

Detection and recognition of Peruvian warning traffic signals applied to road inventories: Case Eduardo de Habich Ave.

Marzia Ramos-Zúñiga, Ingeniera Civil ¹, Leonardo Flores-Gonzalez, M.sc¹, Yeltsin Valero-Camarena, M.sc¹, Walter Montenegro-Sono, Ingeniero Civil ¹, and Jorge Vargas-Florez, Dr.²

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, marzia.ramos.z@uni.pe, lfloresg@uni.edu.pe, ylvaleroc@gmail.com, wjmontenegros@gmail.com

²Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jorge.vargas@pucp.edu.pe

Abstract: The purpose of this research is to obtain a database of Peruvian warning traffic signs and propose a tool to automate the road inventory process using image processing algorithms. The database consists of 2026 images of Peruvian warning traffic signs, to detect and recognize them on Av. Eduardo Habich located in Metropolitan Lima, also proposed the following methodology that is divided into two parts: The first part consists of collecting data in the field for the creation of the database; and the second part consists of the processing of information in the cabinet, where the detection and recognition algorithm for information processing is proposed. The detection stage consists of the use of color and shape filters, as well as the performance of two-color models, HSV and normalized RGB, for the characteristic yellow color of warning signs. The recognition stage consists of the use of supervised classification tools with the algorithm called support vector machines. Finally, with the development of this research, it was possible to obtain an algorithm that allows the detection of traffic signs with a recognition percentage of 62.5% and a solid database that can be fed back and give rise to future research in the automation of traffic signals. road inventories.

Keywords-- Road inventory, signal Traffic, visual computer, detection, and recognition

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.550>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Deteccción y reconocimiento de señales de tránsito preventivas peruanas aplicado a inventarios viales caso Av. Eduardo de Habich

Marzia Ramos-Zúñiga, Ingeniera Civil¹, Leonardo Flores-Gonzalez, M.sc¹, Yeltsin Valero-Camarena, M.sc¹, Walter Montenegro-Sono, Ingeniero Civil¹, and Jorge Vargas-Florez, Dr.²

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, marzia.ramos.z@uni.pe, lfloresg@uni.edu.pe, ylvaleroc@gmail.com, wjmontenegros@gmail.com

²Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jorge.vargas@pucp.edu.pe

Resumen– La presente investigación tiene como propósito crear una base de datos de señales de tránsito preventivas peruana y proponer una herramienta que permita automatizar el proceso del inventario vial usando algoritmos de procesamiento de imágenes. La base de datos consta de 2026 imágenes de señales preventivas peruanas, para detectar y reconocer las señales de tránsito del tipo preventivas en la Av. Eduardo Habich ubicada en Lima Metropolitana, además se propuso la siguiente metodología que se divide en dos partes: la primera parte consiste en la recolección de datos en campo para la conformación de la base de datos; y la segunda parte consiste en el procesamiento de la información en gabinete, donde se propone el algoritmo de detección y reconocimiento para el procesamiento de información. La etapa de detección consiste en el uso de filtros de color y forma, asimismo se mide el desempeño de dos modelos de color, HSV y RGB normalizado, para el color amarillo característico de las señales preventivas. La etapa de reconocimiento consiste en el uso de herramientas de clasificación supervisada con el algoritmo llamado máquinas de vectores de soporte. Finalmente, con el desarrollo de esta investigación se logró obtener un algoritmo que permite la detección de las señales de tránsito con un porcentaje de reconocimiento de 62.5% y una base de datos sólida que puede ser retroalimentada y dar pie a futuras investigaciones en la automatización de inventarios viales.

Palabras clave-- Inventarios viales, señales de tránsito, visión por computador, detección, reconocimiento

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología permite mejorar el tiempo de ejecución de las actividades que realiza el hombre, por ello la visión por computador es un tema actualmente muy estudiado que ha permitido realizar tareas como la detección de rostros, conteo de vehículos, detección de letras y otras actividades, [9]. Para esta investigación se ha revisado bibliografía con referencia a identificación de señales de tránsito y en su mayoría tiene por objetivo mejorar las aplicaciones en vehículos inteligentes[7], [11], [25]. La metodología se ha dividido por lo general en dos etapas: la detección y el reconocimiento. La primera donde la imagen es procesada, mejorada y segmentada, es decir que a partir de una imagen dada se pueda extraer únicamente el objeto de interés [20]. Hay varias técnicas usadas para esta etapa, una es el filtro de color ya que las señales de tránsito tienen colores característicos. También es

usada la extracción basada en la forma, estas pueden ir desde lo más simple considerando las propiedades geométricas del elemento como área y perímetro [6] hasta metodologías más avanzadas como Histogramas de orientación de gradiente.

La segunda etapa es el reconocimiento aplicando algoritmos, algunos con más costo computacional que otros como las redes neuronales [1], [13], [23], matching of Chamfer, algoritmos genéticos, máquinas de vectores soporte [7], [11], [14], y redes neuronales convolucionales (CNN) [2], [8], [18], [24].

