

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ing. Sist. de Telecom., Sonido e Imagen



**“Implementación de un software
para la detección y reconocimiento de
señales de tráfico en tiempo real a partir
de un vídeo capturado en un vehículo en
circulación”**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Jesús Enrique De La Cruz Mateo

Tutor/a:

José Ignacio Herranz Herruzo

Felipe Vico Bondía

GANDIA, 2017

RESUMEN

El propósito de este TFG es implementar un conjunto de algoritmos de procesamiento de imagen que permitan detectar y reconocer el tipo de señales de tráfico que un vehículo se pueda encontrar cuando circula por una vía española. El código desarrollado debe ser capaz de extraer la información en tiempo real a partir de un vídeo que muestre una situación de conducción real.

PALABRAS CLAVE

Detección, Reconocimiento, Algoritmo, Procesado de Imagen, Visión Artificial.

ABSTRACT

The purpose of this end-of-degree project is to implement a set of image processing algorithms that allow to detect and to recognize the type of traffic signals that a vehicle can find when circulating on a Spanish road. The developed code must be able to extract the information in real time from a video that shows a real driving situation.

KEYWORDS

Detection, Recognition, Algorithm, Image Processing, Computer Vision.

ÍNDICE

Resumen	I
Palabras clave	I
Abstract	I
Keywords	I
Índice	II
Índice de figuras	III
Índice de tablas	IV
1. Introducción	1
1.1. Presentación	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivos principales	1
1.2.2. Objetivos secundarios	2
1.3. Metodología	2
1.4. Etapas	2
1.5. Dificultades encontradas	3
2. Situación actual de la seguridad vial	3
2.1. Datos mundiales	3
2.2. Datos en España	4
2.3. Principales causas de accidente	5
3. Motivación	6
4. Estado del arte	6
4.1. Sistema TSR integrado en coches	7
4.2. Aplicaciones móviles con TSR	8
4.3. Trabajos de investigación	9
5. Equipo utilizado	9
5.1. Elementos físicos	10
5.1.1. Ordenador	10
5.1.2. Videocámara deportiva	10
5.1.3. Soporte para la cámara.....	11
5.1.4. Coche	11
5.2. Software	11
6. Señales de tráfico	12
6.1. Señales de prohibición o restricción	13
6.2. Señales de advertencia de peligro	13
6.3. Señales de prioridad	13
6.4. Señales de fin de prohibición o restricción	14
7. Diseño y desarrollo del proyecto	14
7.1. Señales a detectar	15
7.1.1. Señales de prohibición	15
7.1.2. Señales de advertencia de peligro	15
7.1.3. Señales de prioridad.....	15
7.1.4. Señal fin de prohibición.....	15
7.2. Características del sistema	16

7.3.	Estructura del programa	16
7.4.	Detección de señales	18
7.5.	Clasificación de señales	21
7.5.1.	Señales circulares.....	23
7.5.2.	Señales de Stop y dirección prohibida.....	24
7.5.3.	Señales triangulares	25
7.6.	Reconocimiento de señales.....	26
7.6.1.	Tratamiento del fotograma del video.....	26
7.6.2.	Creación de la base de datos.....	28
7.6.3.	Comparación de la imagen con la base de datos	29
7.7.	Señal fin de prohibición de adelantamiento.....	30
7.8.	Notificación del resultado de la detección	32
7.9.	Interfaz Gráfica	33
7.9.1.	Botones	34
7.9.2.	Funcionamiento	35
8.	Resultados obtenidos	36
8.1.	Detección de señales	36
8.2.	Clasificación de señales.....	37
8.3.	Reconocimiento de señales.....	38
8.4.	Tiempo de ejecución del algoritmo	39
9.	Mejoras futuras.....	40
10.	Conclusiones	42
11.	Bibliografía	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de fallecidos en accidente de tráfico con víctimas. España, 1960-2015 [3].....	5
Figura 2. Sistema TSR integrado en un vehículo [6].....	7
Figura 3. Aplicación móvil myDriveAssist [7].....	8
Figura 4. Cámara SJ4000 Wifi [17].....	11
Figura 5. Ventosa para exterior con trípode y regulador de posición para la cámara de video [18].....	11
Figura 6. Señales de Prohibición o restricción.....	13
Figura 7. Señales de advertencia de peligro.....	13
Figura 8. Señales de Prioridad	14
Figura 9. Señales de fin de prohibición o restricción.....	14
Figura 10. Zona de interés de la imagen (ROI)	16
Figura 11. Estructura del programa	17
Figura 12. Espacio de color HSV	18
Figura 13. Cambios de tono de color en una misma señal.....	19

Figura 14. Segmentación de color rojo y post-procesado.....	19
Figura 15. Detección y calculo de propiedades de objetos en imagen original.....	20
Figura 16. Señalización doble en una señal vertical.....	20
Figura 17. Proceso de separación de señales dobles.....	21
Figura 18. Segmentación y post-procesado de imágenes recortadas.....	22
Figura 19. Señales rellenadas.....	22
Figura 20. Imágenes binarias de la base de datos Especiales.mat.....	25
Figura 21. Tratamiento de imagen a señal triangular.....	27
Figura 22. Tratamiento de imagen a señal circular.....	27
Figura 23. Base de datos de señales de peligro.....	28
Figura 24. Base de datos de señales de prohibición.....	29
Figura 25. Resultados de comparaciones entre la imagen tratada y varias imágenes de la base de datos.....	29
Figura 26. Señal de final de prohibición de adelantamiento.....	30
Figura 27. Pasos de detección de la señal de fin de prohibición de adelantamiento.....	31
Figura 28. Recorte de señal de la imagen original tras análisis de descriptores.....	31
Figura 29. Imagen de la señal umbralizada a negro e imagen patrón de la base de datos ...	32
Figura 30. Vector acumulador de detecciones.....	33
Figura 31. Interfaz gráfica de la aplicación.....	34
Figura 32. Funcionamiento de la GUI.....	35
Figura 33. Detección de señal con reflejo del sol.....	36
Figura 34. Señales grabadas durante el anochecer.....	37
Figura 35. Señales grabadas durante la noche.....	37
Figura 36. Detección de señal desgastada.....	38
Figura 37. Imágenes de la base de datos de la señal del límite de 60 Km/h.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores obtenidos para descriptores en señales circulares.....	23
Tabla 2. Valores obtenidos para descriptores en señales de Stop y dirección prohibida.....	24
Tabla 3. Valores obtenidos para descriptores en señales triangulares.....	25
Tabla 4. Tiempo de ejecución del algoritmo de detección.....	39
Tabla 5. Tiempo de ejecución del conjunto de algoritmos.....	40

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación

En la actualidad los sistemas de visión artificial se encuentran en plena expansión. El objetivo principal de estos sistemas es adquirir, procesar y analizar imágenes del mundo real con el fin de generar información que pueda ser interpretada por una máquina. Esta tecnología se ha expandido en numerosos sectores del ámbito industrial, entre los cuáles se pueden destacar, entre otros, los sistemas de ayuda a la conducción.

Una de las funciones en las cuáles se puede integrar la visión artificial en el sector del automóvil, es en la detección y reconocimiento de señales de tráfico sobre una fuente de video en tiempo real. Esto ha sido investigado y desarrollado por los principales fabricantes de vehículos en los últimos años para ofrecer al conductor una mayor comodidad durante la conducción y conseguir en un futuro una conducción mediante vehículos autónomos inteligentes que sea segura.

Por otro lado, la gran preocupación existente en lo que respecta a la seguridad vial hace que el interés en el desarrollo de este tipo de tecnología no sea únicamente por parte de los fabricantes de automóviles, sino que también sea un problema de interés internacional. Gracias a avances en este tipo de sistemas se consiguen mejoras en seguridad, reducción de costes en combustible, optimización de recursos y también una reducción de errores debido al factor humano.

En este trabajo se abordará en primer lugar la situación actual de la seguridad vial y cuál es el estado del arte para sistemas de detección y reconocimiento de señales. Todo ello, para conocer el cómo y por qué surgieron este tipo de técnicas. Después, se explicará el equipo que se ha utilizado para la realización de este trabajo y se introducirán las señales más importantes del código de circulación español. Tras esto, se analizará detalladamente cómo se ha realizado el diseño y desarrollo del proyecto. Y por último, se presentarán los resultados del algoritmo en capturas de los videos tomados en carretera en diferentes situaciones reales y se propondrán algunas mejoras futuras para perfeccionarlo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos principales

- Estudio y aplicación de las diferentes técnicas de detección y reconocimiento de señales de tráfico en base a una imagen digital.
- Estudiar la mejor opción posible para gestionar una base de datos de las distintas señales de tráfico.
- Diseñar e implementar un código lo más eficiente y robusto posible para poder detectar y reconocer las distintas señales en una situación real de circulación del automóvil.
- Comprobar el correcto funcionamiento del código y proponer posibles mejoras para corregir las deficiencias detectadas.

1.2.2. Objetivos secundarios

- Ampliar el número de señales a detectar en la medida de lo posible.
- Conseguir el mayor número de muestras para cada señal de la base de datos.
- Reducir el tiempo de ejecución del algoritmo lo máximo posible.
- Realizar una interfaz gráfica con un buen diseño y que sea intuitiva para el usuario.

1.3. Metodología

Lo primero que se realizó para llevar a cabo este proyecto fue una búsqueda intensiva de información. Para ello se leyeron numerosos artículos científicos con el objetivo de recopilar información sobre cómo se aplicaba la visión artificial a sistemas de detección y reconocimiento de señales en automóviles.

Tras obtener la información necesaria, se fijaron unos objetivos realistas que se querían obtener en el desarrollo de este trabajo. Así pues se comenzó por realizar el algoritmo en imágenes fijas que tuvieran señales de tráfico con componentes de color rojo: señales de peligro, señales de prohibición, Stop, Ceda el paso y señal de dirección prohibida.

Después de obtener buenos resultados en las imágenes fijas, se pasó a implementar un código que cumpliera las mismas funciones de detección y reconocimiento, pero esta vez en vídeos de conducción real. Aquí se mejoró el código lo máximo posible para que el algoritmo fuera capaz de realizar sus funciones en tiempo real.

Tras conseguir que el algoritmo funcionase correctamente en vídeos, se quiso ampliar la detección a la señal de fin de prohibición de adelantamiento. Esta decisión fue tomada ya que en la mayoría de vídeos grabados era una señal que aparecía habitualmente.

Por último, se diseñó una interfaz gráfica para facilitar el uso de la aplicación al usuario. En esta se puede ver cómo funciona el algoritmo mientras se reproduce el vídeo al mismo tiempo.

1.4. Etapas

En este punto se presentan las diferentes fases que se han realizado para llevar a cabo este TFG y además se van a precisar las horas totales que se han invertido para conseguir el objetivo de este:

- 1) Búsqueda de bibliografía y documentación para el desarrollo del TFG.
- 2) Implementación de un código para la detección y el reconocimiento de señales de tráfico en una imagen estática a partir de una base de datos a determinar.
- 3) Grabación de varios videos para simular una situación real.
- 4) Adaptación del código para el procesamiento de un video en tiempo real.
- 5) Mejora y optimización del código del programa para reducir el tiempo de procesado de la imagen, con el objetivo de mejorar la tasa de fotogramas procesados por segundo.

- 6) Comprobación y evaluación del funcionamiento del programa completo, mediante los diferentes vídeos capturados.
- 7) Desarrollo de un entorno gráfico para el ajuste del código y la visualización de la información.
- 8) Corrección de posibles errores y deficiencias detectadas.
- 9) Redacción de la memoria del proyecto.

La suma total de horas estimadas de trabajo por parte del alumno para realizar el TFG ha sido de: 335 horas.

1.5. Dificultades encontradas

La gran mayoría de los problemas que han aparecido durante el desarrollo del proyecto han sido provocados por situaciones que surgen en la realidad y que son imposibles de controlar por nuestra parte. Algunos de los problemas que se han encontrado durante las grabaciones de los vídeos han sido:

- Señales de tráfico en mal estado.
- Objetos que obstaculizan las señales.
- Mala iluminación de las señales.

En el apartado 8 de esta memoria, se presentarán estos problemas y también las soluciones que se han adoptado para llegar a realizar un algoritmo que sea lo más robusto posible dentro de nuestras posibilidades.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA SEGURIDAD VIAL

La seguridad vial se refiere a la prevención de accidentes de tráfico con el objetivo de proteger la vida de las personas. Este concepto es de vital importancia en la vida cotidiana de las personas ya que permite reducir el número de accidentes y minimizar los costes en vidas humanas. Por ello, muchos países han decidido impartir clases y jornadas formativas sobre seguridad vial en los centros de enseñanza. Todo ello para enseñar a los más pequeños las normas de circulación e indicarles cómo deben comportarse, tanto si son conductores como si son peatones [1]. Además, también se están realizando importantes inversiones en nuevas tecnologías que permitan mejorar la seguridad de la población durante la conducción.

2.1. Datos mundiales

Según la Organización Mundial de la Salud en el año 2015, los traumatismos causados por los accidentes de tránsito son una de las causas de muerte más importantes en el mundo, y la principal causa de muerte entre personas de edades comprendidas entre los 15 y los 29 años. El número de personas que fallece al año debido a estos siniestros es aproximadamente de 1,25 millones en todo el mundo. En lo que respecta a las tasas de mortalidad, estas son mucho más importantes en los países con ingresos bajos que en los países con ingresos altos. Un dato a destacar es que el 90% de las muertes por accidentes

de tránsito se producen en países de ingresos bajos y medios, pese a que esos países únicamente concentren el 54% de los vehículos del mundo [2].

También cabe destacar que existen otras víctimas que sufren traumatismos no mortales que les provocan una discapacidad. El número aproximado de víctimas no mortales al año oscila entre 20 y 50 millones de personas en todo el mundo [2].

Las lesiones o pérdidas humanas que provocan los accidentes de tráfico suponen un importante daño en los familiares. En muchas ocasiones, los familiares que sufren una pérdida no les ocasiona únicamente un daño emocional, sino que también puede suponerles una pérdida del sustento económico familiar. Esto causa en muchos casos que las familias entren en un estado de vulnerabilidad y en muchas circunstancias esto origina que tengan que rehacer su vida para poder mantener la unidad familiar económicamente o cuidar de los familiares lesionados. Además, también pueden aparecer problemas psicológicos que les haga dejar de trabajar una temporada y dependan de tratamientos psicológicos.

Por otro lado, estas lesiones causadas por los accidentes de tráfico originan pérdidas económicas en los países donde tienen lugar y en la economía mundial. Se estima que los accidentes de tráfico cuestan a la mayoría de los países el 3% de su PIB [2].

No obstante, gracias a la correcta aplicación de las medidas de seguridad vial puestas en marcha en los últimos años y a las inversiones en nuevas tecnologías aplicadas al automóvil se ha conseguido reducir el número de accidentes mortales. Prueba de ello es la estabilización de las muertes por accidente de tránsito pese al aumento de la población mundial en un 4% y del incremento en el uso de vehículos de motor en un 16% [2].

