desperfecto de la imagen y formar objetos de acuerdo al requerimiento que se necesite; en este caso se procede a dilatar la imagen para formar objetos y determinar aquellos que cumplan las propiedades de la placa, como es su forma rectangular, área, proporción, etc.



Figura 2.4 (a) Imagen umbralizada (b) Imagen utilizando morfología (Dilatación)

f) **“Optical recognition of motor vehicle license plates” [18]**

Se presenta un sistema de reconocimiento de placas vehiculares italianas RITA (por sus siglas en inglés: Recognition Italian Plates). En su etapa de localización se emplea la umbralización de la imagen y se extrae el objeto que cumpla con las propiedades geométricas de las placas italianas. Este tipo de técnica depende bastante del contraste de color entre la carrocería del vehículo y la placa y, además, de las condiciones de adquisición de la imagen como la iluminación que es un factor importante para la eficiencia.

g) **“A Morphological - Based License Plate Location” [19]**

Este método presenta un algoritmo robusto para la localización de la posición de la placa vehicular en tiempo real, la cual emplea morfología matemática. La figura 2.5 muestra el proceso del algoritmo propuesto. Para las pruebas se usaron 400 imágenes en diferentes condiciones de luminosidad y perspectiva, en los cuales se obtuvo una eficiencia de éxito de 83.50%.

El proceso consiste en la obtención de los bordes verticales usando el operador Sobel, se realiza un histograma de las filas de la imagen para determinar el rango con de las posiciones de mayor información de puntos blancos, se recorta la imagen con las posiciones obtenidas anteriormente donde probablemente se encuentre la placa vehicular. A partir de la porción de la imagen se aplica morfología, en este caso el cierre consiste en la dilatación de la imagen seguida de la erosión de la misma, esto con el objetivo de obtener una figura rectangular. Este método falla cuando no existe contraste de color entre el fondo del auto con la placa.

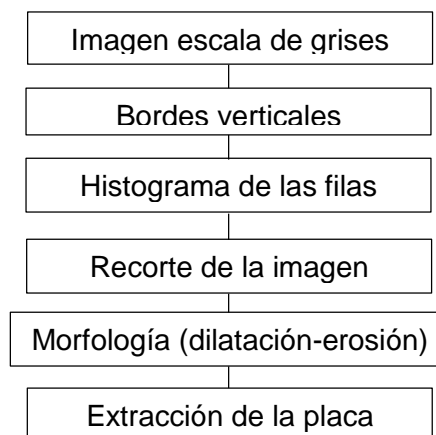


Figura 2.5. Etapas principales del algoritmo propuesto

3) USO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA TEXTURA DE LA IMAGEN

h) “*Vector quantization for license – plate location and image coding*” [20]

El artículo presenta un método en la cual se analiza la imagen en bloques dados por la cuantización vectorial [21]. Este tipo de codificación busca la presencia de caracteres en la imagen analizando el cambio de contraste con el fondo. Los resultados en 300 imágenes han tenido un porcentaje de éxito en la localización de 87.6%. Los errores obtenidos ocurrieron en imágenes donde el contraste no es significativo; sin embargo, este tipo de técnica puede mejorarse aún más combinando otros algoritmos.

i) “*Vehicle License Plate Detection Method Based on Sliding Concentric Windows and Histogram*” [22]

Se presenta un método para la localización de placas coreanas, el proceso consiste en 3 etapas principales: la primera consigue detectar posibles candidatos de placa analizando las regiones por medio del desplazamiento de ventanas concéntricas (*SCWs: Sliding Concentric windows*); segundo, se verifican cada uno de los candidatos encontrados por medio del modelo de color HSI (*HSI: Hue, saturation, Intensity*), la cual separa la información de color requerida para la determinación del tipo de placa que presenta la imagen. Una vez transformado la imagen candidata al espacio de color HSI se obtiene el histograma vertical para determinar la presencia de un patrón, la cual significa que existen caracteres en la región y por tanto es localizada la placa del vehículo. Este método fue probado con 40 imágenes de 640x480 píxeles y se obtuvo el 82.5% de éxito en la detección.

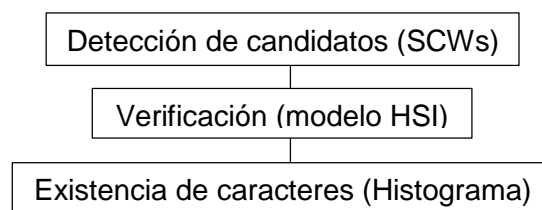


Figura 2.6 Etapas principales de algoritmo

j) **“Multiple License Plate Detection for Complex Background” [23]**

El método siguiente presenta un algoritmo para la extracción de la placa y el proceso consiste en 3 etapas fundamentales: primero, se aplica la transformada de Wavelet [17] para obtener las propiedades de la imagen como el contraste de color fundamental para la siguiente etapa, una vez que se tiene las características previas se forma una línea de referencia, la cual es vital para separar las regiones que no son importantes en el procesamiento. Finalmente, se extrae la región que cumple con las características geométricas de la placa. Se experimentaron con 315 imágenes de 600x450 pixeles con una efectividad del 92.4%. El problema radica en asumir que todas las placas tienen un contraste con el fondo de la imagen; sin embargo, con las pruebas realizadas se tiene una gran tasa de éxito para las placas taiwaneses.

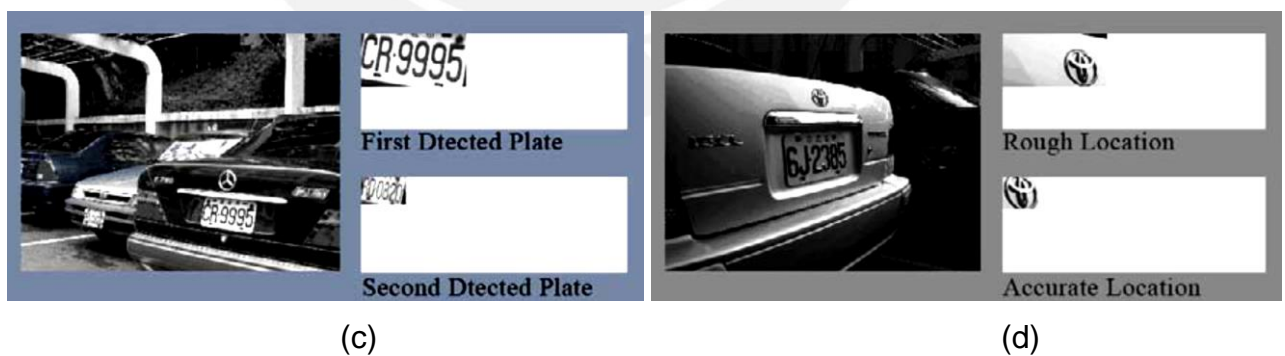


Figura 2.7 (a) Imagen Original. (b) Resultado de la transformada de Wavelet con la línea de referencia. (c) Resultado exitoso. (d) Falla en la detección

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal es el desarrollo de un algoritmo que permita obtener la localización de la región de la placa vehicular peruana en una imagen digital, usando métodos y técnicas de procesamiento de imágenes.

Se requiere que el algoritmo propuesto sea lo suficientemente robusto para detectar la placa en cualquier posición de la imagen, que sea general para placas de tipo (antiguas y nuevas) y que se detecten placas de caracteres negros con fondo blanco, amarillo y celeste.

2.2.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

De acuerdo a las consideraciones tomadas por parte de las imágenes de entrada se describen los objetivos secundarios que se deben cumplir para la realización del trabajo:

- Obtener un valor de umbral ajustable de cada tipo de imagen de entrada para la creación de la imagen binaria esencial para la etapa de extracción de la región de interés.
- Determinar la región de la placa ante una serie de posibles candidatos usando características geométricas de la placa como la forma y área.
- Analizar el tiempo que tarda en procesar el algoritmo de localización. Verificar si es un problema para este tipo de sistemas de identificación de placas.
- Comparar las primeras propuestas de solución desarrolladas, para la localización de la placa y determinar qué algoritmo presenta la mayor tasa de éxito.
- Analizar y sustentar los motivos por los cuales el algoritmo presenta problemas en la detección y si es posible mejorarlo en futuros proyectos.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL SISTEMA

3.1 DESARROLLO DEL ALGORITMO

3.1.1 DESCRIPCIÓN

El presente algoritmo toma en consideración los resultados de las investigaciones realizadas como la factibilidad, eficiencia y tiempo computacional para cumplir con el objetivo mencionado. El desarrollo planteado está compuesto por dos procesos principales: el proceso de umbralización y el proceso de caracterización de la placa; el primero consiste en la determinación de un valor de umbral variable en base a las características propias de cada imagen de entrada primordial para generalizar la detección de cualquier tipo de placas hechas en el Perú. El proceso de caracterización de la placa determina la región de la imagen que contiene la misma, esta etapa consiste fundamentalmente en encontrar posibles candidatos de placa para pasar por etapas de filtrado que se explicarán más adelante.

Detalla el desarrollo del algoritmo planteado y explica las etapas contenidas en los dos procesos principales mencionados. A continuación se describen las características de las imágenes adquiridas, con las cuales se hicieron las pruebas y se determinaron los resultados, al final se mostrará el diagrama de bloques completo de todas las etapas empleadas.

