



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**Facultad de Ingeniería**

Hacia un esquema de localización y reconocimiento  
de matrículas vehiculares

**TESIS**

Para obtener el título de  
**INGENIERO EN COMPUTACIÓN**

P R E S E N T A

RUIZ REYES DAVID RICARDO

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Miguel Moctezuma Flores



## Agradecimientos:

Expreso mi agradecimiento al Dr. Miguel Moctezuma Flores por aceptar ser mi asesor de tesis y por su apoyo en la realización de este trabajo y en los diversos trámites de titulación. A mi amiga Liliana Vázquez por su ayuda en la redacción.

Y a mi familia en especial a mi madre Patricia.

# Índice

<b>Introducción:</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Elección del formato de imágenes</b> .....	<b>3</b>
a. Imagen digital .....	3
b. Formato de imágenes .....	3
<b>2. Pre procesamiento de la imagen</b> .....	<b>8</b>
a. Conversión a escala de grises .....	8
b. Determinación del umbral óptimo .....	9
c. Binarización de la imagen .....	10
<b>3. Relaciones básicas entre píxeles</b> .....	<b>11</b>
a. Vecinos de un píxel .....	11
b. Conectividad entre píxeles .....	11
c. Etiquetado de componentes conexas .....	14
<b>4. Localización de la placa</b> .....	<b>18</b>
a. Patrón a buscar.....	18
i. Determinación de las características del patrón.....	18
a. Discriminar el patrón objetivo de falsos resultados.....	20
i. Reconocimiento geométrico de la placa.....	20
ii. Reconocimiento geométrico de los caracteres de la placa.....	20
iii. Complicaciones en una correcta localización de la placa.....	24
<b>5. Reconocimiento de caracteres</b> .....	<b>29</b>
a. Segmentación de la placa.....	29
i. Ajustes al recorte de la matrícula.....	31
ii. Pasos para delimitar la zona Y.....	32
b. Obtención de segmentos de imágenes con posibles caracteres.....	33
c. Generación de patrones muestra.....	34
a. Coeficiente de correlación lineal de Pearson .....	37
i. Covarianza.....	37
<b>6. Resultados</b> .....	<b>47</b>
a. Uno.....	47
b. Dos .....	50
c. Tres .....	54
d. Cuatro .....	57
e. Cinco.....	60
f. Seis .....	64
g. Siete.....	67
h. Ocho.....	71
i. Nueve.....	74
j. Problemas con las placas .....	76

i)	Placa de Chihuahua .....	76
ii)	Placa de Chiapas.....	77
iii)	Placa de Durango .....	78
iv)	Placa de Oaxaca.....	79
v)	Placa Sinaloa.....	80
vi)	Placa Tlaxcala.....	80
<b>k.</b>	<b>Placas sin problemas .....</b>	<b>82</b>
i)	Placa Aguascalientes.....	82
ii)	Placa Distrito Federal.....	83
iii)	Placa Hidalgo.....	83
iv)	Placa Estado de México .....	84
v)	Placa Puebla.....	85
<b>7.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>86</b>
<b>8.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>88</b>

## Introducción:

Como surge el procesamiento digital de imágenes, surge como la gran mayoría de los avances del ser humano, por la necesidad de resolver algún tipo de problema o darle una mejor solución. Y ¿cuál fue esta necesidad?, esta gran necesidad surge al momento en el que se dispone de los recursos tecnológicos necesarios para la obtención y manipulación de una enorme cantidad de información espacial en forma de matices.

El campo de procesamiento digital de imágenes se deriva en dos campos:

- La mejora de la información pictórica para la interpretación humana
- El procesamiento de los datos para la su interpretación automática por una computadora

Para la primera categoría se tiene el ejemplo del año 1920 cuando se transmitía una imagen desde la ciudad de Nueva York a la ciudad de Londres. Esta es históricamente la primera vez que se usó una técnica de PDI, este método lograba reducir drásticamente el tiempo de envío de una semana (por barco) a tres horas (por cable). El método consistía en codificar la imagen para transmitirla por un cable, al llegar al otro extremo era reproducida gracias a una impresora de telégrafos que tenía diversos tipos de impresión que simulaba un determinado patrón de semitonos. La imagen mostrada a continuación fue transmitida en 1921 utilizando el método anterior. [1]



**Imagen 0-1 Imagen producida en 1921 a partir de una cinta codificada por una impresora de telégrafo.**

Como se puede observar la calidad de la imagen no es la mejor. A finales de ese mismo año aparecieron los sistemas Bartlane que consistía en reproducir la fotografía a través de cintas perforadas en las terminales telegráficas. Este sistema era capaz en un inicio de codificar la imagen en 5 niveles de grises llegando a una codificación de 15 niveles. [1]



Imagen 0-2 Imagen transmitida con el método Bartlane

Al ver esta segunda se puede notar claramente una gran mejoría respecto al procedimiento anterior.

Los ejemplos anteriores fueron diseñados con el único fin de la correcta interpretación humana.

El objetivo del segundo campo se basa en la extracción de información contenida en la imagen para su procesamiento en una computadora, todo esto de forma automática. Y es en este campo donde se desarrolla el siguiente trabajo

El obtener la información correcta de la imagen representa un gran desafío debido a que en la mayoría de los casos la información viene acompañada de una gran cantidad de datos que no son útiles (ruido), existen diversos problemas que pueden utilizar técnicas de PDI, el reconocimiento automático de caracteres, reconocimiento facial, reconocimiento de huellas dactilares, reconocimiento de imágenes satelitales, procesamiento de imágenes médicas, reconocimientos militares

El objetivo de este trabajo será el poder obtener un esquema de localización y reconocimiento de matrículas vehiculares, que se después de programara en el entorno de desarrollo de Matlab.

## 1. Elección del formato de imágenes

### a. Imagen digital

Una imagen digital es una imagen  $f(x, y)$  donde  $x$  e  $y$  representan las coordenadas espaciales y el valor de  $f$  en un punto cualquiera  $(x, y)$  es el nivel de gris de la imagen en dicho punto, estos puntos representan una distribución digital, y a estos puntos se les denominan elementos de la imagen, o píxel, (figura 1.3 ejemplo de una imagen) del inglés *picture element* [2]

		X →			
Y ↓		0	1	1	1
		0	1	0	1
		0	0	1	1
		1	1	1	1

Figura 1.3 Representación de una imagen de 16 píxeles.

### b. Formato de imágenes

#### Formato BMP

Este formato fue creado en forma conjunta entre *Microsoft* e *IBM* (un ejemplo de este formato se puede ver en la figura 1.4). Un archivo de este tipo es un archivo de imagen de gráficos, con píxeles almacenados en tablas que administran los colores. La estructura de un mapa de bits es la siguiente:

1. Encabezado del archivo.
2. Encabezado de información del mapa de bits.
3. Papeleta.
4. Cuerpo de la imagen.

El encabezado del archivo indica la información del archivo, el tamaño y donde comienza la información de la imagen.

El encabezado de información del mapa de bits proporciona información relativa a las dimensiones y los colores.

La paleta contiene información de 4 bytes para las componentes del color: azul (un byte), verde (un byte), rojo (un byte) y un campo reservado (un byte). [3] [4]

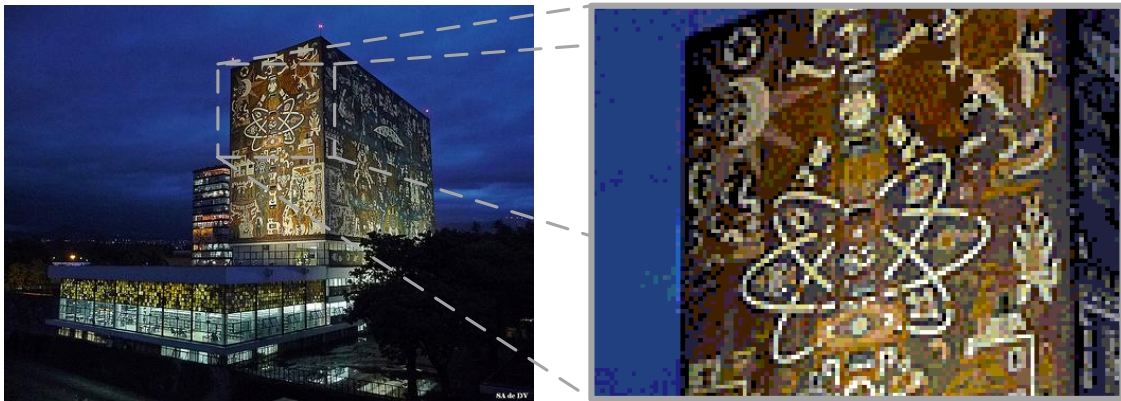


Figura 1.4 Acercamiento a imagen en formato BMP.

### Formato GIF

El formato **GIF** (*Graphic Interchange Format*, Formato de intercambio de gráficos) es un formato de archivos de gráficos de mapa de bits (una trama) desarrollado por *CompuServe* (un ejemplo de este formato es la figura 1.5). Sus usos más comunes en imágenes animadas, como puede ser publicidad en internet tipo “banners”. [5] [4]

Algunas de las características de este formato son:

1. GIF es un formato sin pérdida de calidad.
2. Una imagen puede contener entre 2 y 256 colores.
3. Existen 2 versiones del formato.
  - a. El GIF 87<sup>a</sup>
  - b. El GIF89a

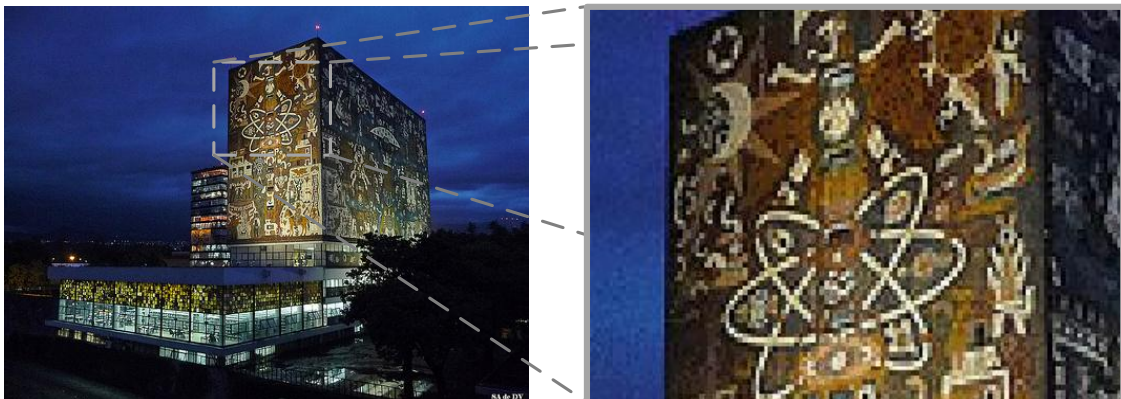


Figura 1.5 Acercamiento a imagen en formato GIF.

### Formato PNG

**PNG** (*Portable Network Graphics*) es un formato gráfico basado en un algoritmo de compresión sin pérdida para bitmaps no sujeto a patentes. Este formato fue desarrollado en buena parte para solventar las deficiencias del formato GIF y permite almacenar imágenes con una mayor profundidad de contraste y otros importantes datos.

El formato PNG permite almacenar imágenes en blanco y negro (una profundidad de color de 16 bits por píxel) y en *color real* (una profundidad de color de 48 bits por píxel), así como también imágenes indexadas, utilizando una paleta de 256 colores. PNG soporta imágenes de 24 bits y permite preservar la transparencia sin asperezas en los bordes (ejemplos de este formato se ve en las figuras 1.6 y 1.7). [4]



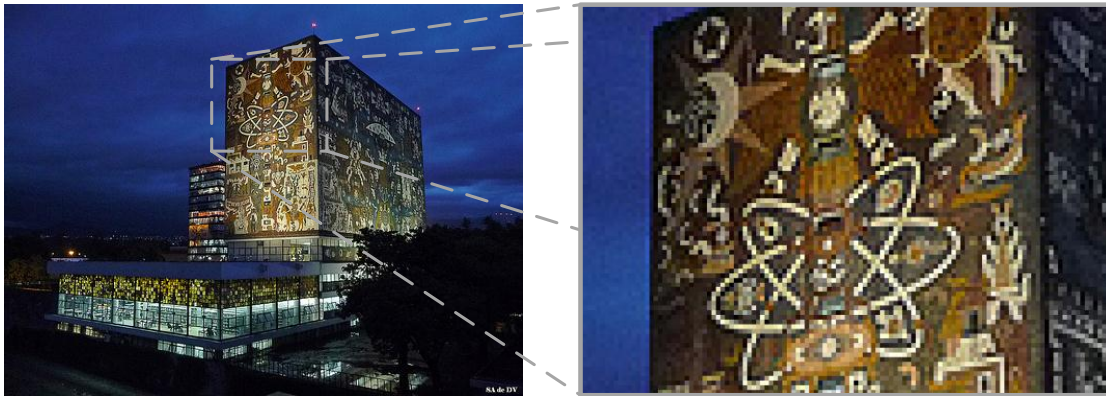


Figura 1.6 Acercamiento a imagen en formato PNG



Figura 1.7 Imagen en formato PNG con transparencias

### Formato JPEG

JPEG (del inglés *Joint Photographic Experts Group*, Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía), es el nombre de un comité de expertos que creó un estándar de compresión y codificación de archivos de imágenes fijas.

Es en esta acción de compresión, donde el formato JPEG juega un papel importante, porque permite graduar el nivel de compresión de cada una de las imágenes de este modo podemos decidir entre una imagen de baja calidad, que implica un menor tamaño en el archivo o una imagen con alta calidad, que representa un mayor peso. [6]

El sistema de compresión que usa JPEG se basa en reducir información promediándola en las zonas de degradado.

Es decir que se calcula el valor de color de algunos píxeles en función del color de los píxeles que les rodean. Por esas características este formato es muy eficiente a la hora de almacenar imágenes que posean muchos degradados y matices de color (ejemplos de este formato se aprecian en las figuras 1.8 y 1.9). [4]



Figura 1.8 Flor con compresión gradualmente [7]



Figura 1.9 Acercamiento a imagen en formato JPG.

Cada formato tiene sus ventajas y desventajas a continuación se presenta una breve comparación entre los formatos más populares: el PNG y el JPEG.

JPEG tiene una relación de compresión enorme en perjuicio de la calidad de la imagen, ideal para imágenes de gran tamaño y fotografías. No admite transparencia.

PNG es un formato sin pérdida de calidad con una excelente compresión, ideal para imágenes formadas por grandes áreas de color plano o con pocas variaciones de color.

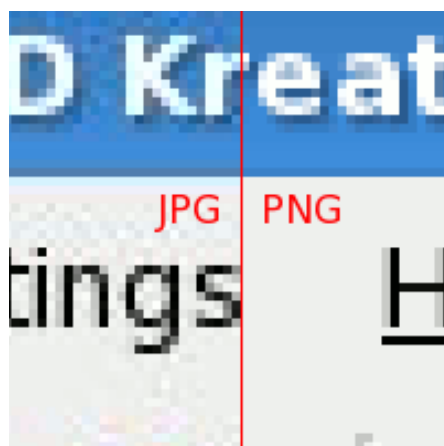


Figura 1.10 Comparación entre JPEG y PNG. [8]

Claro que existen más formatos para imágenes, pero partiremos de que en la actualidad la gran mayoría de las cámaras fotográficas digitales utiliza el formato JPG, así que las imágenes procesadas en este trabajo serán en formato JPG, pero esto no restringe el uso de los demás formatos, como se podrá ver más adelante, pues el programa puede trabajar con los 4 formatos antes vistos.

## 2. Pre procesamiento de la imagen

### a. Conversión a escala de grises

El formato de imagen JPG utiliza el modelo RGB (del inglés *Red, Green, Blue*; “rojo, verde, azul”), el cual define un espacio de color formado por los primarios que forma la luz.

Para indicar con qué proporción mezclamos cada color, se asigna un valor a cada uno de los colores primarios, de manera, por ejemplo, que el valor 0 significa que no interviene en la mezcla y, a medida que ese valor aumenta, se entiende que aporta más intensidad a la mezcla.

Por lo tanto, el rojo se obtiene con (255,0,0), el verde con (0,255,0) y el azul con (0,0,255), obteniendo en cada caso un color resultante monocromático. La ausencia de color, lo que nosotros conocemos como color negro, se obtiene cuando las tres componentes son 0, (0,0,0). [9] [10]

La representación de una imagen a color en Matlab es a través de 3 matrices, una matriz para cada componente del modelo RGB, como su puede apreciar en la figura 2.1.

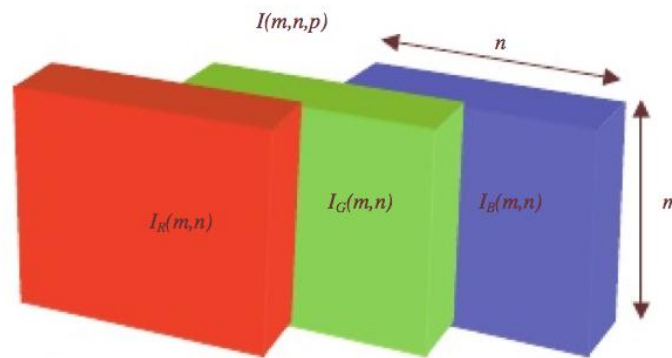


Figura 2.1 Representación gráfica de la forma en que Matlab guarda una imagen en color. [11]

Para obtener una imagen en escala de grises se debe transformar la imagen del modelo RGB al modelo YIQ, este modelo era utilizado por el estándar de televisión NTSC para la radiodifusión de la señal de televisión. Tienen su origen en una recodificación del sistema RGB para responder a una característica de la visión humana, más sensible a los cambios de luminancia que a las modificaciones en matices o saturaciones. La componente Y representa la información de luminancia, I y Q representan la información de crominancia.

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

La matriz de transformación muestra la forma en que se cambia del modelo de color RGB al modelo YIQ. Para obtener nuestra imagen en escala de grises se elimina la

componente I, Q y queda con la componente Y que es la de luminancia. No es de extrañar que la única componente utilizada en los televisores blanco y negro sea la componente Y, de este modo obtenemos una imagen a escala de grises. [12] [13]

Todo este proceso es realizado por la función **rgb2gray** la cual está implementada en Matlab.

### b. Determinación del umbral óptimo

Para encontrar el umbral óptimo se utiliza el método de Otsu [14] [15] el cual se describe a continuación:

Partimos del hecho que una imagen en escala de grises es una función bidimensional de intensidad del nivel de gris la cual está formada por un N número de píxeles, los niveles de gris se encuentran entre 1 y L. Sea:

$$p_i = \frac{f_i}{N}$$

Donde  $p_i$  es la probabilidad de ocurrencia del nivel  $i$  de gris en la imagen.

$f_i$  es el número de píxeles con nivel de gris  $i$ .

En este caso en particular la umbralización que se requiere es de dos niveles, debido a que se pretende obtener una binarización. La umbralización se llevará a cabo en dos clases:  $C_1$  con niveles  $[1, \dots, t]$ ; y  $C_2$  con niveles  $[t+1, \dots, L]$ .