Aunque los datos son positivos, aún queda mucho por hacer sobre todo en los países con un bajo nivel económico donde no se cumplen en muchos casos las normas básicas de seguridad vial y la inserción de nuevas tecnologías no es muy importante. Por ello, el esfuerzo realizado para reducir el número de muertes por accidentes de tráfico sigue siendo insuficiente [2].

2.2. Datos en España

En base al informe sobre las principales cifras de la siniestralidad vial redactado por la Dirección General de Tráfico en el año 2015, el número de accidentes con víctimas es de 97.756. De estos accidentes se han contabilizado un total de 1689 fallecidos, 9.495 heridos hospitalizados y 124.960 heridos no hospitalizados [3]. Si comparamos estos datos con el curso anterior (año 2014) se obtienen los siguientes resultados:

- Un aumento de un 7% en accidentes de tráfico.
- El número de fallecidos ha sido igual.
- El número de heridos hospitalizados ha disminuido un 1%.
- El número de heridos no hospitalizados ha aumentado un 7%.

Se puede destacar que el número de accidentes notificados en vías interurbanas ha disminuido un 2% desde 2012 y el correspondiente a vías urbanas ha aumentado un 32%. Este aumento de accidentes de tráfico total se debe a que actualmente es posible notificar siniestros que antiguamente no se podían notificar por falta de medios [3].

La evolución de las cifras de víctimas mortales por accidente de tráfico desde el año 1960 hasta el año 2015 se puede ver a continuación (Figura 1) :

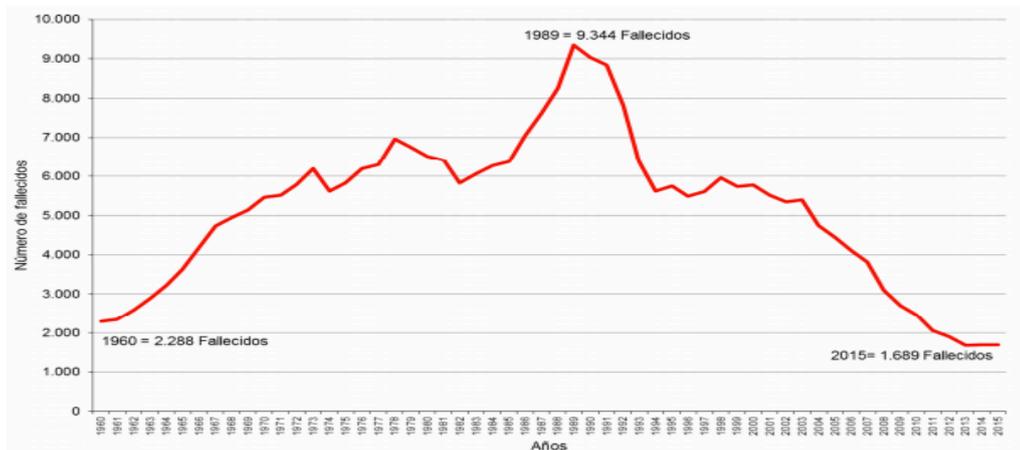


Figura 1. Evolución de fallecidos en accidente de tráfico con víctimas. España, 1960-2015 [3]

Como se puede ver en la Figura 1, el número de víctimas mortales en accidente de tráfico aumentaba cada año desde 1960 hasta 1989. Esto se debía al aumento anual del parque de automóviles, al incremento del número de traslados de larga distancia y a la falta de seguridad que ofrecían los vehículos de la época.

Pero a partir de 1989 hasta nuestros días, se ha experimentado un descenso progresivo del número de fallecidos en accidentes de tráfico. Este gran resultado se debe entre otras cosas a una larga lista de mejoras que se han ido introduciendo en la seguridad vial: mejoras de carreteras del estado, nuevas normas de tráfico, mejor asistencia sanitaria en carretera y también la aplicación de nuevas tecnologías en los vehículos que ofrecen mayor seguridad a los conductores. Un ejemplo de esta tecnología es el detector de señales de tráfico, que permite al conductor conocer las distintas señales que un usuario puede encontrar por el camino y advertirle de los posibles peligros de la carretera para evitar un posible accidente.

2.3. Principales causas de accidente

Los accidentes de tráfico son un problema de vital importancia en nuestra sociedad como se ha visto en los apartados anteriores. Estos suelen provocarse por culpa de ciertos factores de riesgo que se pueden separar en tres distintos grupos: factores humanos, factores mecánicos y factores ambientales. Dependiendo de las condiciones en las cuales suceda el siniestro, los pesos que tendrán cada uno de los anteriores factores variará [4].

Los factores humanos suelen ser la causa principal de accidentes de tráfico, es más, según la DGT son responsables de entre el 70% y 90% de los siniestros. Y uno de los principales factores de riesgo humano sería la velocidad inadecuada que está presente

en el 20% de los accidentes mortales [3]. Los principales factores de riesgo humanos que pueden aparecer son los siguientes:

- Conducir bajo el efecto de alcohol o drogas.
- Conducir a velocidades excesivas.
- Falta de experiencia en la conducción.
- Adelantar en lugares prohibidos.
- Distracciones al volante. (Uso del móvil y del GPS)
- No cumplir las normas de tráfico.

En lo que respecta a los factores riesgo mecánicos, se refiere a que el vehículo no se encuentre en un estado óptimo para circular. Aquí se tendrían en cuenta posibles fallos o averías que puedan provocar que el coche no responda correctamente en una situación de conducción [4], y por culpa de ello, el conductor no pueda evitar un accidente.

Por último, tendríamos los factores de riesgo ambientales que sería cualquier situación ambiental que no permitiera conducir de una manera óptima, como puede ser la niebla, la lluvia, la nieve o cualquier otra circunstancia que afecte a la conducción. Además, también se tiene en cuenta aquí el estado de las señales o de las carreteras del estado [4].

3. MOTIVACIÓN

Durante estos cuatro años de grado, he tenido que realizar numerosos viajes en coche a mi ciudad natal, Zaragoza. En el transcurso de esos viajes, había muchas veces que desconocía el límite de velocidad al cual debía de circular debido a que no había presencia de ninguna señal en muchos kilómetros. Por ello, sentí la curiosidad de hacer alguna aplicación que pudiera resolver este problema. Además de mi pasión por el sector del automóvil, este proyecto comparte otra de mis nuevas pasiones que es el tratamiento digital de la imagen.

Otra de las razones que me llevaron a elegir este trabajo es que este tipo de tecnología puede ayudar a reducir el número de infracciones y descuidos que produce la gente por desconocimiento del límite de velocidad o de cualquier otro tipo de señal importante. Todo ello con el objetivo de reducir los accidentes que se puedan evitar por culpa de incumplimientos de las leyes de circulación.

4. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, se han desarrollado múltiples sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ADAS) con el fin de reducir el número de accidentes en las carreteras. Esta tecnología se está implantando en la mayoría de los nuevos modelos de coche de todas las marcas y permite que el conductor conozca el estado de la carretera de una forma

más precisa. Estos sistemas permiten, entre muchas otras cosas, avisar al conductor del estado de las carreteras, informar de posibles colisiones, detectar obstáculos en la vía y salidas de carril o detectar y comunicar al conductor las señales de tráfico que se encuentran en el camino.

En lo que respecta a sistemas de detección y reconocimiento de señales (TSR), se puede decir que es un sistema que actúa como un observador infatigable y que en muchas ocasiones puede actuar en combinación con otros sistemas del coche para garantizar la seguridad de los pasajeros del vehículo. Suele ser un avisador automático que va notificando al conductor mediante pitidos y muestra la limitación de la vía directamente a través de un ordenador de a bordo. Este tipo de tecnología no es un estándar ya que cada fabricante le dota de unas características distintas [5].

Esta detección y reconocimiento de señales es posible gracias al uso de cámaras de vídeo que se sitúan normalmente en el parachoques frontal o en el parabrisas del vehículo y graban la carretera. Una vez captada la señal de vídeo, es un ordenador el que se encarga de leer la señal e interpretarla. El sistema debe de ser lo suficientemente robusto y rápido para avisar al conductor en tiempo real. Con ello el conductor podrá consultar en caso de despiste la limitación de la ruta para aumentar la seguridad y olvidarse de las posibles multas si sigue las indicaciones que muestra el sistema [6].

Actualmente existen coches que ya lo llevan integrado como hemos dicho antes y también existen aplicaciones que se pueden utilizar mediante el uso del móvil en el caso de que no se disponga de un vehículo que cuente ya con el sistema. A continuación se van a comentar cada uno de los dos casos y también se hablará de las líneas generales que siguen los trabajos de investigación encontrados en la literatura.

4.1. Sistema TSR integrado en coches

Los fabricantes que actualmente han integrado estos sistemas en su flota de vehículos son varios como: Audi, BMW, Citroën, Ford, Honda, Infiniti, Jaguar, JEEP, Land Rover, Lexus, Mercedes, Nissan, Opel, Peugeot, Porsche, Renault, Toyota, Volkswagen y Volvo. A continuación se muestra un ejemplo de aplicación de TSR en un coche de la marca Opel (Figura 2):

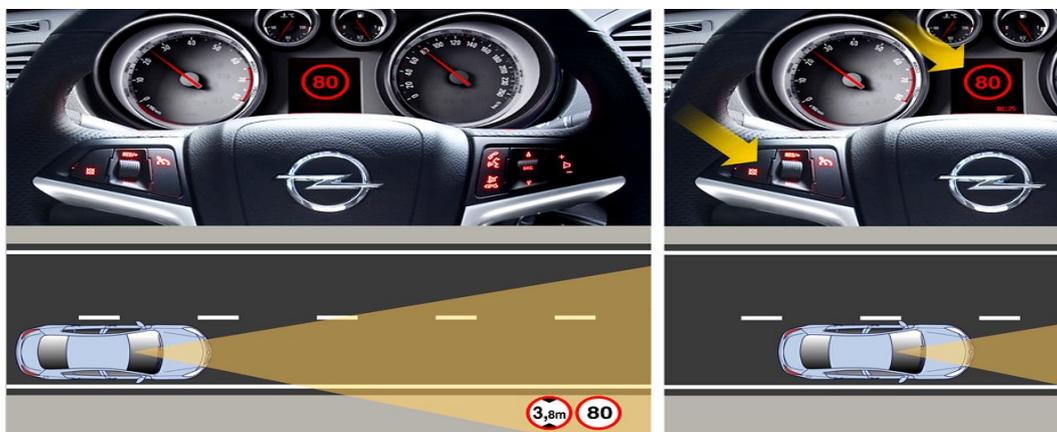


Figura 2. Sistema TSR integrado en un vehículo [6]

En lo que respecta a los sistemas integrados de TSR en vehículos, existen dos tipos de aplicaciones de la tecnología TSR [6]:

- **Aplicación Pasiva:** Esta consiste en avisar al conductor mediante pictogramas o sonidos de que entra en una zona que tiene una nueva limitación indicada por una señal de tráfico. En este caso será el conductor el que tome la decisión de respetar la señal o no.
- **Aplicación Activa:** Esta consiste en que el coche interviene automáticamente cuando detecta la señal. Por ejemplo, si el conductor circula a una velocidad excesiva y el sistema TSR detecta una señal de Stop, y el coche no interpreta que el conductor tenga intención de detenerse, ordena frenar directamente al coche para evitar un posible accidente.

4.2. Aplicaciones móviles con TSR

Las aplicaciones móviles ofrecen una aplicación pasiva de la tecnología TSR ya que no tienen ningún tipo de comunicación con el ordenador del vehículo en el caso de que el coche disponga de uno. Existen varias aplicaciones que permiten detectar y reconocer señales de tráfico como myDriveAssist, Road Sign Recognition o Skylten EU.

La aplicación más precisa y profesional es myDriveAssist, que permite detectar los límites de velocidad y señales de prohibición simplemente usando la cámara del Smartphone. Además también permite avisar al conductor en el caso de que circule demasiado rápido gracias a que utiliza permanentemente la señal GPS [7].



Figura 3. Aplicación móvil myDriveAssist [7]

Esta aplicación se puede descargar tanto para el sistema operativo Android como para IOS. Además se puede utilizar en varios países y permite la actualización por parte de los usuarios de los límites de velocidad que no detecte el móvil por el mal estado de algunas señales [7].

Los inconvenientes de utilizar esta aplicación son que consume un importante nivel de datos móviles, que la calidad depende de la cámara del Smartphone y que descarga bastante rápido la batería del dispositivo [7].

4.3. Trabajos de investigación

En este apartado se van a tratar brevemente cuáles son las líneas generales que siguen los principales trabajos de investigación encontrados sobre reconocimiento de señales de tráfico. En la literatura especializada se pueden encontrar un gran número de artículos sobre esta temática [8]-[14]. Como se detallará más adelante, estos sistemas tienen dos partes fundamentales: la detección de la señal de tráfico en la imagen y su reconocimiento en una base de datos.

La mayoría de artículos científicos revisados han utilizado el color como una de las características principales para detectar las señales de tráfico junto a las funciones basadas en la forma. Para la detección y segmentación del color la gran mayoría de artículos coincidían en la utilización de umbrales en un espacio de color HSV (Tono, Saturación y Valor) porque es más intuitivo que los otros y además permite depender menos del brillo o de las sombras de la imagen [15].

Existen varias alternativas al espacio de color habitual HSV, entre las que destaca el espacio HSI (Tono, Saturación e Intensidad). La umbralización sobre este espacio puede ser más conveniente en ciertas situaciones y en general es menos sensible a cambios en condiciones de luz [15].

En lo que respecta al reconocimiento de señales, se ha podido observar que el método SVM (Support Vector Machine) es un método de aprendizaje automático muy eficiente en este caso [15]. Este método cuenta con numerosas ventajas como puede ser que existen una multitud de implementaciones ya disponibles y funciona muy bien en la práctica. La desventaja de este método es que su proceso de entrenamiento puede ser muy laborioso y costoso con un número elevado de clases, en este caso señales.

El otro método de clasificación que se ha investigado intensamente en los últimos años para el reconocimiento son las redes neuronales convolucionales. Este método ha demostrado sus fortalezas para tareas como clasificación, localización y detección de imágenes [16]. Esta técnica es un tipo de red neuronal artificial donde las neuronas corresponden a campos receptivos de una forma muy parecida a las neuronas en la corteza visual primaria de un cerebro biológico. En este caso, las entradas a la red neuronal son los mismos valores de los píxeles. Se puede decir que es el método más potente e innovador para realizar algoritmos de reconocimiento en visión artificial. El inconveniente principal reside en el proceso de entrenamiento, requiriendo de equipos muy potentes o *clusters* de ordenadores.