La figura 3.1 muestra el proceso general del algoritmo trabajado ilustrando el procedimiento a seguir en este capítulo.

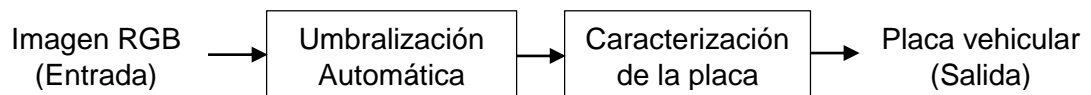


Figura 3.1 Procesos principales del algoritmo desarrollado

3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN ADQUIRIDA

Las imágenes adquiridas para la realización de este trabajo fueron tomadas con la cámara de un teléfono móvil inteligente, en los cuales se capturaron 170 fotografías de vehículos estacionados en diferentes áreas de parqueo de la PUCP. Se tomó en cuenta los factores de luminosidad según las consideraciones generales del capítulo anterior; por ello, todas las imágenes fueron tomadas en el día entre las 9:00 a.m. y 2:00 p.m., con el permiso del Departamento de Seguridad de la Universidad, en la obtención de dicha base de datos para este proyecto. Cabe mencionar que la adquisición de las imágenes se realizó de manera manual, ya que el objetivo de esta tesis es el desarrollo del algoritmo para la localización de la placa, por lo que más adelante se podría mejorar la adquisición de las imágenes con un sistema automático en futuros proyectos.

Las dimensiones de las imágenes son de 720 pixeles de alto por 1280 pixeles de ancho para que el procesamiento no sea tan pesado y para tener una imagen de aceptable calidad. No todas las imágenes se tomaron el mismo día con el mismo teléfono móvil, por lo que algunas capturas pueden variar ligeramente de tamaño. Es importante señalar que cada imagen pertenece al espacio de color RGB, es decir que la imagen de entrada está seleccionada manualmente por una imagen a color, esta característica inicial se debe a que, en el desarrollo es muy importante tener los tres matices de color para analizarlas a partir de ello y no directamente con cualquier matiz que representaría la escala de grises.

Otra característica que poseen las imágenes es que la distancia de captura no debe ser muy corta, ni muy grande, para que facilite al reconocimiento de las características de los caracteres de la placa, ello con la finalidad de tener el menor ruido en cuanto a información no deseable para el procesamiento, y también para que los caracteres sean completamente legibles, puesto que ello toma un rol importante para la localización de la placa de rodaje que se verá más adelante.

3.1.3 PROCESO DE LA UMBRALIZACIÓN AUTOMÁTICA

Este proceso es muy importante, debido a que se requiere de un valor umbral variable necesario para el éxito del siguiente proceso. Además, las imágenes fueron capturadas bajo la luz natural, no existe una distribución uniforme de la luz, por lo que en las pruebas realizadas algunas imágenes fallaron con cierto valor fijo de umbral y otras sí se detectaron; por ello, hubo la necesidad de diseñar un método para calcular un valor ajustable de umbral según las características que presenta la imagen como el contraste del color de la placa con sus caracteres y con el fondo. Como se sabe, la imagen umbralizada consiste en que la imagen en escala de grises con 255 niveles de tono, sea modificada a sólo dos valores (1 y 0) según un valor de referencia (umbral). Esta conversión de la imagen se llama Binarización, ya que solo se muestra la imagen en 2 tonos: blanco y negro.

El proceso consta de 4 etapas fundamentales: la determinación de los máximos regionales, de los picos máximos, análisis y agrupamiento de datos y el cálculo promedio del valor umbral deseado. La primera etapa consiste en hallar todos los puntos que cumplan la operación de contraste de intensidad, utilizando el Laplaciano del Gaussiano; segundo, se calculan los picos máximos en todas las escalas realizadas en la etapa anterior para la determinación de la posición de la placa. Se utiliza el método de agrupamiento de conjuntos K-means para determinar los valores mínimo y máximo en la que se encuentra cada uno de los puntos seleccionados. Por último, se promedian los valores hallados anteriormente y se calcula el umbral, lo cual servirá para el siguiente proceso.

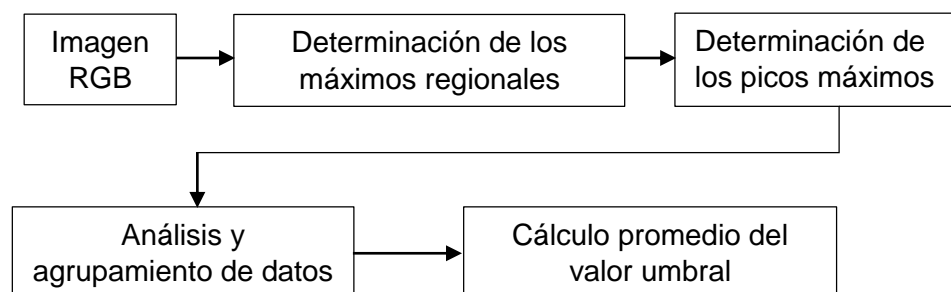


Figura 3.2 Etapas del proceso de Umbralización

3.1.3.1 DETERMINACIÓN DE LOS MÁXIMOS REGIONALES

El objetivo en esta etapa es reconocer todos aquellos puntos en los cuales existe algún contraste significativo de intensidad; para ello, se empleó el operador matemático Laplaciano del Gaussiano, el cual indica cuándo hay un cambio grande de valor, ya sea de un valor pequeño a un máximo y viceversa. Como nuestro objetivo es determinar los máximos valores, tenemos que hallar el punto máximo de la función que se obtiene en el paso anterior, y para esto se realizó una iteración donde se van determinando y almacenando dichos puntos a medida que se hallan los cambios que nos interesan, como son los caracteres negros en un fondo claro. Este último paso, se debe ya que cuando capturamos una imagen, el tamaño de la placa y los caracteres que la contienen no presentan necesariamente el mismo tamaño, por lo que no podemos decir que cumplen para todos los casos un mismo valor de entrada en el operador antes mencionado.

Esta etapa comprende 3 sub-etapas principales, los cuales se indican en el siguiente diagrama (Fig. 3.3).

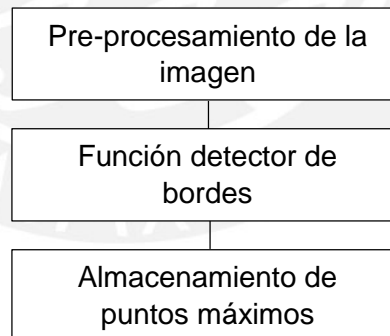


Figura 3.3. Proceso para el cálculo de puntos máximos regionales

a) Pre-Procesamiento de la imagen

Las imágenes capturadas tienen 3 matices de color (R, G, B), característica que indica mayor información en cada pixel de la imagen original; sin embargo, para el propósito de este trabajo es necesario transformar la imagen en su escala de grises, ya que el sistema se centrará en analizar los cambios de intensidad en el total de la imagen; para ello, en cada pixel de la imagen se tomará el tono de mayor valor en los tres matices RGB, con el fin de obtener la mayor distancia de tonalidad entre el pixel más claro con el más oscuro.

De esta manera se tiene una transformación mejorada de la imagen en su escala de grises, que realza más las tonalidades más claras con las más oscuras. La figura 3.4 y 3.5 muestra un ejemplo de esta etapa de pre-procesamiento con la que se realizarán las operaciones siguientes.



Figura 3.4 Imagen Original a color (RGB)



Figura 3.5 Imagen en escala de grises

b) Función de detector de bordes

Una característica que posee las placas vehiculares peruanas es que los píxeles de los caracteres tienen valores de índice muy bajos respecto de los píxeles del fondo; por ello, la lógica empleada en esta etapa es detectar las zonas donde existe tal variación de intensidad. Utilizamos el algoritmo matemático el Laplaciano del Gaussiano (*LoG: Laplacian of Gaussian*) [24] que sirve para delimitar los bordes de la imagen cuando se presenta cambio de valor o intensidad. La función Gaussiana es un tipo de filtro que suaviza la imagen y elimina el ruido existente. Para una imagen en dos dimensiones (2-D) como la imagen en escala de grises, la función Gaussiana es de la forma:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Donde x , y son las coordenadas vertical, horizontal de la imagen y σ es la desviación estándar que en nuestro caso tendrá el valor de 3.

Este valor asignado se debe a que, como se mencionó anteriormente, cada imagen adquirida tiene propiedades distintas. Por tanto, se requerirá un valor pequeño de σ para el análisis que se explicará en la siguiente etapa.

La ecuación (2) representa el operador Laplaciano en una imagen con coordenadas (x,y) .

$$L(x, y) = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \quad (2)$$

El Laplaciano es representado como la convolución del filtro gaussiano con una máscara o *kernel*, lo que se aproxima a las segundas derivadas del operador.