Las clases quedan definidas como:

$$C_1 = \frac{p_1}{w_1(t)}, \dots, \frac{p_t}{w_1(t)}$$

$$C_2 = \frac{p_{t+1}}{w_2(t)}, \frac{p_{t+2}}{w_2(t)}, \dots, \frac{p_L}{w_2(t)}$$

y donde

$$w_1(t) = \sum_{i=1}^t p_i \quad w_2(t) = \sum_{i=t+1}^L p_i$$

y las medias de las clases son:

$$m_1 = \sum_{i=1}^t \frac{i \times p_i}{w_1(t)} \quad m_2 = \sum_{i=t+1}^L \frac{i \times p_i}{w_2(t)}$$

La intensidad media de la totalidad de la imagen es:

$$w_1 \times m_1 + w_2 \times m_2 = m_T$$

Y como se sabe que la suma de las probabilidades siempre es 1 se tiene:

$$w_1 + w_2 = 1$$

El método de Otsu se basa en análisis discriminante, en el cual se define la varianza entre clases de una imagen a umbralizar como:

$$S_B^2 = w_1 \times (m_1 - m_T)^2 + w_2 \times (m_2 - m_T)^2$$

Para la umbralización de la imagen en 0 y 1, el método define como al umbral óptimo  $t_{op}$  al máximo de la varianza entre las clases, esto es:

$$t_{op} = \text{Max}\{S_B^2(t)\} \quad 1 \in t_{op} \in L$$

### c. Binarización de la imagen

Una vez obtenido el umbral óptimo se procederá a la binarización de la imagen, al aplicar el umbral a la imagen en escala de grises, nuestra imagen  $f(x, y)$ , quedará binarizada de la siguiente manera:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 \rightarrow f(x, y) > T \\ 0 \rightarrow f(x, y) \leq T \end{cases}$$

### 3. Relaciones básicas entre píxeles

#### a. Vecinos de un píxel

Sea un píxel “ $p$ ” con coordenadas  $(x, y)$ , los vecinos de dicho son definidos como todos los píxeles que rodean directamente a “ $p$ ”.

Para poder detallar el concepto de vecindad, es necesario definir el concepto de adyacencia entre píxeles (Figura 3.1).

Dos píxeles son adyacentes si, y sólo si, tienen en común una de sus fronteras, o al menos una de sus esquinas. [16]

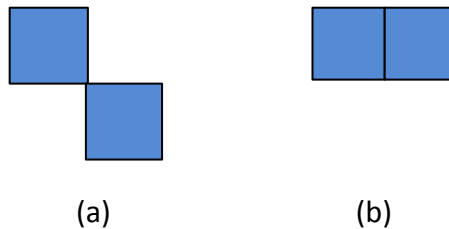


Figura 3.1 Píxeles adyacentes.

Se puede afirmar que dos píxeles son vecinos si cumplen con la definición de adyacencia. Se dice que dos píxeles son vecinos directos si comparten una de sus fronteras; y se dice que son vecinos indirectos si sólo se tocan en una de sus esquinas.

#### b. Conectividad entre píxeles

Sea un píxel “ $p$ ” con coordenadas  $(x, y)$ , dicho píxel tendrá tres tipos de conectividad. [17]

- Horizontal
- Vertical
- Diagonal

El concepto de conectividad es utilizado para implantar límites en regiones de componentes en una imagen. Para determinar la conectividad entre píxeles se debe determinar: [17]

- Si son adyacentes.
- Si el nivel de gris satisface un criterio específico de aproximación.

En este trabajo el nivel de gris se sustituirá por el valor “0” ó “1”, debido a que la búsqueda de estructuras se hará sobre una imagen binarizada.

La conectividad horizontal y vertical es definida por la siguiente relación: [18] Figura 3.2

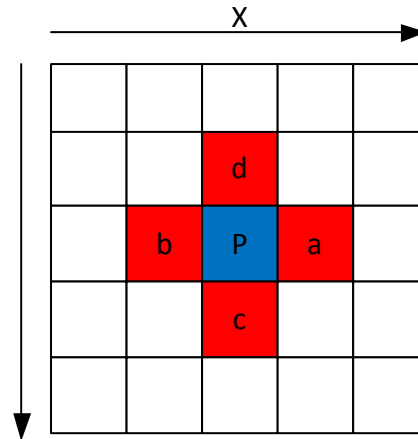


Figura 3.2 Conectividad vertical y horizontal.

$$a = (x+1, y), \quad b = (x-1, y), \quad c = (x, y+1) \quad y \quad d = (x, y-1)$$

Esta conectividad basada en 4 puntos se le denomina  $N_4(p)$

La conectividad diagonal es definida por la siguiente relación. Figura 3.3

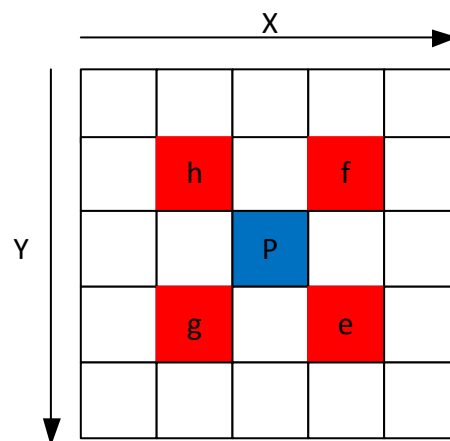


Figura 3.3 Conectividad en diagonal.

$$e = (x+1, y+1), \quad f = (x+1, y-1), \quad g = (x-1, y+1), \quad h = (x-1, y-1)$$

Esta conectividad basada en diagonales se le denomina  $N_D(p)$ , la combinación de  $N_4(p)$  y  $N_D(p)$  da origen a  $N_8(p)$ . Figura 3.4



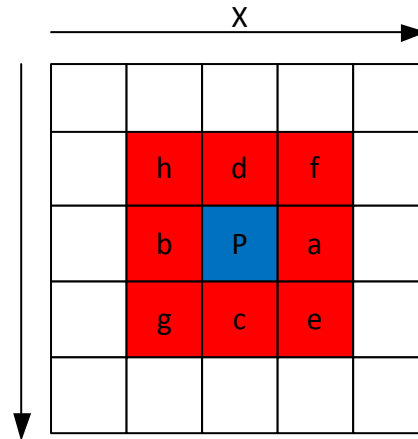


Figura 3.4 Conectividad ocho.

Sea  $U = \{1\}$  el valor para definir la conectividad en una imagen binaria. Se consideran tres tipos de conectividad:

- a) 4-conectividad. Dos píxeles  $p$  y  $q$  con valores dentro de  $U$  están 4-conectados si  $q$  pertenece a  $N_4(p)$ .
- b) 8-conectividad. Dos píxeles  $p$  y  $q$  con valores dentro de  $U$  están 8-conectados si  $q$  pertenece a  $N_8(p)$ .
- c)  $m$ -conectividad. Dos píxeles  $p$  y  $q$  con valores dentro de  $U$  están  $m$ -conectados si
  - i.  $q$  pertenece a  $N_4(p)$ , o bien
  - ii.  $q$  pertenece a  $N_D(p)$  y además el conjunto  $N_4(p) \cap N_4(q)$  es vacío. (este es el conjunto de píxeles que son 4-vecinos de  $p$  y  $q$  cuyos valores están en  $U$ )

La conectividad “ $m$ ” es una modificación de la 8-conectividad, que es una solución para resolver problema de diversos caminos de conexión que se presentan cuando se utiliza la 8-conectividad. Observe la figura 3.5 (a) para  $U = \{1\}$ , los caminos con 8-vecinos del píxel central se pueden ver en líneas discontinuas. En la figura 3.5 (b) se puede ver la ambigüedad de los posibles caminos que es el resultado de la utilización de 8-conectividad. En la figura 3.5 (c) se ve como la ambigüedad se ha eliminada, esto es debido a la utilización de  $m$ -conectividad. [17]

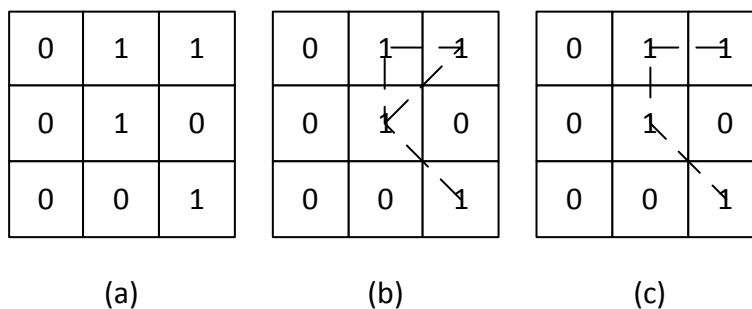


Figura 3.5 Ambigüedad en caminos de conectividad.

### c. Etiquetado de componentes conexas

En la siguiente sección se describirá la forma de etiquetar las diferentes estructuras encontradas con el procedimiento descrito anteriormente. Sea una imagen  $S$ , la cual se recorrerá píxel a píxel en orden de izquierda a derecha y de arriba abajo. El recorrido será por columna, al terminar de recorrer la columna de arriba hacia abajo se pasará a la siguiente columna que se encuentre a la derecha. Sea “ $p$ ” el píxel en cada paso del proceso y sean  $r$  y  $t$  los vecinos superior e izquierdo de  $p$  respectivamente. La forma del recorrido de la imagen asegura que cuando se analice  $p$ , los puntos  $r$  y  $t$  ya han sido recorridos y etiquetados. En la figura 3.6 se ilustra el procedimiento mencionado. [17] [19]

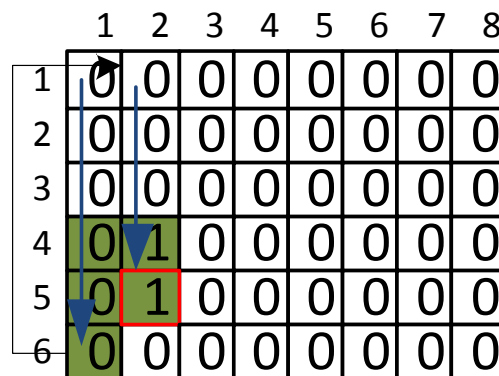


Figura 3.6 Recorrido para el etiquetado de estructuras.

Con los conceptos anteriores se seguirán los siguientes pasos:

- Si el valor de  $p$  es 0, simplemente se continúa hasta la siguiente posición.
- Si el valor de  $p$  es 1, se examinará  $r$  y  $t$ , si ambos son 0, se asignará una nueva etiqueta a  $p$ .
- Si sólo uno de los dos vecinos es igual a 1, se asignará su etiqueta a  $p$ .
- Si ambos son 1 y tienen la misma etiqueta, se asignará esta etiqueta a  $p$ .
- Si ambos son 1 y tienen etiquetas diferentes, se asignará una de las dos etiquetas y una nota de que ambas etiquetas son equivalentes (es decir, los puntos  $r$  y  $t$  están conectados a través de  $p$ ).
- Al término del proceso, todos los puntos con valor a 1 han sido etiquetados, aunque algunas de las etiquetas sean equivalentes.
- Lo último es etiquetar las diferentes clases, así como asignar la misma etiqueta a clases equivalentes.

A continuación se ilustran los pasos:

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.7 Representación de una imagen binarizada

Se parte de una imagen binarizada como se muestra en la figura 3.7

Imagen	Etiquetas						
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.8 Recorrido de imagen binarizada y generación de la matriz de etiquetas.

Para el píxel resaltado en rojo de la imagen se le asigna la etiqueta 1 en la matriz etiquetas, esto debido a que es el primer píxel en ser encontrado con valor de 1

Imagen	Etiquetas						
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.9 10 Recorrido de imagen binarizada y generación de la matriz de etiquetas.

En la figura 3.9 al píxel resaltado en rojo se le asigna la etiqueta 1, debido a que uno de sus cuatro vecinos ya procesados es 1 y ya fue etiquetado.

Imagen								Etiquetas							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.11 12 Recorrido de imagen binarizada y generación de la matriz de etiquetas.

En la figura 3.10 el píxel resaltado en rojo se le asigna la etiqueta 2, debido a que sus cuatro vecinos ya procesados son cero.

Imagen								Etiquetas							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.13 14 Recorrido de imagen binarizada y generación de la matriz de etiquetas.

En la figura 3.11 el píxel resaltado en rojo tiene dos vecinos con valor 1, los cuales tienen etiquetas diferentes (el píxel resaltado en amarillo tiene etiqueta 2 y el píxel resaltado en azul tiene etiqueta 1), así que se asigna una de las dos etiquetas de forma arbitraria, en este caso se seleccionará la etiqueta del píxel resaltado en azul y se registra el hecho de que  $eti1 = eti2$ , que en realidad se refieren a la misma estructura. [19]

El escenario anterior ocurre nuevamente en la fila 4, columna 8, como se ve en la figura 3.12.

Imagen								Etiquetas							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	3	3
0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	3
0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	4	4	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.15 16 Recorrido de imagen binarizada y generación de la matriz de etiquetas.

En la figura 3.12 el píxel resaltado en rojo tiene tres vecinos, los cuales tienen etiquetas diferentes (los píxeles resaltados en amarillo tiene etiqueta 3 y el píxel resaltado en azul tiene etiqueta 4), así que se asigna una de forma arbitraria alguna de las dos etiquetas, en este caso se seleccionará la etiqueta los píxeles resaltados en amarillo y se registra el hecho de que  $eti3 = eti4$ , que en realidad se refieren a la misma estructura.

Después de este paso se tiene la matriz de la figura 3.13

### Etiquetas

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	2	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	3	3	3	0
0	1	1	1	0	0	0	3	0
0	1	0	0	0	4	4	3	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.17 Matriz de etiquetas.

Y la tabla de equivalencias

**Eti1=Eti2**

**Eti3=Eti4**

Con la tabla se puede determinar cuáles de los subgrupos de las etiquetas, que en realidad se refieren a la misma estructura, Y así nos queda la matriz de la figura 3.14.

### Etiquetas

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	2	2	2	0
0	1	1	1	0	0	0	2	0
0	1	0	0	0	2	2	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.18 Matriz de etiquetas finales.

#### 4. Localización de la placa.

Para el siguiente capítulo se partirá de 2 suposiciones:

- La imagen con la que se trabaja contiene una matrícula vehicular.
- Dicha matrícula deberá cumplir con los estándares de tamaño descritos en la **Norma oficial mexicana NOM-001-SCT-2-200**. [20]

##### a. Patrón a buscar

El patrón a buscar será la forma geométrica en forma de rectángulo de la placa, para ser más exacto, será la relación que existe entre los lados del rectángulo.

A continuación en la Figura 4.1 se muestra la forma física del patrón a buscar.



Figura 4.1 Placa[20]

##### i. Determinación de las características del patrón

Las características físicas [20] que la matrícula vehicular deben cumplir con las siguientes dimensiones:

Largo	300 mm
Ancho	150 mm

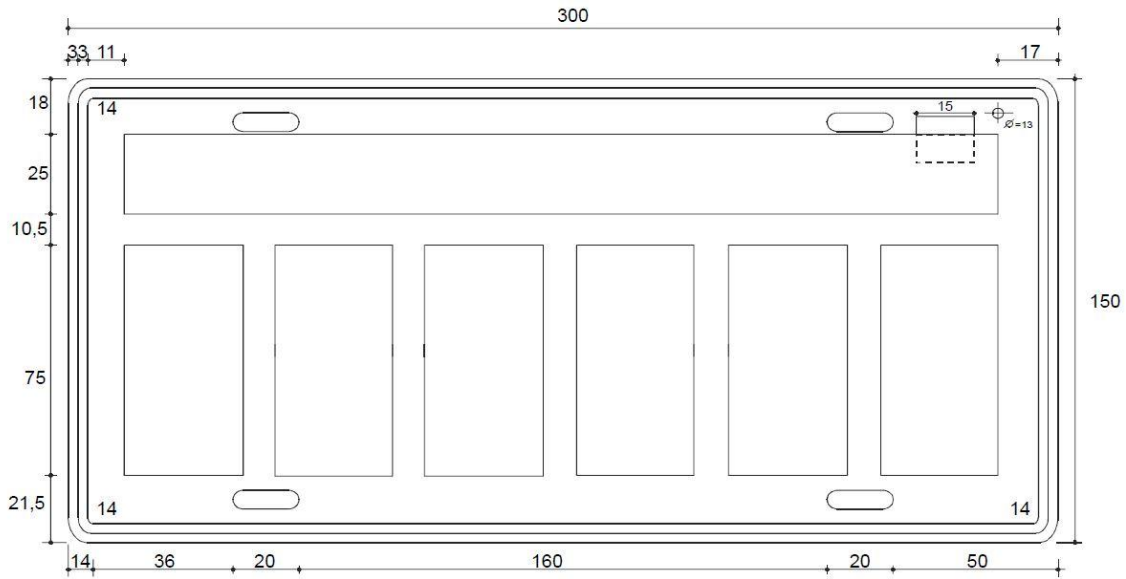


Figura 4.2 Placa medidas. [20]

La característica más importante será la relación entre su largo y su ancho, llamaremos a esta relación  $R_p = \frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}}$ , que en este caso sería  $R_p = \frac{30}{15} = 2$ , ésta será la relación a buscar. Esta relación nos permitirá localizar el patrón correspondiente sin la limitante de profundidad en la imagen, es decir, este esquema no estará limitado por el hecho de que la matrícula se deba encontrar en el centro de la imagen, o que tenga que estar a determinada distancia de la cámara.

Ahora  $R_p = 2$  está calculado para un caso idóneo donde después de someter a la imagen a diversos procesos digitales (banarización, filtro detector de bordes, operadores morfológicos) se conservará intacta la estructura de la placa, en la práctica esta relación tiene variantes, debido a diversas circunstancias.

- Iluminación de la imagen.
- Calidad de la imagen.
- Inclinación leve de la imagen.
- Posible desenfoque de la matrícula.

Debido a todo esto la relación casi nunca es 2, por tal caso se aceptará como un posible patrón positivo a  $1.9 \leq R_p \leq 2.6$ , este intervalo se obtuvo después de evaluar 50 fotografías en distintas condiciones:

- La matrícula ocupa menos del 10% de la imagen.
- La matrícula no se encuentra en el centro.
- La matrícula ocupa más del 90% de la imagen.
- La matrícula tiene un ángulo de hasta  $10^\circ$  respecto a la horizontal.
- La imagen es tomada hasta con  $10^\circ$  respecto al automóvil.

### a. Discriminar el patrón objetivo de falsos resultados

Este apartado es uno de los más importantes y es crucial para que el resultado obtenido sea realmente el resultado deseado.

#### i. Reconocimiento geométrico de la placa

¿Como se podría dar un falso resultado?, pues debido a que la imagen sobre la cual se busca  $R_p$  es una imagen ya binaria, con dicha imagen se procederá a determinar la conexión entre píxeles para generar estructuras. Dichas estructuras serán de lo más variado posible, incluso podrían presentarse estructuras que entren en el rango de  $1.9 \leq R_p \leq 2.6$ , lo cual no implica que dicha estructura sea la matrícula vehicular, por lo cual es de suma importancia encontrar un factor discriminante que nos permita encontrar al patrón deseado.

Un primer factor discriminante será el área, esto es debido a la existencia de estructuras que cumplan con la relación  $1.9 \leq R_p \leq 2.6$ , pero su área es muy pequeña para contener caracteres, se determinó a partir de diversas imágenes que el área mínima en promedio para que una estructura pueda ser considerada como una posible imagen es de aproximadamente 1300 píxeles, a esto se le llamará  $R_a$ .

Lo anterior supone un límite inferior pero no un límite superior puesto a que la placa podría ocupar más del 90% de la imagen, por lo cual necesitamos otro factor discriminante.

#### ii. Reconocimiento geométrico de los caracteres de la placa

Para encontrar dicho factor discriminante tomaremos en cuenta otras características de la placa, en este caso serán los caracteres alfanuméricos.

De nueva cuenta se tomará la relación que existe entre el largo y el ancho pero en este caso será del carácter, a esta relación le llamaremos  $R_n = \frac{\text{alto}}{\text{ancho}}$ , en esta caso habrá dos  $R_n$  una para las letras y otra para los números, como se puede ver en la figura 4.3 las letras son 5 milímetros más altas que los números pero para casos prácticos los tomaremos como uno sólo.