5. EQUIPO UTILIZADO

Para el desarrollo del proyecto se han utilizado tanto elementos físicos como elementos de software, imprescindibles para llevar a cabo el trabajo. En este apartado se van a presentar los distintos componentes que se han utilizado, así como las distintas herramientas que nos han permitido lograr el correcto funcionamiento del detector de señales.

5.1. Elementos físicos

En lo que respecta al equipo físico se han utilizado un ordenador, una videocámara deportiva, un coche y un soporte para colocar la videocámara en el vehículo durante las grabaciones. A continuación se van a explicar más detalladamente cuáles son las especificaciones de cada uno de estos elementos.

5.1.1. Ordenador

Se ha utilizado un ordenador MacBook Pro de mediados de 2012 que cuenta con las siguientes especificaciones:

- Procesador de doble núcleo a 2,5 GHz Intel Core i5
- Memoria RAM de 8 GB
- Unidad de memoria sólida de 512 GB
- Sistema Operativo OS X El Capitán versión 10.11.3
- Una resolución de pantalla de 1280 x 800
- Conexiones USB 3 y lector de tarjetas SDXC

5.1.2. Videocámara deportiva

La videocámara que se ha utilizado para grabar los vídeos es la cámara SJ4000 Wifi, ya que permite realizar vídeos de muy alta calidad gracias a su cámara de 12 Megapíxeles con un sensor CMOS. También permite con su función Wifi controlar la grabación desde el móvil o la Tablet mediante la App Sjcam Zone disponible tanto para Android como para IOS. Asimismo, su pequeño tamaño y su ligereza la convierten en la cámara idónea para llevar a cabo este proyecto.

A continuación se presentan las principales características de la cámara [17]:

- Sensor CMOS de 12 Megapíxeles
- Chipset Novatek NTK96655
- Lente gran angular de 170°
- Posibilidad de grabar vídeo Full HD en 1080p a 30 fps
- Pantalla LCD de 1,5"
- Batería extraíble de 900 mAh
- Conexión USB y HDMI (incluye cable USB)
- Compresión video tipo H.264
- Grabación en formato .mov
- Captura de imágenes en .JPG

Todos estos aspectos la convierten en una cámara ideal para realizar una detección y un reconocimiento de señales con un buen comportamiento dentro de las posibilidades de las que se disponen. Se puede ver en la siguiente figura (Figura 4) el aspecto que tiene la cámara.



Figura 4. Cámara SJ4000 Wifi [17]

5.1.3. Soporte para la cámara

Para evitar problemas de caídas de la cámara durante la conducción se decidió adquirir un soporte que fijará la cámara de forma fiable al vehículo. El aspecto que tiene se puede ver a continuación (Figura 5):



Figura 5. Ventosa para exterior con trípode y regulador de posición para la cámara de video [18]

Este soporte está hecho de plástico duro y goma suave y se puede pegar en distintas partes del vehículo gracias a su ventosa fabricada especialmente para ello de alta calidad. Además ofrece una estructura duradera, de peso ligero y de fácil utilización [18].

5.1.4. Coche

El vehículo fue otro elemento clave para realizar este trabajo ya que sin él no hubiera sido posible obtener videos que mostraran una situación real en la cual detectar señales de tráfico en carreteras del estado español.

5.2. Software

En cuanto al Software, se decidió utilizar MATLAB R2016b ya que ofrece numerosas ventajas y facilidades en comparación a otras herramientas de Software. Asimismo es la herramienta que más se ha utilizado a lo largo del grado y por ello cuento con cierta experiencia en programar aplicaciones en ella.

Ésta es una herramienta de Software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio. Está disponible en varias

plataformas como pueden ser Windows, Mac o Linux. MATLAB se utiliza en numerosas aplicaciones de aprendizaje automático, procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, visión artificial, comunicaciones, finanzas computacionales, diseño de control, robótica y muchos otros campos [19].

Contiene varias *toolbox* que ofrecen funcionalidades totalmente documentadas para una amplia gama de aplicaciones científicas y de ingeniería [20]. En particular para el desarrollo de este proyecto se utilizaron principalmente las *toolbox* de Image Processing y Computer Vision. Éstas han resultado una gran ayuda para elaborar nuestro detector de señales.

Otra de las ventajas de utilizar MATLAB son las aplicaciones interactivas que dispone. Estas apps combinan acceso directo a grandes colecciones de algoritmos con retroalimentación visual inmediata. Se puede visualizar instantáneamente cómo funcionan los diferentes algoritmos con tus datos. Iterar hasta obtener los resultados esperados, luego generar automáticamente un código de MATLAB para reproducir o automatizar tu trabajo [20]. Una de las aplicaciones que fue de gran ayuda a la hora de detectar las señales es la app de Color Thresholder mediante la cual podíamos visualizar cómo cambiando los valores del espacio de color HSV se obtenían distintas segmentaciones de color. Una vez que se obtenía lo que se deseaba en la app, en este caso detectar únicamente las señales de tráfico, se programaba un código con los umbrales obtenidos gracias a la app.

La rapidez de ejecución es uno de los puntos clave para una aplicación en tiempo real. Aunque se podrían haber obtenido códigos más rápidos con otros lenguajes de programación como C++, la facilidad de desarrollo y depuración de errores de MATLAB facilita mucho la tarea del programador. Además, las funciones precompiladas existentes en las librerías son optimizadas continuamente por Mathworks y se ejecutan con una velocidad satisfactoria para los objetivos de este proyecto. Asimismo, MATLAB es fiable y está continuamente actualizado por un equipo de ingenieros que verifica diariamente la calidad del software, ejecutando millones de pruebas sobre el código base [20].

6. SEÑALES DE TRÁFICO

La señalización constituye una parte fundamental de todo sistema de circulación. A través de las señales se comunican a los conductores mandatos sobre las normas de comportamiento, advertencias sobre posibles peligros que pueden aparecer en la vía o cualquier tipo de información de interés para el conductor [21]. Los objetivos que se quieren conseguir con ayuda de una correcta señalización son:

- Aumentar la seguridad de la circulación.
- Aumentar la eficacia de la circulación.
- Aumentar la comodidad de la circulación.

Existen una gran cantidad de señales en las carreteras del estado español, por ello es imposible tratar en este punto todas ellas. El objetivo de este apartado es presentar los distintos tipos de señalización más importantes que existen actualmente en España.

6.1. Señales de prohibición o restricción

Este tipo de señales prohíben o limitan ciertas acciones a quienes se las encuentren de frente en el sentido de su marcha y a partir del lugar en que estén situadas [21]. Estas señales destacan ya que son circulares y con el borde de color rojo. A continuación, se muestran algunos ejemplos (Figura 6):



Figura 6. Señales de Prohibición o restricción

6.2. Señales de advertencia de peligro

Las señales de advertencia de peligro tienen la misión de indicar a los usuarios de la vía la proximidad y la naturaleza de un peligro difícil de ver a tiempo, con el objetivo de que se cumplan las normas de comportamiento y evitar posibles sobresaltos durante la conducción [21]. Su forma es triangular y el borde es de color rojo, como se puede ver en la siguiente figura (Figura 7):



Figura 7. Señales de advertencia de peligro

6.3. Señales de prioridad

Estas están destinadas a poner en conocimiento de los usuarios de la vía ciertas reglas especiales de prioridad en las intersecciones o en los pasos estrechos [21]. Dentro de esta clase se pueden encontrar dos de las señales más importantes que existen como son la de Stop y la de Ceda el paso. Como se puede ver (Figura 8), no tienen ni una forma concreta ni un color específico.



Figura 8. Señales de Prioridad

6.4. Señales de fin de prohibición o restricción

Las señales de fin de prohibición o restricción son aquellas que informan de que el tramo de prohibición o de limitación ha terminado [21]. Son redondas y de color blanco con una o varias líneas negras en diagonal (Figura 9).



Figura 9. Señales de fin de prohibición o restricción

7. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

Para llevar a cabo el diseño y desarrollo de este proyecto se consultaron numerosos artículos científicos, libros de procesado de imagen [22,23] y se realizaron continuas reuniones con el tutor sin las cuales hubiera sido imposible llegar a la solución que se propone en este trabajo fin de grado.

Debido al tiempo limitado del que se disponía para realizar el trabajo y a la falta de recursos tecnológicos disponibles, se han tenido que tomar decisiones que no siempre han sido las más ideales. No obstante, el software implementado cumple con creces el propósito inicial.

El principal objetivo de este trabajo fin de grado es la realización de un conjunto de algoritmos que realicen las funciones de detección y reconocimiento de señales de forma eficiente. Para ello se han diseñado tres partes fundamentales de un sistema de reconocimiento de señales de tráfico, estas son:

- Detección
- Clasificación
- Reconocimiento de la señal vial

A continuación se va a realizar una descripción detallada de cómo funcionan los algoritmos que hacen posible que nuestro programa detecte y reconozca en tiempo real las señales de tráfico que se han considerado más importantes. La extensión total de este conjunto de algoritmos es aproximadamente de 2000 líneas de código.

7.1. Señales a detectar

Tal y como se ha explicado anteriormente, existe una gran variedad de señales en las vías españolas. Por este motivo, se ha tenido que reducir el número de señales a detectar en el programa ya que ciertas señales son simplemente informativas o no se ven regularmente en las carreteras.

En este trabajo se ha optado por detectar cuatro tipos distintos de señales que son vitales para realizar una correcta conducción del vehículo. Estos tipos de señales son las señales de prohibición, de advertencia de peligro, de prioridad y una de fin de prohibición. A continuación se presentan más en detalle las señales que detecta el programa dentro de cada una de estas cuatro clases:

7.1.1. Señales de prohibición

- Prohibido circular a más de 20 Km/h
- Prohibido circular a más de 30 Km/h
- Prohibido circular a más de 40 Km/h
- Prohibido circular a más de 50 Km/h
- Prohibido circular a más de 60 Km/h
- Prohibido circular a más de 70 Km/h
- Adelantamiento prohibido
- Prohibido circular a más de 80 Km/h
- Prohibido circular a más de 90 Km/h
- Prohibido circular a más de 100 Km/h
- Prohibido circular a más de 110 Km/h
- Prohibido circular a más de 120 Km/h
- Prohibido circular a más de 130 Km/h
- Giro a la izquierda prohibido

7.1.2. Señales de advertencia de peligro

- Curva peligrosa hacia la derecha
- Curva peligrosa hacia la izquierda
- Curvas peligrosas
- Resalto
- Intersección con prioridad
- Estrechamiento de calzada
- Estrechamiento de calzada derecha
- Estrechamiento de calzada izquierda
- Proyección de gravilla
- Escalón lateral
- Prioridad sobre incorporación derecha
- Prioridad sobre incorporación izquierda
- Peligro de hielo o nieve
- Pavimento deslizante
- Viento transversal
- Paso de animales en libertad
- Ciclistas
- Niños
- Paso a nivel sin barreras
- Paso de peatones
- Intersección con circulación giratoria
- Circulación en los dos sentidos

7.1.3. Señales de prioridad

- Detención obligatoria (o STOP)
- Ceda el paso
- Entrada Prohibida

7.1.4. Señal fin de prohibición

- Señal de fin de prohibición de adelantamiento

7.2. Características del sistema

El trabajo desarrollado cuenta con las siguientes características:

- Detecta y reconoce las señales consideradas en el punto anterior.
- Detecta y reconoce las señales en videos realizados con la cámara SJ4000 Wifi, con el montaje adecuado sobre el vehículo.
- Realiza los procesos en tiempo real.
- Es capaz de reconocer varias señales al mismo tiempo.
- Captura cada señal en varios fotogramas para evitar falsos positivos.
- Contiene una interfaz gráfica para facilitar el uso de la aplicación.

Todo el trabajo se ha implementado en el Software MATLAB y se ha programado para que realice las distintas partes del procesado del video cada 5 fotogramas. Se ha decidido así ya que era suficiente para reconocer las señales en los videos realizados por la cámara SJ4000 Wifi cuya resolución de imagen es de 1920x1080 y proporciona 30 fotogramas por segundo. Si se programaba para que analizará cada menos de 5 fotogramas, la aplicación perdía la condición de realizar la detección y reconocimiento de las señales en tiempo real.

7.3. Estructura del programa

En primer lugar, el programa obtiene las imágenes de los videos a través de las grabaciones realizadas por la cámara SJ4000 Wifi. Estas imágenes se reducen a la zona de interés (ROI) donde se sitúan las señales de tráfico, es decir, a la derecha de la imagen (Figura 10). Todo ello para evitar falsos positivos debido a coches rojos o blancos, casas rojas o blancas y una larga lista de objetos que no harían posible que este programa funcionase como debe.



Figura 10. Zona de interés de la imagen (ROI)

A continuación, se realiza la detección de señales de fin de prohibición de adelantamiento o del resto de señales. Cuando se detecte una señal que no sea de fin de prohibición de adelantamiento, se pasará a clasificar el tipo de señal entre los siguientes casos: señales de peligro, señal de Stop, señal de Ceda el paso, señal de dirección prohibida y señales de prohibición. En el caso de que se detecte la señal de fin de prohibición de adelantamiento, ésta se mostrará directamente en la interfaz gráfica.

Si el algoritmo clasificador reconoce en repetidas ocasiones y en sucesivos fotogramas la señal como un ceda el paso, un Stop o una señal de dirección prohibida, se mostrará un aviso directamente a través de la interfaz gráfica. Por otro lado, si el clasificador identifica la señal como una señal de peligro o de prohibición, se dará paso al reconocimiento de estas señales respectivamente. El algoritmo de reconocimiento identificará dentro de las señales de peligro o prohibición, de qué señal se trata en concreto y la mostrará mediante la interfaz gráfica en el caso de que sea la más identificada en fotogramas sucesivos.