El uso de tecnologías aplicadas a la ingeniería civil es cada vez mayor, debido a la optimización de procesos los cuales implican tiempo y costos [21], herramientas y software como Matlab y Python (código abierto) que tiene implementado algoritmos y librerías que permiten procesar y optimizar tareas a partir de imágenes, Image J, software que permite medir dimensiones a partir de una fotografía. Asimismo, el correcto funcionamiento de las señales de tránsito verticales, objeto de esta investigación, puede evitar siniestros viales, por ello es necesario la constante realización de los inventarios viales, herramienta de gestión tanto para el gobierno como para las empresas concesionarias en infraestructura vial que permite optimizar la asignación de recursos humanos, y económicos disponibles que permite implementar metodologías para el continuo mantenimiento a las vías, por ello es necesario crear una base de datos continua[17]. Sin embargo, los inventarios viales pueden requerir de tiempo e inversión constante por parte del gobierno, de aquí parte la propuesta de este artículo con el objetivo de proponer herramientas que ayuden a optimizar el proceso.

Por lo indicado en el párrafo anterior se formula la siguiente pregunta: ¿cómo reconocer e identificar una señal preventiva de tránsito de tipo vertical para un inventario vial?

II. ANTECEDENTES

A. Base de Datos

La base de datos de señales de tránsito a nivel mundial que brindan universidades, institutos o investigadores para libre descarga para el uso académico es muy diversa:

German Traffic Sign Benchmark (GTSRB): Es una base de datos de Alemania del Instituto Neuro informático para el uso en reconocimiento tiene alrededor de 50000 y más de 40

clases. Fue creada para la International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) del 2011.

Swedish University Traffic Sign Dataset (STS Data set): Esta base de datos pertenece a la Universidad de Linkoping, la cual fue publicada en el 2011, contiene más de 20000 imágenes, aproximadamente 3488 señales de tránsito, las imágenes no muestran solamente la señal de tránsito sino toda la escena recorrida.

KUL Belgium Traffic Sign Dataset (KUL Data set): La base de datos pertenece a la Universidad Católica de Lovaina, tiene 62 clases de señales de las carreteras de Bélgica. Con un conjunto de entrenamiento de 4591 imágenes y de prueba de 2534 muestras.

Data Set of China (TT100K data SET): Es de la universidad de Tsinghua, esta database presenta 100 000 imágenes de vistas del servicio llamado Tencent street view, contiene aproximadamente 30 000 señales de tránsito. Con un total de 221 clases de señales.

LISA dataset: Es una base de datos creada por el laboratorio de automóviles seguros e inteligentes, en ella está disponible videos y frames con anotaciones de las señales de tránsito de carreteras de Estados Unidos, estas tienen similitud a la señalización peruana. Contiene 47 señales de tránsito americana, 7855 anotaciones en 6610 frames, señales de tamaño 6x6 píxeles.

III. METODOLOGÍA

La metodología para la investigación se divide en dos partes la primera recolección y construcción de base de datos, se inicia grabando el recorrido de varias vías típicas de la ciudad de Lima, en las que se encuentran todos los casos de señalización de la red vial de Lima con los diferentes tipos de la señalización vertical, se encontró 31 tipos de señales preventivas. Además, se analizó 2026 imágenes que constituyen aproximadamente la quinta parte de las señales de estas vías teniendo cuidado de hacer un muestreo estadístico estratificado del tipo al que pertenecen las mismas.

La segunda parte, de algoritmo para detectar y reconocer señales de tránsito preventivas peruanas, para la etapa del modelo se divide en detección y reconocimiento muchos autores parten de esta metodología [14] [15] [20] [26] , la misma que fue adaptada para una condiciones propias de Perú, como por ejemplo la Av. Eduardo de Habich, la que fue escogida por ser una avenida típica en los distritos de Los Olivos, Independencia y San Martín de Porres de Lima. En la Fig. 1 se muestra un diagrama de flujo con la metodología desarrollada en la investigación.

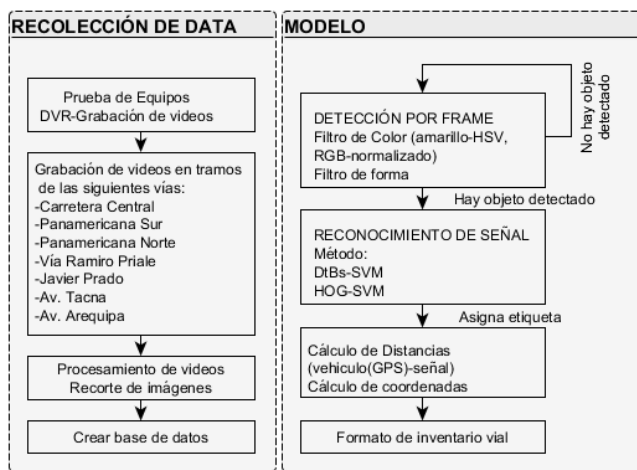


Fig. 1 Diagrama de flujo de la Metodología

A. Recolección de imágenes para base de datos

Se conformó una base de datos propia considerando señales de tránsito preventivas (STP), se recolectaron 2026 imágenes de señales preventivas que se encuentran listadas en la Tabla I y FP (Falso positivo), donde se coloca el código según [16] , código data (etiqueta), cantidad de imágenes y nombre según normativa detalla en la TABLA I.