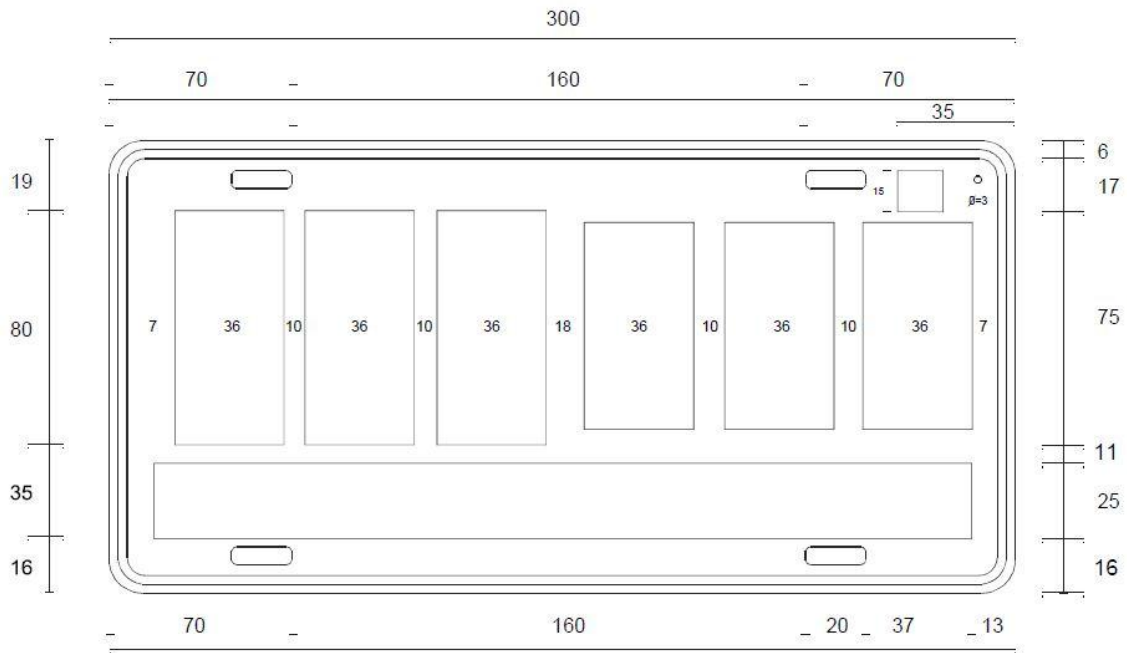


Figura 4.3 Placa medidas números.[20]

Así que  $R_n = \frac{80}{36} = 2.22$ , pero esto es para un caso idóneo, por lo cual se volverá a tomar un intervalo de  $2 \leq R_n \leq 2.6$ .

A continuación se mostrarán una secuencia de imágenes de cómo operan estos factores discriminantes:



Imagen 4-1 Estructuras identificadas.

En la imagen 4-1 se puede apreciar todos los píxeles conectados entre sí, que forman estructuras las cuales están encerradas en rectángulos de color rojo.



Imagen 4-2 Posible placa encerrada en un rectángulo verde.

En la Imagen 4-2 se puede observar la existencia de rectángulos de color verde estos rectángulos son el resultado de haber aplicado el discriminante de la relación  $R_p$ , como se puede apreciar existen más de una estructura que cumple con dicha relación.



Imagen 4-3 Rectángulo azul con posible placa.

En la imagen 4-3 se observa la existencia de una estructura encerrada en color azul esto es el resultado de aplicar el factor discriminante de área, pero aunque este discriminante nos arrojó un sólo resultado, esto no implica que esta estructura contenga una placa.

Lo siguiente que se realiza es recortar todas las estructuras marcadas por un contorno azul, para después utilizar el factor discriminante de  $R_n$  para determinar si existen estructuras que cumplan con dicha restricción después de haber cumplido con la restricción de  $R_p$



Imagen 4-4 Estructuras de números.

Después del recorte se etiquetan todas las estructuras que hay en nuestro recorte de imagen, este paso se puede apreciar en la imagen 4-4



Imagen 4-5 rectángulos azules con caracteres alfanuméricos.

En la imagen 4-5 se puede ver el resultado de haber aplicado el discriminante  $R_n$ .

### iii. Complicaciones en una correcta localización de la placa

Existen diversas causas que hacen que la localización de la placa utilizando este procedimiento se realice erróneamente, algunas causas pueden ser:

- Un desenfoque de la imagen.
- Que la placa se encuentre parcial o totalmente oculta.
- Que los caracteres de la placa midan menos de 16 por 8 píxeles.
- Que la imagen se haya tomado a contraluz y la placa este en el área de sombra.
- Que la imagen tenga un ángulo de más de  $15^\circ$  con respecto al auto.

A continuación se muestran una serie de imágenes ejemplificando los puntos anteriores.

En la imagen 4-6 se observa un claro desenfoque de la imagen, un humano podría determinar dónde se encuentra la matrícula vehicular, pero incluso éste sería incapaz de determinar el número de la matrícula. Se aplicarán los diferentes procesos anteriormente descritos para ver cuál es el resultado.



Imagen 4-6

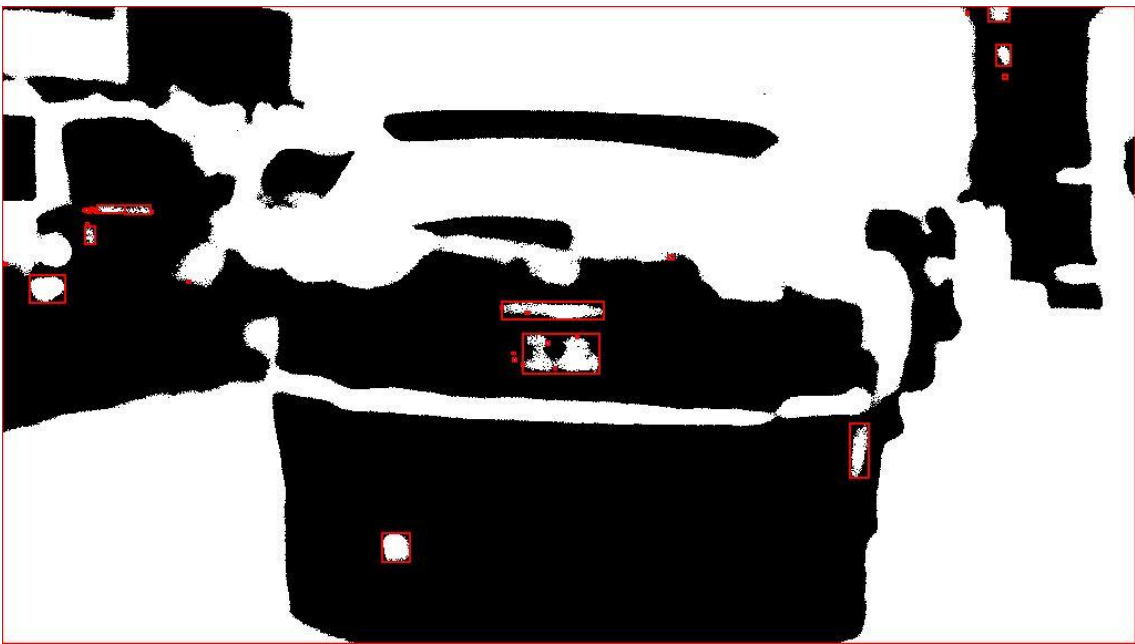


Imagen 4-7 Estructuras identificadas.

En figura 4-7 se puede apreciar que la cantidad de estructuras son relativamente pocas, esto es debido a que la imagen original esta desenfocada lo cual provoca que exista una gran cantidad de píxeles con conectividad.

Al aplicar  $R_p$  selecciona de color verde lo que podría ser la placa, que en este caso en particular sí corresponde a la placa, pero sólo es una coincidencia, lo cual se puede ver en la imagen 4-8

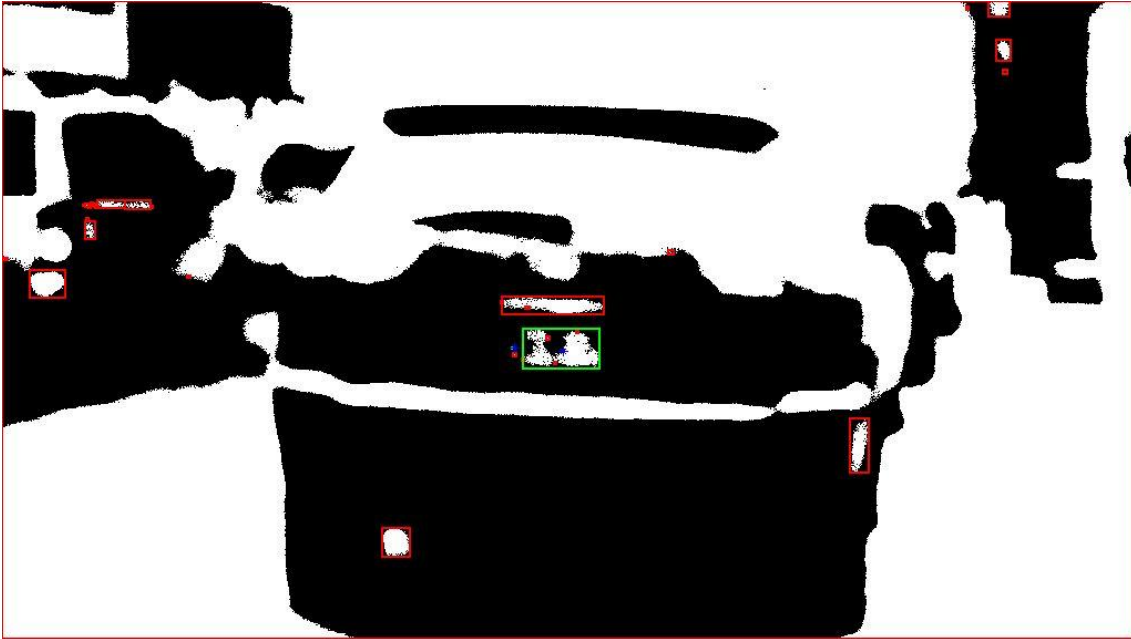


Imagen 4-8 Posible placa encerrada en un rectángulo verde.

Al recortar la sección marcada con verde y etiquetar todas las estructuras (en las cuales deberían estar los caracteres de la placa) observamos lo siguiente:

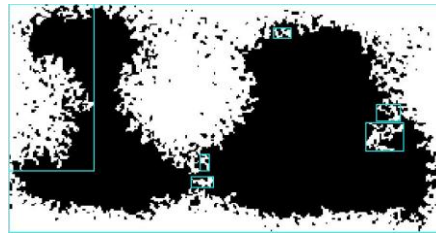


Imagen 4-9 Estructuras son ningún sentido.

Y al aplicar  $R_n$  a la imagen 4-9, con lo cual deberíamos poder determinar los caracteres y así decidir que ese segmento de la imagen es la matrícula, no sucede debido a que en la imagen no se puede apreciar dichos caracteres.

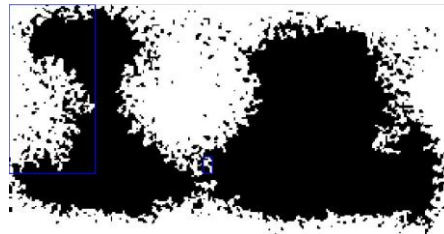


Imagen 4-10 Estructuras son ningún sentido.

Las estructuras marcadas con azul en la figura 4-10 no tienen ningún sentido pues no existe ningún carácter a identificar.

La imagen 4-11 se presenta sin ningún tipo de desenfoque.



Imagen 4-11 Original.



Imagen 4-12 Rectángulos azules con posibles placas.

La imagen 4-12 es el resultado de aplicar el discriminante  $R_p$  y se puede ver claramente como en este caso hay más estructuras y además se puede ver en azul la matrícula vehicular.



Imagen 4-13 rectángulos azules con caracteres alfanuméricos.

La Imagen 4-13 muestra el resultado de la aplicación de  $R_n$ , en este caso las estructuras marcadas con azul ahora sí representan caracteres de la matrícula vehicular, con lo cual podemos concluir que este segmento de imagen es una matrícula vehicular.



## 5. Reconocimiento de caracteres

En este capítulo se realizara el reconocimiento de los caracteres de la placa a través de una comparación con patrones alfanuméricos por medio de la técnica de auto correlación.

### a. Segmentación de la placa

El análisis partirá del hecho de que la placa ya ha sido localizada conforme a los pasos del capítulo 4 de este trabajo, los cuales se ilustran en las imágenes 5-1, 5-2 y 5-3.

En la figura 5-1 se aprecia la localización de las estructuras con píxeles conectados, las cuales se encuentran encerradas por rectángulos rojos.



Imagen 5-1 Estructuras identificadas.

En la figura 5-2 muestra el resultado después de haber aplicado el discriminante  $R_p$ .



Imagen 5-2 Estructuras identificadas después de aplicar  $R_p$ .

En la figura 5-2 es el resultado de aplicar el discriminante  $R_n$



Imagen 5-3 Estructuras identificadas después de aplicar  $R_n$ .

Después de los pasos anteriores se tiene identificada la localización de la matrícula vehicular y se procederá con los pasos siguientes.

- Se recortará la sección de la placa de la imagen original.
- Se realizará el proceso descrito en el capítulo 2
  - a) Conversión a escala de grises
  - b) Determinación del umbral óptimo
  - c) Binarización de la imagen

Los procedimientos anteriores se aplicarán exclusivamente al recorte de la placa, lo cual nos dará un umbral óptimo propio del recorte de la placa, lo que permitirá una mejor Binarización.

Siguiendo con el proceso de la imagen 5-1, el recorte de la matrícula es el mostrado en la imagen 5- 4



Imagen 5-4 Recorte de la placa.

#### i. Ajustes al recorte de la matrícula

Como se puede observar en la imagen 5-4 la matrícula contiene un marco de publicidad que no pertenece a la placa, por lo cual se realizará un procedimiento de ajuste a la matrícula para tratar de dejar este tipo de publicidad fuera del área de interés.



Figura 5.1 Zonas placa.

Se ha dividido la placa en cuatro zonas verticalmente(figura5.1)  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Y$  y  $Z$ , estas zonas se manejarán en porcentajes con el propósito de que sin importar el tamaño de la placa la proporción entre las zonas se mantenga.

Sea  $Z$  el 100% del ancho de la matrícula vehicular.

Sea  $X_1$  el porcentaje del ancho correspondiente al área superior de los caracteres.

Sea  $X_2$  el porcentaje del ancho correspondiente al área inferior de los caracteres.

Sea  $Y$  el porcentaje del ancho correspondiente al área que ocupan los caracteres.

Existe una pequeña variación entre los valores de  $X_1$  y  $X_2$  máximo de 5 píxeles, por lo cual para este trabajo se consideran como una sola variable.

El área de interés es la zona  $Y$ , con las variables descritas anteriormente se pretende al final del procedimiento poder trabajar solo con la zona  $Y$ , asignando porcentajes basados en las dimensiones de largo y ancho de la figura 4.2 se tiene la figura 5.2 en función de porcentajes.

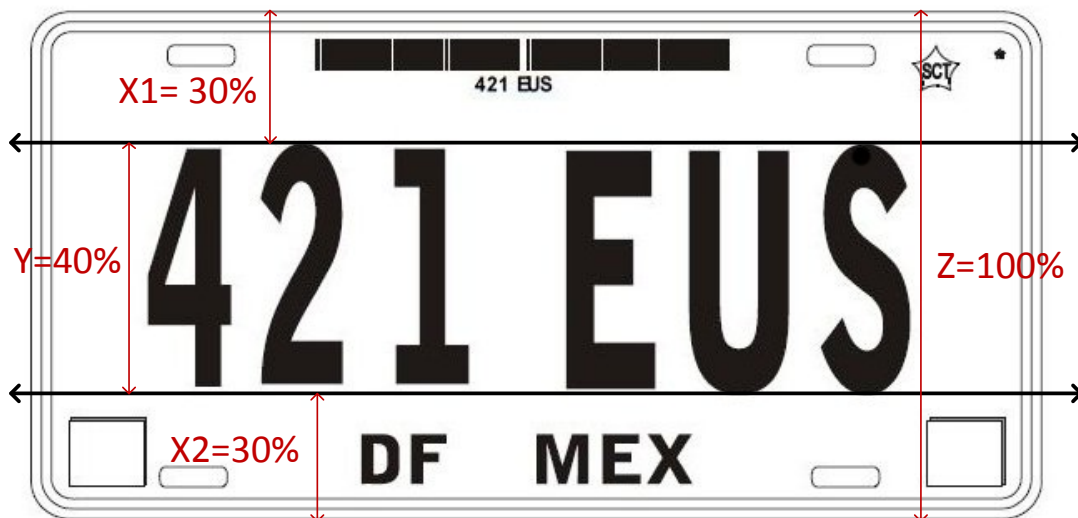


Figura 5.2 Porcentajes placa.

## ii. Pasos para delimitar la zona $Y$

- Se obtendrá el 30% del ancho de la matrícula, con lo cual se tendrá un valor escalar para la variable  $X_1$ .
- Se obtendrá el 40% del ancho de la matrícula, con lo cual se tendrá un valor escalar para la variable  $Y$ .
- Con los valores de  $X_1$  e  $Y$  se tienen dos puntos  $(0, x_1), (0, y)$  nótese que la coordenada  $X$  en ambos puntos es cero, esto es debido al recorte que se realizará será a partir de límites verticales.

Después de ejecutar los pasos anteriores se habrá obtenido el área  $Y$ , como se ve en la figura 5.3



Figura 5.3 Zonas de la placa

En la figura 5.3 el área roja será la zona que se ha de recortar y sobre la cual se trabajará, a este sub segmento de la matrícula lo llamaremos *SM* a partir de este punto, por consiguiente las áreas en azul serán eliminadas al no ser de interés para el procedimiento de caracteres.

#### b. Obtención de segmentos de imágenes con posibles caracteres

En esta sección se trabajara con *SM* y se le aplicará el proceso descrito en el capítulo 2, dicho proceso se puede ver en la imagen 5-5.



Imagen 5-5 SM.

Se puede ver que la imagen 5-5 contiene la sección de números y letras, y además contiene un guion. Al realizar el etiquetado de estructuras como se ve en la Imagen 5-6, se tienen 7 estructuras, tres números, tres letras y un guion.

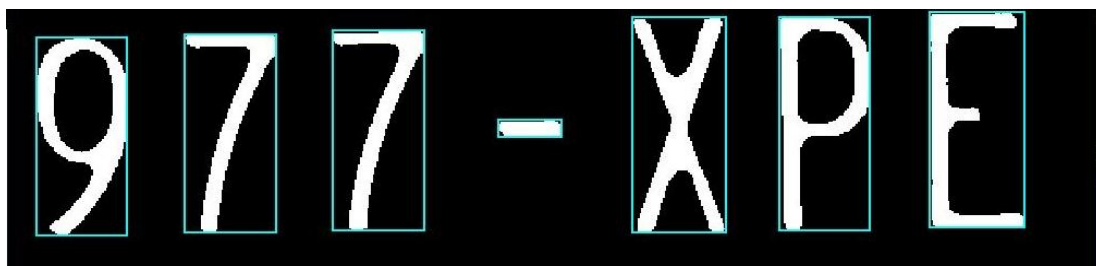


Imagen 5-6 SM con estructuras identificadas.

Para eliminar el guion se puede proceder de dos formas diferentes.

- Utilizar el discriminante  $R_n$  con cada una de las estructuras.
- Discriminar por área, si el área de la estructura ocupa menos del 5% del total de SM se descarta.

Es indistinto cuál de los dos métodos se utilice, en la imagen 5-7 se aprecia que ya sólo quedan 6 estructuras.