La estructura del programa que se explicará más en detalle en los siguientes apartados se puede ver en el siguiente esquema (Figura 11):

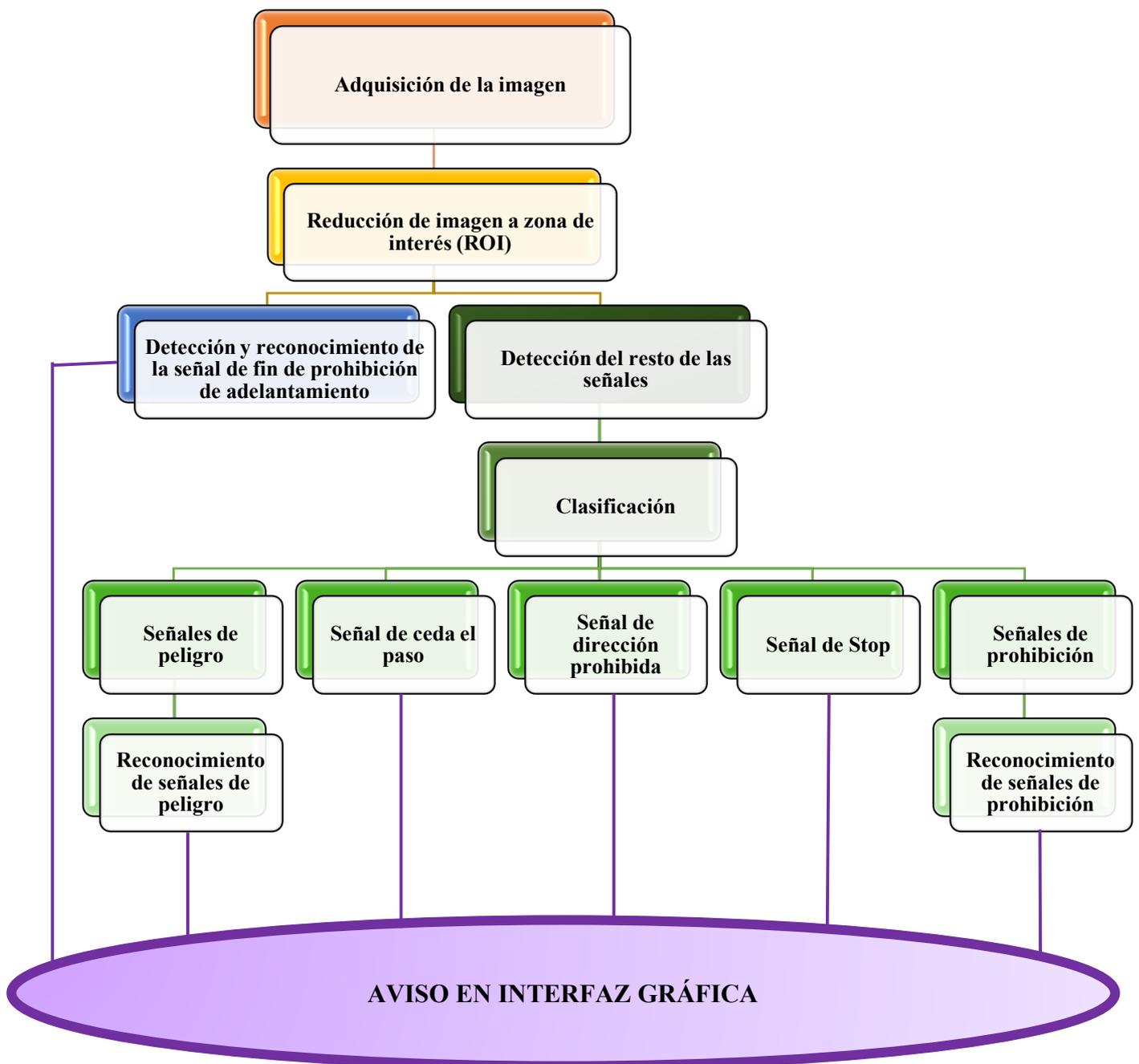


Figura 11. Estructura del programa

7.4. Detección de señales

En lo que respecta a la detección, se decidió realizar una segmentación por colores, ya que el color es un poderoso descriptor y además nos permitía extraer las señales del resto de la imagen de forma sencilla y sin ralentizar prácticamente la extracción de estas.

El espacio de color elegido para realizar la detección fue el modelo HSV. Esta decisión se basó en que este no se ve afectado gravemente por los cambios de iluminación que se sufren continuamente en la vida real debidos a cambios de sol, sombras de edificios u otras muchas razones. Además MATLAB cuenta con una app que visualiza de forma sencilla los valores más óptimos para este tipo de segmentación, con los cuales se programarán después las funciones. Este modelo se define a través de sus tres componentes: matiz, saturación y valor (Figura 12).

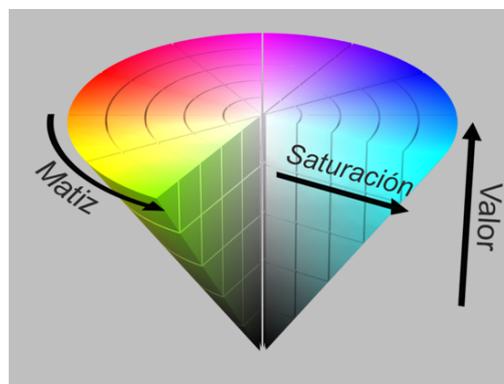


Figura 12. Espacio de color HSV

El matiz se representa como un ángulo cuyos valores posibles van de 0 a 360°. Cada valor corresponde a un tono diferente [24].

La saturación se representa como la distancia al eje de brillo negro-blanco y corresponde a la concentración de color en un objeto. Los valores posibles van del 0 al 100%. Se puede decir que cuanto menor sea la saturación de un color, mayor tonalidad grisácea habrá y más decolorado estará [24, 25].

El valor representa la altura en el eje blanco-negro y denota la cantidad de claridad que tiene el color. Los valores posibles van del 0 al 100%. El valor más pequeño que es cero corresponde al negro. Un valor máximo que sería 100 podría corresponder al blanco o a un color más o menos saturado, dependiendo del nivel de saturación [24, 25].

La detección de señales con componentes de color rojo es bastante sencilla y además no se necesita aplicar mucho post-procesado. Esto se debe a que el color rojo es difícil de encontrar en objetos que no correspondan a señales de tráfico en las carreteras dentro de la zona de interés analizada. El tipo de señales a las que nos referimos en este punto son: señales de peligro, señal de Stop, señal de Ceda el paso, señal de dirección prohibida y señales de prohibición.

En lo que respecta a la segmentación del color rojo, con la ayuda de la app Color Thresholder se toman los siguientes umbrales HSV para detectar el mayor número de señales con nuestro algoritmo:

- Matiz: $[260, 360] \cup [0, 30]$
- Saturación: $[0.5, 1]$
- Valor: $[0.2, 1]$

Como se puede apreciar, se toman umbrales que ocupan un rango bastante amplio dentro del intervalo posible de cada componente. Esto se debe a que ciertas señales no se encuentran en las condiciones óptimas de color o iluminación. A lo largo de este trabajo se ha podido ver que el color rojo de las señales era muy distinto de unas a otras (Figura 13); algunas tenían un color rosa claro, otras un color rojo suave y otras un color rojo oscuro. Esto dependía de la antigüedad o calidad del material de estas y también de la iluminación en la que se encontraba debido a sombras de edificios, motivos meteorológicos o del horario elegido para circular, entre otros motivos.



Figura 13. Cambios de tono de color en una misma señal

Al haber definido unos umbrales tan amplios, se detectaban bastantes objetos que no tenían nada que ver con señales de tráfico. Para solucionar este problema tan sólo hizo falta aplicar un filtro de mediana para eliminar el ruido impulsivo de la imagen y un filtro de tamaño para eliminar objetos que no tuvieran las dimensiones de una señal. Se puede ver el proceso a continuación (Figura 14):

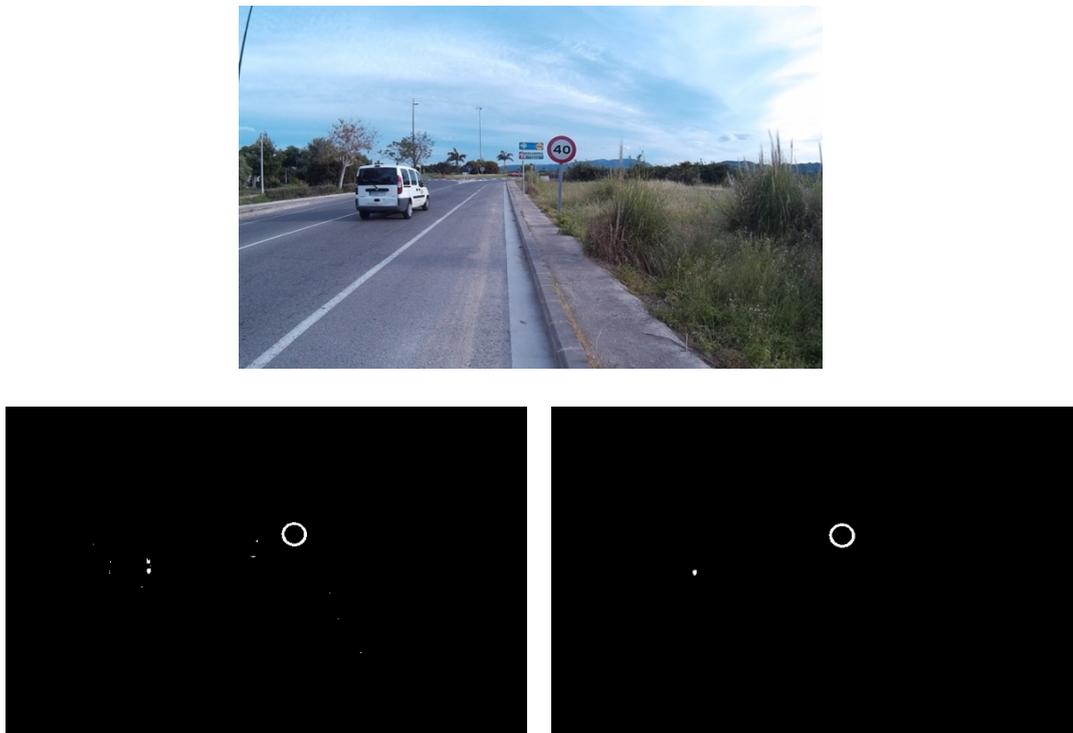


Figura 14. Segmentación de color rojo y post-procesado

Después, el programa cuenta los objetos que han quedado en la imagen y mide sus propiedades mediante la función “**regionprops**” implementada en MATLAB (Figura 15).



Figura 15. Detección y cálculo de propiedades de objetos en imagen original

Una vez que se tienen los objetos enmarcados con una *Bounding Box* (rectángulo más pequeño que contiene un objeto), se calcula la elongación de cada uno de los objetos detectados, resultado del siguiente cálculo:

$$\text{Elongación} = \frac{\text{Eje Mayor}}{\text{Eje Menor}}$$

Para que el programa identificara un objeto como una señal, se tuvieron que poner varias condiciones para evitar falsos positivos. Se definió que una señal de tráfico debía tener una elongación que oscilará entre 0.8 y 1.4. Esto se debe a que las señales que se quieren detectar en este trabajo son circulares, triangulares u octagonales. Estos tipos de formas geométricas tienen una elongación cercana a un valor de 1. No obstante, se tiene que dar un cierto margen de error por posibles deformaciones de la imagen o de la propia señal. La otra condición que se puso era que la longitud en píxeles del eje menor del objeto fuera superior a un valor de 65 píxeles, para evitar que se identificaran objetos demasiado pequeños que no tuvieran nada que ver con una señal.

En el caso de que el algoritmo detecte que existe una señal en el fotograma, la recorta de la imagen original mediante el comando “**imcrop**” y realiza un reescalado de esta imagen recortada para que todas tengan las mismas dimensiones. Las dimensiones que se han asignado son de 240 x 240 píxeles ya que es un tamaño suficiente para tratar las señales y además agiliza el tiempo de ejecución del algoritmo.

Cabe destacar que el programa es capaz de detectar más de una señal de tráfico en un mismo fotograma ya que en muchos casos existen señalizaciones dobles en una misma señal vertical (Figura 16).



Figura 16. Señalización doble en una señal vertical

Algunas de estas señalizaciones dobles presentaban un problema ya que no existía prácticamente separación entre ellas y esto provocaba que no fuera posible la correcta detección de estas (las detectaba como una única señal). Por ello, se tuvo que implementar una nueva función que fuera capaz de separar las señales que estuvieran juntas. Esta función busca la fila que manifiesta un máximo de distancia entre el objeto y el borde de la *Bounding Box*, sin contar con la parte superior e inferior de la imagen. Esta fila previsiblemente estará más o menos a mitad del tamaño vertical de la imagen, punto que se utiliza para separar las señales poniendo esa fila con todos sus píxeles a cero.

En la siguiente figura (Figura 17) se muestra un ejemplo donde tenemos dos señales pegadas. Se puede apreciar cómo en la segunda imagen las señales están juntas y tras aplicar el algoritmo separador se obtiene una separación mínima sin afectar a la forma de éstas, como se puede apreciar en la tercera imagen de la figura. De esta forma, ya es posible detectar las dos señales de forma independiente como se muestra en la última imagen.

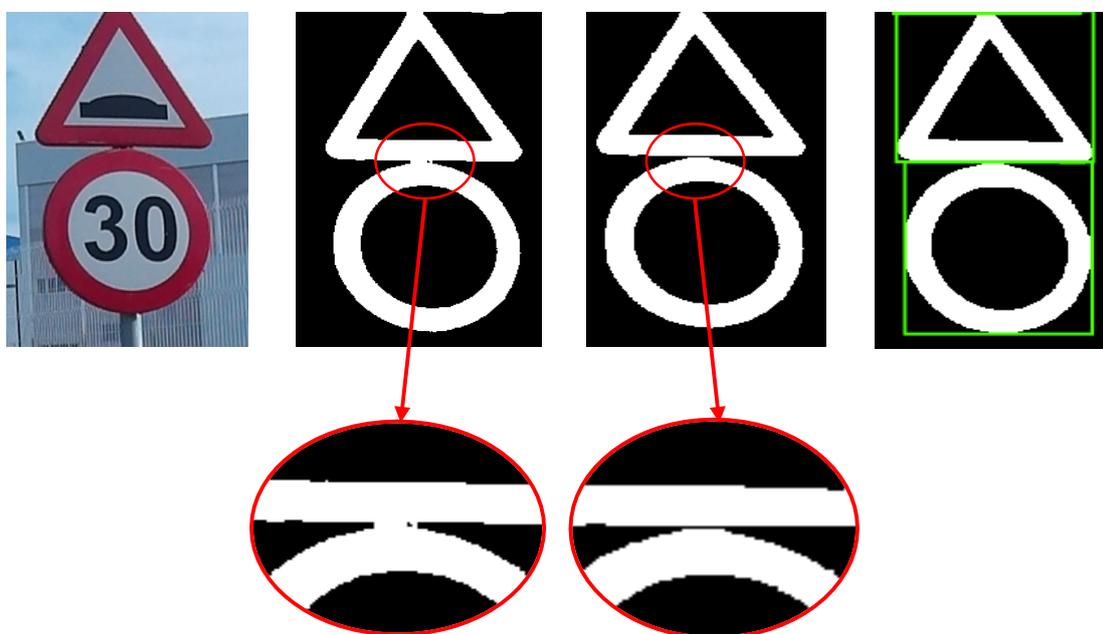


Figura 17. Proceso de separación de señales dobles

7.5. Clasificación de señales

La función de clasificación clasifica las señales resultantes de la función anterior de detección en los distintos tipos de señal definidos. Se utilizará para catalogar todas las señales que tengan componente roja, o dicho de otra manera todas las señales excepto la de fin de prohibición de adelantamiento. Para llevar a cabo esta tarea se utilizará la imagen recortada de la señal y reescalada a 240x240 píxeles.

El primer paso será aplicar una segmentación HSV idéntica a la que se ha utilizado en el apartado anterior para obtener una imagen binaria correspondiente únicamente al color rojo de la señal.