La función LoG centrado en cero con desviación estándar σ es de la forma:

$$LoG(x, y) = -\frac{1}{\pi\sigma^4} \left[1 - \frac{x^2+y^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

La función Laplaciano del Gaussiano se muestra a continuación (Fig. 3.6):

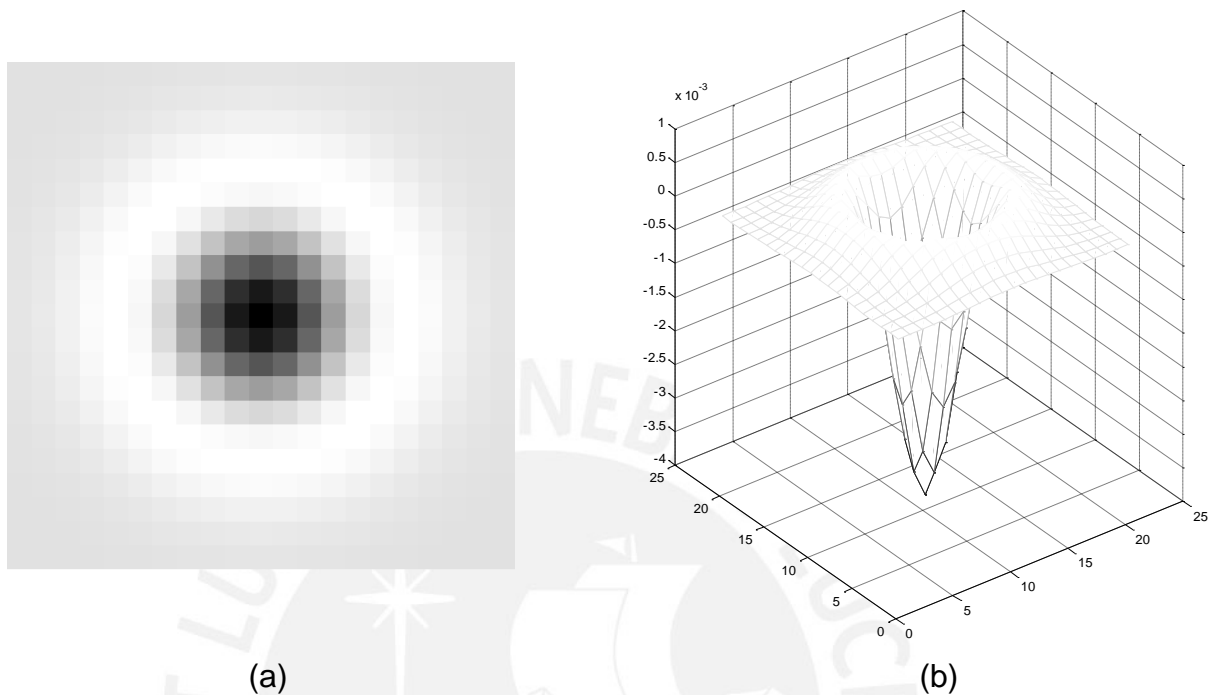


Figura 3.6

(a) Función LoG en el plano (X, Y) vista en 2 ejes.

(b) Función LoG vista en un plano de 3 ejes de coordenadas.

El *kernel* $N \times N$ que se usa para la aproximación del operador Laplaciano debe comprender la zona de cambios de intensidad, con el fin de ampliar la precisión en la búsqueda de dichas zonas de interés.

c) Almacenamiento de los puntos máximos

El objetivo en esta sub-etapa consiste en determinar los valores máximos regionales y sus respectivas posiciones en filas y columnas, los máximos regionales son todos aquellos puntos en los cuales cumplen que los pixeles conectados con valores pequeños en intensidad (I) están delimitados por pixeles con valores altos. Entonces, como todos los caracteres de la placa son casi del mismo valor de intensidad y estos están rodeados de un fondo claro,

podemos aplicar esta lógica y así obtener un promedio de los puntos que probablemente están contenidos en los caracteres de la placa vehicular.

Sin embargo, como se mencionó antes, la imagen puede variar de tamaño y por tanto, también el tamaño de los caracteres de la placa. Las figuras 3.7, 3.8 y 3.9 permiten entender que para lograr encontrar los puntos máximos regionales, hay dos alternativas: una sería variar la desviación estándar σ del LoG y la otra redimensionar la imagen a un porcentaje menor de la imagen normal. Se usó la segunda alternativa ya que no podemos asegurar un valor general de σ que cumpla con cualquier tamaño de imagen.

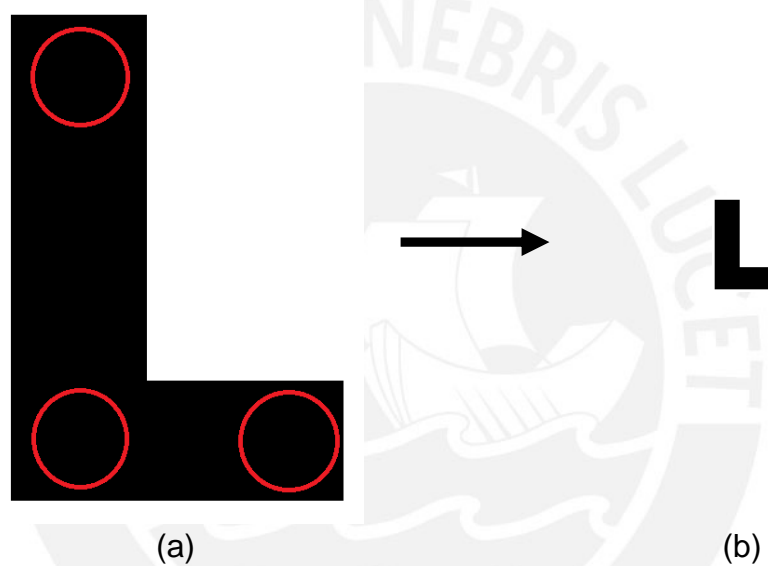


Figura 3.7 (a) Carácter 'L' de la placa vehicular. Los círculos rojos representan los puntos máximos regionales esperados ("mancha")
(b) El carácter 'L' dimensionado a una escala menor

La figura 3.8 ilustra el resultado de aplicar el Laplaciano del Gaussiano en una imagen de una dimensión donde existe cambio de valor, la detección de bordes se realiza mediante la convolución del LoG con la imagen. Se observa en la figura 3.9 que si el valor más bajo de la misma imagen redimensionada en tamaño tiene un ancho aproximado a la del filtro Gaussiano, el resultado de aplicar el LoG a la misma otorgará el pico máximo en la zona del valor más bajo de la imagen; por ello, al redimensionar la imagen a escalas menores se obtienen los valores máximos, los cuales representarán contornos de valor que se encontrarán en su mayoría en las letras o números de la placa.

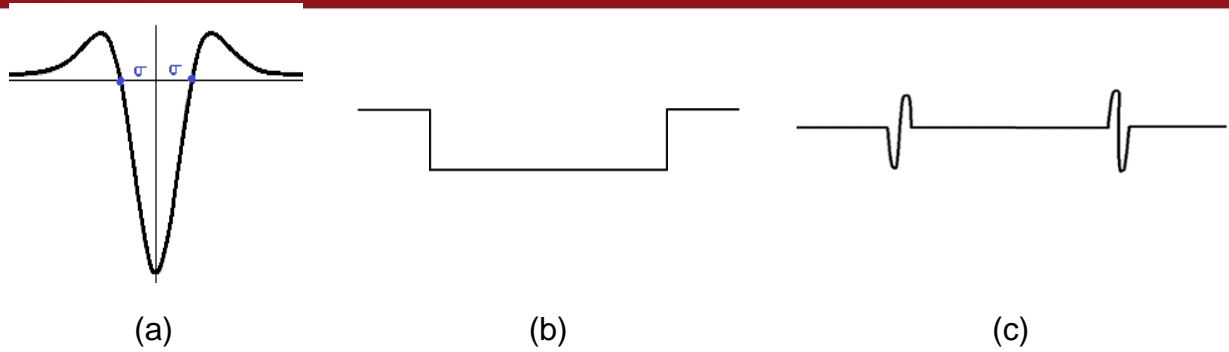


Figura 3.8 (a) LoG en una dimensión
(b) Porción de imagen en una dimensión
(c) Convolución de la imagen con el LoG

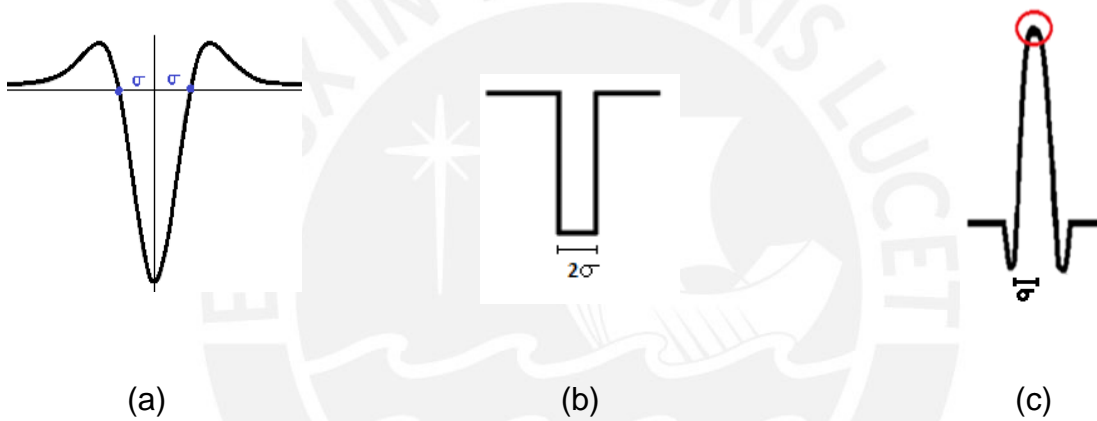


Figura 3.9 (a) LoG en una dimensión
(b) Porción de la imagen redimensionada
(c) Convolución de (b) con el LoG. El círculo encierra el máximo regional.