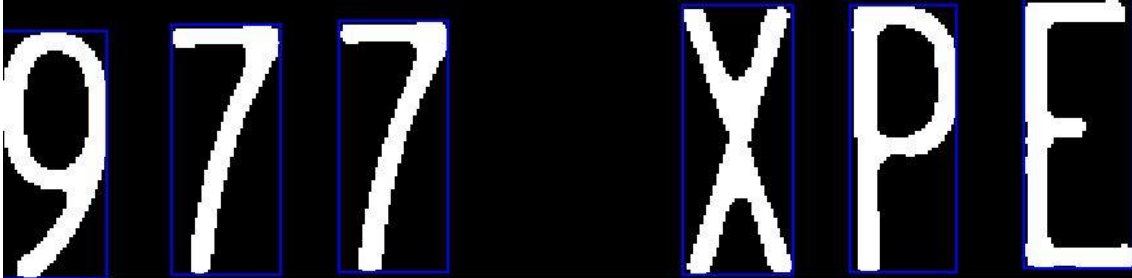


Imagen 5-7 SM después de aplicar  $R_n$

Por último el procedimiento será recortar cada una de las estructuras.

### c. Generación de patrones muestra

Para generar los patrones muestra se tomó como referencia nuevamente la **Norma oficial mexicana NOM-001-SCT-2-200** [20] en su sección de apéndice normativo figura 2b.

Los patrones generados no cumplen estrictamente las características mostradas en la figura 5.4 y 5.5.

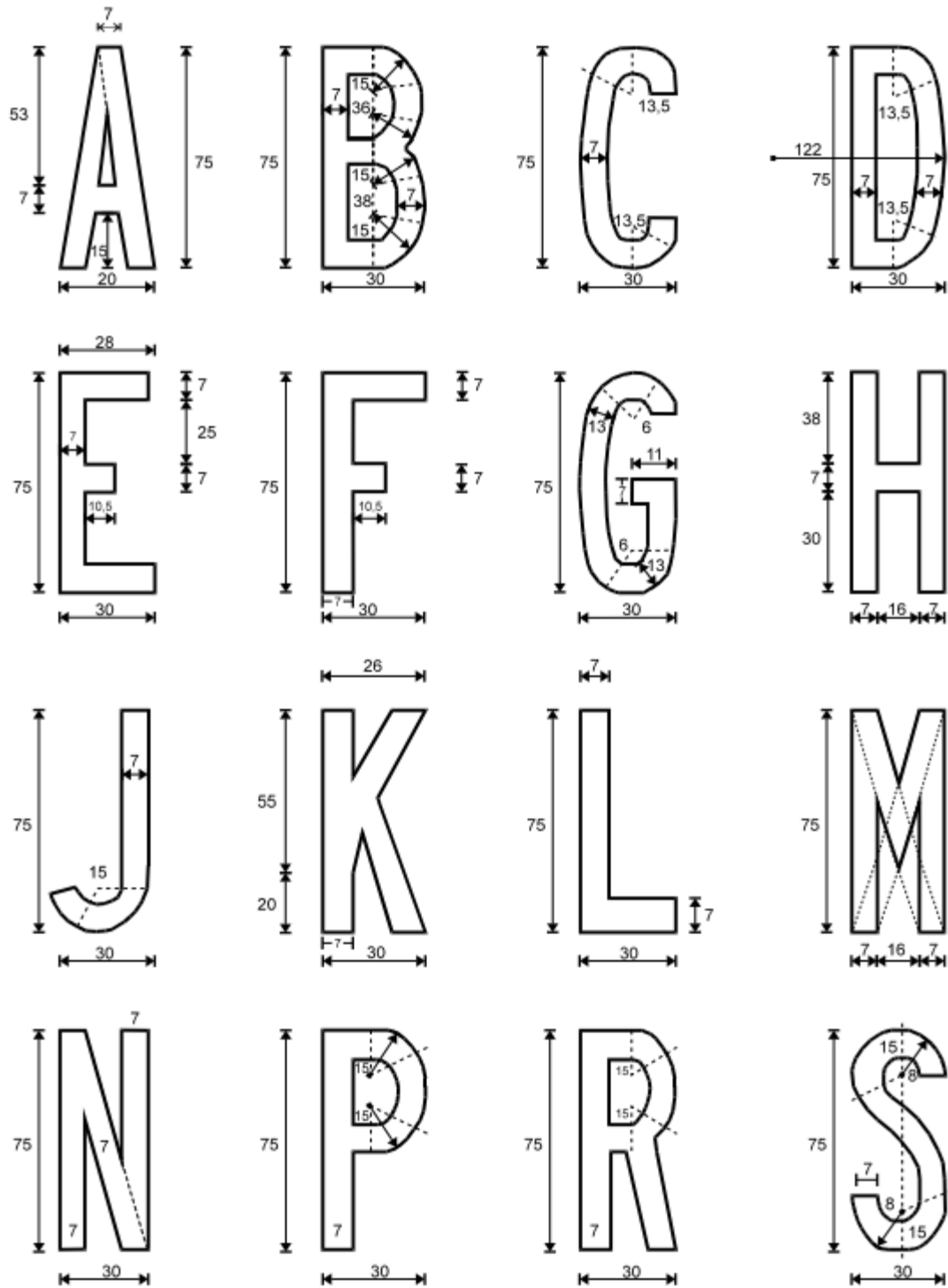


Figura 5.4 Tomada de la Norma oficial mexicana NOM-001-SCT-2-200 en su sección de apéndice normativo figura 2b [20]

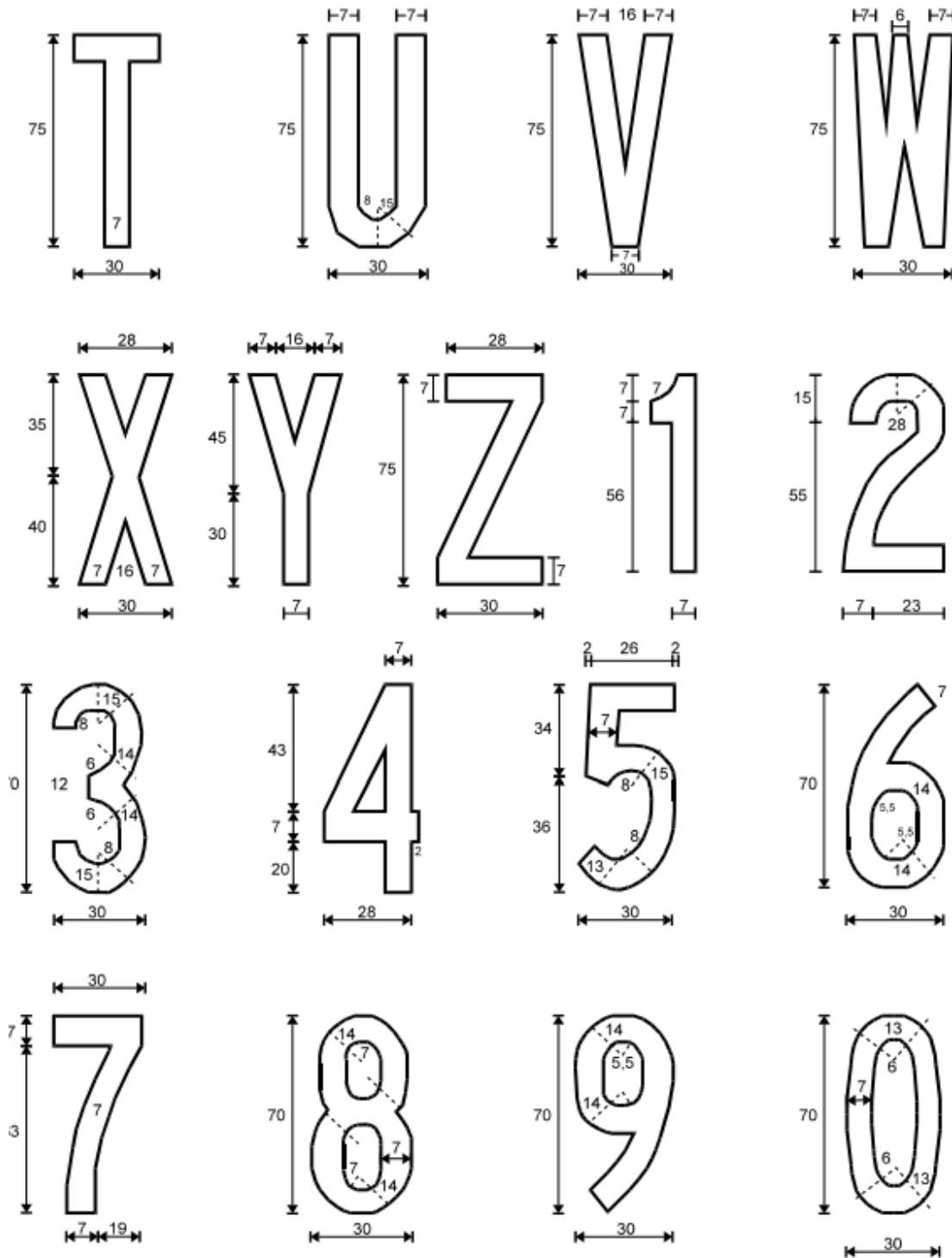


Figura 5.5 [20]

Los patrones generados tiene las siguientes características:

- Un tamaño de 24 por 42 píxeles.
- Es un patrón con valores binarios.
- El uno es color blanco y el cero es color negro.



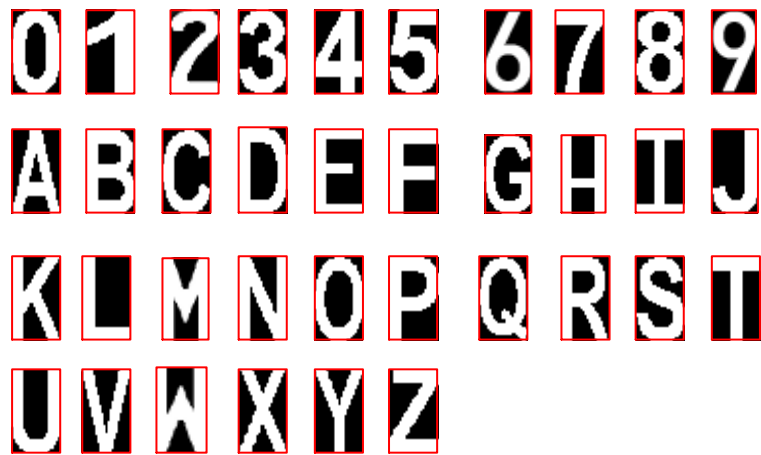


Imagen 5-8 Patrones alfanuméricos.

## a. Coeficiente de correlación lineal de Pearson

### i. Covarianza

La covarianza es una medida de dependencia lineal, que permite medir el grado de asociación lineal entre dos variables. Dadas dos variables  $x$  e  $y$ , llamamos covarianza de  $x$  e  $y$  a  $S_{xy}$  a la suma de los productos de las desviaciones respecto a la media de ambas variables, divididas por el número total de observaciones.

$$S_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N}$$

En general la covarianza es una buena medida de dispersión, pero en sí, depende de las unidades de medida escogidas. Supóngase un ejemplo donde la longitud de un camino se mide en metros en vez de kilómetros; el valor de la covarianza se verá afectado. Una forma de resolver este inconveniente es la utilización de una “covarianza adimensional” denominada coeficiente de correlación representado por  $\rho(x, y)$ .

El coeficiente que mide el grado de variación conjunta entre variables y no es afectado por sus unidades de medida es llamado el Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson, el cual se denota por  $r$  y es definido como el cociente entre la covarianza y el producto de las desviaciones típicas de cada variables.

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Cabe mencionar que al definirse el Coeficiente de Correlación a través de otras mediciones tiene diferentes maneras de representaciones matemáticas.

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2 \cdot S_y^2}}$$

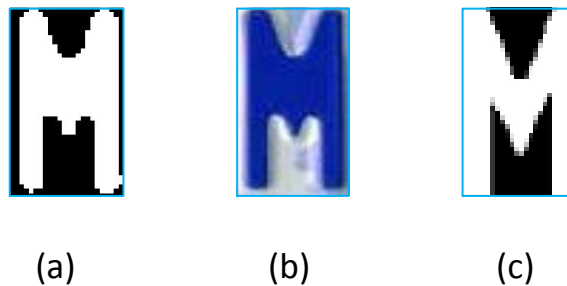
$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left( \sum_{i=1}^n X_i \right) \left( \sum_{i=1}^n Y_i \right)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n Y_i \right)^2}}$$

Algunas características del coeficiente de correlación son:

- Es adimensional.
- Es invariante para transformaciones lineales (cambio de origen y escala) de las variables.
- Sólo se toma los valores entre -1 y 1.

Aplicación del coeficiente de correlación para determinar el carácter correcto.

En esta sección se determinará  $r$  para una serie de caracteres que comparten alguna similitud.



Name ▲	Value	Min	Max
ab. AbsolutePath	'C:\Users\Ricardodr\...		
ab. FileName	'Mp.JPG'		
ab. PathName	'C:\Users\Ricardodr\...		
+ comp	<1x36 double>	-0.2863	0.4911
✓ imagn	<42x24 logical>		
✓ img_r	<42x24 logical>		
ab. letter	'M'		
+ n	36	36	36
+ sem	0.1216	0.1216	0.1216
templates	<1x36 cell>		
+ threshold	0.4196	0.4196	0.4196
+ vd	13	13	13

(d)

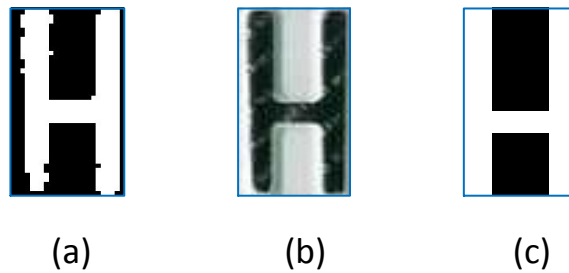
Imagen 5-9 Correlación de la letra M.



Name ▲	Value	Min	Max
AbsolutePath	'C:\Users\Ricardodr\...		
FileName	'Np.JPG'		
PathName	'C:\Users\Ricardodr\...		
comp	<1x36 double>	-0.3294	0.5033
imagn	<42x24 logical>		
img_r	<42x24 logical>		
letter	'N'		
n	36	36	36
sem	0.2279	0.2279	0.2279
templates	<1x36 cell>		
threshold	0.4706	0.4706	0.4706
vd	14	14	14

(d)

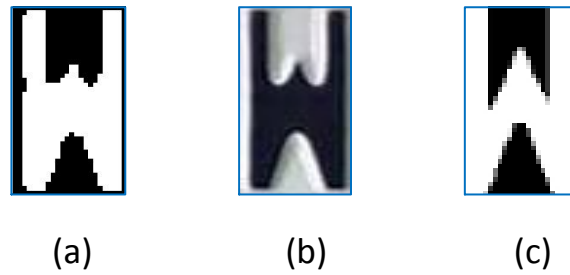
Imagen 5-10 Correlación de la letra N.



Name ▲	Value	Min	Max
AbsolutePath	'C:\Users\Ricardodr\...		
FileName	'Hp.JPG'		
PathName	'C:\Users\Ricardodr\...		
comp	<1x36 double>	-0.3170	0.4451
imagn	<42x24 logical>		
img_r	<42x24 logical>		
letter	'H'		
n	36	36	36
sem	0.2809	0.2809	0.2809
templates	<1x36 cell>		
threshold	0.4941	0.4941	0.4941
vd	8	8	8

(d)

Imagen 5-11 Correlación de la letra H.



Name	Value	Min	Max
AbsolutePath	'C:\Users\Ricardodrr\...		
FileName	'Wp.JPG'		
PathName	'C:\Users\Ricardodrr\...		
comp	<1x36 double>	-0.2940	0.4690
imagn	<42x24 logical>		
img_r	<42x24 logical>		
letter	'W'		
n	36	36	36
sem	0.0899	0.0899	0.0899
templates	<1x36 cell>		
threshold	0.4706	0.4706	0.4706
vd	23	23	23

(d)

Imagen 5-12 Correlación de la letra W.

En las imágenes 5-9,5-10, 5-11y 5-12, se puede observar que están divididas en cuatro letras; (a) que representa el carácter binarizado, (b) que es el carácter recortado de la placa sin ningún tratamiento, (c) que es el patrón con el que se comparará (a) y por último (d) que muestra diversa información la más importante se aprecia en la tabla 5-1.

Comp	Máximo coeficiente de correlación “r”
Imagn	Imagen patrón
Img_r	Imagen binarizada a comparar
letter	Letra o número que obtuvo la mayor correlación con la imagen patrón
threshold	Umbral óptimo para binarizar el carácter

Tabla 5-1 Descripción de variables.

Imagen \ “r”	M	N	H	W
M	0.4910861	0.29807821	0.23664421	0.29652043
N	0.34015897	0.50333898	0.32459231	0.39453238
H	0.35618586	0.2879443	0.44508321	0.3486922
W	0.30858863	0.31545091	0.34419284	0.46895135

Tabla 5-2 Comparación del coeficiente de correlación.

En la tabla 5-2 se observa la comparación del valor del coeficiente de correlación entre los cuatro caracteres (M, N, H, W), las celdas marcadas en rojo representen el valor para

“r” más alto correspondiente a esa letra, nótese que dicho valor corresponde justamente al patrón que contiene la misma letra que se está comparando.

Del mismo modo se puede ver que ningún valor de “r” supera el valor de .5, esto indica que la relación existente no es perfecta, lo cual se debe a que los caracteres binarizados difieren en varias características de la imagen patrón.



(a)

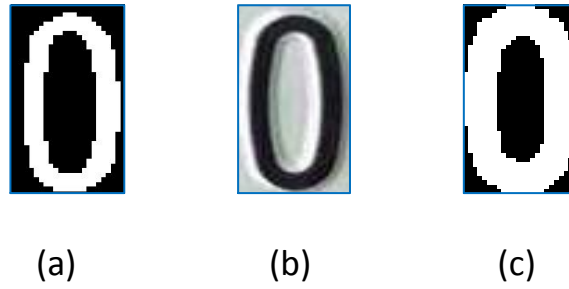
(b)

(c)

Name	Value	Min	Max
AbsolutePath	'C:\Users\Ricardodr\...		
FileName	'Dp.JPG'		
PathName	'C:\Users\Ricardodr\...		
comp	<1x36 double>	-0.2358	0.6784
imagn	<42x24 logical>		
img_r	<42x24 logical>		
letter	'D'		
n	36	36	36
sem	0.5631	0.5631	0.5631
templates	<1x36 cell>		
threshold	0.4902	0.4902	0.4902
vd	4	4	4

(d)

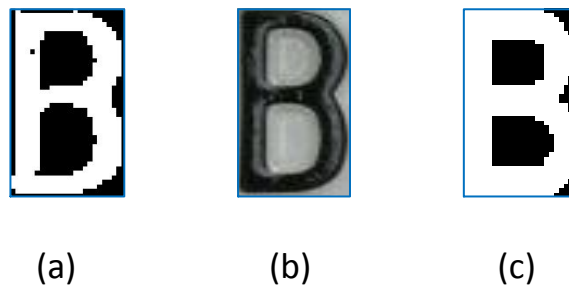
Imagen 5-13 Correlación de la letra D.



Name	Value	Min	Max
AbsolutePath	'C:\Users\Ricardodr\...		
FileName	'Op.JPG'		
PathName	'C:\Users\Ricardodr\...		
comp	<1x36 double>	-0.2965	0.6164
imagn	<42x24 logical>		
img_r	<42x24 logical>		
letter	'O'		
n	36	36	36
sem	0.6164	0.6164	0.6164
templates	<1x36 cell>		
threshold	0.4745	0.4745	0.4745
vd	36	36	36

(d)

Imagen 5-14 Correlación de la letra O.