El segundo paso será aplicar un post-procesado compuesto por un filtrado de tamaño, para eliminar los objetos pequeños que no sean relevantes, y varias operaciones morfológicas tanto para rellenar las partes de color rojo que no hayan sido captadas por la segmentación de color como eliminar partes que no correspondan a las señales. Al realizar el post-procesado, se tendrá una imagen binaria donde aparecerán las zonas de color rojo de la señal bien definidas, sin elementos ajenos a éstas ni presencia de grietas en su interior (Figura 18).

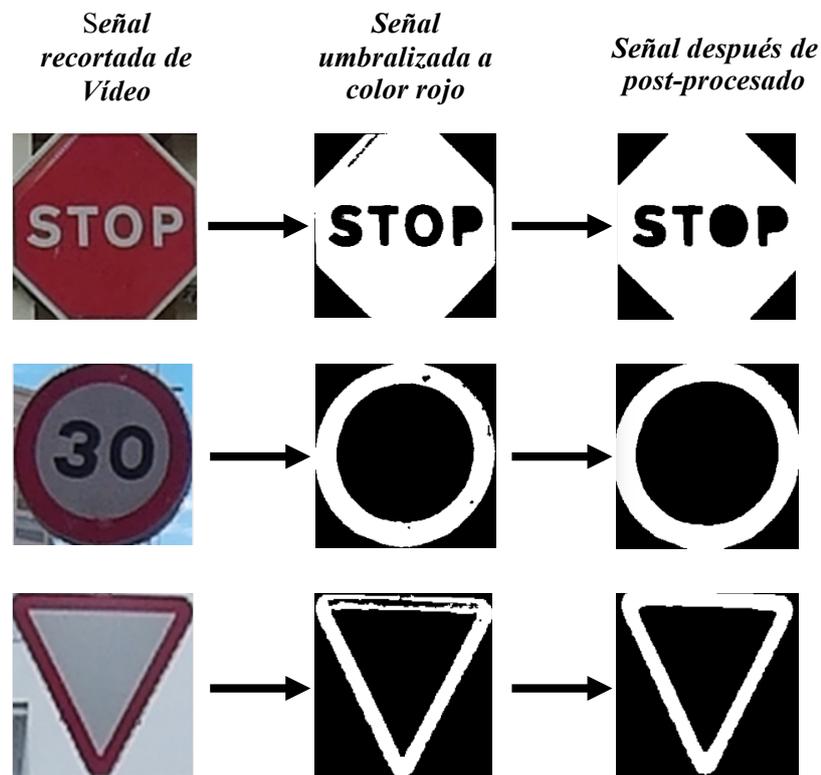


Figura 18. Segmentación y post-procesado de imágenes recortadas

A continuación, con ayuda de “**regionprops**” se obtiene el valor del área de la zona de color rojo de la señal sin rellenar y otras propiedades de la señal una vez rellenada (Figura 19) como perímetro, área, excentricidad y centro de masas. Todos estos parámetros servirán para calcular unos descriptores que nos permitan clasificar la señal.



Figura 19. Señales rellenadas

Después de un análisis de las formas a clasificar, se llega a la conclusión de que dos de los descriptores que más diferencian las clases de señal son la compacidad y una apropiada relación entre áreas.

La compacidad es un descriptor morfológico que muestra la relación entre el perímetro y el área del objeto. Cuanto más circular sea el objeto, más cerca de uno estará el resultado del cálculo.

La relación de áreas es un descriptor morfológico que muestra la relación entre el área de la señal rellenada y el área de la señal sin rellenar (aquella con componente de color rojo). Si tiene un valor cercano a uno querrá decir que no hay mucha diferencia de área entre la señal rellenada y la señal sin rellenar. Cuanto más grande sea, menos color rojo tendrá la señal en este caso.

A continuación se muestran sus respectivas fórmulas:

$$\text{Compacidad} = \frac{(\text{Perímetro}_{\text{Señal rellenada}})^2}{4 \times \pi \times \text{Área}_{\text{Señal rellenada}}}$$

$$\text{Relación} = \frac{\text{Área}_{\text{Señal rellenada}}}{\text{Área}_{\text{Señal sin rellenar}}}$$

Gracias al estudio de muchísimos ejemplos de fotos de señales de distintos tipos se constató que con estas especificaciones ya se podían clasificar las señales y dividir las en distintos grupos. Para este trabajo se han propuesto distintos grupos de señales que se van a presentar a lo largo de este apartado.

7.5.1. Señales circulares

En el grupo de las señales circulares se incluyen todas las señales de prohibición que se han considerado para el desarrollo del trabajo: las señales de limitación de velocidad, la señal de prohibido girar a la izquierda y la señal de prohibido adelantar.

En la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos de valores obtenidos para los distintos descriptores en diferentes señales circulares:

Señales Circulares			
	Compacidad	Relación	Excentricidad
Señal 50	1.36	2.4	0.55
Señal 60	1.39	2.28	0.52
Señal 70	1.28	2.47	0.28
Señal 80	1.31	2.33	0.41
Señal 100	1.23	2.24	0.46

Tabla 1. Valores obtenidos para descriptores en señales circulares

Además de estos descriptores, también se tuvo en cuenta el centro de masas de la señal, que en el caso de señales circulares está en torno al centro de la imagen. Por lo tanto, toda señal que sea detectada por el algoritmo y cumpla con los siguientes atributos se clasificará como señal circular y consecuentemente como señal de prohibición:

- Compacidad inferior a un valor de 1.7
- Excentricidad inferior a un valor de 0.6
- Coordenada vertical del centro de masas entre los píxeles 110 y 130
- Relación superior a un valor de 2

Tras clasificar la señal como circular, el siguiente paso será identificar exactamente de qué señal se trata dentro de esta categoría. Se analizará esto más en profundidad en el apartado 7.6.

7.5.2. Señales de Stop y dirección prohibida

Las señales de Stop y dirección prohibida se diferencian de las otras en que tienen mucha más superficie de color rojo. Gracias a esta característica será más fácil de clasificarlas como señales diferentes a las otras.

Algunos ejemplos de señales de este grupo tomadas en la carretera muestran que los valores que toman los descriptores morfológicos tienen también unos valores establecidos, como podemos ver en la siguiente tabla:

Señales de Stop y Dirección prohibida			
	Compacidad	Relación	Excentricidad
Stop 1	1.35	1.17	0.48
Stop 2	1.38	1.18	0.45
Stop 3	1.41	1.27	0.35
Dirección prohibida 1	1.24	1.23	0.39
Dirección prohibida 2	1.21	1.26	0.46

Tabla 2. Valores obtenidos para descriptores en señales de Stop y dirección prohibida

En base a los resultados mostrados en la tabla y al gran número de otras señales que se han analizado, se puede afirmar que si la señal detectada cumple con los siguientes atributos se clasificará como señal de Stop o de dirección prohibida:

- Compacidad inferior a un valor de 3
- Relación inferior a un valor de 2
- Excentricidad inferior a un valor de 0.6

Para poder identificar de cuál de las dos señales pertenecientes a este grupo se trata, se realizará una comparación entre la señal recortada segmentada a color rojo y dos señales que están guardadas en un archivo llamado **Especiales.mat** (Figura 20). De estas dos imágenes una corresponderá a una señal de Stop y otra a una señal de dirección prohibida que estarán también segmentadas a color rojo.



Figura 20. Imágenes binarias de la base de datos *Especiales.mat*

Para realizar la comparación entre la imagen detectada en el video y las señales de la base de datos se va a utilizar la negación lógica de la función “**xor**”. Cuanto mayor sea el valor de este cálculo, más parecido existirá entre las imágenes comparadas.

En el caso de que la señal recortada de la imagen original segmentada a color rojo sea más parecida a la señal de Stop guardada en **Especiales.mat** que a la otra señal guardada, entonces la señal del fotograma es un Stop. En el caso contrario esta señal corresponderá a la señal de dirección prohibida.

Al reconocer una de estas dos señales, el programa ya habrá identificado la señal y no hará falta más procesado para reconocerla en ese fotograma.

7.5.3. Señales triangulares

En esta clase de señales se van a tener tanto la señal de Ceda el paso como todas las señales de peligro. Esto se debe a que las dos tienen una forma triangular.

Como en los grupos presentados anteriormente, también se presentan algunos ejemplos de valores de los descriptores morfológicos de señales con forma triangular:

Señales Triangulares			
	Compacidad	Relación	Excentricidad
Ceda el paso	1.95	2.88	0.45
Peligro Peatones	1.83	2.69	0.46
Peligro Rotonda	2.05	3.27	0.55
Peligro Resalto	1.88	2.75	0.48
Peligro Ciclistas	1.76	2.88	0.44

Tabla 3. Valores obtenidos para descriptores en señales triangulares

Además, al igual que en el caso de las señales circulares, se ha tenido en cuenta que el centro de masas de la señal esté cercano al centro de la imagen. A partir del estudio de una gran cantidad de señales triangulares se deduce que para identificar una señal como triangular, se tendrán que cumplir las siguientes especificaciones:

- Compacidad superior a un valor de 1.7
- Excentricidad superior a un valor de 0.4
- Coordenada vertical del centro de masas entre los píxeles 110 y 130
- Relación superior a un valor de 2

Tras haber clasificado la señal como triangular, se tendrá que analizar si la señal es un Ceda el paso o una señal de peligro. Para este análisis, se ha tenido en cuenta que la señal de Ceda el paso cuenta con un vértice apuntando hacia abajo y que cualquier tipo de señal de peligro tiene un vértice apuntando hacia arriba. Gracias a esta diferencia se llegó a la conclusión de que se podían diferenciar las señales por su centro de masas.

Si la coordenada vertical del centro de masas de la señal triangular es inferior a 120 (centro de la imagen), entonces la señal es un Ceda el paso. En otro caso, la señal triangular es de peligro.

Cuando se detecte que la señal es de peligro, se deberá continuar con el reconocimiento de ésta dentro de las múltiples posibilidades de señales de este tipo que se contemplan en este trabajo. En cambio si la señal se clasifica como ceda el paso, ya no hará falta una última etapa de reconocimiento y el algoritmo habrá terminado para este fotograma.

7.6. Reconocimiento de señales

El objetivo del reconocimiento de señales es identificar las señales que aún no han sido identificadas de forma exacta tras pasar por las anteriores funciones del programa. Estas señales que quedan por reconocer son las distintas variedades dentro de las señales de prohibición y las señales de peligro. Para este cometido se han implementado dos funciones distintas de reconocimiento: una función para señales de prohibición y otra función para señales de peligro.

La función de reconocimiento de señales de prohibición entrará en acción en cuanto se clasifique una señal detectada como una señal de prohibición. De forma análoga cuando el programa clasifique la señal detectada como una señal de peligro, se aplicará la función de reconocimiento de señales de peligro. Las dos funciones se han realizado de la misma forma y lo único que cambia es la base de datos con la que se compara la imagen capturada en el video.

Para poder reconocer la señal se realiza un tratamiento a la imagen de la señal recortada del fotograma original del video y se compara con una base de datos que contiene distintos ejemplos de señales igualmente tratados. A continuación se explica con más precisión cómo se aplica cada proceso en el algoritmo de reconocimiento que se ha utilizado en este trabajo.

7.6.1. Tratamiento del fotograma del video

El tratamiento de imagen que se realiza a la imagen con la señal directamente recortada del video, tiene como objetivo quedarse con una imagen binaria que contenga únicamente los caracteres interiores de color negro de la señal. Estos son los que nos van a ayudar a identificar de qué tipo de señal de prohibición o peligro se trata. Para llegar a este resultado se proponen realizar los siguientes pasos:

- **Paso 1:** Umbralizar imagen con señal a color rojo en el espacio HSV.
- **Paso 2:** Rellenar imagen umbralizada a color rojo.
- **Paso 3:** Umbralizar imagen con señal a color negro en el espacio HSV.
- **Paso 4:** Aplicar operación AND entre imagen de señal umbralizada a color rojo rellena e imagen de señal umbralizada a color negro.

A continuación se muestra (Figuras 21 y 22) cómo se aplica el tratamiento de imagen paso a paso tanto a una señal de peligro como a una señal de prohibición:

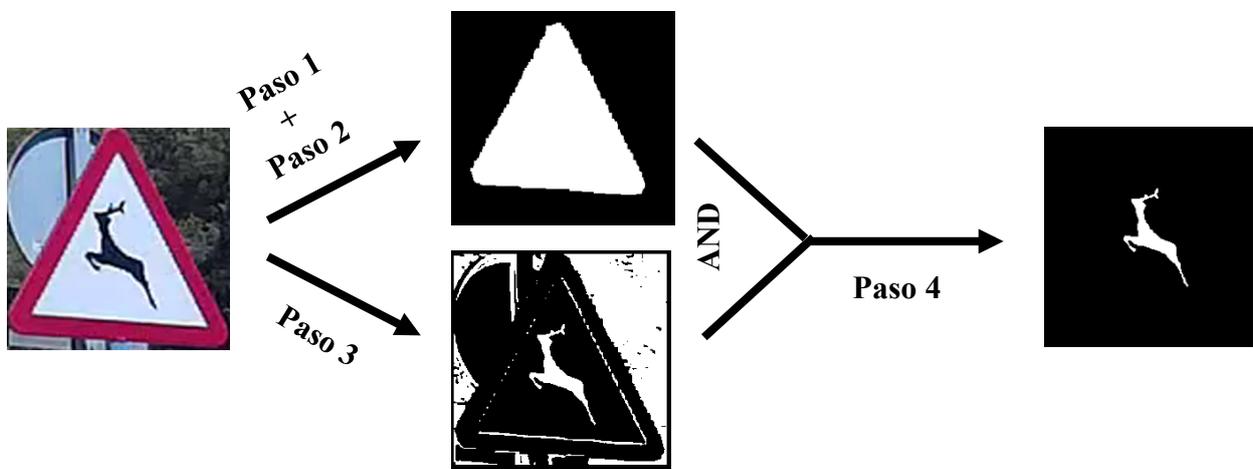


Figura 21. Tratamiento de imagen a señal triangular

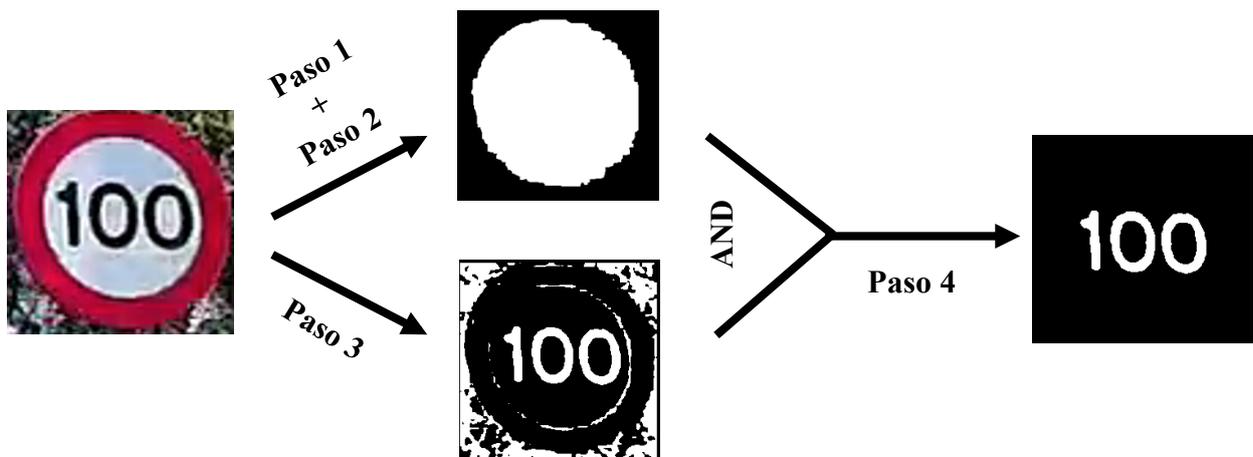


Figura 22. Tratamiento de imagen a señal circular

Mediante este tratamiento de imagen se quiere evitar la extracción de objetos externos a la señal que tengan componentes de color negro. Todo esto con el objetivo de quedarnos únicamente con los caracteres internos de la señal y evitar posibles falsos positivos cuando se compare la imagen con las imágenes de las bases de datos.