Una parte importante en la umbralización variable es identificar los mayores cambios de valor en toda la imagen, los cuales recaerán dentro de la placa; por tanto, procedemos al análisis mediante el redimensionamiento de la imagen de menor a mayor escala. Para efectos prácticos, el ciclo de este proceso consistió en la toma de puntos a partir de una imagen dimensionada en una baja escala hasta el análisis de la imagen en tamaño normal. La figura 3.10 muestra tres imágenes, los cuales son los resultados de la convolución del LoG con la imagen redimensionada.

En las imágenes se aprecian “manchas” con valor alto, éstas vienen a ser los máximos regionales cuyos índices característicos se extraen como las posiciones de filas y columnas de cada uno.

Cabe mencionar, que esta etapa al momento de cambiar la escala de la imagen y extraer las posiciones de los puntos máximos, estos se encuentran desplazados; por ello, es necesario que los índices obtenidos sean multiplicados por su porcentaje de escala para que se encuentren localizados dentro de la imagen de tamaño original.

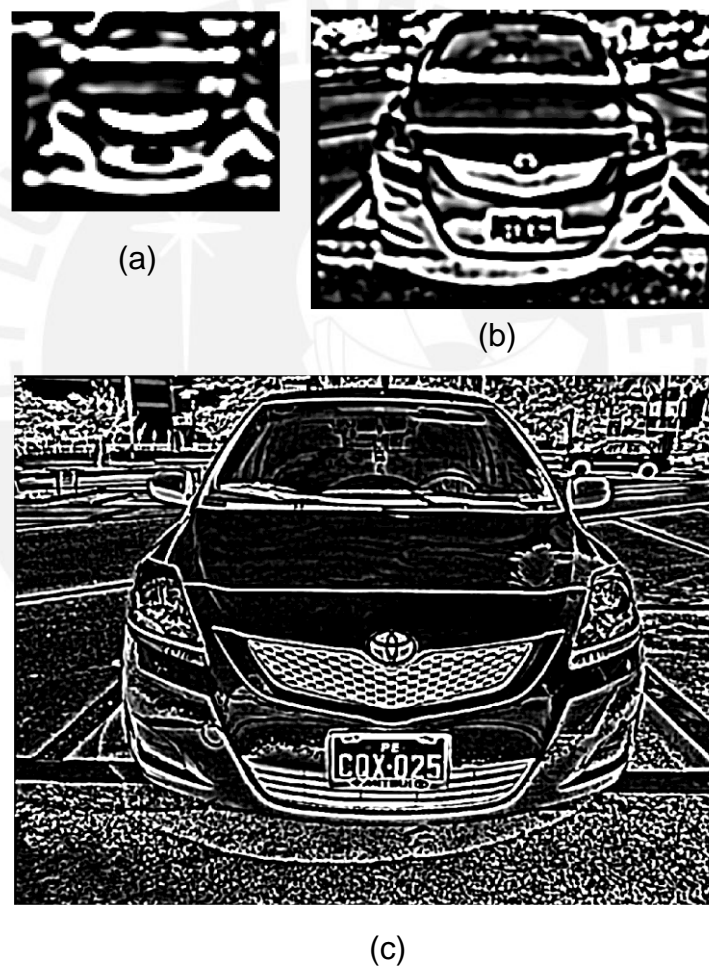


Figura 3.10 (a) Resultado de la convolución entre la imagen redimensionada al 10% de la imagen normal con el LoG.
(b) Resultado de la convolución entre la imagen redimensionada al 45% de la imagen normal con el LoG.
(c) Imagen de tamaño normal convolucionada con el LoG

3.1.3.2 DETERMINACIÓN DE LOS PICOS MÁXIMOS

Esta etapa analiza todos los puntos resultantes para cada escala de tamaño y determina solo los puntos con mayor valor de índice, ya que ellos serán los que se encontrarán en su mayoría dentro de la placa del vehículo; para ello, la figura 3.11 es un ejemplo en una dimensión que representa la lógica empleada, donde S es la escala donde se encuentra el punto máximo Regional o Local; sin embargo, en el análisis real para cada escala se tienen un conjunto de puntos máximos regionales.

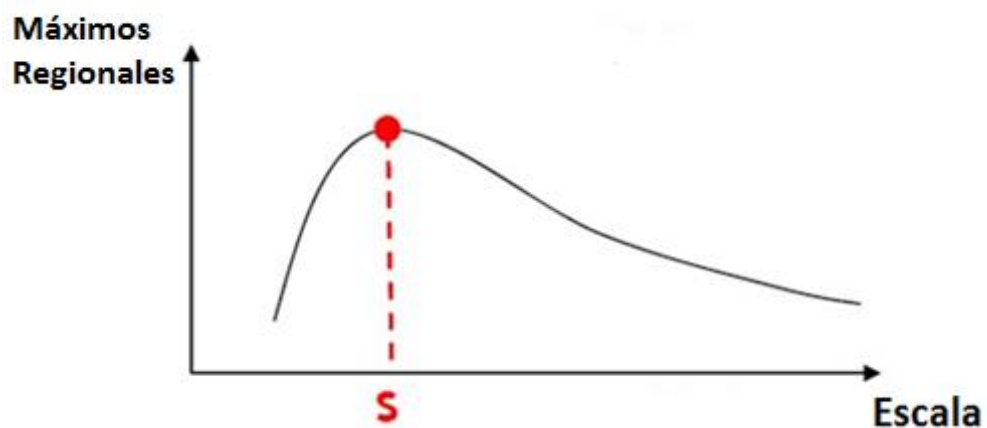


Fig. 3.11 Punto máximo regional en la escala S respecto de la imagen normal

Se analizan todos los puntos máximos en S y se comparan con los puntos en las escalas anterior y siguiente para que de esta manera se asegure que alrededor del punto se encuentren valores diferentes la cual en imágenes representaría una 'mancha', este proceso se repite para todas las demás escalas de tamaño.

En este análisis, cada pixel máximo regional es comparado con sus puntos vecinos mediante un *kernel* de $N \times N$ pixeles como se observa en la figura 3.12, el punto 'azul' representa un punto máximo en la escala S y se verifica si existe algún otro punto mayor a él en su vecindad en el *kernel* y en las escalas siguiente y anterior. En caso no haya otro pixel de mayor valor de índice, entonces se consideran sólo estos valores los puntos máximos que representan 'manchas' rodeadas de valores distintos éstos.

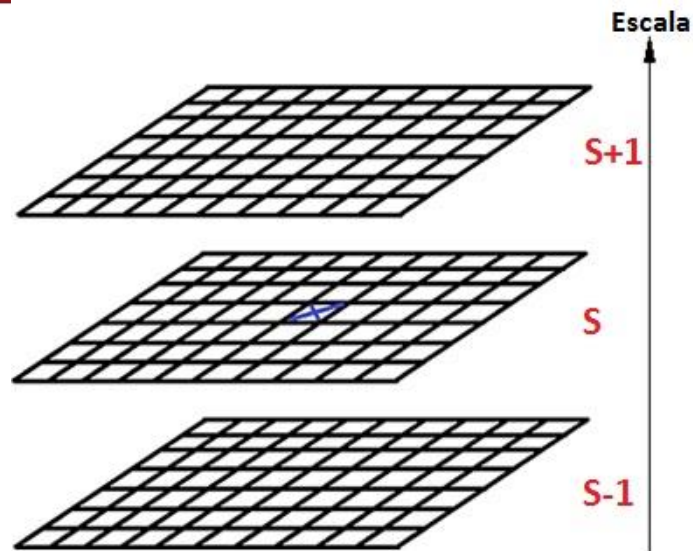


Figura 3.12 Análisis de la vecindad de cada máximo regional

3.1.3.3 ANÁLISIS Y AGRUPAMIENTO DE DATOS

Para el cálculo del valor umbral antes se requiere de un análisis de todos los datos anteriores y obtener el promedio deseado; para ello, se analiza cada máximo regional seleccionado mediante el algoritmo de agrupamiento de datos K-means [25], [26]. Este algoritmo consiste en agrupar a un conjunto \mathbf{C} de n datos en k grupos, los cuales cada punto o dato se encuentre cercano a la media entre las distancias de puntos de referencia o de inicialización. Esta técnica de agrupamiento o partición de información de datos tiene la forma matemática:

$$\arg \min(S) \sum_{h=1}^k \sum_{x \in S_h} \|x - u_h\|^2 \quad (4)$$

Donde, \mathbf{C} es un conjunto de puntos de información los cuales se agruparán, k es el número de grupos (*clusters*), que en el caso de nuestra imagen tomamos $k=2$, ya que se requiere encontrar un valor promedio entre dos conjuntos de valores (mínimos y máximos), u_h es el valor promedio entre los puntos del conjunto y, adicionalmente, se necesitan dos puntos '*means*' de inicialización, los cuales se tomarán el mínimo y máximo valor de índice del conjunto.

La figura 3.13 muestra el análisis de cada región de interés mediante el algoritmo K-means; cabe mencionar, que para un mejor resultado se tomarán sólo los puntos que presenten mayor índice ya que se tiene mayor probabilidad de recaer dentro de la placa.