Fueron capturadas con cámaras de distintas características y de prestaciones de Google como Google Street View, para mayor diversidad en los datos. Las características que varían en las cámaras son la resolución de la imagen, profundidad de color, estabilizador de imagen, distancia focal y megapíxeles, el equipo utilizado.

TABLA I
Resumen de base de datos

ID	Código	Código data	NRO	Descripción
1	-	00001	1	Ferrocarril
2	P-15	00008	90	Señal intersección rotatoria
3	P-33	00011	373	Señal proximidad reductor de velocidad tipo resalto
4	P-46	00013	64	Señal "ciclovia" señal ciclista en la vía
5	P-48	00014	414	Señal zona de presencia de peatones
6	P-49	00015	101	Señal zona escolar
7	-	00016	52	Despacio
8	P-2A	00017	274	Señal curva a la derecha
9	-	00018	1	Peligro
10	P-16A	00019	7	Señal incorporación de tránsito a la derecha
11	P-4A	00020	32	Señal curva y contra-curva a la derecha
12	-	00035	6	Zona de trabajo
13	P-16B	00070	36	Señal incorporación de tránsito a la izquierda
14	P-17C	00071	31	Señal reducción de calzada a lado izquierdo
15	P-2B	00072	248	Curva a la izquierda
16	-	00073	15	
17	P-18A, P17B	00074	5	Reducción del carril externo al lado derecho

ID	Código	Código data	NRO	Descripción
18	P-10A	00075	19	Señal empalme en ángulo agudo a la derecha
19	-	00076	38	Peligro derrumbe
20	P-35	00077	32	Señal fuerte pendiente en descenso
21	P-41	00078	13	Señal túnel
22	P-4B	00079	13	Curva y contra-curva a la izquierda
23	P-5-1	00080	9	Camino sinuoso a la derecha
24	P-5-1A	00081	7	Camino sinuoso a la izquierda
25	P-5-2B	00082	7	Curva en "u" a la izquierda
26	P-5-2A	00083	8	Curva en "u" a la derecha
27	P-4B	00084	6	Señal curva y contra-curva a la izquierda
28	P-56	00085	24	Señal zona urbana
29	P-1B	00086	8	Señal curva pronunciada a la izquierda
30	P-10B	00087	4	Señal empalme en ángulo agudo a la izquierda
31	P-38	00088	3	Señal altura máxima permitida

B. Algoritmo de detección

En esta etapa se propone comparar el uso de dos tipos de filtros: por color y el uso de un filtro de forma para encontrar las regiones de interés (ROI-Region of interest) y reducir los falsos positivos que son elementos que cumplen con las características de una señal, pero no son una STP.

FILTRO POR COLOR

Las STP tienen un color característico indicado en [16], se comparó el desempeño de dos modelos de color el RGB normalizado y HSV con el fin de distinguir que modelo trabaja mejor para el color amarillo. En la Tabla II se muestran los rangos para cada canal R', G' y B' para RGB normalizado y H, S, y V estimados.

Tabla II
Valores de filtro para color amarillo

	RGB normalizado			HSV	
	Min	Max		Min	Max
R'	0.6	0.85	Hue	0.05	0.17
G'	0.5	0.65	Saturation	0.25	-
B'	0	0.5	Value	0.25	-

El filtro mostrado no detecta señales a contraluz como se observa en la Fig. 2, es decir que el sol se encuentra justo detrás de la señal, debido a que los valores de los canales de cada píxel no se encuentran en los rangos especificados.



Fig. 2 Ejemplos de imágenes a contraluz

En la Fig. 3 (a) se observa la conversión de la imagen original al modelo HSV como ejemplo y la Fig. 3 (b) se muestra una imagen binaria resultado de la aplicación del filtro de color mostrado en el Tabla II, los píxeles que cumplen

con el rango específico tomará el valor de 1 (blanco). Los elementos detectados como FP serán eliminados en la siguiente etapa.