7.6.2. Creación de la base de datos

Las bases de datos con las que se compararán las señales tratadas, como hemos visto en el apartado anterior, están hechas a partir de múltiples fotos tomadas a señales encontradas por la carretera y con la misma cámara que hemos utilizado para grabar los vídeos. Además también se han añadido algunos ejemplos de señales de prohibición y peligro encontrados por internet. Todo esto con el objetivo de aumentar el número de reconocimientos acertados de nuestro programa y reducir el número de falsos positivos.

A estas imágenes se les ha realizado el mismo tratamiento que hemos visto en el apartado 7.6.1. y se guardan en un archivo “.mat”. Se ha elegido guardar las bases de datos en el formato “.mat” debido a que de esta manera resulta más cómodo añadir ejemplos nuevos en éstas.

Se han creado dos bases de datos distintas para poder agilizar el algoritmo, mejorar la organización del programa y tener separadas las señales con el objetivo de evitar algún falso positivo debido a parecidos entre señales de peligro y de prohibición.

En lo que respecta a la base de datos de las señales de peligro (Figura 23), se ha tenido que hacer la base de datos con menos imágenes de muestra que en el caso de la base de datos de las señales de prohibición (Figura 24). El motivo de esto fue que no se disponían de tantos minutos de grabación como para tener tantas muestras de señales como tienen las bases de datos profesionales. Esto podía generar más problemas en la identificación de señales de peligro que en las señales de prohibición, pero el algoritmo funciona igual de bien en los dos casos ya que los caracteres interiores de la señal son siempre iguales.

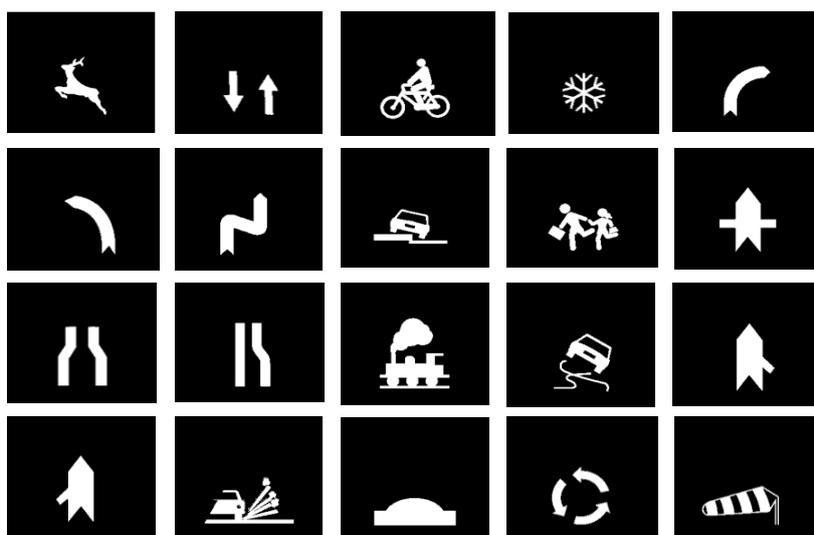


Figura 23. Base de datos de señales de peligro

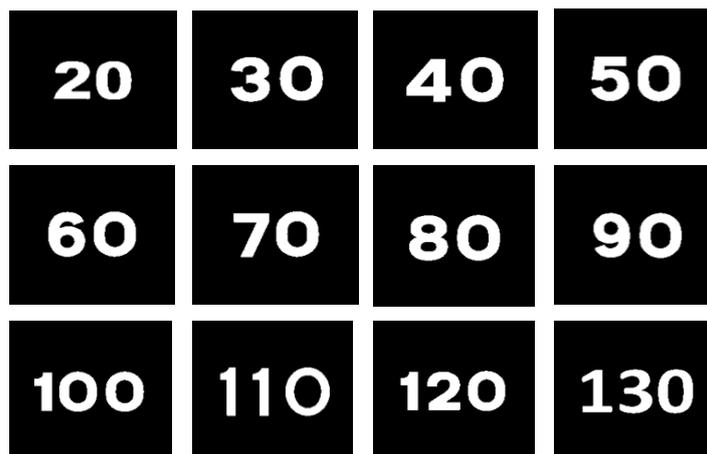


Figura 24. Base de datos de señales de prohibición

No obstante, aunque nuestro algoritmo funcione correctamente en nuestros vídeos, estaría bien tener muchas más muestras para incluir en la base de datos y que nuestro identificador fuera lo más robusto posible frente a las posibles deformaciones de las señales o los cambios de iluminación.

7.6.3. Comparación de la imagen con la base de datos

La comparación se va a efectuar de la misma manera para las dos funciones de reconocimiento que se han programado. Esta se va a realizar a través de un método que aportará información acerca del parecido entre las imágenes de la base de datos y la imagen obtenida a partir del fotograma del vídeo. Para ello, se va a comparar la imagen del vídeo tratada, con cada una de las imágenes de la base de datos que irá asociada a una prohibición o peligro concreto. Esta comparación se hará con ayuda de un cálculo que nos dará valores que se irán almacenando en un vector.

En el vector se tendrán almacenados los cálculos correspondientes a la negación lógica de la función “**xor**”. Como hemos dicho anteriormente, cuanto mayor sea el valor de este cálculo, más parecido existirá entre las imágenes. En la siguiente figura (Figura 25) se muestran algunos ejemplos de resultados que se han obtenido en varias comparaciones de la señal tratada del vídeo con imágenes de la base de datos.

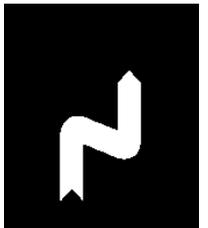
<i>Señal detectada</i>	<i>Señal de la base de datos correcta</i>	<i>Señal de la base de datos incorrecta 1</i>	<i>Señal de la base de datos incorrecta 2</i>
			
	55180	53538	54016

Figura 25. Resultados de comparaciones entre la imagen tratada y varias imágenes de la base de datos

Una vez que se tiene el vector con las respectivas comparativas, se busca la posición donde se encuentra el valor máximo de éste. En el caso de que ese valor máximo se encuentre por encima de un valor mínimo que se ha definido, entonces se tendrá un reconocimiento de señal. Y esta señal será la que esté asociada a la posición encontrada en el vector. En otro caso, la señal no se reconocerá porque no se tendrán ejemplos de esta en la base de datos y la identificación no será exitosa.

7.7. Señal fin de prohibición de adelantamiento

La señal de fin de prohibición de adelantamiento tiene un procesado de imagen totalmente distinto a las señales que hemos visto a lo largo de los apartados anteriores de esta memoria. La detección de este tipo de señal es bastante más compleja que la detección del resto de señales. Esta señal es de color blanco con varias líneas negras en diagonal y dos coches de color gris a cada lado (Figura 26). La dificultad reside en que el color blanco suele estar presente en muchas partes de la imagen y además si se quiere obtener una segmentación del color blanco, la señal se separa en varios objetos debido a que las líneas diagonales son negras.



Figura 26. Señal de final de prohibición de adelantamiento

Se tomó la decisión de realizar una umbralización de color blanco en HSV (Paso1), para la cual se tomaron los siguientes umbrales HSV:

- Matiz: [0, 360]
- Saturación: [0.2, 0.6]
- Valor: [0.5, 1]

Después de la segmentación de color, se aplicó un procesado posterior a la imagen para evitar falsos positivos de detección de la señal. Este procesado de las imágenes se basa en la aplicación de distintas operaciones morfológicas y descriptores de tamaño mediante los cuales es posible llevar a cabo las siguientes tareas:

- Eliminar pequeños objetos detectados con componente de color blanco en la imagen (Paso 2).
- Eliminar otros objetos extremadamente grandes con componente de color blanco en la imagen (Paso 3).
- Rellenar entrantes de objetos que concuerden con el tamaño de una señal (Paso 4).

A continuación se muestran los pasos realizados mediante el programa diseñado:

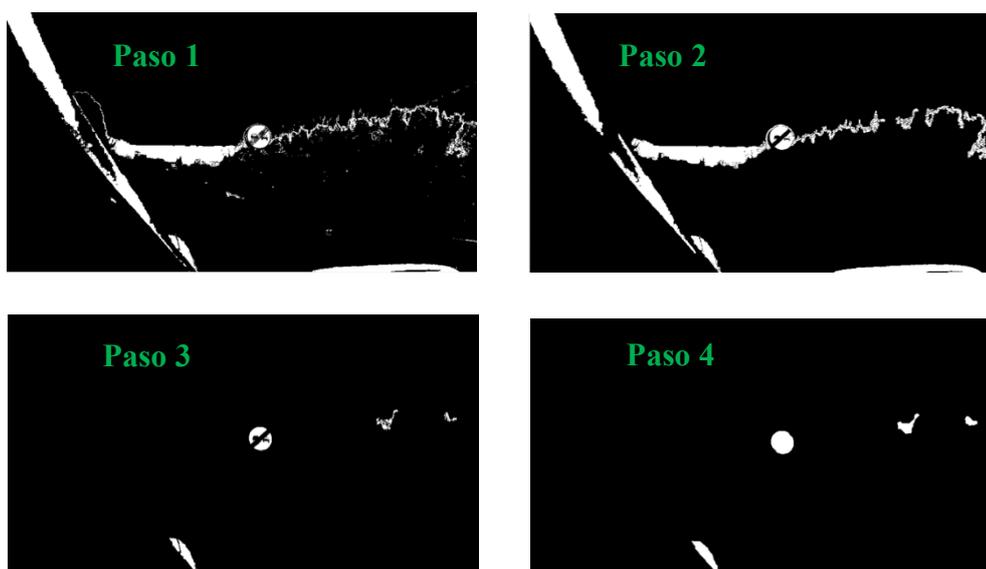


Figura 27. Pasos de detección de la señal de fin de prohibición de adelantamiento

Tras esto, si los objetos obtenidos después del procesamiento cumplen ciertos descriptores de región (compacidad y elongación) y de tamaño que concuerden con una señal, entonces se recorta el objeto de la imagen original como se muestra en la siguiente figura (Figura 28):



Figura 28. Recorte de señal de la imagen original tras análisis de descriptores

Después de obtener la señal a partir de la imagen original, se realiza un reconocimiento para verificar al 100% que la señal que se ha recortado es una señal de fin de prohibición de adelantamiento. Este proceso se basa en comparar la imagen de la señal umbralizada a negro con una base de datos que contiene imágenes de señales de fin de prohibición de adelantamiento capturadas en situaciones reales y segmentadas de la misma manera. En la siguiente figura (Figura 29) se muestra tanto un ejemplo de señal capturada en un vídeo y umbralizada a negro, así como una imagen patrón de la base de datos.

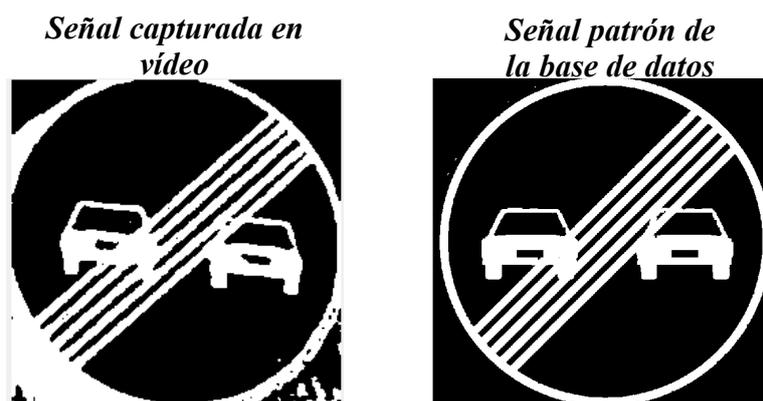


Figura 29. Imagen de la señal umbralizada a negro e imagen patrón de la base de datos

En el caso de que se confirme que la señal es de fin de prohibición de adelantamiento, el algoritmo identificará la señal y advertirá de la presencia de este tipo de señal en el fotograma.

7.8. Notificación del resultado de la detección

Cada fotograma que se analiza del vídeo se procesa con las tres fases que hemos visto: detección, clasificación y reconocimiento. A través de este procesado se obtiene un resultado bastante eficiente del reconocimiento de una señal. Toda señal que se encuentre grabada en el vídeo aparecerá capturada en varios fotogramas consecutivos. Este número de fotogramas dependerá de la velocidad a la que circule el vehículo y de la calidad de la cámara de vídeo utilizada.

La captura de las señales en varios fotogramas permite reducir el número de falsos positivos ya que se procesa una misma señal en varias fotos distintas. Con esto se consigue solucionar numerosos problemas que en ciertas ocasiones provocan fallos en la detección y en el reconocimiento de la señal.

Hay que ser consciente que no sería beneficioso mandar un mensaje de aviso al conductor cada vez que se reconozca una señal en un fotograma. Debido a que existen fallos de identificación, se ha decidido realizar un algoritmo que sea capaz de analizar los resultados de las detecciones y dar una notificación al conductor en base a un promediado de estos.

Para este cometido se ha decidido utilizar un vector donde cada casilla de este corresponda a una señal concreta. En la siguiente figura (Figura 30) se puede ver cómo se han repartido las distintas señales a lo largo del vector.