Name	Value	Min	Max
AbsolutePath	'C:\Users\Ricardodr\...		
FileName	'Bp2.JPG'		
PathName	'C:\Users\Ricardodr\...		
comp	<1x36 double>	-0.2253	0.6641
imagn	<42x24 logical>		
img_r	<42x24 logical>		
letter	'B'		
n	36	36	36
sem	0.4738	0.4738	0.4738
templates	<1x36 cell>		
threshold	0.3843	0.3843	0.3843
vd	2	2	2

(d)

Imagen 5-15 Correlación de la letra B.



Name	Value	Min	Max
AbsolutePath	'C:\Users\Ricardodr\...		
FileName	'8p.JPG'		
PathName	'C:\Users\Ricardodr\...		
comp	<1x36 double>	-0.1812	0.6785
imagn	<42x24 logical>		
img_r	<42x24 logical>		
letter	'8'		
n	36	36	36
sem	0.4542	0.4542	0.4542
templates	<1x36 cell>		
threshold	0.4627	0.4627	0.4627
vd	34	34	34

(d)

Imagen 5-16 Correlación del número 8.

“r” Imagen	D	0	B	8
D	0.67837775	0.56308541	0.49958968	0.42714839
0	0.38052542	0.61636924	0.24759484	0.46631551
B	0.53442422	0.47379395	0.66409394	0.58983173
8	0.20076346	0.45422146	0.38764114	0.67853353

Tabla 5-3 Comparacion del coeficiente de correlacion.

En la tabla 5-3 se puede apreciar que el valor de “r” alcanzado un valor de casi 7. Véase el caso concreto de “D”, el cual tiene un coeficiente de correlación de 0.67837775, recordando que “r” sólo puede variar entre -1 y 1, este valor resulta bastante aceptable, pero véase que el valor de “r” de “D” con “0” es de 0.56308541 lo cual indica que hay una relación relativamente grande, y esto en algún momento podría arrojar un falso positivo, debido a las características tan similares entre “D” y “0” hablando geoméricamente.

“r” Imagen	D	0	Diferencia
D	0.67837775	0.56308541	0.11529234
0	0.38052542	0.61636924	0.23584382

Tabla 5-4 Diferencia del coeficiente de correlacion.

En la tabla 5-4 se ve el coeficiente de correlación de “B” y “8” y la diferencia que existe cuando cada uno es el carácter a buscar. Cuando “B” es el carácter obtenido de la

matrícula vehicular, se observa que “r” para la coincidencia con “B” es de 0.66409394 y “r” para la coincidencia con “8” es de 0.58983173, con una diferencia de 0.07426221, por lo tanto la diferencia es casi inexistente, de menos de .1, esto implica un gran problema. De todas las combinaciones que se realizan en la obtención del coeficiente de correlación, 36 cálculos de “r”, la relación entre “B” y “8” es la que menor diferencia presenta, en algunos casos llegando a ser de menos de .05.

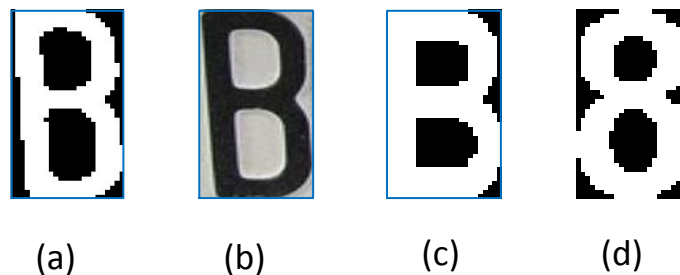
En casos estadísticos se consideraría a ambos caracteres como el mismo, pero en este trabajo incluso esta diferencia se tomará en cuenta.

“r” Imagen	B	8	Diferencia
B	0.66409394	0.58983173	0.07426221
8	0.38764114	0.67853353	0.29089239

Tabla 5-5 Diferencia del coeficiente de correlacion.

Con la diferencia entre “B” y “8” tan ajustada, es un hecho que se obtendrán falsos positivos con gran frecuencia.

A continuación se muestran dos ejemplos, uno con un correcto reconocimiento y otro con un falso positivo.



Name	Value	Min	Max
AbsolutePath	'C:\Users\Ricardodr\...		
FileName	'Bp.JPG'		
PathName	'C:\Users\Ricardodr\...		
comp	<1x36 double>	-0.2040	0.6109
imagn	<42x24 logical>		
img_r	<42x24 logical>		
letter	'8'		
n	36	36	36
sem	0.4429	0.4429	0.4429
templates	<1x36 cell>		
threshold	0.4353	0.4353	0.4353
vd	34	34	34

(e)

Imagen 5-17 Correlación del número 8 .

En la imagen 5-17 el carácter que se desea identificar es “B” y se puede observar en la variable “letter” de la imagen 5-17 (e) que el resultado obtenido es “8”, éste es un claro falso positivo.



El carácter “B” se extrajo de la matrícula vehicular de la imagen 5-18, en esta imagen se puede apreciar una leve inclinación, lo que provoca una pequeña distorsión en el carácter “B”, esta distorsión ocasiona que la sección vertical de “B” aparezca separada del margen izquierdo con una pequeña inclinación, como se aprecia en la Imagen 5-17 (b), el falso positivo se deriva de esta pequeña inclinación que a su vez origina una distorsión, y ésta aleja al carácter a identificar del carácter patrón, todo esto lleva a que la imagen 5-17 (a) tenga más similitud con la imagen 5-17 (d) que con la imagen 5-17 (c).



Imagen 5-18 placa San Luis Potosí.

“r” Imagen	B	8	Diferencia
B	0.59216232	0.6109244	-0.01876208

Tabla 5-6 Diferencia del coeficiente de correlacion.

En la tabla se aprecia que el valor de “r” para la coincidencia con “8” es mayor que para la coincidencia con “B” y se puede apreciar que la diferencia es  $-0.01876208$ , el signo negativo es claro indicador que se ha obtenido un falso positivo. Asimismo se observa dicha diferencia es de apenas  $0.01876208$  y recordando entre qué valores varía “r” se puede deducir que una diferencia como la anterior se debería considerar como despreciable.

Para resolver este inconveniente se tomará una característica del orden en que se distribuyen los caracteres en las matrículas vehiculares.

- Las letras se agrupan en grupos de tres.
- Los números se agrupan en grupos de tres o en dos grupos de dos dependiendo si son del Distrito Federal o de algún estado de la República Mexicana.

Lo anterior indica que las letras y los números nunca aparecerán intercalados, esto permite realizar el siguiente algoritmo:

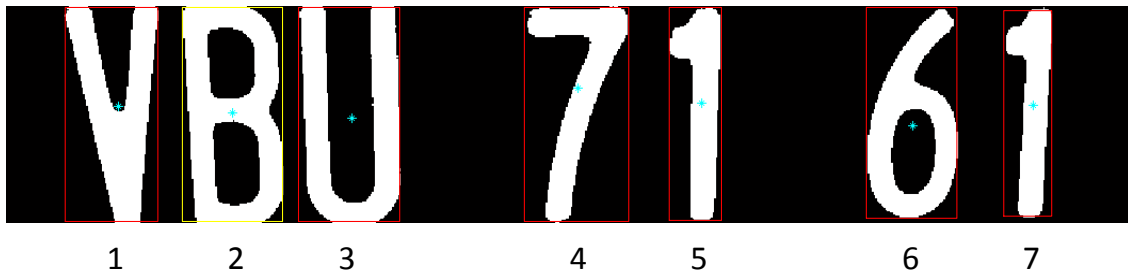


Imagen 5-19 Estructuras.

Tomemos como referencia la Imagen 5-19. Se observa que la estructura 2 es una “B” pero el sistema la detecto como “8”, lo que se procede a hacer es comparar la estructura 2 con las estructuras 1 y 3, (se comparará con la estructura a su derecha y a su izquierda, en caso de que sea 1 sólo se comparará con la estructura a su derecha y sucederá algo similar, si la estructura es el número 7 solamente se comparará con la estructura a su izquierda).

- En caso de que las estructuras a los costados resulten ser, letras la estructura 2 se le asignará “B”.
- En caso de que las estructuras a los costados resulten ser números la estructura 2 conservará el valor de “8”.
- En caso de que las estructuras a los costados resulten ser un número y una letra, se procederá a contar los caracteres que se han etiquetado como letras.
  - En caso de haber tres estructuras etiquetadas como letras, se procederá a conservar el valor de “8”.
  - En caso contrario se cambiará el valor de la estructura por “B”.

Lo anterior se basa en que las matrículas para vehículos particulares en todo el país sólo contienen tres letras.

## 6. Resultados

En este capítulo se analizarán alguno de los resultados obtenidos después de realizar todo el proceso antes descrito de una serie de fotografías en diversas condiciones, sólo se mostrará la imagen inicial y algunos pasos intermedios que se consideren importantes, así como el archivo de texto donde se guardará los caracteres reconocidos de la matrícula vehicular

### a. Uno



Imagen 6-1 Imagen Original.

Identificación de estructuras que posiblemente sean una placa.

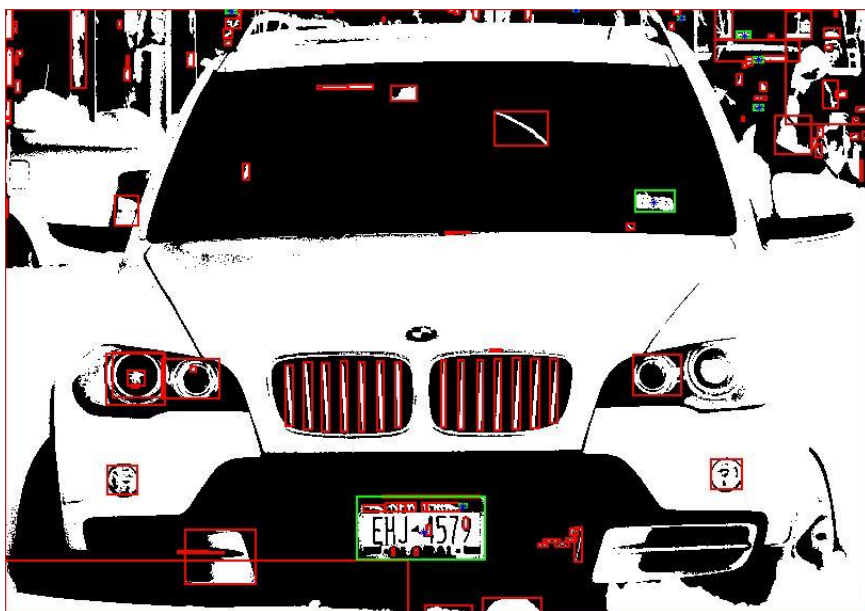


Imagen 6-2 Imagen Binarizada, con estructuras de interés en color verde.

Localización de la placa y recorte de ésta, así como localización de estructuras contenidas dentro del recorte.

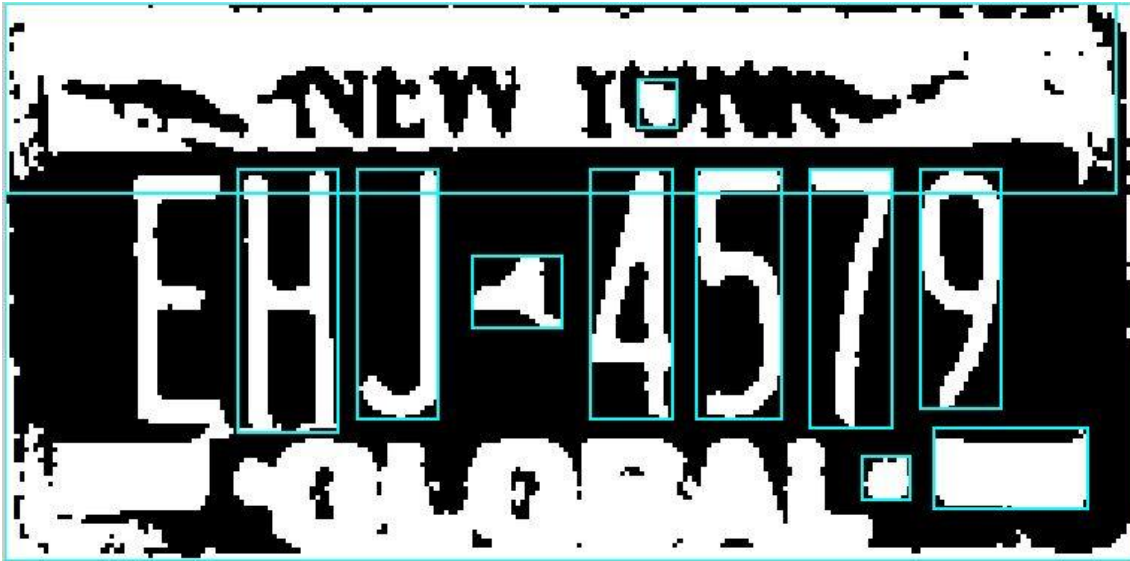


Imagen 6-3 Placa.

Recorte de la placa sobre la imagen original a escala de grises, con lo que se obtiene el SM.

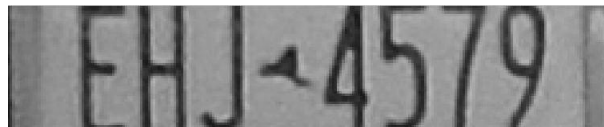


Imagen 6-4 SM en escala de grises.

En este paso sólo se procede a binarizar el SM y a remover objetos utilizando el discriminante  $R_n$



Imagen 6-5 SM binarizado con remoción de estructuras con áreas por debajo del discriminante.

Se segmentará cada uno de los caracteres que se han encontrado en el SM, en la imagen 6-6 se observa los recortes de los siete caracteres localizados en el SM.

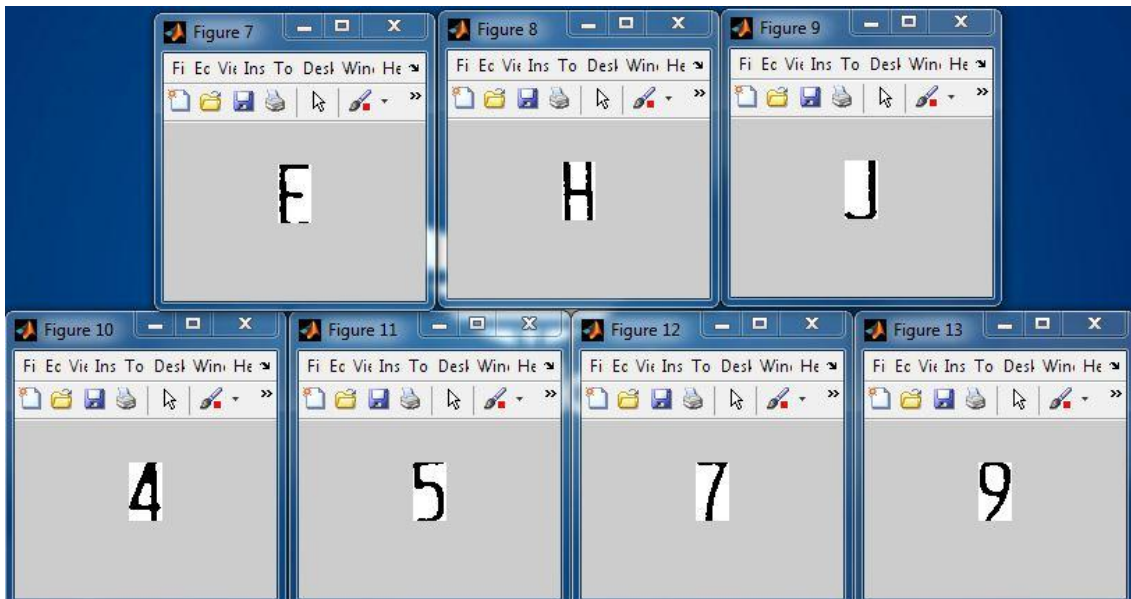


Imagen 6-6 Recorte de los siete caracteres encontrados en el SM.

Por último se procederá a utilizar el coeficiente de correlación con cada uno de los recortes del SM, al final se obtendrá un archivo con extensión .txt el cual contendrá los caracteres de la matrícula.

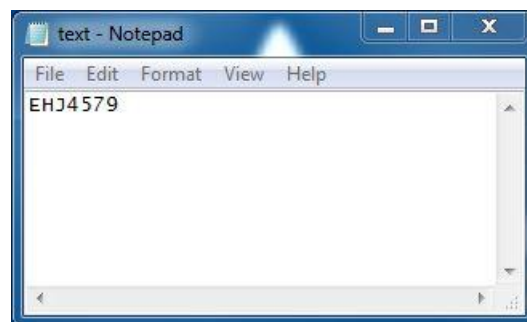


Imagen 6-7 Archivo de texto con caracteres editables que corresponden a la matrícula vehicular.

b. Dos



Imagen 6-8 Imagen Original.

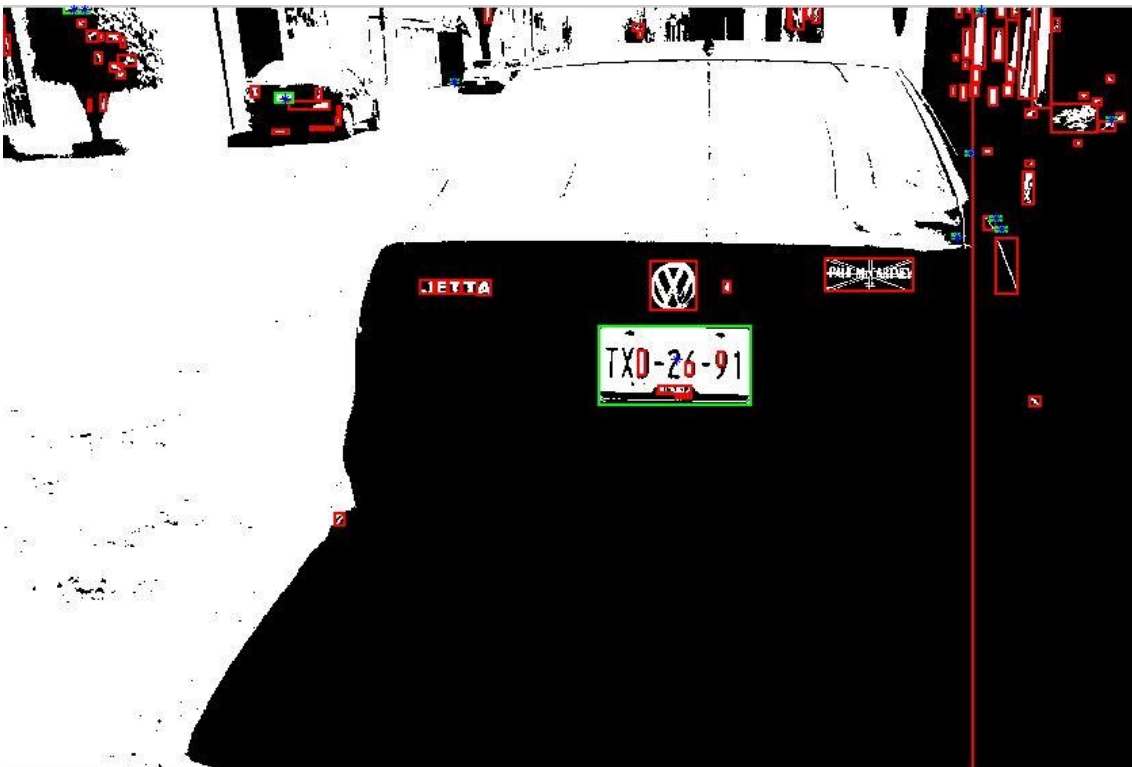


Imagen 6-9 Imagen Binarizada, con estructuras de interés en color verde.