FILTRO DE FORMA

El filtro de forma servirá para reducir los FP, y reducir el tiempo de procesamiento en la etapa de reconocimiento. Las señales de tránsito preventivas en Perú tienen una forma característica indicado en [16]. A continuación, se detalla las características geométricas que deberá cumplir cada uno de los elementos, estas características se determinan empíricamente del conjunto de la base de datos elaborada, el primer paso es aplicar operaciones morfológicas como erosión y dilatación para eliminar ruido conocido como sal y pimienta:

- Elementos demasiado grandes;
- Elementos muy pequeños;
- Elementos en donde el área es mayor a 0.45 el área del boundingbox;
- Relación entre altura y el ancho sea mayor a 0.7 y menor a 1.3; y
- Elementos donde la relación entre el perímetro y el área sea menor a 0.15.

La Fig. 3 (c) es el resultado de la aplicación de los filtros de forma se observa que solo dos elementos cumplen con los requerimientos mencionados anteriormente.



Fig. 3 Secuencia de pasos para detección de objetos

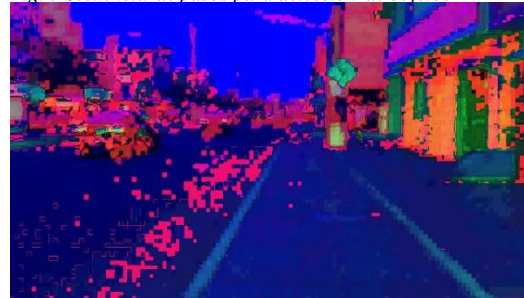




Fig. 4 Secuencia de detección de objetos (a) Imagen HSV, (b) Aplicación filtro de color, y (c) Filtro de forma

C. Algoritmo de reconocimiento

La etapa de reconocimiento o clasificación es la etapa donde los verdaderos positivos (VP) se les brindara una etiqueta para reconocer a qué tipo de señal pertenece, las etiquetas se muestran en el Tabla I. El modelo de clasificación utilizado en este proyecto son máquinas de vectores soporte (SVM, por sus siglas en inglés Support vector machine) es un algoritmo el cual puede ser usado para problemas de clasificación o regresión. Este algoritmo fue propuesto por [4] es un clasificador lineal se fundamenta en la búsqueda de un hiperplano que separe convenientemente dos grupos distintos de elementos, este hiperplano cumple con equidistar de los elementos de ambos grupos., existen diferentes tipos datos: datos separables que es el caso más sencillo; sin embargo, este es un caso ideal ya que siempre encontraremos datos con ruido incluido, el segundo tipo son los datos cuasiseperables; y el tercer tipo datos donde el hiperplano tiene altas dimensiones, estos datos no son linealmente separables en el espacio original llamado espacio de características , las herramientas para la aplicación del algoritmo están implementadas en el software Matlab.

Para la aplicación del SVM es necesario el uso de un descriptor, que nos brinda información de las características de la imagen, el descriptor utilizado es la distancia para bordes (DtBs) [15] e Histograma de Orientación gradiente (HOG)

Un descriptor es un identificador de características de un elemento, obteniendo la menor cantidad de características representativas. Los dos descriptores usados son de forma, el primero clasifica los objetos por geometría, el segundo clasifica las señales según su simbología, esto permite identificar qué tipo de señal existe en un tramo de la vía.

Distancia para bordes DtBs [15] es un método robusto contra la rotación y escala, extrae la distancia desde el bounding box hasta el borde externo del elemento. Las distancias de cada lado del bounding box se miden independientemente obteniendo 4 vectores, la Fig. 5(a) muestra la señal analizada, (b) se observa los objetos que cumple con los filtros de color o que tienen un color similar al de la señal, en la (c) se observa los objetos que cumplen con las características geométricas o de forma y en las (d) se observan las distancias mencionadas anteriormente donde d1, d2, d3 y d4 que son la parte inferior, superior, izquierda y derecha respectivamente luego se concadenan en un solo vector. Se analiza la linealidad del vector y se considerará los objetos con coeficiente de regresión lineal R^2 como medida

para evaluar lo antes expuesto para un vector y es aceptable si el R es menor a 0.7.

Al usar este descriptor (DtBs-SVM) se aceptan los elementos que cumplan con las características de forma especificada, para señales preventivas será un rombo. Este clasificador SVM es un clasificador uno a uno, considerando dos etiquetas "1" para los elementos que cumplen con la forma y "-1" para elementos que no.