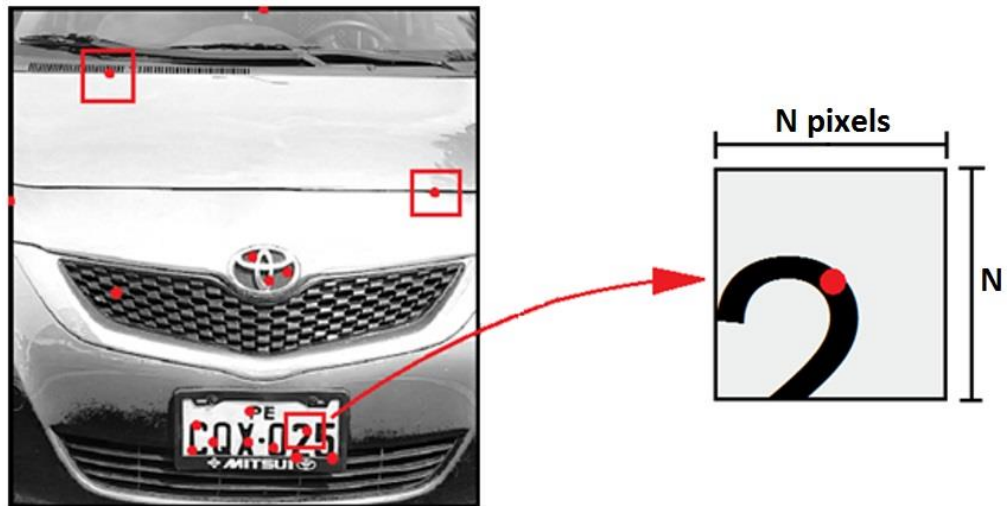


Figura 3.13 Área donde se encuentran los puntos máximos

3.1.3.4 CÁLCULO PROMEDIO DEL VALOR UMBRAL

Como resultado del método de agrupamiento de puntos se tienen dos conjuntos de datos; uno con todos los valores mínimos y el otro con los máximos. La ecuación (5) determina el valor umbral (V_{th}) para cierta cantidad de puntos analizados por el algoritmo K-means.

$$V_{th} = \frac{\sum C_{min}}{P} + \frac{\sum C_{máx}}{P} \quad (5)$$

Donde, V_{th} es el valor umbral calculado, C_{min} y $C_{máx}$ es el conjunto de datos mínimo y máximo respectivamente y P es la cantidad de puntos analizados.

Este valor V_{th} permitirá convertir la imagen de escala de grises en una imagen binaria o umbralizada, esto consiste en convertir cada pixel de la imagen en sólo dos valores (0 y 255), que también es representado lógicamente como ("0" y "1"), donde 0 y 1 representan blanco y negro respectivamente.

Para transformar la imagen inicial en una imagen umbralizada se procede a realizar la siguiente operación:

$$f(x,y) = \begin{cases} 255 & , f(x,y) > V_{th} \\ 0 & , f(x,y) < V_{th} \end{cases} \quad (6)$$

Donde $f(x,y)$ representa el valor de índice de un pixel de la imagen.

La figura 3.14 es la imagen umbralizada como resultado de esta etapa.



Figura 3.14 Imagen umbralizada (Blanco y Negro)

3.1.4 PROCESO DE EXTRACCIÓN

Este proceso de extracción consiste en extraer la región que contiene la placa vehicular en toda la imagen según las condiciones que se encuentre la misma; para ello, este proceso está dividido en 3 etapas, las cuales se muestran en la figura 3.15.

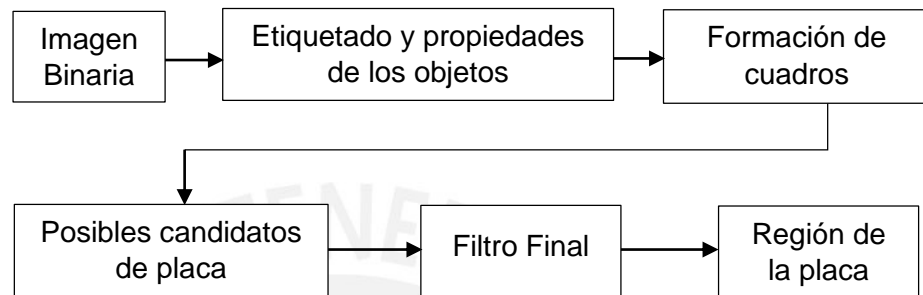


Figura 3.15 Etapas del proceso de Extracción

3.1.4.1 ETIQUETADO Y PROPIEDADES DE LOS OBJETOS

En esta etapa utilizamos la imagen umbralizada en blanco y negro obtenida anteriormente para etiquetar cada objeto cerrado que se encuentre en toda la imagen. El etiquetado consiste en procesar todos los pixeles y analizar conexión de objetos, como la imagen de entrada es una imagen binaria, cada objeto es aquella región donde cada pixel con valor 255 está conectado con otro en cualquiera de sus ocho vecindades.

Por ejemplo, la siguiente matriz M representa una imagen binaria (también puede contener valores lógicos), se analizan los pixeles que están conectados y se calcula el número de objetos.

$$M = \begin{bmatrix} 255 & 255 & 255 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 255 & 255 & 255 & 0 & 255 & 255 & 255 \\ 255 & 255 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 255 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 & 255 \\ 255 & 255 & 0 & 0 & 255 & 255 & 0 \\ 255 & 255 & 0 & 0 & 255 & 255 & 0 \\ 255 & 255 & 0 & 0 & 255 & 255 & 0 \end{bmatrix}$$

Donde: M es una matriz de 7x7 que representa una imagen binaria y se obtienen en total 3 objetos etiquetados.

De la misma manera, se procede a etiquetar la imagen umbralizada para separar los objetos que se presentan, el objetivo es obtener un objeto similar a un rectángulo, lo cual estaría determinado por la conectividad de píxeles que presenta el fondo claro de la placa vehicular. La figura 3.16 es el resultado de aplicar el etiquetado en la imagen binaria de entrada.



Figura 3.16 Imagen etiquetada (cada objeto con un color distinto)

En este ejemplo, se obtuvieron 3569 objetos, los cuales se deben seleccionarse sólo los que cumplan con las características de la placa.

El siguiente paso es la obtención de las propiedades de la imagen, como son el cálculo del cuadro limitante a cada objeto, el área de cada objeto y el centro de gravedad.

3.1.4.2 FORMACIÓN DE CUADROS

La figura 3.17 ilustra la lógica empleada para el cálculo de un rectángulo que limita el objeto dentro de la imagen, el objeto sombreado representa a un objeto etiquetado, el cual calcula los parámetros para la formación del rectángulo.

$$L = X_{max} - X_{min}$$

$$A = Y_{max} - Y_{min}$$

Donde: L y A son el largo y el alto del rectángulo respectivamente.

X e Y son las posiciones de las filas y las columnas respectivamente.

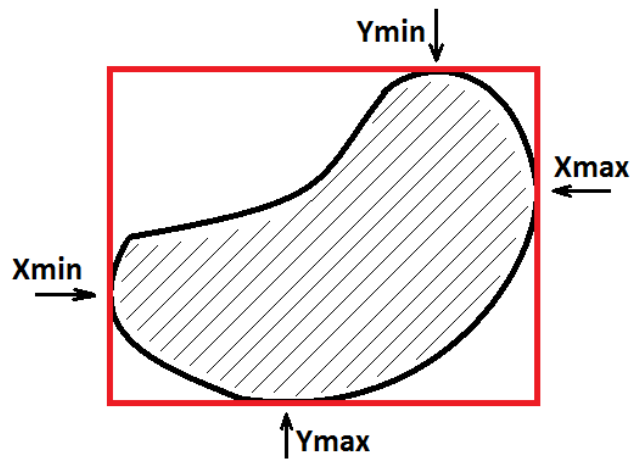


Figura 3.17 Parámetros para la formación del rectángulo limitante del objeto

Se presenta el resultado de aplicar el cálculo de los rectángulos que limitan los objetos en una imagen vehicular binaria en la figura 3.18.

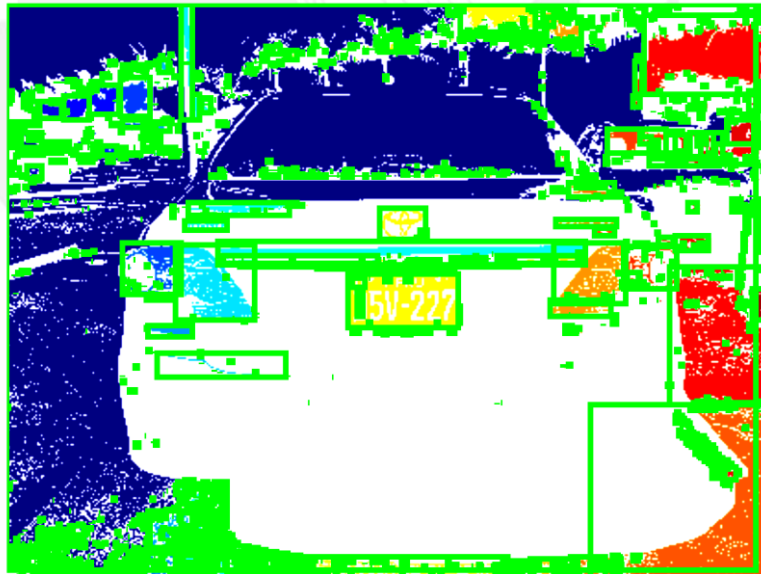


Figura 3.18 Formación de los rectángulos alrededor de cada uno de los objetos

3.1.4.3 POSIBLES CANDIDATOS DE PLACA

Un primer filtro para descartar posibles objetos que pueden ser reconocidos como placas vehiculares es el análisis del área de las figuras etiquetadas, de acuerdo a las consideraciones generales la región de la placa debe tener un área promedio del área total de la imagen; por tanto, se eliminan todos aquellos objetos que presentan áreas en pixeles muy pequeños y muy grandes.