En la imagen 6-9 se puede apreciar en rectángulos verdes todas las posibles estructuras que cumplen en el discriminante  $R_p$ . En la esquina superior izquierda se puede observar un vehículo en segundo plano, en la imagen 6-10 se aprecia como la matrícula de este automóvil ha sido reconocida como una posible placa, este ejemplo muestra claramente como este esquema de reconocimiento de matrículas vehiculares no se encuentra limitado por la profundidad (espacio que ocupa la matrícula en la imagen) en la que se encuentra la placa.

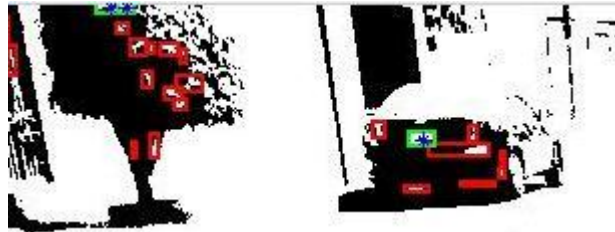


Imagen 6-10 Localización de placa secundaria

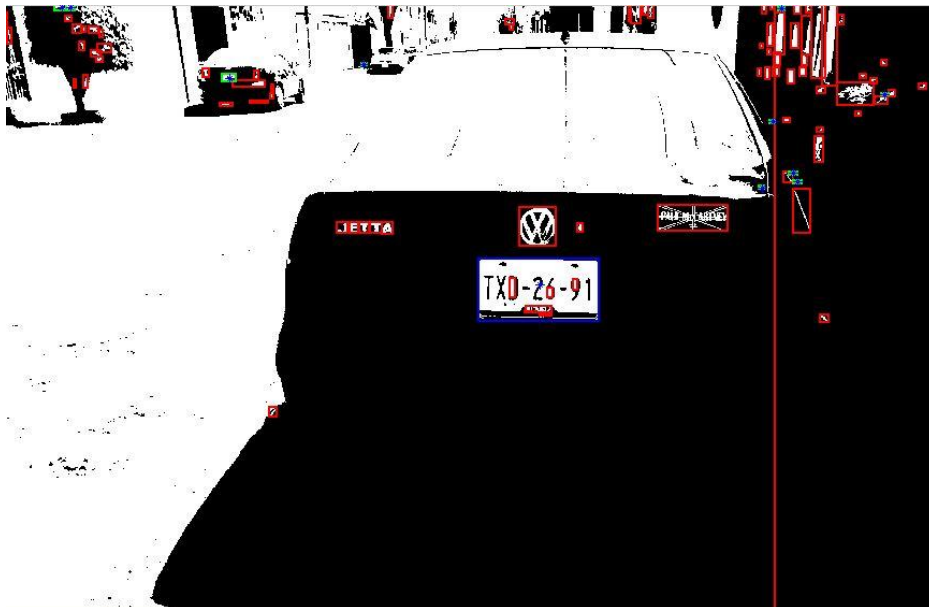


Imagen 6-11 Imagen después de aplicar el discriminante de área.

En la imagen 6-11 se aprecia el resultado de aplicar el discriminante de área  $R_a$ , por lo cual se obtiene un rectángulo de color azul encerrando la matrícula resultante, la matrícula secundaria no pasó el filtro del área debido a que contienen un área demasiado pequeña para contener caracteres legibles como se puede apreciar en la imagen 6-12.



Imagen 6-12 Placa con caracteres ilegibles.



Imagen 6-13 Placa.

Recorte de la placa sobre la imagen a escala de grises, con lo que se obtiene el SM.



Imagen 6-14 SM en escala de grises.

Se binariza el SM y se remueven los objetos utilizando el discriminante  $R_n$ .



Imagen 6-15 SM binarizado con remoción de estructuras con áreas por debajo del discriminante.



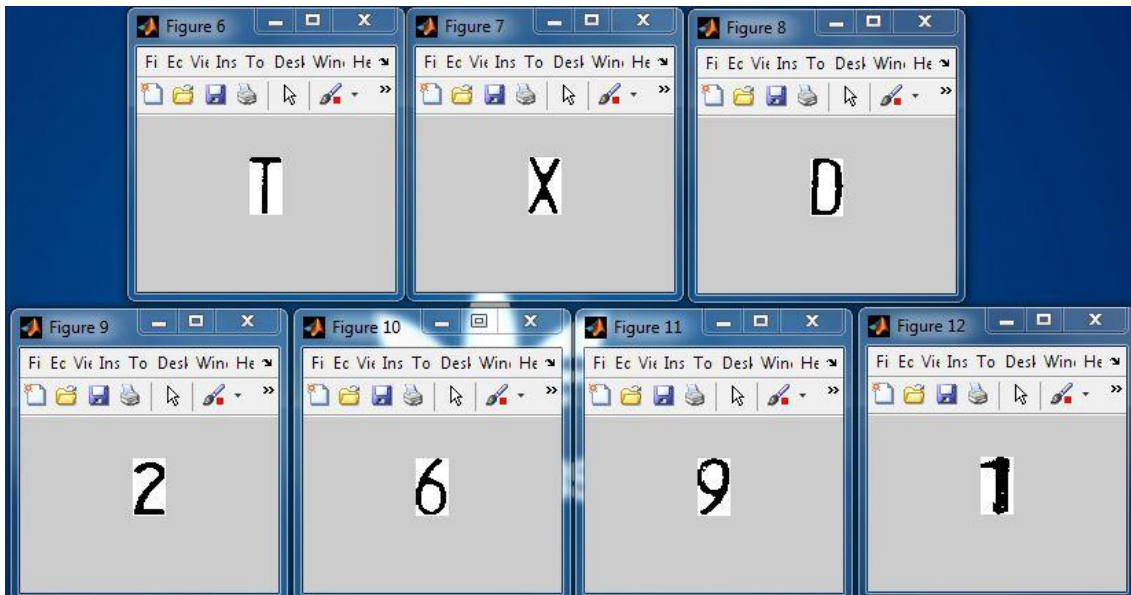


Imagen 6-16 Recorte de los siete caracteres encontrados en el SM.

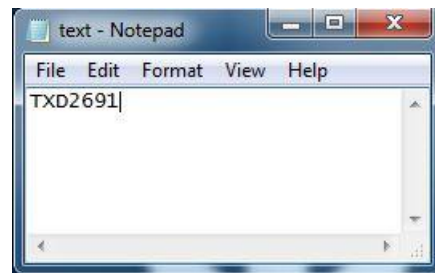


Imagen 6-17 Caracteres editables que corresponden a la matrícula vehicular.

c. Tres



Imagen 6-18 Imagen original.



Imagen 6-19 Estructuras.

En la imagen 6-19 se puede ver la existencia de más de una estructura en color azul esto nos indica que estas estructuras han superado las restricciones de  $R_p$  y  $R_a$ .

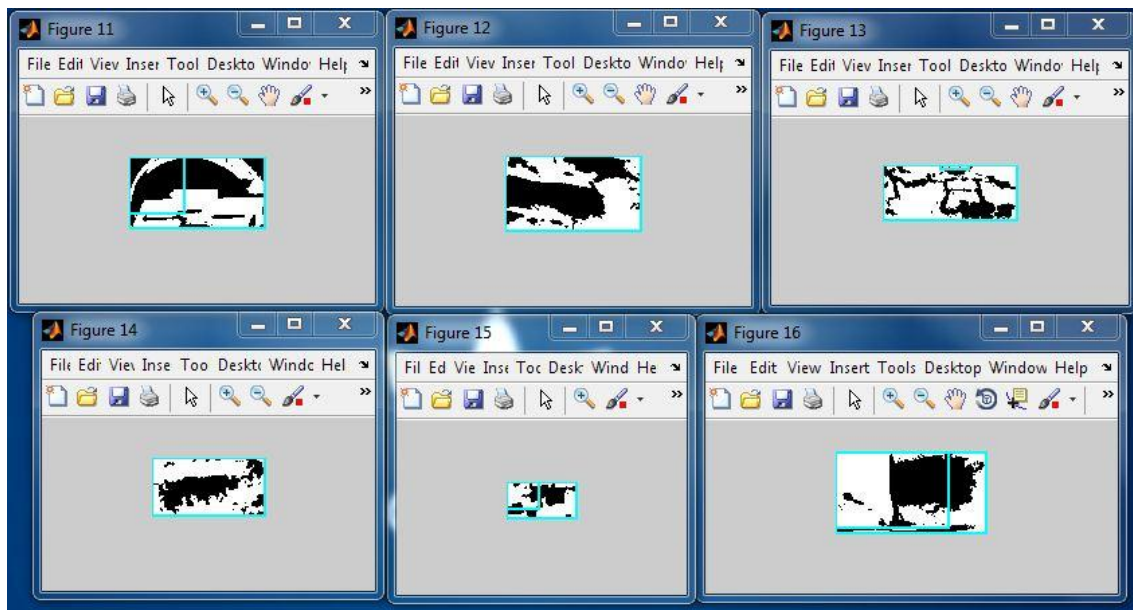


Imagen 6-20 falsos positivos en la localización de la placa.

La imagen 6-20 muestra las seis estructuras que cumplen con  $R_p$  y  $R_a$ , esto quiere decir que cumplen con la estructura de una placa y además el área que tienen es lo suficientemente grande que podría contener los caracteres de una placa. Para descartar estas estructuras se aplicará a cada una el discriminante  $R_n$  esto significa que en cada una de las estructuras se buscarán las estructuras que cumplan con la características geométricas de los caracteres de una placa.



Imagen 6-21 estructuras internas de la placa

La imagen 6-21 es el resultado de aplicar el discriminante  $R_n$ , la cual es la única que ha pasado los tres discriminantes  $R_p$ ,  $R_a$  y  $R_n$ . En caso de que dentro de un falso positivo se encuentren estructuras con características similares a la de los caracteres es poco probable que suceda, y si fuera así el sistema no será capaz de localizar correctamente la placa.

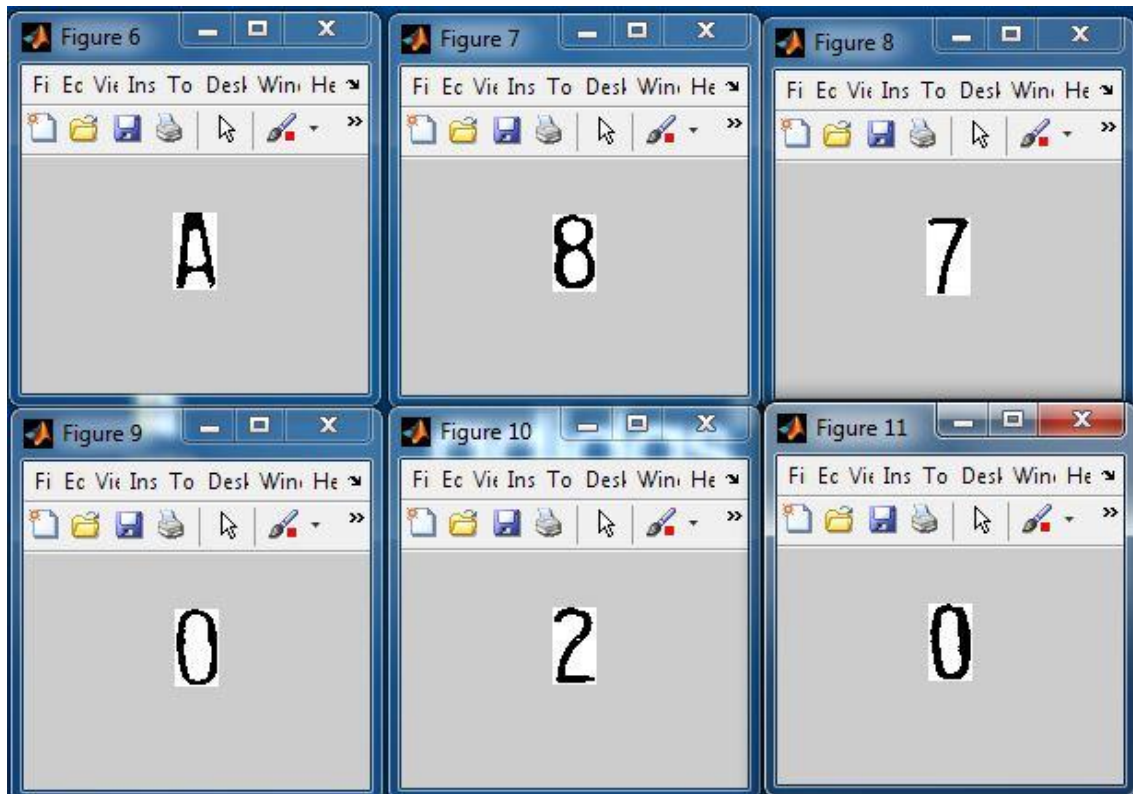


Imagen 6-22 Recorte de los seis caracteres encontrados en el SM.

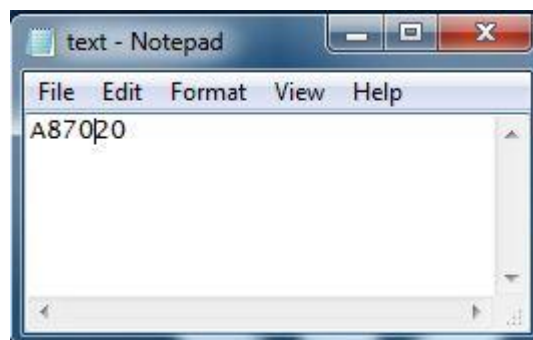


Imagen 6-23.

d. Cuatro



Imagen 6-24 Imagen Original.



Imagen 6-25 Imagen binarizada, con la localización de la placa en azul.

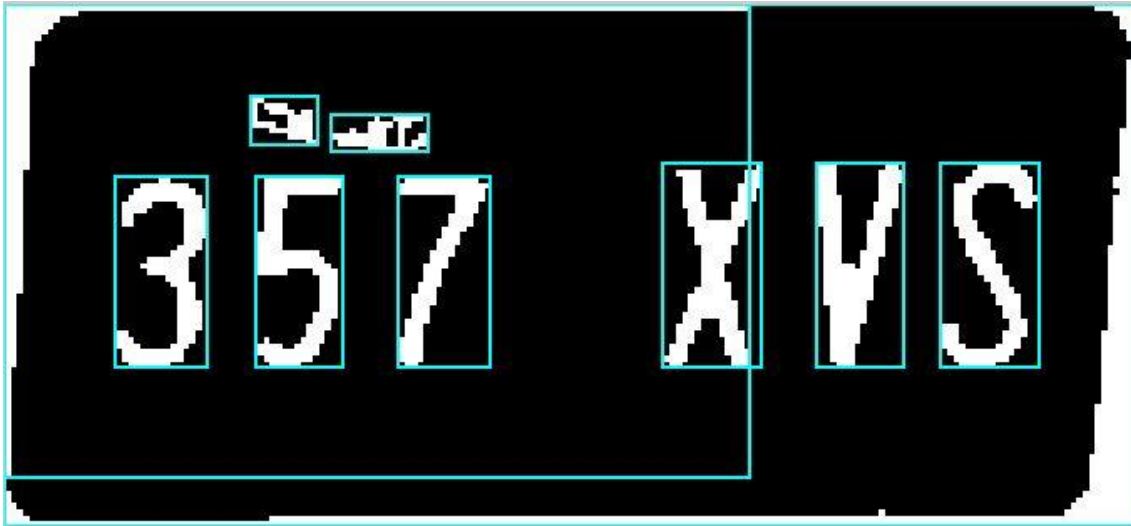


Imagen 6-26 Placa

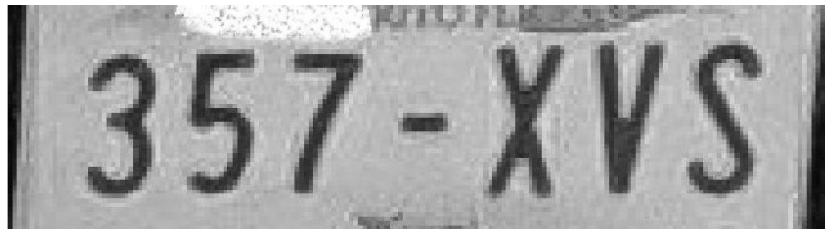


Imagen 6-27 SM en escala de grises.



Imagen 6-28 SM binarizada con remoción de estructuras con área por debajo del discriminante.

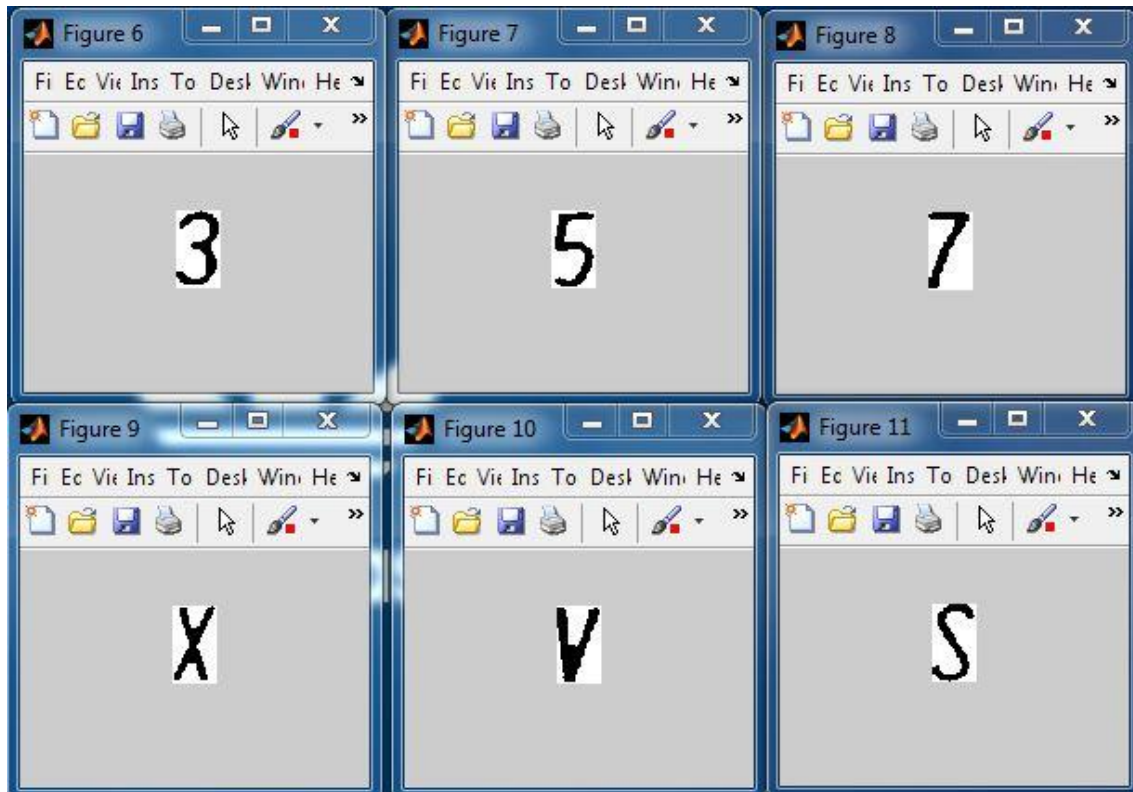


Imagen 6-29 Caracteres encontrados en SM.

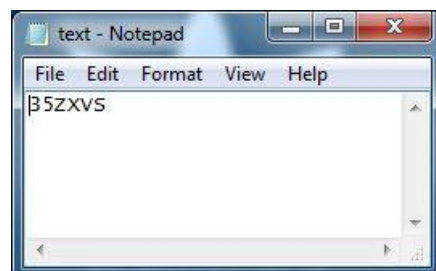


Imagen 6-30.

e. Cinco



Imagen 6-31 Imagen Original.



Imagen 6-32 Imagen después de aplicar Rp yRa.