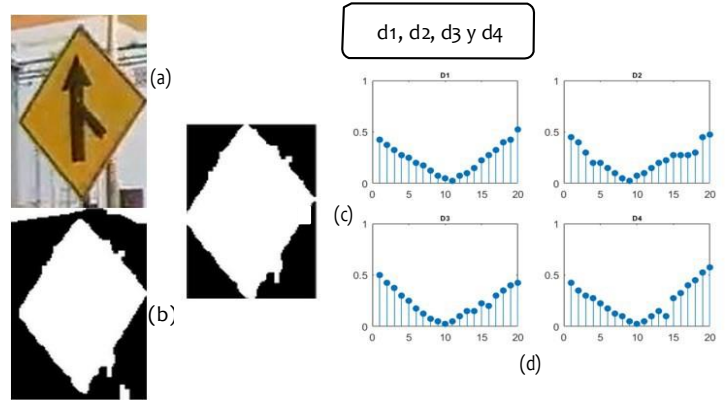


Fig. 5 Distancia para el borde (a) señal original, (b) objetos binarios filtro de color, (c) objeto analizado, (d) distancias desde BB al objeto

Una vez realizada la verificación de forma, una etapa previa antes del segundo descriptor es aplicar una máscara creada, para la eliminar el fondo y concentrar el análisis de clasificación en el símbolo de la señal. La máscara que se muestra en la Fig. 6 (a) tiene dimensiones de 64x64 píxeles por lo que es necesario redimensionar el ROI a la dimensión antes mencionada, en la Fig. 6 (b) se observa la máscara aplicada a varias señales de tránsito.

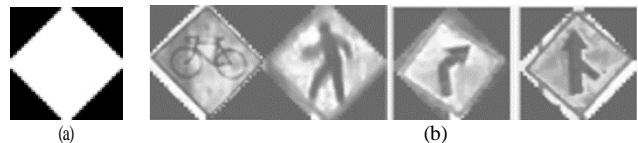


Fig. 6 (a) Máscara de la señal preventiva y (b) Máscara aplicada a las señales

El segundo descriptor basado en la orientación de gradiente [5] brinda información acerca de la forma del objeto que se estudia y sobre todo el símbolo de la señal de tránsito, que es el objeto de interés para determinar el tipo de la señal. Este método calcula los gradientes de la imagen de cada píxel, los gradientes miden el cambio relativo entre dos puntos, es decir la variación entre los píxeles adyacentes en una misma dirección. Para ello se muestran ecuaciones para el cálculo de la gradiente en la vertical; variación entre el píxel de arriba y de abajo como es (1); y en la horizontal entre el píxel de la izquierda y el de la derecha como en (2).

$$d_y = I_{(x,y+1)} - I_{(x,y-1)} \quad (1)$$

$$d_x = I_{(x+1,y)} - I_{(x-1,y)} \quad (2)$$

Donde:

d_y, d_x : variación entre píxeles en la dirección Y y X respectivamente
 $I_{(x,y)}$: Coordenada de un píxel

Con el cálculo anterior el gradiente de la imagen es representado con la magnitud y la orientación de la siguiente manera:

$$\text{Magnitud } D = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \quad (3)$$

$$\text{Orientación } \theta = \arctan\left(\frac{d_y}{d_x}\right) \quad (4)$$

Para el cálculo del histograma es necesario la agrupación de los vectores (D, θ), un bloque está conformado por celdas y estas a su vez por píxeles Fig. 7. El rango de los intervalos de la orientación (θ) puede ser entre 0-360 considerando el signo o 0-180 grados sin considerar el signo, una configuración común para el segundo rango es dividirlo en 9 intervalos de 20 grados cada uno, la magnitud (D) de cada intervalo del histograma será la suma de las magnitudes de los vectores en el bloque que tengan su orientación dentro del mismo intervalo. Finalmente se obtendrá un histograma concatenado.

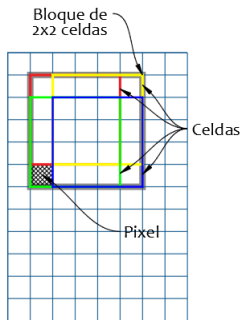


Fig. 7 Descripción gráfica de elementos (a) Estructura de celda y bloques [12]

Para el modelo se consideraron ciertas condiciones iniciales imágenes de 64x64 píxeles, celdas de 4x4 y bloques de 4x4 resultando un conjunto de 8100 atributos por imagen. En Fig. 8 se observa gráficamente la orientación del gradiente, que describe la forma del letrero y del símbolo de la señal.



Fig. 8 Ejemplo de aplicación de HOG

Una vez obtenido el descriptor que se encuentra en forma de vector de longitud de 8100. El SVM será un multclasificador uno a uno, los label usados son los códigos que se encuentran en el TABLA I.

D. Algoritmo coordenada de la señal

Para adquirir la información de coordenadas geográficas de las señales y estimar una distancia aproximada entre la señal y el vehículo, se usará la siguiente fórmula:

$$F = \frac{Px D}{W} \quad (5)$$

Donde:

F : Distancia focal
 P : Ancho aparente
 W : Ancho real del objeto
 D : Distancia del objeto a la cámara

Primero se calcular la distancia focal de la cámara, ingresando datos de una distancia conocida, el P será el ancho en píxeles del objeto en la imagen.

Para el cálculo de la distancia D' :

$$D' = \frac{W}{Px F} \quad (6)$$

Donde:

D' : Distancia estimada de la cámara al objeto,

W : Ancho del elemento real, será considerado depende el tipo de vía que será inventariada según [16], para una Velocidad de diseño (V_d) de 50 km/h a menos el ancho del elemento será de 600 mm según las dimensiones estandarizadas del MTC.