Sin embargo, como se observa en la figura 3.19, existen aún objetos que pertenecen al área de la región establecida; por tanto, es necesario un filtro final que utilice las características propias de una imagen de placa como son la proporción entre el largo y el alto de los objetos y la comparación entre el área del objeto y el área que encierra al mismo.

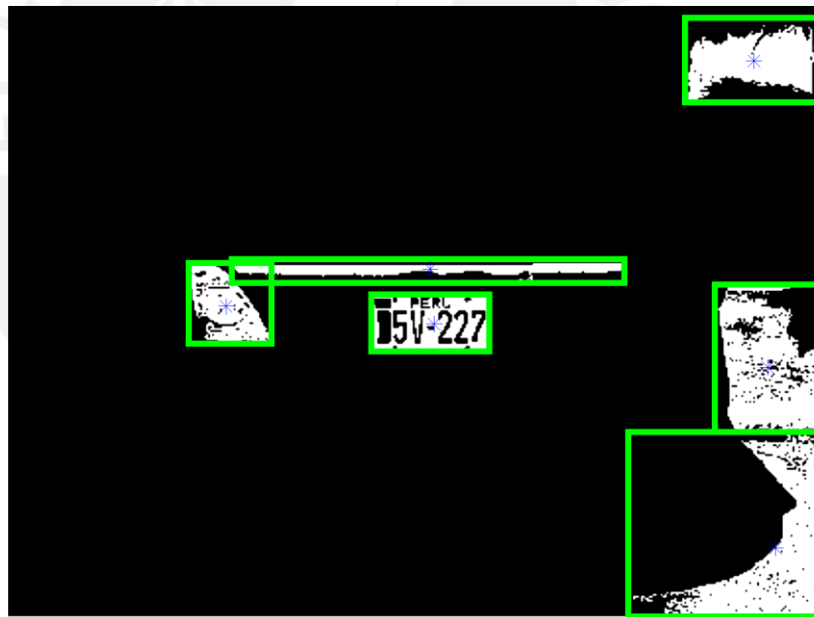


Figura 3.19 Posibles candidatos de placa

3.1.4.4 FILTRO FINAL

Como se mencionó antes en esta última etapa analizamos las características geométricas de la imagen de la placa del vehículo; para ello, realizamos una condición de proporción que consiste en que la relación entre el largo y el alto del rectángulo, que encierra el objeto que es aproximadamente de 2 a 1; a su vez, se debe cumplir que el área del objeto debe ser mayor a cierto porcentaje del área que encierra la figura, estas dos condiciones deben cumplirse simultáneamente. Finalmente, el resultado de aplicar estas características se muestra en la figura 3.20

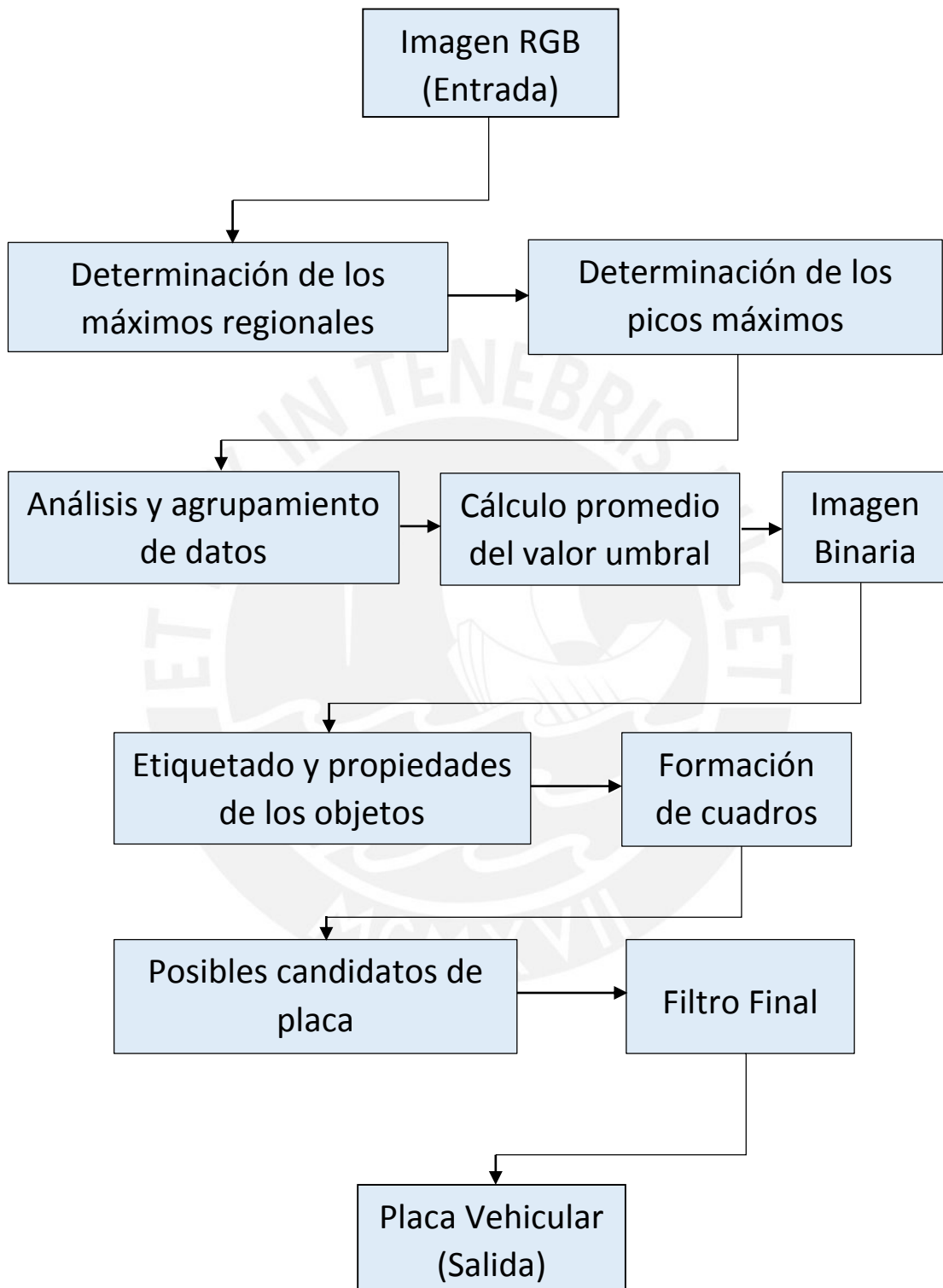


Figura 3.20 Resultado al aplicarse el filtro final

La región obtenida es la porción de imagen que contiene a la placa vehicular y cumple con el objetivo principal; en este caso, se obtuvo un solo candidato y por tanto, un solo resultado; sin embargo, en algunos casos se tienen más de un candidato posible al final de toda la etapa de extracción. Este evento se considera como un falso positivo ya que se localiza y se extrae la placa adicionalmente de localizar otras regiones que no pertenecen a lo requerido.

El análisis de todas las imágenes adquiridas y los resultados obtenidos se explicarán en el siguiente capítulo, así como también los problemas que se encontraron en las primeras realizaciones de métodos para la localización de la placa vehicular y en el algoritmo desarrollado.

3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES COMPLETO



CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 PROBLEMAS Y DIFICULTADES

4.1.1 DESARROLLOS INICIALES

A lo largo del desarrollo de la tesis se estableció que el algoritmo de localización debe ser lo suficientemente robusto para detectar la placa vehicular en cualquier posición de la imagen; por ello, inicialmente se realizaron pruebas del sistema con el uso de las técnicas investigadas y propuestas por otros autores, los cuales sirvieron de guía para la determinación de una técnica que pueda funcionar para placas peruanas; sin embargo, las primeras técnicas desarrolladas presentaron problemas en sus resultados puesto que no cumplían para diferentes casos de imágenes.