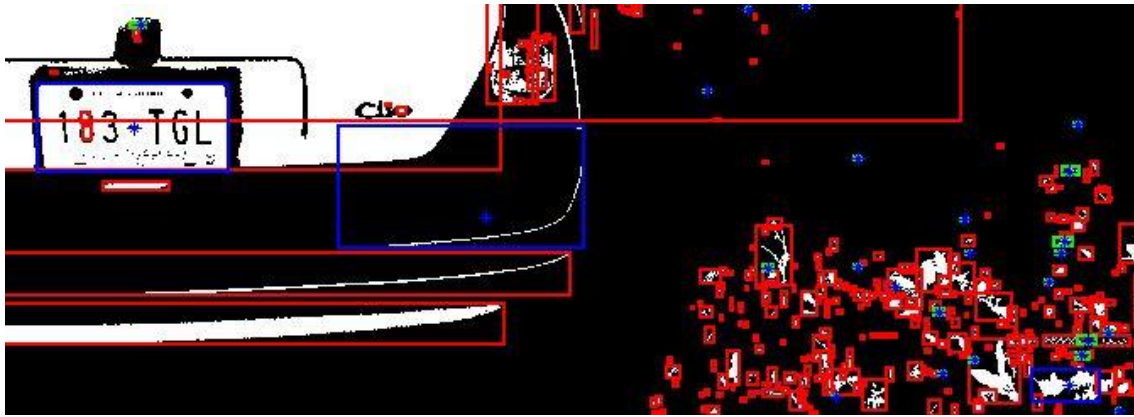


Imagen 6-33.

En la imagen 6-33 se puede apreciar la existencia de 3 rectángulos en azul, de los cuales sólo uno contiene la matrícula.



Imagen 6-34 Recorte del original y recorte de imagen binarizada.



Imagen 6-35 Recorte del original y recorte de imagen binarizada.

En las imágenes 6-34 y 6-35 se muestran los recortes correspondientes a las estructuras que superaron las restricciones  $R_p$  y  $R_a$ , en cada imagen se muestra el recorte original donde se puede apreciar los componentes que originaron una estructura con similares características a una placa, en la imagen 6-35 se aprecia que lo que originó un falso positivo fue un conjunto de hojas, que al realizar el proceso descrito en el capítulo cuatro, dio como origen una estructura que posiblemente pueda ser una placa, en la imagen 6-35 se muestra que lo que originó otro falso positivo es parte de la defensa.

Para eliminar estos dos últimos recortes y tener únicamente el recorte de la placa se aplica el discriminante  $R_n$  con lo cual se tiene la imagen 6-36.

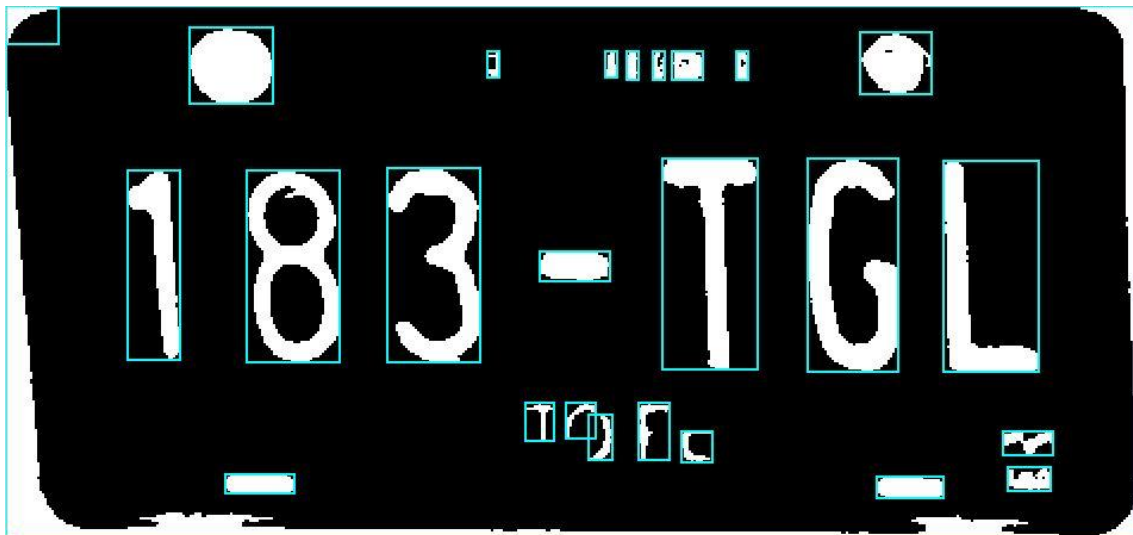


Imagen 6-36.



Imagen 6-37 SM en escala de grises



Imagen 6-38 SM binarizada con remoción de estructuras con área por debajo del discriminante.

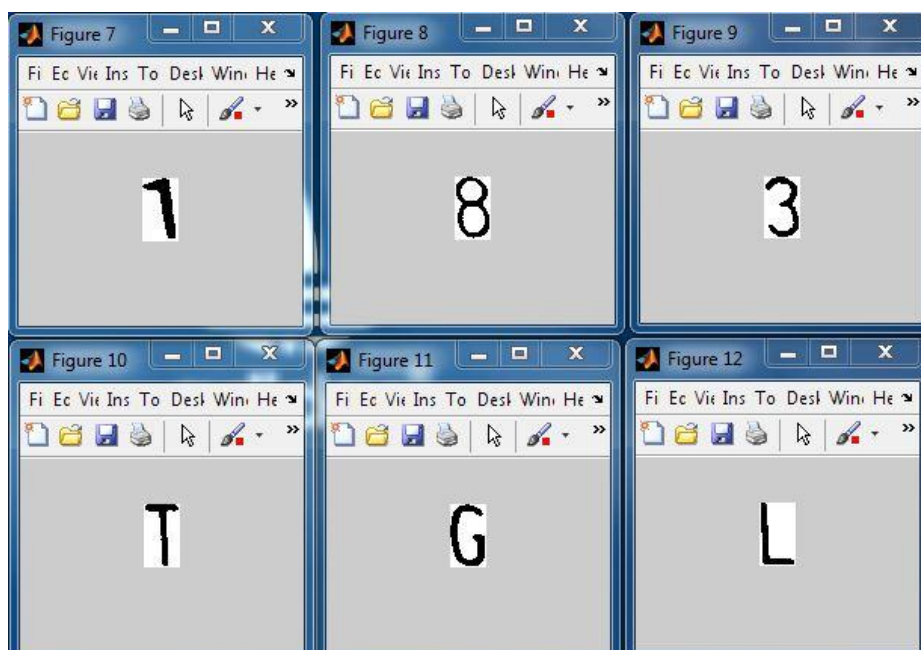


Imagen 6-39 Caracteres encontrados en SM.

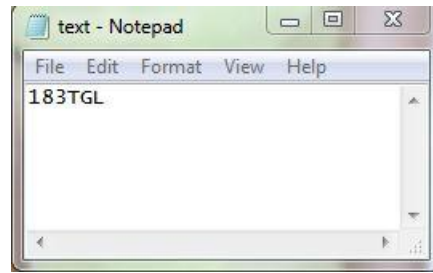


Imagen 6-40.

f. Seis



Imagen 6-41 Imagen original



Imagen 6-42 Imagen después de aplicar  $R_p$  y  $R_a$

En la imagen 6-42 se puede ver la existencia de más de una estructura en azul que ha superado los discriminantes  $R_p$  y  $R_a$ ; y se procede de la misma manera que en los casos anteriores, y aplicando el discriminante  $R_n$  nos permite obtener la estructura que contiene la placa, como se ve en la Imagen 6-43.



Imagen 6-43 Placa.

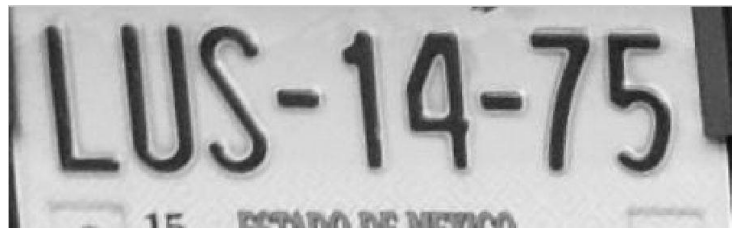


Imagen 6-44 SM en escala de grises.



Imagen 6-45 6-46 SM binarizada con remoción de estructuras con área por debajo del discriminante.



Imagen 6-47 Caracteres encontrados en SM.

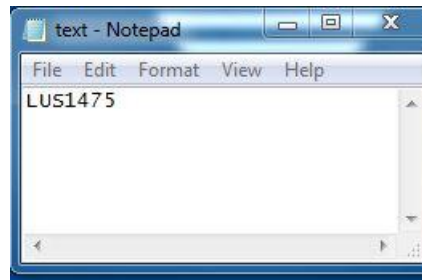


Imagen 6-48 Archivo de texto con caracteres editables que corresponden a la matrícula vehicular.

g. Siete



Imagen 6-49 Imagen Original

En la imagen 6-49 se pueden ver dos placas en diferentes perspectivas.



Imagen 6-50

En la imagen 6-50 las dos matrículas han sido identificadas, y encerrado en rectángulos azules, en las imágenes



Imagen 6-51 Placa más cerca de la cámara fotográfica.



Imagen 6-52 Placa más lejana de la cámara fotográfica.

Las imágenes 6-51 y 6-52 muestran los recortes de las placas. La diferencia de tamaño se debe a la localización de la placa respecto a la lente de la cámara fotográfica, esto también implica una resolución diferente de cada placa, sin embargo estos aspectos no deberán interferir en la correcta identificación de los caracteres.





Imagen 6-53 SM a escala de grises y binarizada de la placa más cercana.



Imagen 6-54 SM a escala de grises y binarizada de la placa más lejana.

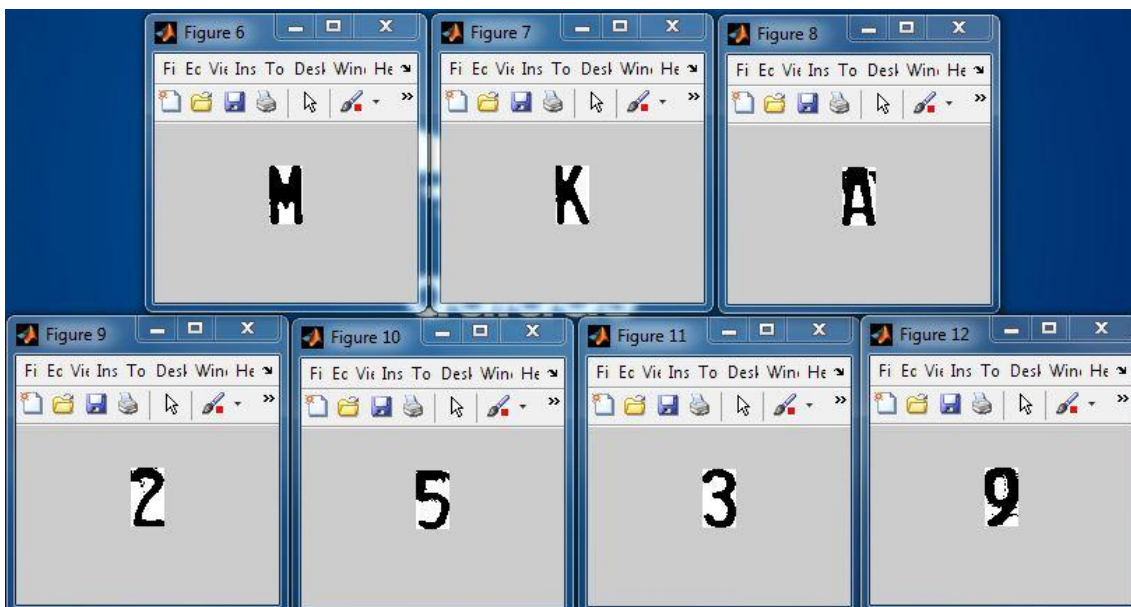


Imagen 6-55 Recorte de los siete caracteres encontrados en el SM.

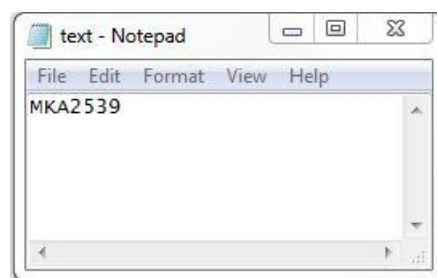


Imagen 6-56 caracteres editables que corresponden a la matrícula vehicular.



Imagen 6-57 Recorte de los siete caracteres encontrados en el SM.

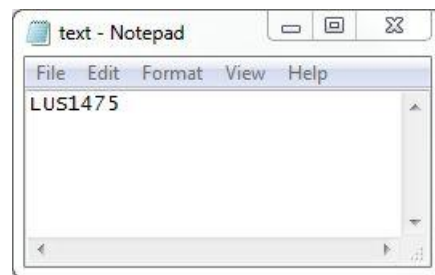


Imagen 6-58 Caracteres editables que corresponden a la matrícula vehicular.

h. Ocho



Imagen 6-59 Original

La imagen 6-59 fue obtenida de internet con el único fin de mostrar que el sistema es capaz de identificar matrículas vehiculares sin importar la fuente de la imagen. [21]



Imagen 6-60 Imagen después de aplicar Rp y Ra

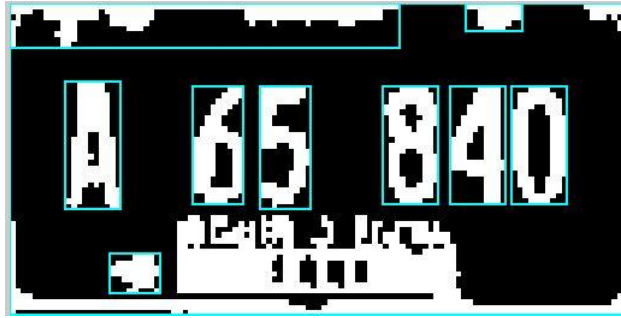


Imagen 6-61 Placa con estructuras.



Imagen 6-62 SM en escala de grises.

En la imagen 6-62 se puede observar que el SM tiene una resolución baja lo cual es debido a calidad de la imagen original.



Imagen 6-63 SM binarizada con remoción de estructuras con área por debajo del discriminante.

En la imagen 6-63 se observa la existencia de una estructura que no se puede eliminar por el uso del  $R_a$  debido a que la estructura está formada por más píxeles que los números, ésta se elimina aplicando  $R_n$ .

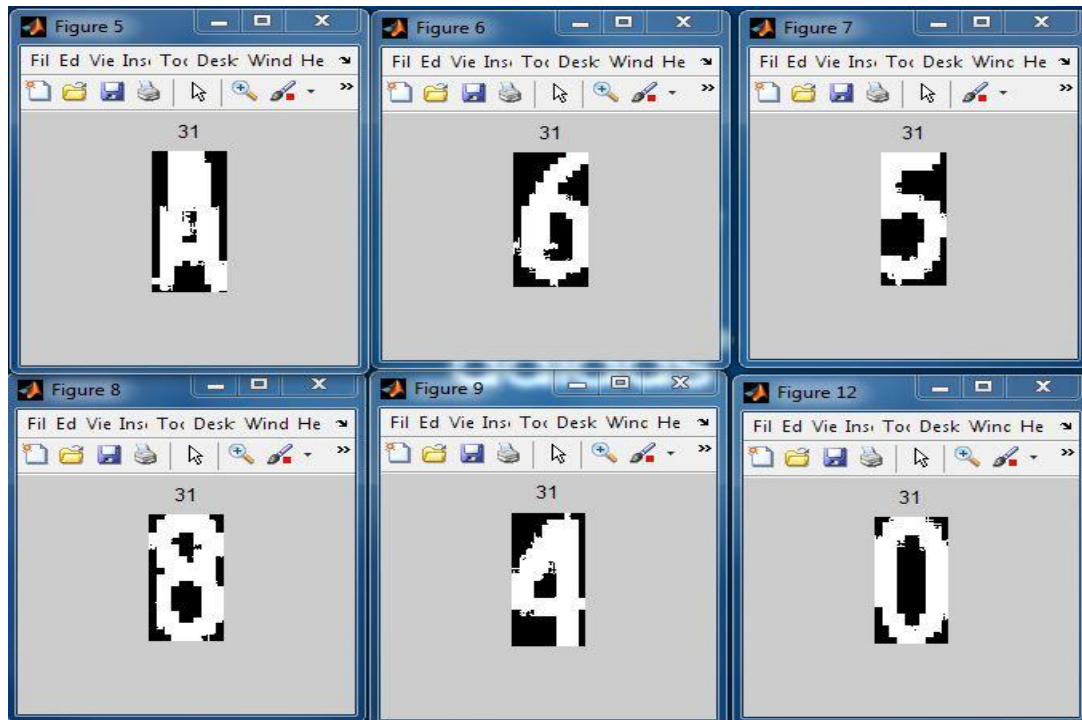


Imagen 6-64 Recorte de los seis caracteres encontrados en el SM.

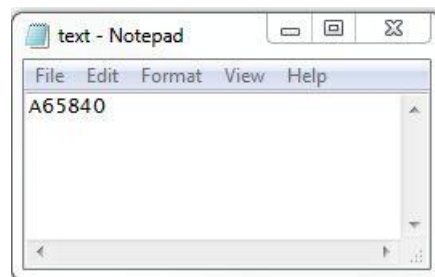


Imagen 6-65 Caracteres editables que corresponden a la matrícula vehicular.

i. Nueve



Imagen 6-66 Original.



Imagen 6-67 Imagen después de aplicar  $R_p$  y  $R_a$ .



Imagen 6-68.



Imagen 6-69 SM a escala de grises.



Imagen 6-70 SM binarizada con remoción de estructuras con área por debajo del discriminante.

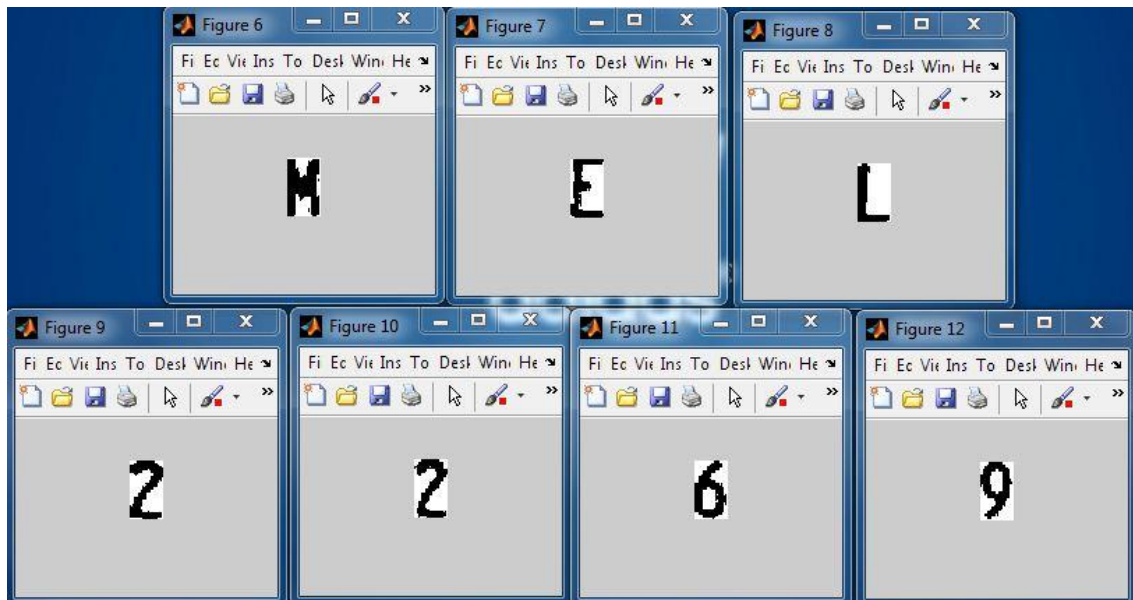


Imagen 6-71 Recorte de los siete caracteres encontrados en el SM.