Para la recolección o levantamiento de información de las señales de tránsito preventivas se utilizará la cámara de video, y la información de las imágenes serán almacenadas en el DVR, el cual cuenta con un GPS.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este acápite se describe los resultados de la metodología propuesta para realizar el inventario vial, se evaluará el desempeño de los filtros de color, tiempo de procesamiento para la etapa de detección y así evaluar qué modelo de color es más adecuado para las señales de tránsito preventivas peruanas, además se evaluará el rendimiento del clasificador para la etapa de reconocimiento y finalmente se mostrará el insumo final que es un mapa con la información de las señales inventariadas en la zona de estudio:

A. Análisis métodos de filtros de color

En este proyecto se analiza dos filtros de color seleccionados RGB normalizado y HSV. A continuación, se muestran algunos ejemplos de las señales ubicadas en la Av. Eduardo de Habich. En la Fig. 9 y Fig. 10 muestra el resultado de aplicar el filtro de color y forma para cada modelo de color usado. Para el frame el rango utilizado el modelo RGB normalizado es más restrictivo, como se observa en las imágenes el filtro HSV un vehículo es detectado.

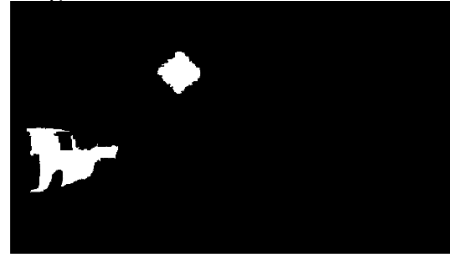


Fig. 9 Detección usando modelo HSV $t=0.411$ s



Fig. 10 Detección usando modelo RGB normalizado $t=0.373$ s

B. Análisis métodos de filtros de color

El tiempo que se demora en procesar la imagen es muy importante porque de ello depende si el algoritmo puede ser utilizado en tiempo real, en la siguiente tabla detallamos los tiempos antes mencionados, se observa que el modelo HSV tiene un mejor desempeño hasta la etapa de conversión donde el tiempo acumulado es menor, en las operaciones morfológicas los tiempos son similares. Sin embargo, en las siguientes etapas el tiempo acumulado del HSV sube considerablemente esto se debe a que en el filtro HSV los elementos analizados son dos a diferencia del RGB normalizado. Aquí se observa la importancia de eliminar los FP para mejorar el desempeño en el tiempo de procesamiento.

TABLA III
Tiempo computacional etapa de Detección

Descripción	normRGB	HSV
Conversión a nuevo modelo de color	0.1345	0.0376
Segmentación de color	0.1489	0.1616
Operaciones Morfológico	0.2276	0.2777
Etiquetado	0.3391	0.3726
Segmentación de forma	0.3611	0.4001
Total	0.3730	0.4115

C. Análisis de etapa de reconocimiento

El algoritmo es capaz de imprimir el código de proyecto de la señal y extraer un video finalizado el proceso. A continuación, se mostrarán algunos ejemplos de las señales detectadas y reconocidas en la vía de estudio Av. Eduardo de Habich. En la Fig. 13 y Fig. 15 se observa que el algoritmo detecta y reconoce la señal dentro del fotograma según las etiquetas mostradas en el Tabla I.

Otros ejemplos fuera del campo de estudio, el algoritmo detecta perfectamente en otras condiciones como en un día soleado. La imagen Fig. 11 pertenece a la carretera central con denominación PN-22 del Perú.



Fig. 11 Detección y reconocimiento de señal resalto P-33 código proyecto 00011

TABLA IV
Señales de tránsito preventivas reconocidas

Código MTC	Código del proyecto	RGB	HVS
P-48	00014	No	Sí
P-48	00014	Sí	Sí
P-48	00014	Sí	Sí
P-49	00015	Sí	No
P-33	00011	Sí	Sí
P-33	00011	No	No
P-15	00008	Sí	Sí
Ciclovía	s/c	No	No

D. Análisis de etapa de reconocimiento

El descriptor utilizado es el histograma de orientación gradiente, la cantidad de elementos predictores utilizados en el vector depende de la cantidad de píxeles utilizados en las celdas, para el proyecto se utilizó celdas de 4x4 y 8x8, lo que nos da un vector de 1764 y 8100 respectivamente. Además, se evaluó el rendimiento de cada predictor con el método cross validation o validación cruzada, la cual es una técnica para evaluar modelos de machine learning, nos ayuda a detectar el sobreajuste, se considerará un número de particiones de 10. El valor de Eprev es el error del clasificador se observa que para el descriptor de celdas 8x8 es ligeramente menor. A continuación, se mostrará el rendimiento para el descriptor HOG, para ambos casos antes mencionados. Para ambos se usa el método SVM uno a uno. Para el descriptor de celdas 8x8 el error del clasificador es ligeramente menor.