Antes del desarrollo del presente algoritmo se desarrollaron dos técnicas para la localización y extracción de la placa, la primera en base al uso de la información de límites y contornos de la imagen y la segunda en base al uso de la información global de la imagen mediante operaciones morfológicas. A continuación se explicara el proceso de cada una de los métodos propuestos inicialmente para el desarrollo de la localización de la placa del vehículo.

a) Localización en base a las proyecciones Verticales y Horizontales

Este método consiste en hallar los 4 puntos de cruce de los picos máximos en el histograma de las proyecciones verticales y horizontales, estos puntos representan las esquinas de la placa vehicular, se muestra el diagrama de bloques de la primera técnica propuesta y desarrollado. (Ver Figura 4.1)

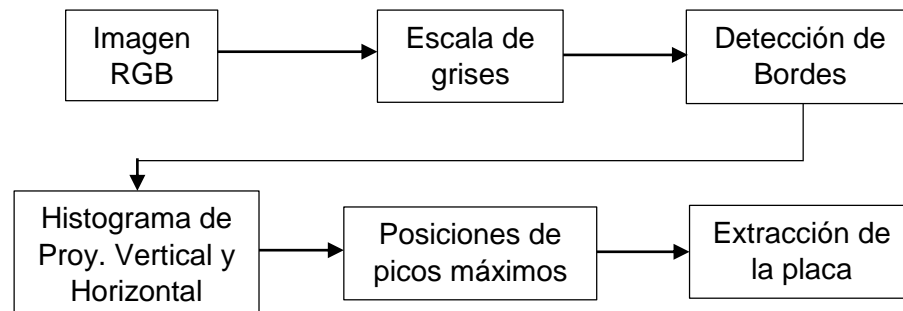


Figura 4.1 Proceso del primer método desarrollado

La imagen adquirida a color (RGB) es transformada en una imagen en escala de grises con un valor de umbral constante intermedio (entre 0 y 255). Luego se aplica una técnica de detección de bordes o contornos, que para este caso se usó el operador de Canny [15]. Una vez determinada la imagen binaria con los valores de los bordes en 255 (Blanco), se suman todos los valores de las columnas que tenga la matriz de la imagen para graficar el histograma de las proyecciones verticales. Para el cálculo de las proyecciones verticales se halla el histograma con la suma de todos los valores de las filas de la imagen, se determinan las posiciones donde hay mayor valor numérico de información para cada histograma (2 picos máximos cada uno). Finalmente, el cruce de las posiciones halladas representan las esquinas de la región de interés el cual es considerado la placa del vehículo.

Los errores encontrados en esta propuesta de solución son múltiples, principalmente, el error común es considerar que la imagen está correctamente centrada y alineada respecto a la línea horizontal; por tanto, una pequeña variación en la inclinación determinaría falsos picos máximos en el cálculo del histograma, lo que en las pruebas realizadas con la base de datos obtenida, representan la mayor tasa de error para este tipo de sistema.

Otros errores se debieron a que algunas regiones de la imagen pueden tener mucha información en píxeles, como por ejemplo, la información de los faros del vehículo y la información del fondo de la imagen lo que resulta también en la obtención de picos falsos.

b) Localización basado en la Morfología de la imagen

Debido a los múltiples errores que presentaba la propuesta anterior, se procedió a desarrollarse una segunda técnica de localización que consiste en encontrar la figura rectangular de la placa y realizar su extracción. La figura 4.2 muestra el diagrama de bloques de este algoritmo desarrollado.

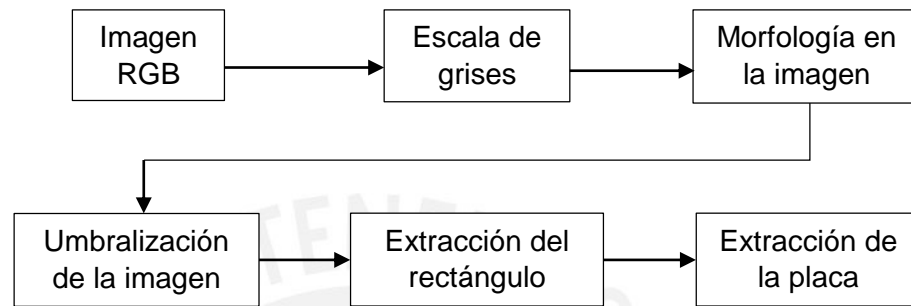


Figura 4.2 Proceso del segundo método desarrollado

La imagen adquirida a color (RGB) es transformada en una imagen en escala de grises con un valor de umbral constante intermedio (entre 0 y 255), se aplican operaciones morfológicas en la imagen en tono de grises [18]. En este caso, como se requiere hallar figuras rectangulares, se aplica el cierre de la imagen lo que consiste en dilatar los valores con tonalidad más alta y luego erosionar la imagen, con el fin de eliminar los caracteres presentes en el fondo claro de la placa. Una vez se tenga la nueva imagen se procede a umbralizar la imagen con un valor constante de umbral en dos tonos 0 y 255, se extraen las propiedades de cada objeto cerrado presente en la imagen y luego el sistema busca figuras que cumplan con la forma rectangular de la placa para realizar por último, la extracción de la región de interés.

Los errores encontrados en esta propuesta de solución se debieron principalmente a que este tipo de técnica funciona únicamente con vehículos de color oscuro y con placas blancas. En el caso que la imagen presente un vehículo de color claro con placas blancas que representan a la mayoría de las matrículas, no se puede detectar ninguna forma rectangular que sea la región de interés.

4.1.2 PROBLEMAS EN EL ALGORITMO DESARROLLADO

En vista a los resultados obtenidos de los métodos anteriores, el algoritmo desarrollado en el capítulo 3 mejora ampliamente la tasa de efectividad para distintos tipos de imágenes con vehículos de diferente color y en placa; sin embargo, el método empleado a pesar de que se requiere que sea robusto no es efectivo al 100%, esto debido a que en el momento de la adquisición de las imágenes algunos vehículos se encontraban bajo sombra, lo cual afecta en la detección del valor umbral de interés.

Por otro lado, existen placas que presentan un marco protector de color negro, este marco facilita la detección del algoritmo, ya que separa la región del fondo de la placa con el resto de la imagen; sin embargo, también hay placas que no tienen el marco, esto ocasiona que la región de interés se una con otros objetos y por lo tanto termine en un falso o ningún resultado.

La figura 4.3 muestra un ejemplo de resultado erróneo debido a la sombra que se presenta en la placa vehicular.

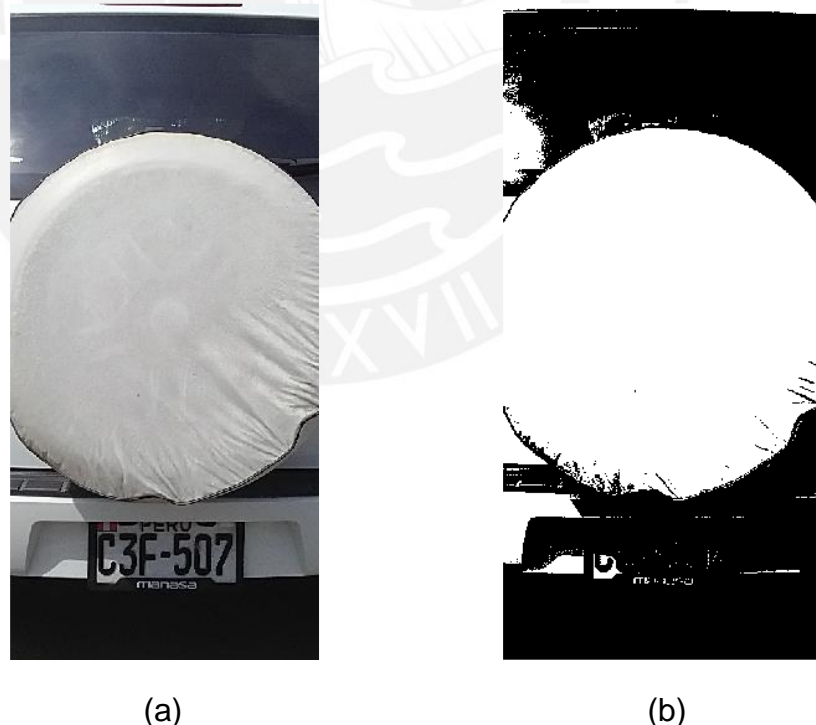


Figura 4.3 (a) Porción de la imagen original (Placa bajo sombra)
(b) Porción de la imagen umbralizada (No hay placa a extraer)

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS

4.2.1 EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE PROCESAMIENTO

El desarrollo de este trabajo de tesis se realizó mediante el uso de MATLAB R2013a [27], que es una herramienta de software especializado en procesamiento de imágenes, de presentan los resultados de la implementación del algoritmo sobre las 170 imágenes adquiridas de resoluciones aproximadamente de 1280 x 720 pixeles en una computadora personal estándar en el mercado. Las características del computador personal donde se hicieron las pruebas del algoritmo está basado en un procesador Intel Core i7 – 4702MQ de 2.2Ghz, 12 GB de memoria RAM, en un sistema operativo Windows 8.1 Pro de 64 bits.

A continuación se muestra una tabla donde se indican las estadísticas del tiempo de procesamiento del algoritmo desarrollado y se comparan con las primeras técnicas realizadas inicialmente en el proceso de la investigación.

Método desarrollado	Primero	Segundo	Final
Tiempo mínimo (s)	1.145	1.925	7.976
Tiempo máximo (s)	1.501	2.331	14.123
Tiempo promedio (s)	1.338	2.025	10.717

Tabla 4.1 Resultados computacionales de los tiempos de procesamiento de cada uno de los algoritmos desarrollados

Se concluye que a pesar que el tiempo promedio de procesado del método final desarrollado es mayor a las otras técnicas, el algoritmo es más complejo y sofisticado debido a los múltiples análisis que debe realizar en cada una de las etapas. Por ello, esta técnica garantiza la robustez del algoritmo lo que es fundamental para cumplir con el objetivo planteado.