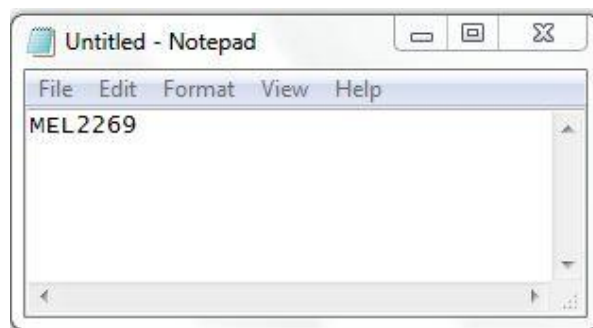


Imagen 6-72 Caracteres editables que corresponden a la matrícula vehicular.

j. Problemas con las placas

Cada uno de los treinta y un estados y el Distrito Federal debe seguir la **Norma oficial mexicana NOM-001-SCT-2-200** [20], pero se les permite personalizar el fondo de la matrícula vehicular, lo cual lleva a 32 diferentes fondos.

Estos 32 fondos son bastante variados y en algunos casos hace que la identificación de los números sea difícil incluso por personas.

A continuación se mostrará una serie de matrículas con las cuales el sistema tuvo grandes dificultades para poder segmentar los caracteres del fondo y en otros casos no fue posible separar de manera correcta los caracteres.

i) Placa de Chihuahua



Imagen 6-73 Chihuahua

En la imagen 6-73 se aprecia cómo los guiones han sido sustituidos por la figura de las que se puede interpretar es el estado de Chihuahua. Esta modificación resulta en que al realizar el reconocimiento de estructuras se puede presentar el caso en que debido a la baja resolución de la imagen de la placa el sistema considera como una sola estructura a un carácter y al contorno del estado, por lo cual se deformaría al carácter haciendo imposible la correcta identificación del carácter por el sistema.



Imagen 6-74 Binarización.

En la imagen 6-74 se observa cómo entre el carácter "H" y el contorno del estado del Chihuahua hay muy poco espacio lo cual representaría un problema en una imagen de baja resolución.



Imagen 6-75 SM binarizada con remoción de estructuras con área por debajo del discriminante.



En la imagen 6-75 se pudo remover la estructura que correspondía al estado de Chihuahua, pero como se observará en los siguientes ejemplos existen casos donde esto no es posible.

ii) Placa de Chiapas



Imagen 6-76 Chiapas

En la imagen 6-76 se puede ver en el fondo un rostro humano de perfil en color naranja y también se aprecia que los caracteres son de color verde, esta variación en el color de los caracteres provoca que el fondo de color naranja resalte sobre el color verde de los caracteres como se puede ver en la imagen 6-77.



Imagen 6-77



Imagen 6-78 Binarización

En la imagen 6-78 se observa que después del proceso de binarización el rostro humano se conserva y lo que es aún peor se ha fusionado con varios caracteres formando una sola estructura.



Imagen 6-79

Después de eliminar algunas estructuras por medio del  $R_a$  se obtiene la imagen 6-79 en donde es imposible poder segmentar los caracteres "T", "3" y "7" del fondo. En la placa

del estado de Chiapas es imposible hacer un correcto reconocimiento de los caracteres debido al poco contraste entre los colores de los caracteres y de la figura de fondo.

iii) Placa de Durango



Imagen 6-80 Placa Durango

La placa de Durango (imagen 6-80) es la matrícula que presentó la mayor complicación a la hora de segmentar los caracteres, pues la figura del fondo (un jinete y un árbol) no permiten que el programa sea capaz de identificar correctamente la estructura que contiene un carácter.



Imagen 6-81 SM después de aplicar el discriminante de área.

En la imagen 6-81 se puede ver que después de aplicar  $R_a$  existen estructuras que no corresponden a únicamente números, esto es debido a que algunos elementos del fondo se han fusionado con los caracteres de la placa, en esta situación es casi imposible hacer una correcta segmentación de los caracteres, lo cual lleva a una errónea identificación de los caracteres.

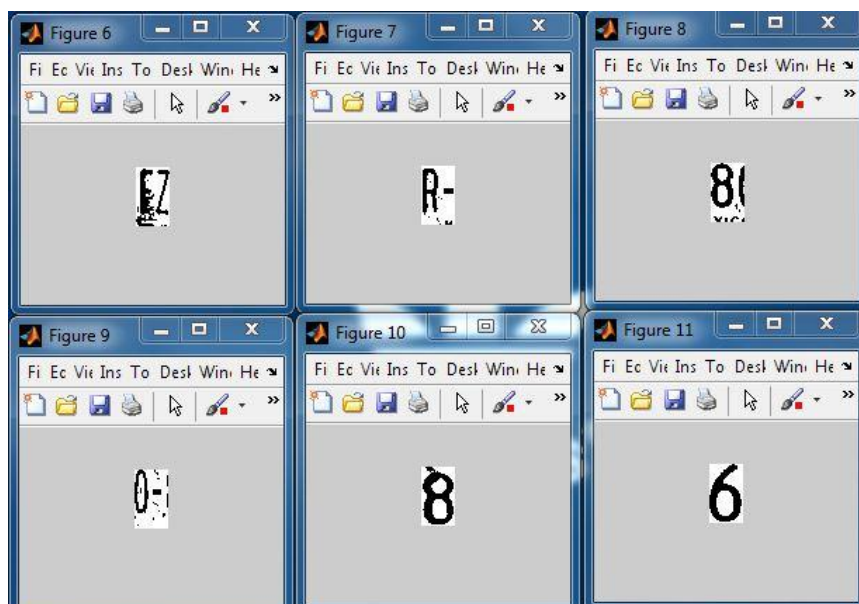


Imagen 6-82

En la imagen 6-82 se muestra cómo la segmentación no fue realizada correctamente e incluso en los dos primeros caracteres se han tomado como una sola estructura debido a que se han fusionado con el árbol que se encuentra de fondo.

En la matrícula de Durango es prácticamente imposible hacer un reconocimiento correcto de los caracteres debido al fondo que se presenta en ella.

#### iv) Placa de Oaxaca



Imagen 6-83 Oaxaca

En la matrícula de Oaxaca se encuentra que el fondo se compone de los tres colores de la bandera nacional. Al pasar la imagen 6-83 a escala de grises se obtiene la imagen 6-84. En la que se observa cómo el color verde y rojo quedan en la misma escala de gris, en otras palabras ahora serían iguales.



Imagen 6-84 SM a escala de grises



Imagen 6-85 SM Binarizada

En la imagen 6-85 se puede ver que los caracteres que tienen como fondo el color rojo y verde prácticamente han desaparecido y se fusionaron con el fondo.

Lo anterior es debido al contraste entre el fondo y los caracteres es mínimo, en caso contrario a lo que ocurre con los caracteres que tienen como fondo el color blanco, en donde el contraste es el óptimo (fondo blanco y caracteres negros).

Para la matrícula de Oaxaca no es posible poder identificar los caracteres que la conforman la matrícula.

## v) Placa Sinaloa



Imagen 6-86 Sinaloa.

En la placa de Sinaloa (imagen 6-86) sucede exactamente lo mismo que con las anteriores imágenes. La figura del fondo en este caso un tomate, al realizar los procesos de segmentación se fusiona con los caracteres “3”y ”9” para este ejemplo.



Imagen 6-87 SM en escala de grises.

En la imagen 6-87 se puede ver que al pasar la imagen a una escala de grises la figura de fondo que era roja ahora tiene un nivel de gris cercano al nivel de los caracteres, lo cual es un problema al realizar la binarización.



Imagen 6-88 SM Binarizada.

Una vez realizada la binarización, se tiene la imagen 6-88 en la cual se aprecia cómo la figura de fondo (el tomate, y los caracteres, “3” y “9”) se han fusionado dando como resultado una sola estructura.

De la misma manera que con las placas anteriores en este caso tampoco es posible determinar la totalidad de los caracteres que conforman la matrícula.

## vi) Placa Tlaxcala



Imagen 6-89 Tlaxcala.

El problema es exactamente el mismo: una figura de fondo que se fusiona con los caracteres a segmentar. En este caso las figuras se encuentran en los extremos. Al pasar la imagen a escala de grises los caracteres y las figuras del fondo tienen un nivel de gris muy semejante, como se ve en la imagen 6-90.



Imagen 6-90 SM a escala de grises.



Imagen 6-91 SM Binarizada.



Imagen 6-92 Caracteres con problemas de segmentación.

En la imagen 6-92 se ve que en el caso del carácter “X” que si es posible identificarlo, esto fue posible debido a que la figura de fondo al realizar la binarización se pudo aislar como una estructura diferente, no siendo así para el carácter “5” el cual completamente se ha fusionado con la figura de fondo.

## k. Placas sin problemas

En esta sección se muestran algunas de las 28 placas restantes donde se logró una correcta segmentación de los caracteres.

## i) Placa Aguascalientes



Imagen 6-93 Aguascalientes

En la imagen 6-93 se puede ver (al escudo del estado de Aguascalientes) la existencia de una figura de fondo, la gran diferencia con las seis placas que no se pudieron segmentar correctamente es que la figura de fondo se puede considerar como una especie de marca de agua, por lo cual el color asignado para el escudo es muy tenue, permitiendo que los caracteres sean los que más sobresalgan de la placa.



Imagen 6-94 SM a escala de grises

Al pasar a escala de grises se obtiene la siguiente imagen 6-94 donde se puede ver cómo el escudo del estado se le ha asignado un nivel de gris bastante diferente al de los caracteres.



Imagen 6-95 SM Binarizada

Al tener bastante diferencia entre el nivel de gris del escudo y el gris de los caracteres permite que al realizar la binarización (imagen-95) se obtengan sólo los caracteres de la placa. Este diseño tiene un distintivo, el escudo del estado, mas no afecta en la identificación de los caracteres ni por humanos ni por el sistema.

La placa de Aguascalientes cumple con la principal función, de identificar de una manera fácil y clara un vehículo. La colocación del escudo como forma de pertenecía de la placa al estado es hecho de una manera discreta y sutil, de este modo no interfiere con la identificación de un vehículo; totalmente contrario a las placas de Durango, Chiapas, Oaxaca, Sinaloa y Tlaxcala, que por poner alguna figura distintiva del estado al que

pertenece la placa, provoca que se dificulte la identificación de un vehículo incluso hasta para un humano.

ii) Placa Distrito Federal



Imagen 6-96 Distrito Federal.

La placa del Distrito Federal (Imagen 6-96) es la que mejor contraste tiene. Los caracteres son negros sobre fondo blanco, lo anterior resulta en una correcta segmentación de los caracteres.



Imagen 6-97 SM a escala de grises



Imagen 6-98 SM Binarizada

En las imágenes 6-97 y 6-98 se observa que al ser el contraste entre los caracteres y el fondo bastante marcado, no existe ningún problema para el correcto reconocimiento de los caracteres, incluso se logra obtener un SM binarizado (imagen 6-98) que sólo contienen estructuras que son caracteres.

iii) Placa Hidalgo



Imagen 6-99 Hidalgo.

La placa de Hidalgo (imagen 6-99) a pesar de tener el escudo del estado como fondo mantiene un buen contraste entre los caracteres y el fondo, esto se debe a que igual que con la placa de Aguascalientes el escudo aparece como una marca de agua.



Imagen 6-100 SM en escala de grises.



Imagen 6-101 SM Binarizada.

En las imágenes 6-100 y 6-101 se observa que el escudo no ha sido reconocido como una estructura debido que al realizar la binarización el nivel de gris del escudo queda por debajo del umbral de binarización.

iv) Placa Estado de México



Imagen 6-102 Estado de México

En la placa del Estado de México (imagen 6-102) se puede ver el busto de los principales personajes de la independencia de nuestro país como fondo, no interfieren en la identificación de los caracteres al estar como marca de agua.



Imagen 6-103 SM en escala de grises.



Imagen 6-104 SM Binarizada.



Se puede ver que las únicas estructuras que han quedado después de la binarización son los caracteres.

v) Placa Puebla



Imagen 6-105 Puebla.

La placa de Puebla no contiene ninguna estructura de fondo, casi como un caso ideal para el sistema: caracteres negros con un fondo totalmente blanco, tal cual se vera en las imágenes 6-106 y 6-107 los caracteres quedan totalmente aislados de otras estructuras.



Imagen 6-106 SM a escala de grises



Imagen 6-107 SM Binarizada

## 7. Conclusiones

El principal objetivo de este sistema es poder localizar y reconocer matrículas vehiculares tomando en cuenta diversas situaciones o condiciones en las que se obtuvo la imagen. Algunas de estas características están descritas en el apartado Determinación de las características del patrón del capítulo cuatro de este trabajo. La condición más significativa es el poder identificar la matrícula sin importar si ocupa el 100 por ciento de la imagen o si ocupa diez por ciento de la imagen, en otras palabras el sistema puede reconocer matrículas sin importar qué tan lejos o cerca se encuentran del foco de la cámara.

Como se puede leer en este trabajo el sistema fue capaz en diversas ocasiones de identificar correctamente la matrícula y posteriormente identificar los caracteres de dicha matrícula. Sin embargo como cualquier otro sistema de cómputo existirán siempre condiciones en las que el sistema no responderá siempre de la mejor manera.

Las condiciones ideales para el sistema son:

- Iluminación adecuada.
- Matrícula centrada.
- Caracteres negros sobre fondo blanco.
- Sin ningún tipo de ángulo respecto a la matrícula

Las condiciones en las cuales el sistema aún es capaz de identificar las matrículas son las descritas en el apartado Determinación de las características del patrón que son:

- La matrícula ocupa menos del 10% de la imagen.
- La matrícula no se encuentra en el centro.
- La matrícula ocupa más del 90% de la imagen.
- La matrícula tiene un ángulo de hasta  $10^\circ$  respecto a la horizontal.
- La imagen es tomada hasta con  $10^\circ$  respecto al automóvil.

Bajo las condiciones anteriores el sistema es capaz de responder de una manera adecuada. Lo que se logra al hacer que el sistema sea tolerante a ciertas condiciones es que puede operar con imágenes las cuales fueron capturadas en ambientes no controlados. Lo que permite un mayor rango de operación para el sistema y no lo limita a restricciones muy estrictas con respecto a las condiciones en las que se capturó la imagen.

Existen muchas condiciones en las que la imagen de una placa puede ser capturada y no se contemplaron o a las que no se les da una solución satisfactoria en este trabajo. Algunas de esas situaciones se plantearon en el apartado Complicaciones en una correcta localización de la placa del capítulo cuatro, a esas complicaciones se le agregara las siguientes:

- Matrícula con poco contraste entre caracteres y fondo.
- Matrículas con caracteres que no estén contemplados en la figura 5.4 y 5.5.

La razón por la que existen situaciones en las que el sistema es incapaz de localizar la matrícula o identificar los caracteres, tiene su origen en que el sistema pretende emular una de las tantas funciones del sentido más complejo del cuerpo humano: el sentido de la vista. El sistema debe localizar, separar, discriminar y seleccionar alguna estructura que cumpla con las características de una matrícula, funciones que el ojo humano y el cerebro hacen en fracciones de segundos.

## 8. Bibliografía

- [1] Rafael C. González and Richard E. Woods, *Tratamiento digital de imágenes.*: Addison-Wesley/Diaz de Santos, 1996, ch. Introducción, pp. 1-3.
- [2] Dr. Boris Escalante Ramírez. (2012, Enero) <http://verona.fi-p.unam.mx/boris/>. [Online]. <http://verona.fi-p.unam.mx/boris/teachingnotes/Introduccion.pdf>
- [3] (2012, Enero) <http://es.kioskea.net>. [Online]. <http://es.kioskea.net/contents/video/format-bmp.php3>
- [4] José Esqueda Elizondo and Luis Enrique Palfox Maestre, *Fundamentos de Procesamiento Digital de Imágenes*. Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California, 2005, ch. Apéndice A Formatos de Imágenes, pp. 139-145.
- [5] <http://es.kioskea.net>. (2012, Jan.) Kioskea. [Online]. <http://es.kioskea.net/contents/video/format-gif.php3>
- [6] Stephanie Falla Aroche. (2012, Enero) Maestros del Web. [Online]. <http://www.maestrosdelweb.com/editorial/jpeg/>
- [7] colaboradores de Wikipedia. (2012, Enero) Wikipedia. [Online]. [http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Joint Photographic Experts Group &oldid=53097314](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Joint%20Photographic%20Experts%20Group&oldid=53097314)
- [8] Wikipedia contributors. (2012, Enero) Wikipedia, The Free Encyclopedia.. [Online]. [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Portable Network Graphics&oldid=471913665](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Portable%20Network%20Graphics&oldid=471913665)
- [9] colaboradores de Wikipedia. (2012, Enero) Wikipedia, La enciclopedia libre. [Online]. [http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Modelo de color RGB&id=53144261](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Modelo%20de%20color%20RGB&id=53144261)
- [10] Vicente Lorens, *Fundamentos Tecnológicos de vídeo y televisión*. Barcelona, Madrid: Paidós Ibérica, ch. 4.5.1, p. 47.
- [11] Erik Valdemar Cuevas and Daniel Zaldivar Navarro. (2012, Enero) <http://es.scribd.com>. [Online]. <http://es.scribd.com/doc/23371/Procesamiento-de-imagenes-con-Matlab>
- [12] Vinu V. Das R. Vijaykumar, *Information and Communication Technologies: International Conference, ICT 2010*. Germany: Springer, 2010, ch. 2, p. 555.
- [13] Paul Bourke. (2012, Enero) paulbourke. [Online]. [http://paulbourke.net/texture\\_colour/convert/](http://paulbourke.net/texture_colour/convert/)
- [14] Gérard Blanchet and Maurice Charbi, *Digital Signal and Image Processing using MATLAB*, 1st ed.: ISTE, 2006, ch. 6, pp. 231-235.
- [15] Nobuyuki Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.*, 1979, pp. 62-66.
- [16] José Jaime Esqueda Elizondo and Luis Enriques Palafox Maestre, *Fundamentos para el procesamiento de imágenes*, 1st ed. Mexicali, México: Universidad Autónoma de Baja California, 2005, ch. 1, pp. 13-14.
- [17] Rafael C. González and Richard E. Woods, *Tratamiento digital de imágenes.*: Addison-Wesley/Diaz de Santos, 1996, ch. 2, pp. 44-46.

- [18] Omar Sanchez. (2011, Mayo) Modelos, Control y Sistema de Visión. [Online]. [http://omarsanchez.net/Documents/Imagen\\_Morfologicas.pdf](http://omarsanchez.net/Documents/Imagen_Morfologicas.pdf)
- [19] Steve Eddins. (2007, Abril) <http://blogs.mathworks.com>. [Online]. <http://blogs.mathworks.com/steve/2007/04/15/connected-component-labeling-part-4/>
- [20] Norma oficial mexicana NOM-001-SCT-2-200. (2001, Enero) Secretaría de Comunicaciones y Transportes. [Online]. <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/Normatividad/EspecificacionesVehiculos/NOM-001.pdf>
- [21] <http://mx.autos.cozot.com>. (2011, Octubre) Cozot. [Online]. <http://www.google.com.mx/imgres?q=DERBY+taxi&hl=es-419&rlz=1C1CHJL esMX435MX435&biw=1440&bih=839&tbs=isz:ex,iszw:625,iszh:469&tbm=isch&tbnid=aZKnZvhjrhCZhM:&imgrefurl=http://mx.autos.cozot.com/autos-usados-monza-2005-xalapa-pedregal-de-las-animas-puebla-l>
- [22] Tratamiento digital de imágenes, *Tratamiento digital de imágenes*.: addison-Wesley/ Díaz de Santos, 1996.