TABLA V
Error del clasificador

Celdas	Error del clasificador
4x4 píxeles	0.0824
8x8 píxeles	0.0616

E. Mapa de señales

Finalmente, para una mejor visualización se presentará el mapa de señales detectadas y reconocidas de la Av. Eduardo de Habich. En la Fig. 12 se muestra el mapa de señales de tránsito. Cada señal brinda información del tipo, Calzada y material como se muestra en TABLA VI. En el mapa se encuentra la información inventariada de la zona de estudio.

TABLA VI
Datos de la señal de tránsito: Inventario vial Av. Habich

Nombre de ítem	Descripción
Tipo	P-48
Calzada	Este a Oeste
Material	Metálico



Fig. 12 Mapa de señales



Fig. 13 Detección y reconocimiento de señal resalto 1 P-33 código proyecto 00011



Fig. 14 Detección y reconocimiento de señal peatonal P-48 código proyecto 00014

V. CONCLUSIONES

La base de datos de señales de tránsito preventivas peruanas tiene 2026 imágenes que servirán para futuras investigaciones en el tema de detección y reconocimiento de señales preventivas de tránsito, para inventarios viales u otros temas relacionados.

Las señales de tránsito son elementos con características similares como el color y forma predeterminadas lo que permite el uso de filtros de color y forma para la detección de las regiones de interés. Sin embargo, el algoritmo propuesto encuentra dificultades para detectar señales en mal estado como deterioro de la pintura, ya que no se encuentra en el rango especificado de intensidad del color, por lo que se tendrá que optimizar el algoritmo para realizar un inventario vial tal y como lo especifica[17].

La segmentación del modelo de color HSV presentó un mejor performance que el modelo RGB normalizado, normalizado hasta la etapa de conversión del modelo. El uso del filtro de forma (distancia para el borde, Dtb) permite reducir en gran medida los falsos negativos, y por tanto el tiempo de procesamiento de la información de un fotograma. Con lo mencionado anteriormente se recomienda el uso de RGBnorm+filtro de forma para la detección de señales de tránsito preventivas peruanas.

El tiempo de procesamiento es una variable importante que permite determinar la velocidad del vehículo, teniendo como

entrada la distancia de captura que se quiere evaluar, para realizar el levantamiento a tiempo real. En este proyecto obtenemos una velocidad entre 8.3- 20.8 km/h. La Av. Habich no es una vía muy congestionada, sin embargo, en vías rápidas sería difícil conducir a esa velocidad por lo que se considera hacer el procesamiento en gabinete.

El uso de histograma de orientación de gradientes se usan dos tipos de tamaño de celda 4x4 y 8x8, el error generado por celdas de 8x8 es menor a las celdas generadas de 4x4, 0.0616 y 0.0824 por lo que se recomienda el uso de celdas de 8x8 para las variables ingresadas al HOG.