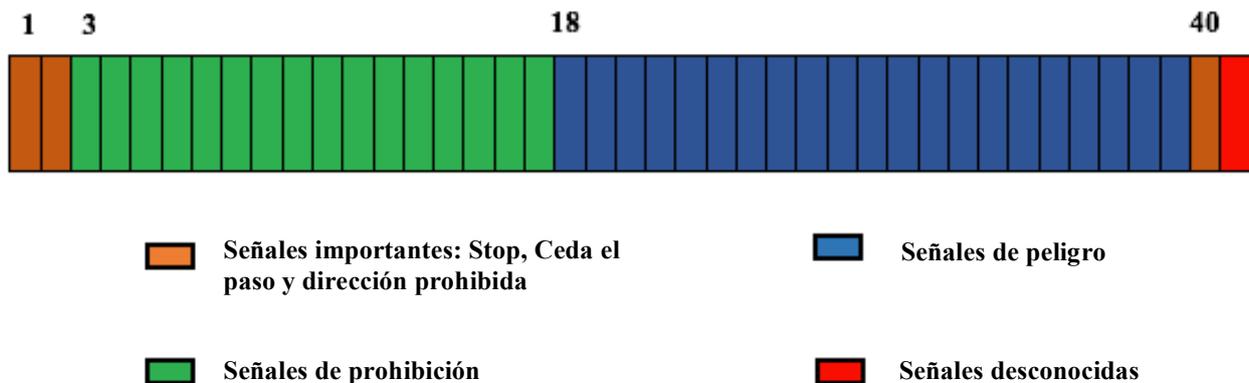


Figura 30. Vector acumulador de detecciones

Cada vez que el algoritmo reconozca en un fotograma del video una señal, este sumará un valor en la casilla asociada a esta señal. Como previsiblemente las señales se van a detectar en fotogramas consecutivos, hasta que ésta desaparezca de la grabación se irán acumulando en el vector los resultados de las distintas detecciones.

En cuanto la señal desaparezca del vídeo, se busca en el vector la posición donde se encuentre el máximo y la señal asociada a esa posición será la que se notifique al conductor. Después se pone a cero todo el vector para que este esté preparado para la siguiente detección. Quizás esta elección no es la más ideal para ciertas señales como el Stop o el Ceda el paso, pero se ha escogido por ser la opción más aplicable al resto de señales donde la indicación comienza a partir de la localización de la señal. Queda para trabajos futuros realizar algún tratamiento especial de señales como Stop, Ceda el paso o Dirección Prohibida.

Como en ciertas ocasiones se tienen dos señales juntas en un mismo fotograma del video, el algoritmo tiene que ser capaz de detectar y notificar de la existencia de dos señales distintas. Para ello se ha utilizado la misma técnica que hemos explicado para el caso de una señal. Lo único que se ha modificado es que cuando se detecten dos señales se tienen que buscar los dos máximos en el vector y las señales asociadas a esas dos posiciones de los máximos serán las que se notifiquen al conductor al acabar de detectarlas en el video. Al igual que antes, tras la notificación al conductor, se pondrá todo el vector a cero para las futuras detecciones.

7.9. Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica (GUI) que se ha diseñado facilita el uso de la aplicación al usuario y además le permite ver el funcionamiento del detector de forma muy visual, sin necesidad de escribir ningún comando para ejecutarlo. Se ha diseñado también en el software MATLAB para facilitar su integración con el código desarrollado. Además, MATLAB permite realizar interfaces gráficas de forma sencilla mediante el comando GUIDE.

Esta interfaz gráfica (Figura 31) cuenta con varios botones para que el usuario utilice la aplicación, una pantalla a la izquierda donde se reproducirá el vídeo y una zona de avisos de señal a la derecha. Se ha decidido separar los tipos de avisos ya que hay avisos que no anulan a otros y pueden ser complementarios.

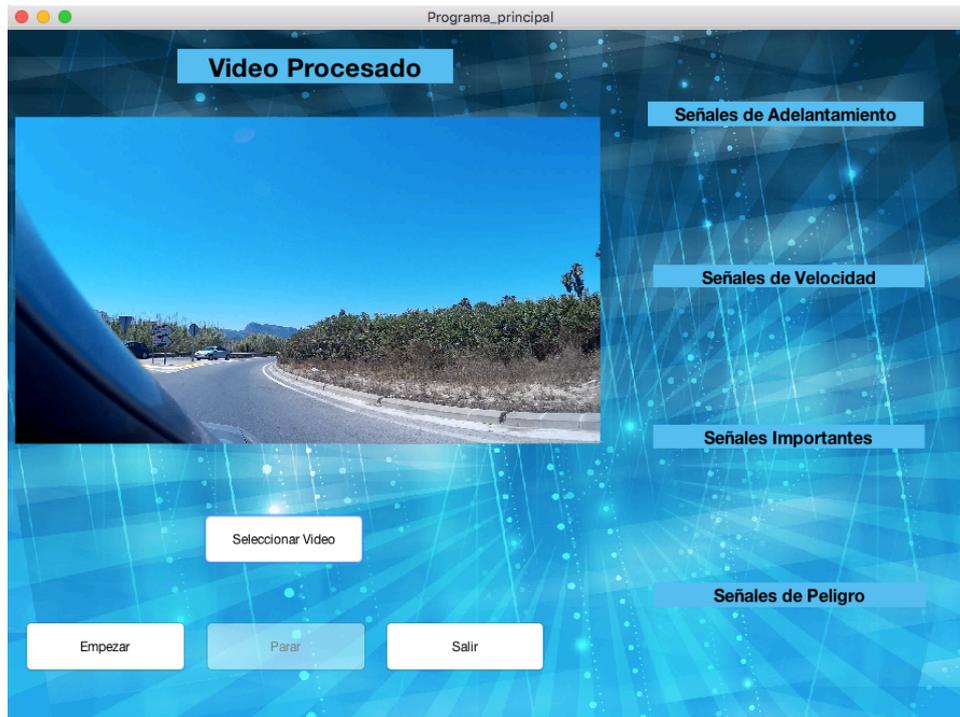


Figura 31. Interfaz gráfica de la aplicación

A continuación se presentan los aspectos más importantes en el funcionamiento de esta GUI.

7.9.1. Botones

El usuario puede manejar la aplicación con ayuda de varios botones que permiten utilizarla de forma intuitiva y sin conocer el código que hay detrás. Estos botones son:

- Botón de **“Seleccionar video”**
- Botón de **“Empezar”**
- Botón de **“Parar/Play”**
- Botón de **“Salir”**

El botón **“Seleccionar video”** permite al usuario elegir un vídeo que se encuentre en cualquier carpeta de su ordenador. Tras elegir el vídeo, se proyecta en la parte izquierda de la interfaz gráfica el primer fotograma del vídeo.

El botón **“Empezar”** tiene la función de que comience a reproducirse el video donde antes estaba el fotograma inicial. Además de la reproducción del vídeo, se iniciará paralelamente el algoritmo de detección de señales, por lo que se comenzará a analizar el vídeo en busca de señales de tráfico.

El botón **“Parar/Play”** sirve para parar el vídeo en el momento que se quiera y para ponerlo en funcionamiento cuando este se encuentre parado.

El botón **“Salir”** cierra la aplicación cuando se ha acabado de reproducir el vídeo y limpia la ventana de comandos.

7.9.2. Funcionamiento

El funcionamiento de la GUI se basa en reproducir el vídeo elegido por el usuario y procesarlo mediante el algoritmo de detección y reconocimiento de señales. Conforme vayan apareciendo señales en el vídeo, la aplicación mostrará avisos sobre el tipo de señales que son (Figura 32). Estas notificaciones se podrán consultar en la parte derecha de la interfaz gráfica y aparecerán con una imagen de la señal o señales que han sido detectadas en el vídeo. La clasificación de los avisos se divide en cuatro tipos distintos:

- Aviso de señales de Adelantamiento
- Aviso de señales de Velocidad
- Aviso de señales Importantes
- Aviso de señales de Peligro

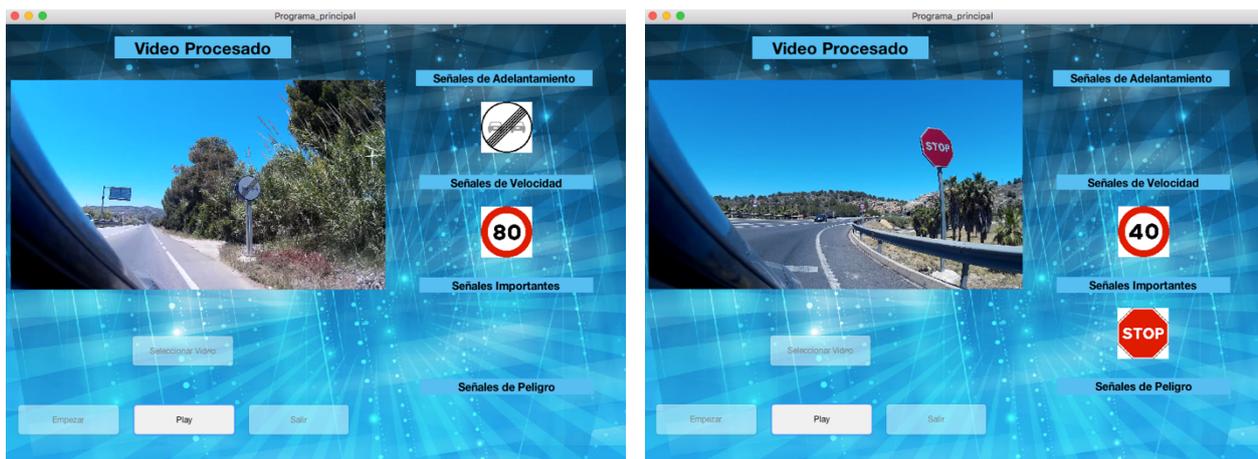


Figura 32. Funcionamiento de la GUI

Los avisos de señales de adelantamiento y de velocidad permanecerán en su posición de la GUI hasta que no exista una nueva señal que anule a esta. Es decir, en el caso de que exista una nueva señal de limitación de velocidad se anulará la limitación anterior y se cambiará el aviso anterior por la nueva velocidad. Para el caso de las señales de adelantamiento pasará exactamente igual, se irá actualizando la señal dependiendo de si se puede adelantar o no.

En los avisos de señales importantes se ha decidido notificar las señales de Stop, Ceda el paso, prohibición de giro a la izquierda y dirección prohibida. Como estas señales son normalmente para partes muy concretas de un tramo por el que se circula y no suelen durar mucho tiempo, se ha decidido poner un temporizador. Con ayuda de este temporizador, se consigue que la señal se muestre en la GUI durante unos pocos segundos (aproximadamente 6 segundos) y después desaparezca ya que el aviso ya no tendrá sentido para más adelante.

En lo que respecta a las señales de peligro se avisará al conductor de cualquier tipo de peligro cuya señal se encuentre en la base de datos. Estos avisos también desaparecerán con el tiempo (aproximadamente en 18 segundos) ya que suelen ser avisos temporales y no deben de permanecer durante toda la conducción. Para ello, se ha diseñado otro temporizador distinto al anterior debido a que estas señales suelen indicar tramos de más kilómetros.

Además de todo lo anterior, los avisos importantes y los avisos de peligro serán anunciados mediante diferentes pitidos para advertir al conductor de que la señal indica la aparición de una señal sumamente importante.

8. RESULTADOS OBTENIDOS

Para realizar un correcto análisis sobre el funcionamiento de la aplicación, se han utilizado varios videos que se han grabado en distintas carreteras cercanas a la localidad de Gandía y a diferentes horarios. En este apartado se van a presentar los resultados que se han obtenido en cada una de las distintas etapas del algoritmo diseñado en los distintos vídeos que se han grabado. Y además se evaluará el tiempo de ejecución del algoritmo en cada una de sus fases.

8.1. Detección de señales

La detección de las señales depende en gran parte de las situaciones de iluminación del día, del horario en el que se graba el video, del estado de las señales, de la presencia de obstáculos delante de la señal y de muchos otros factores que se presentan en el entorno real.

Nuestro programa es capaz de detectar casi el 100% de las señales en buen estado cuando el sol está alto en zonas interurbanas siempre que no existan reflejos importantes en la señal provocados por el sol (Figura 33). Esto se debe en gran parte a que el color rojo de las señales casi siempre se encuentra en buen estado, no suele haber cambios importantes de iluminación debido al sol y además la mayoría de las señales que se han grabado no están tapadas por ningún tipo de obstáculo que dificulte su detección.

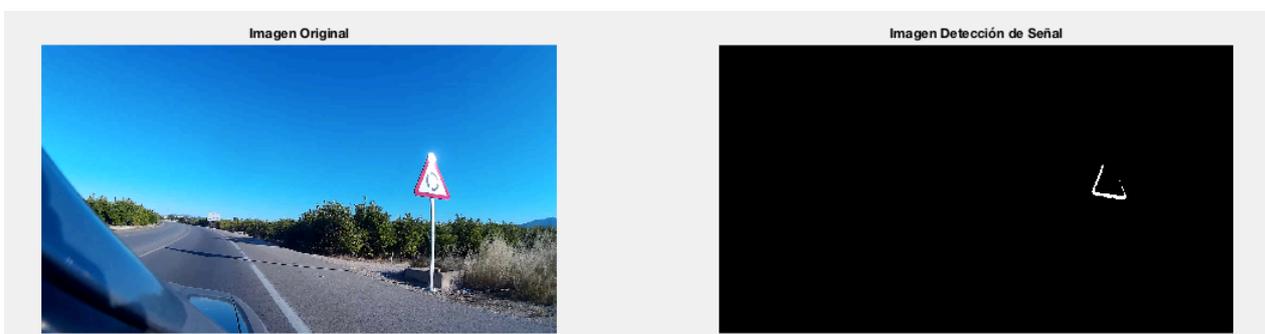


Figura 33. Detección de señal con reflejo del sol

Durante el amanecer y el anochecer, la detección no era buena porque que el color rojo de las señales tenía un tono demasiado oscuro que se acercaba más al color negro que al rojo (Figura 34). Por este motivo, el algoritmo era incapaz de detectar la presencia de una señal en casi todos los videos grabados en este horario ya que la función de detección utiliza una segmentación de color rojo.



Figura 34. Señales grabadas durante el anochecer

También se realizaron intentos de detección durante la noche pero las carreteras en las que se realizaron los vídeos no tenían ningún tipo de iluminación. Se decidió grabar un video con luces cortas y otro con luces largas (Figura 35). En el caso del video realizado con luces cortas, el resultado fue un video en el que no se apreciaba prácticamente la existencia de ninguna señal por culpa de la falta de iluminación. En el otro video con luces largas se apreciaba la presencia de las señales pero debido a una gran cantidad de reflejos de luz que salían de estas, el detector era incapaz de detectarlas ya que no había componentes de color rojo.



Figura 35. Señales grabadas durante la noche

8.2. Clasificación de señales

La clasificación de las señales es una fase del programa que depende directamente de la calidad de detección de la señal. Por ello si la detección no es buena, tampoco lo será la clasificación.