4.2.2 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA

La eficiencia del algoritmo mide el número de éxitos en la localización de la placa vehicular en cada una de las imágenes de la base de datos, se hicieron pruebas en 170 imágenes capturadas con condiciones variables de luminosidad y punto de vista (ver Características de la imagen adquirida, Capítulo 3 y ANEXOS).

Se presenta un cuadro con la comparación de los resultados obtenidos de las tres propuestas de solución.

	Algoritmos desarrollados	Tasa de éxito (%)	Tasa de Falsos Positivos (%)
1	Proy. Verticales y Horizontales	30.11	25.41
2	Morfología en la imagen	50.01	40.22
3	Umbralización Variable	91.76	17.06

Tabla 4.2 Cuadro comparativo de la eficiencia de éxito de cada método realizado

Se aprecia que la mayor tasa de éxito en la localización consiste en el algoritmo desarrollado en base a la Umbralización variable, en cada caso se obtuvieron falsos positivos a la salida, los cuales son regiones de la imagen que cumplieron las propiedades que tiene la placa vehicular.

Debido a los problemas antes mencionados, el 9% del total de las pruebas resultaron erróneas; sin embargo, resulta una tasa de error bajo si se mide a gran escala de datos. Unos de los objetivos de la tesis es que el algoritmo para la localización de la placa debe tener una eficiencia de éxito alta según el total de las imágenes; por tanto, este método desarrollado consigue alcanzar el requerimiento establecido mediante el presente trabajo.

CONCLUSIONES

En vista a los resultados mencionados, se infiere que es factible la implementación de un sistema de reconocimiento de placas vehiculares con mayor versatilidad con el uso de las técnicas empleadas para la etapa de localización.

Se concluye que la efectividad del método desarrollado dependió básicamente de las condiciones que se adquirió la imagen; es decir, el estado de la placa y la calidad de la imagen, esto influye en la detección de las características para la extracción de la región de interés, así como el incremento del tiempo de procesamiento debido a la cantidad de puntos por analizar, según lo indicado en el desarrollo del trabajo.

Respecto a la tasa de falsos positivos que arrojan los resultados, se concluye que se pueden mejorar implementándose una nueva condición, para obtener un resultado único que la región de interés. Esta puede ser mediante la verificación de la existencia de caracteres en los candidatos finales por medio de segmentación de las figuras correspondientes a las letras y a los números dentro de cada región, de esta manera otros candidatos serían eliminados quedando la placa vehicular para su respectiva extracción.

La motivación en la realización es principalmente, superar el obstáculo más importante ante los problemas en los sistemas de reconocimientos de caracteres, que es la etapa de localización. Esta etapa es clave para las demás; por ello, ante los resultados obtenidos y las dificultades que se presentan se concluye que el algoritmo desarrollado para la localización y la extracción de la región de la placa vehicular, tiene un funcionamiento robusto y óptimo.

RECOMENDACIONES

Se plantean algunas recomendaciones para la extensión de los objetivos trazados en este trabajo de tesis.

- Realizar el algoritmo en un entorno de software diferente para comparar los tiempos de procesamiento y concluir cual es la mejor alternativa para la implementación en sistemas de reconocimiento de placas.
- Trabajar la etapa de umbralización en un espacio de colores distinto, como Lab, HSV o YCbCr, los cuales arrojan otros resultados para el análisis del color del vehículo respecto de la placa.
- El algoritmo puede mejorarse mediante el análisis de varias imágenes del mismo vehículo, analizar varias imágenes del mismo vehículo por separado y obtener un resultado promedio con el uso del método desarrollado o con otros métodos investigados. Esto puede aplicarse en vehículos que se encuentran en movimiento.
- Implementar una etapa de pre-selección de la imagen de entrada, considerando el color, con el objetivo de mejorar el trabajo de la etapa de umbralización y disminuir el tiempo de procesamiento.
- Se puede recortar la imagen y analizar solo la región donde se encuentre con mayor probabilidad la placa vehicular, con el fin de aumentar la velocidad de procesamiento y eliminar el ruido a causa de la información del fondo de la imagen; sin embargo, no se puede generalizar para todos los casos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] INEI. Instituto Nacional de Estadística e informática. Online. Available: <http://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/economia-peruana-crece-por-15-anos-consecutivos-7441/>
- [2] Policía Nacional del Perú. “División de Robo de Vehículos (DIROVE)”, página donde se muestran las estadísticas de los logros de la Policía Nacional. [Online]. Available: <https://www.pnp.gob.pe/direcciones/dirove/logros.html>
- [3] Shan Du, Mahmoud Ibrahim, Mohamed Shehata and Wael Badawy. “Automatic License Plate Recognition (ALPR): A State of the Art Review”, *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 23, N° 2, February 2013.
- [4] Smart Parking Lot Concept, página que propone un sistema de parqueo inteligente mediante el uso de cámaras digitales. [Online]. Available: <http://artgorbunov.ru/en/projects/parking/>
- [5] LUZDLUNA Software, “VeRECO - Reconocimiento Automático de Placas”, página donde se presenta una propuesta de acceso de vehículos a zonas restringidas. [Online]. Available: <http://www.coreangel.com/placarec/>
- [6] Díaz Rojas, Kristians Edgardo, 2006. Localización y reconocimiento automático del número de la placa de un automóvil. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Electrónica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. [Online]. Available: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1085>
- [7] C.-N. Anagnostopoulos, I. Anagnostopoulos, I. Psoroulas, V. Loumos, and E. Kayafas, “License plate recognition from still images and video sequences: A survey,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 9, no. 3, pp. 377–391, Sep. 2008.
- [8] H. Bai and C. Liu, “A hybrid license plate extraction method based on edge statistics and morphology,” in *Proc. Int. Conf. Pattern Recognit.*, vol. 2. 2004, pp. 831–834.

- [9] L. S. Davis, "A Survey of Edge Detection Techniques," *J. Computer Graphics Image Processing*, vol. 4, pp. 248-270, 1975.
- [10] A. M. Al-Ghaili, S. Mashohor, A. Ismail, and A. R. Ramli, "A new vertical edge detection algorithm and its application," in *Proc. Int. Conf. Comput. Eng. Syst.*, 2008, pp. 204–209.
- [11] D. Bradley and G. Roth, "Adaptive thresholding using the integral image," *J. Graphics Tools*, vol. 12, pp. 13–21, 2007.
- [12] V. Kamat and S. Ganesan, "An efficient implementation of the Hough transform for detecting vehicle license plates using DSPs," in *Proc. Real-Time Tech. Applicat. Symp.*, 1995, pp. 58–59.
- [13] OpenCV. "Hough Line Transform", página con la teoría básica de la formación de líneas usando la transformada de Hough. [Online]. Available: http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough_lines/hough_lines.html.
- [14] T. D. Duan, D. A. Duc, and T. L. H. Du, "Combining Hough transform and contour algorithm for detecting vehicles' license-plates," in *Proc. Int. Symp. Intell. Multimedia Video Speech Process*, 2004, pp. 747–750.
- [15] C. R. Jung and R. Schramm, "Rectangle detection based on a windowed Hough transform," in *Proc. 17th SIBGRAPI*, 2004, pp. 113–120.
- [16] OpenCV. "Canny Edge Detector", página con la teoría básica de la detección de bordes usando el operador Canny. [Online]. Available: http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/canny_detector/canny_detector.html
- [17] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd ed. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2001.
- [18] P. Comelli, P. Ferragina, M. N. Granieri, and F. Stabile, "Optical recognition of motor vehicle license plates," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 44, no. 4, pp. 790–799, Nov. 1995.

- [19] F. Faradji, A. H. Rezaie, and M. Ziaratban, "A morphological-based license plate location," in *Proc. IEEE Int. Conf. Image Process.*, vol. 1. Sep.–Oct. 2007, pp. 57–60.
- [20] R. Zunino and S. Rovetta, "Vector quantization for license plate location and image coding," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 47, no. 1, pp. 159–167, Feb. 2000.
- [21] R. M. Gray, "Vector Quantization," *IEEE ASSP Mag.*, vol. 1, pp. 4–29, Apr. 1984.
- [22] K. Deb, H.-U. Chae, and K.-H. Jo, "Vehicle license plate detection method based on sliding concentric windows and histogram," *J. Comput.*, vol. 4, no. 8, pp. 771–777, 2009.
- [23] C.-T. Hsieh, Y.-S. Juan, and K.-M. Hung, "Multiple license plate detection for complex background," in *Proc. Int Conf. AINA*, 2005, vol. 2, pp. 389–392.
- [24] R. Haralick and L. Shapiro. *Computer and Robot Vision, Vol. 1*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992, pp 346 - 351.
- [25] Kanungo T., Nathan Netanyahu, Christine Piatko, Ruth Silverman, Angela Y. Wu. *An efficient k-means clustering algorithm: Analysis and implementation. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24: pp. 881 – 892.
- [26] "The K-means algorithm", presentación donde se explica la teoría básica del algoritmo K-means, su forma matemática y su utilización. [Online]. Available: <http://www.cs.uvm.edu/~xwu/kdd/Slides/Kmeans-ICDM06.pdf>
- [27] MathWorks. MATLAB, Products & Services. Página oficial de la compañía MathWork desarrolladora del entorno de software MATLAB. Online. Available: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>