El uso de una interfaz a tiempo real permitirá mejorar el proceso de toma de datos, de manera visual, y gestionar mejor los datos recopilados en campo. Sin embargo, el tiempo de procesamiento de la metodología propuesta es muy lento para realizar un levantamiento en tiempo real, para ambos casos propuestos el tiempo es de alrededor 0.5 s. En ambos modelos de color se obtiene un porcentaje de reconocidos de 62.5%, se debe tener en cuenta que la distancia desde el punto de captura hasta la señal es un factor importante, debido a la resolución de la imagen. En el caso de la investigación no se logró adquirir la información de 3 señales a lo largo de la avenida Habich, una de ellas fue la señal de Ciclovía.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda la combinación de otros algoritmos de reconocimiento profundo o Deep neural networks, para optimizar el tiempo de procesamiento, además se debe tener en cuenta que para este tipo de algoritmos se requiere enriquecer aún más la base de datos construida. Se recomienda también combinar la metodología propuesta con redes neuronales convolucionales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al IIFIC, Instituto de investigación de la facultad de ingeniería civil por el apoyo en el financiamiento de esta investigación y al Doctor Jorge Vargas de la PUCP por la revisión de la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] M. Abedin, P. Dhar, K. Deb, "Traffic Sign recognition using SURF: speeded up robust feature descriptor and artificial neural network classifier". *IEEE 9th International conference on electrical and computer engineering (ICECE)*. Dhaka, 2016, pp. 198-201
- [2] K. Ayuque, F. Jimenez, "Diseño de sistema de clasificación de señales de tránsito vehicular utilizando redes neuronales convoluciones". Tesis de título profesional. Universidad San Ignacio de Loyola. Barcelona, Lima, 2016 [En línea]. Disponible: <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/2480>
- [3] E. Carmona, "Tutorial sobre Maquinas de vectores de clasificación (SVM)" Madrid, 2014. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/263817587_Tutorial_sobre_Maquinas_de_Vectores_Soporte_SVM
- [4] C. Cortes, V. Vapnik, "Support vector machine". *Machine Learning*. pp. 1-25, 1995
- [5] N. Dalal, B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection", *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*. San Diego, CA 2005, pp. 886-893
- [6] C.Y Fang, S.W. Chen, C.S. Fuh, "Road Sing Detection and Tracking". *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, vol. 52, no. 5, pp. 1329-1341, Sept. 2003
- [7] J. Greenhalgh, M. Mirmehdi, "Real-Time Detection and Recognition of Road Traffic Signs". *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, vol.13, pp.1498-1506, 2012.
- [8] J. Ho-Chung, D. Won-Kim, T. Koo-Kang, M Taeg-Lim. "Traffic Sign Recognition in Harsh Environment Using Attention Based Convolutional Pooling Neural Network". *Neural Processing Letter*, Vol 51, pp. 2551-2573, 2020.
- [9] R. Gonzalez, R. Woods, *Digital Image Processing*, Edición N° 2 , New Jersey, NY, USA: Prentice Hall, 2008.
- [10] L. King, A. Li, S. Kah, "New hybrid technique for traffic sign recognition", *International symposium on intelligent signal processing and communications systems*, 2009, pp. 1-4
- [11] J. Tang, et-al., "Traffic Sign Recognition Based on HOG Feature and SVM", *EITCE 2020: Proceedings of the 2020 4th International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering*, 2020, pp. 534-538
- [12] A. López, E. Valveny, M. Vanrell. Detección de objetos del Curso virtual de la Universidad Autónoma de Barcelona [En línea]. Disponible: <https://www.coursera.org/learn/deteccion-objetos/home/welcome>. Barcelona, 2015
- [13] H. Mahammad, W. Safat, P. Tan, "Traffic Sign Classification based on Neural Network for Advance Driver Assistance System". *Universiti Kebangsaan Malaysia*, Bangi, 2014. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/275887132_Traffic_Sign_Classification_Based_On_Neural_Network_for_Advance_Driver_Assistance_System
- [14] S. Lafuente, S. Maldonado, "Sistema de detección y reconocimiento de señalización en carretera mediante técnicas de procesado digital de imagen e inteligencia artificial", Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 2014. [En línea]. Disponible: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/22797>
- [15] S. Maldonado et al., "Road-Sign Detection and Recognition Based on Support Vector Machines". *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, vol. 8, pp. 264 - 278, 2007
- [16] *Manual de Dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras*, MTC, Lima, 2018. [En línea]. Disponible: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- [17] *Manual de Inventarios Viales*, MTC, Lima, 2016. [En línea]. Disponible: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- [18] C. Pérez, "Emotions Recognition using Deep Learning". Trabajo final de Master. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2016. [En línea]. Disponible: <https://riunet.upv.es/handle/10251/77873>
- [19] C. Rocha, J. Escorcía, "Sistema de Visión artificial para la detección y el reconocimiento de señales de tráfico basado en redes neuronales". Eighth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Arequipa, 2010. [En línea]. Disponible: http://www.laccei.org/LACCEI2010-Peru/Papers/Papers_pdf/TS158_Rocha.pdf
- [20] Y. Saadna, A. Behloul, "An overview of traffic sign detection and classification method". *Int J Multimed Info Retr* 6, pp. 193-210, 2017.
- [21] R. Schmit, "Las tecnologías de construcción de carreteras han sido diseñadas y desarrolladas para mejorar la eficiencia y la producción" *Research and Innovation Seminars*. Piura, 2015. [En línea]. Disponible: <https://udep.edu.pe/hoy/2015/11/1a-tecnologia-de-construccion-de-carreteras-mejora-la-eficiencia-y-la-produccion/>
- [22] J. Vélez, A. Moreno, A. Sánchez, *Visión por computador*, Madrid, M, España: S.L.-DYKINSON, 2003.
- [23] R. Kanthavel, "Hybrid Framework on Automatic Detection and Recognition of Traffic Display board Signs", *Journal of ISMAC*, Volume 3, pp 191-205, 2021
- [24] N. Hasan, T. Anzum, N. Jahan, "Traffic Sign Recognition System (TSRS): SVM and Convolutional Neural Network". *Inventive Communication and Computational Technologies*, eecture Notes in Networks and Systems, vol 145, pp 69-79, 2020.
- [25] Yang, WJ., Luo, CC., Chung, PC., Yang, JF.. Simplified Neural Networks with Smart Detection for Road Traffic Sign Recognition. In: Arai, K., Bhatia, R. (eds) *Advances in Information and Communication*. FICC 2019. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 69, 2019.
- [26] V. Golgire, "Traffic Sign Recognition using Machine Learning: A Review", *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT)* Vol. 10, Issue 05, Mayo 2021.