En los videos grabados durante el mediodía se ha conseguido detectar todas las señales con una extracción de su color rojo muy exitosa. A diferencia de en el caso de la detección, la extracción del color rojo no ha sido siempre perfecta. Esto se debe en la mayoría de los casos a que existen reflejos del sol o desgastes en ciertas partes del color

rojo de las señales (Figura 36). El problema de los reflejos de luz se consigue solucionar en muchas ocasiones ya que cada señal se captura en varios fotogramas del video. En cambio si la señal tiene desgastes o malformaciones es muy difícil que el algoritmo consiga una clasificación correcta.

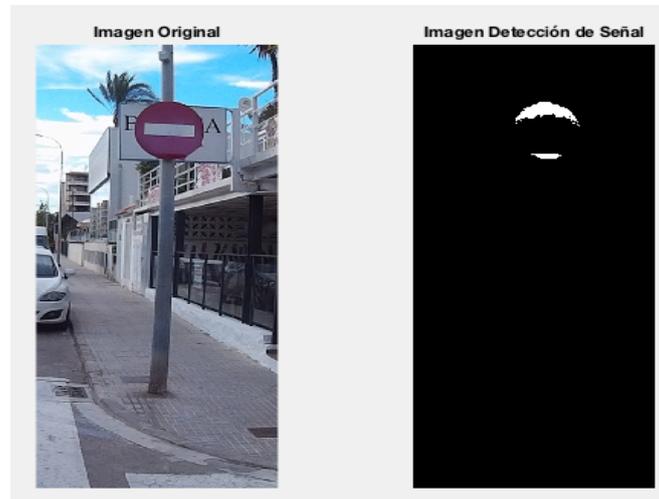


Figura 36. Detección de señal desgastada

Gracias a la gran detección que se consigue de las señales en los videos grabados cuando el sol esta alto en zonas interurbanas, se consigue una clasificación de las señales muy correcta ya que se consiguen clasificar casi el 100% de las señales con éxito.

Por otro lado, como era de esperar en los videos grabados en situaciones de mala iluminación como son el amanecer, el anochecer o la noche, no se llega a conseguir ningún tipo de clasificación ya que la detección de las señales es pésima.

8.3.Reconocimiento de señales

La fase de reconocimiento es la última fase para identificar las señales de peligro y de prohibición. Por este motivo para que el reconocimiento de la señal sea correcto, se tendrá que haber detectado y clasificado la señal con éxito.

El primer problema que se tuvo en esta fase del algoritmo fue la incorrecta identificación debido a la gran cantidad de tipos de señal que se analizan para cada grupo. Esto dio lugar a falsos positivos cuando la señal se encontraba muy lejos, los caracteres internos estaban dañados o eran muy parecidos entre sí. Los falsos positivos debidos a la distancia se consiguen resolver muchas veces gracias a que se tienen varios fotogramas en el vídeo para cada señal a identificar. Los otros dos casos se resuelven añadiendo más imágenes de muestra a la base de datos.

El segundo problema fue que algunas señales tenían los caracteres interiores un poco girados y por lo tanto la comparación no era perfecta y podía llegar a producir reconocimientos incorrectos. Este problema se arregló añadiendo nuevas imágenes de señales giradas a la base de datos (Figura 37).



Figura 37. Imágenes de la base de datos de la señal del límite de 60 Km/h

El tercer y último problema que se detectó fue que a veces no se conseguía extraer bien el color negro del que están compuesto los caracteres interiores de la señal. Este problema fue el único que no se pudo corregir en ciertas situaciones ya que dependía de la iluminación y de los reflejos del sol.

En lo que se refiere a resultados se puede decir que tras resolver los problemas presentados, se consigue una identificación de las señales perfecta cuando el sol está alto. Sin embargo cuando el sol está bajo o es de noche, la identificación es nula ya que no se consiguen realizar los pasos de detección y clasificación bien.

8.4. Tiempo de ejecución del algoritmo

Nuestro código tiene que procesar los distintos fotogramas del vídeo con bastante rapidez ya que el objetivo de este trabajo es detectar y reconocer las señales de tráfico en tiempo real. Por ello, se ha implementado un código que tarde lo menos posible en realizar las distintas operaciones necesarias para cumplir su función en los vídeos grabados con la cámara SJ4000 Wifi cuya resolución es de 1920x1080. En este punto del trabajo se van a mostrar cuáles son los tiempos de ejecución de las distintas partes del código por separado y después del algoritmo en su conjunto en estos vídeos.

La primera fase del algoritmo corresponde a la detección. El tiempo de ejecución de este dependerá de si hay detección de señal en la imagen o no. Al haber presencia de señal, la función deberá realizar tratamientos de imagen y cálculos que se traducen en un mayor tiempo de ejecución. En la siguiente tabla se presentan los tiempos para cada uno de los dos casos.

	Detección si hay señal	Detección si no hay señal
Intervalo de tiempos de ejecución	30 ms – 39 ms	20 ms – 25 ms

Tabla 4. Tiempo de ejecución del algoritmo de detección

La clasificación y el reconocimiento son las siguientes fases que se llevarán a cabo cuando se detecte una señal. Tanto uno como otro tienen que realizar cálculos y

comparaciones que hacen que el tiempo de ejecución del algoritmo sea superior. Para la fase de clasificación se ha obtenido un tiempo medio de ejecución de 35 ms y para la fase de reconocimiento se ha obtenido un tiempo medio de ejecución de 33 ms.

Después de haber hecho un análisis individual de tiempos para cada función, ahora se va a tratar el tiempo de ejecución del algoritmo en su conjunto. Este tiempo dependerá de si existe presencia o no de la señal en la imagen. En el caso de que no se detecte una señal, el programa no entrará en las funciones de clasificación y reconocimiento, lo que se verá reflejado en una disminución del tiempo de ejecución. En cambio si hay señal en el fotograma, se llevará a cabo una clasificación que añadirá retardo, y en el caso de que se necesite su reconocimiento por ser de prohibición o peligro aún se añadirá mas retardo. Por este motivo, se van a presentar tres intervalos de tiempo de ejecución distintos para el algoritmo en su conjunto.

	Fotogramas sin señal	Fotogramas con señal sin necesidad de reconocimiento	Fotogramas con señal con necesidad de reconocimiento
Intervalo de tiempos de ejecución	150 ms – 200 ms	200 ms – 250 ms	250 ms – 350 ms

Tabla 5. Tiempo de ejecución del conjunto de algoritmos

Gracias a los resultados obtenidos, se pudo estimar que nuestro algoritmo sería capaz de procesar unos 6 fotogramas por segundo, ya que los retrasos provocados cuando existe una señal se compensan con los bajos tiempos de ejecución que se obtienen cuando no hay señales. Como nuestra cámara es capaz de realizar videos a 30 fps y nuestro algoritmo es capaz de procesar 6 fps, se decidió aplicar el código cada 5 fotogramas del vídeo. Hay que tener en cuenta que en un sistema en tiempo real, la velocidad de adquisición de fotogramas se irá ajustando al tiempo de procesamiento.

9. MEJORAS FUTURAS

Durante la realización de este proyecto, se han ido desarrollando numerosas modificaciones en el código para que funcionase de la mejor manera posible y sin perder la condición de hacerlo en tiempo real. Estas mejoras han demostrado un gran resultado en los vídeos en los cuales el estado de las señales de tráfico era bueno y la iluminación de éstas era correcta. Sin embargo cuando el estado de las señales o la iluminación del vídeo no eran óptimas, no se lograba captar casi ninguna señal.

Debido a que todo el algoritmo se ha implementado desde cero y que no se disponía de un tiempo ilimitado, se han tenido que limitar las funciones de este para que detecte el mayor número de señales de tráfico en buenas condiciones. Para una versión

futura de este trabajo se podrían mejorar numerosos aspectos en cada una de sus fases con el objetivo de detectar y reconocer cualquier tipo de señal en cualquier situación.

La detección de señales se debería de mejorar con una segmentación de color más robusta y que fuera capaz de adecuarse al estado de iluminación del vídeo. Para ello se proponen las siguientes mejoras:

- Utilizar el espacio de color HSI, el cual permite detectar colores con una visión más cercana a la humana.
- Detectar cambios de iluminación mediante un fotómetro y utilizar unos umbrales de color distintos para cada caso.
- Utilizar cámaras infrarrojas para la detección nocturna.

La clasificación y el reconocimiento de las señales serían otras de las partes que se podrían mejorar en futuras revisiones de este trabajo. Con el objetivo de poder identificar ciertas señales que estén dañadas, desgastadas o giradas. Para ello se proponen los siguientes posibles desarrollos:

- Empleo de modelos de decisión de Machine Learning: redes neuronales, SVM, Boosting o Deep Learning, con descriptores avanzados tipo Haar o HOG (Histograms Of Gradients).
- Envío de imágenes de señales captadas por la cámara de vídeo a la base de datos para tener más muestras nuevas con las que comparar.
- Utilizar bases de datos de señales de tráfico profesionales.

En lo que respecta a otras mejoras que se pueden considerar, podemos nombrar las siguientes:

- Aumentar el número de señales que se desean detectar y reconocer. Por ejemplo, se podrían incluir señales de otros países o señales de recomendación que en este trabajo no se han tenido en cuenta.
- Corregir la perspectiva de la imagen para un mejor reconocimiento.
- Reducir el tiempo de ejecución del algoritmo para poder procesar más fotogramas del vídeo.
- Implementar la aplicación en un dispositivo móvil o directamente en un vehículo.

10. CONCLUSIONES

Podemos concluir que la detección y el reconocimiento de señales de tráfico mediante el procesado de imagen es una tarea muy compleja. En esta se depende de una gran cantidad de factores externos que no se pueden controlar como señales descoloridas, reflejos del sol, obstáculos delante de las señales, pegatinas o pintadas en las señales entre otras.

En este trabajo se ha conseguido realizar un código que sea capaz de detectar e identificar señales de tránsito en tiempo real de forma muy efectiva siempre y cuando el sol esté alto y las señales no estén muy dañadas. Sin embargo se es consciente de que, este algoritmo se puede mejorar en muchos aspectos para conseguir que sea útil ante cualquier circunstancia como pueden ser situaciones con poca iluminación, reflejos del sol o señales giradas.

La realización de este trabajo me ha permitido adquirir conocimientos sobre procesamiento de imagen y ganar mucha soltura en programación con el Software MATLAB. Además también me ha permitido darme cuenta de que la teoría no tiene nada que ver con la práctica, ya que aquí surgen muchos más problemas que se deben de solventar de la forma más conveniente posible sin perder de vista la función para la que está diseñada el algoritmo.

Por último, cabe destacar que el esfuerzo y las horas de trabajo que han supuesto la realización de este proyecto han merecido totalmente la pena ya que se ha conseguido llegar al resultado final de este TFG. Este era desarrollar un conjunto de algoritmos de procesado de imagen capaz de detectar y reconocer el tipo de señales de tráfico que un vehículo se pueda encontrar cuando circula por una vía española. A pesar de tener aún aspectos mejorables, se puede decir que se ha alcanzado con éxito los objetivos inicialmente planteados en este TFG.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Página Web que contiene la definición de Seguridad Vial:
<<http://definicion.de/seguridad-vial/>>.
- [2] Organización Mundial de la Salud. (2015). *INFORME SOBRE LA SITUACIÓN MUNDIAL DE LA SEGURIDAD VIAL 2015*. Ginebra.
- [3] Dirección General de Tráfico. (2015). *Las principales cifras de la Siniestralidad Vial*. España.
- [4] Página Web que explica los distintos factores de riesgo que causan los accidentes:
<<http://www.uv.es/sfpenlinia/cas/64las-causas-de-los-accidentes-de-traffic-factores-de-riesgo.html>>.
- [5] Página Web que contiene un artículo sobre sistemas de detección de señales de tráfico:<<http://www.circulaseguro.com/que-es-la-deteccion-de-las-senales-de-traffic/>>.
- [6] Página Web que contiene artículo sobre visión computarizada de las señales de tráfico:<<http://www.circulaseguro.com/tsr-vision-computerizada-de-las-senales-de-traffic/>>.
- [7] Página Web de la aplicación myDriveAssist de Bosch:
<<https://appcenter.bosch.com/details/-/app/myDriveAssist>>.
- [8] Haloi, M. (2015). Traffic sign classification using deep inception based convolutional networks. arXiv preprint arXiv:1511.02992.
- [9] Keller, C. G., Sprunk, C., Bahlmann, C., Giebel, J., & Baratoff, G. (2008, June). Real-time recognition of US speed signs. In *Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE* (pp. 518-523). IEEE.
- [10] Kardkovács, Z. T., Paróczy, Z., Varga, E., Siegler, A., & Lucz, P. (2011, July). Real-time traffic sign recognition system. In *Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), 2011 2nd International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.
- [11] Hossain, M. S., & Hyder, Z. (2015). Traffic road sign detection and recognition for automotive vehicles. *International Journal of Computer Applications*, 120(24).
- [12] Shojania, H. (2003). Real-time traffic sign detection. *Report Project on Fall*.
- [13] Deshmukh, V. R., Patnaik, G. K., & Patil, M. E. (2013). Real-time traffic sign recognition system based on colour image segmentation. *International Journal of Computer Applications*, 83(3).
- [14] Paulo, C. F., & Correia, P. L. (2007, June). Automatic detection and classification of traffic signs. In *Image Analysis for Multimedia Interactive Services, 2007. WIAMIS'07. Eighth International Workshop on* (pp. 11-11). IEEE

- [15] Le, T., Tran, S., Mita, S., & Nguyen, T. (2010). Real time traffic sign detection using color and shape-based features. *Intelligent Information and Database Systems*, 268-278.
- [16] Zhu, Z., Liang, D., Zhang, S., Huang, X., Li, B., & Hu, S. (2016). Traffic-sign detection and classification in the wild. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2110-2118).
- [17] Página Web que ofrece un análisis detallado de la cámara deportiva SJ4000 Wifi: <<http://www.camarasdeportivas10.com/sj4000-wifi/>>.
- [18] Página Web que contiene información del soporte utilizado para la cámara: <<http://gopro-accesorios.com/ventosas/ventosa-exterior-para-gopro-y-sjcam-51.html>>
- [19] Página Web de la herramienta de Software MATLAB: <<https://es.mathworks.com/products/matlab.html>>.
- [20] Página web donde se muestran las ventajas de utilizar MATLAB: <<http://www.compelect.com.co/blog/2017/02/7-ventajas-de-usar-matlab/>>.
- [21] Dirección General de Tráfico. (2015). *NORMAS Y SEÑALES REGULADORAS DE LA CIRCULACIÓN*. España.
- [22] John C. Russ (1995). *The image processing handbook*, 2ª Ed. Florida: Editorial CRC Press.
- [23] R.C. González y R.E. Woods (2010). *Digital Image Processing*, 2ª Ed. USA: Editorial Prentice-Hall.
- [24] Página Web que contiene información sobre modelos de color: <https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV>.
- [25] Página Web que contiene información sobre modelos de color: <<https://desarrolloweb.com/articulos/1483.php>>.