

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ASISTENCIA A  
CONDUCTORES DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES MEDIANTE EL  
PROCESAMIENTO DE VIDEO Y DE SEÑALES DE SENSORES  
COMPLEMENTARIOS**



Universidad  
del Cauca

**JULIAN FERNANDO MUÑOZ ORDÓÑEZ  
CRISTIAN HEIDELBERG VALENCIA PAYÁN**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYÁN  
2012**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ASISTENCIA A  
CONDUCTORES DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES MEDIANTE EL  
PROCESAMIENTO DE VIDEO Y DE SEÑALES DE SENSORES  
COMPLEMENTARIOS**

**JULIAN FERNANDO MUÑOZ ORDÓÑEZ  
CRISTIAN HEIDELBERG VALENCIA PAYÁN**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Físico**

**Director  
Ing. Edgar Leonairo Pencue Fierro**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
INGENIERIA FÍSICA  
POPAYÁN  
2012**

*Dedico éste trabajo a Dios por regalarme la salud y vida para poder realizar y culminar con éxito tanto mi etapa de estudio universitario como el sistema de asistencia a la conducción.*

*A mi mamá Alba Enelia, mi papá Gerardo Alirio y mi hermano Cristian Camilo por estar siempre brindándome su apoyo, compañía y fuerza en los momentos difíciles. Todo lo que soy se los debo a ellos, son la base en la cual me sustentó.*

*A mi compadre y compañero de trabajo de grado Cristian Valencia Payán porque sin él éste proyecto no hubiese sido posible y mucho menos se hubiesen obtenido tan excelentes resultados, mis más sinceros agradecimientos y profunda admiración.*

*A mis amigos: Angie Tatiana, Karine, Jeison Eduardo y Karen por brindarme su amistad desinteresada y siempre enviarme sus buenos deseos. Muchas gracias.*

*Julián Fernando Muñoz Ordóñez*

*A Dios por darme todo lo necesario para llegar a este punto y por permitirme contar con el apoyo incondicional de mis padres y mis hermanos.*

*A mis padres Renzo Valencia y Deyanira Payán, que han sido la base de todo lo que he logrado hasta ahora. A mi padre por el ejemplo de buen hombre que siempre me ha mostrado y por enseñarme a darlo todo por lo que se quiere sin importar lo difícil que sea. A mi madre por todo el cariño que me ha dado y por los valores que me ha inculcado, por que siempre ha estado ahí guiándome por el camino del bien. Pero más que nada a los dos por todo el amor que me han dado.*

*A mis hermanos Jonatan y Carmen Julieth Valencia Payan, que son el impulso extra que necesito para seguir dando lo mejor de mí. A mi hermano por ser el modelo a seguir, por que es por él que quiero hacerlo mejor cada día. A mi hermana por todo el apoyo que me ha brindado y por que es ella quien me motiva a seguir sin importar el obstáculo.*

*A Julián Muñoz, compadre y compañero, por que junto a él logramos sacar adelante este proyecto de la mejor manera posible, y con excelentes resultados.*

*A mis familiares por creer en mí, y en que lograría alcanzar esta meta.*

*A compañeros y amigos que de una u otra manera aportaron algo en la realización de esta meta.*

*GRACIAS.*

*Cristian Heidelberg Valencia Payán*

Los autores queremos agradecer a:

El Ingeniero Leonairo Pencue Fierro por sus valiosos aportes durante todo el año que trabajamos con él.

A los jurados evaluadores Ing. Mario Patiño e Ing. Mario Córdoba por sus aportes y consejos en tanto en la corrección de la propuesta del anteproyecto como el trabajo final.

A los integrantes del Grupo de Óptica y Láser por aceptarnos y permitirnos trabajar en conjunto con ellos.

A los profesores del Departamento de Física por compartir sus conocimientos durante todos los años de carrera.

Al profesor Luis Fernando Echeverri por siempre estar atento durante cada semestre de los problemas y necesidades académicas que a todos los estudiantes de Ingeniería Física se les presentan.

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

Ing. Edgar Leonairo Pencue Fierro  
Director

---

Ing. Mario Patiño  
Jurado

---

Ing. Mario Córdoba  
Jurado

Fecha de Sustentación:

Popayán, 11 de Mayo de 2012.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	12
1. SEGURIDAD VIAL .....	14
1.1 PANORAMA MUNDIAL DE LA SEGURIDAD VIAL .....	14
1.2 PANORAMA NACIONAL DE LA SEGURIDAD VIAL.....	15
1.3 DRIVER ASSISTANCE SYSTEM (DAS) .....	17
1.3.1 Sistemas de control de cruceo y control de cruceo adaptativo .....	18
1.3.2 El ABS (sistema antibloqueo de frenos) .....	18
1.3.3 Las luces autoadaptables .....	19
1.3.4 Detección de ángulo muerto y Asistente de cambio de carril .....	19
1.3.5 El control electrónico de estabilidad .....	19
2. SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL.....	21
2.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VISION ARTIFICIAL.....	21
2.1.1 Imágenes Digitales.....	21
2.1.2 Video.....	22
2.1.3 Iluminación.....	24
2.1.4 Cámaras Digitales .....	25
2.1.5 Tarjeta de Adquisición y Procesamiento de Imágenes .....	25
2.2 SENSORES.....	26
2.2.1 Características de un sensor .....	27
2.2.2 Tipos de sensores .....	27
2.3 AMBIENTE.....	27
2.3.1 Ambiente estructurado.....	28
2.3.2 Ambiente no estructurado .....	28
3. SISTEMAS DE ASISTENCIA QUE USAN VISION ARTIFICIAL.....	29
3.1 PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	29
3.2 RECONOCIMIENTO DE OBJETOS.....	29
3.3 DETECCIÓN DE MOVIMIENTO .....	30
3.3.1 Sustracción de Fondo.....	30
3.3.2 Métodos Estadísticos.....	30

3.3.3	Flujo Óptico .....	30
3.4	SEGUIMIENTO DE OBJETOS EN MOVIMIENTO .....	31
3.5	CLASIFICACIÓN DE OBJETOS .....	31
4.	CLASIFICADORES HAAR.....	32
4.1	MÉTODO ADABOOST.....	33
4.2	DETECCIÓN DE SEÑALES DE TRÁNSITO MEDIANTE EL CLASIFICADOR HAAR 37	
4.2.1	Imágenes Positivas y Negativas .....	37
4.2.2	Creación de Muestras.....	40
4.2.3	HaarTraining.....	42
5.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ASISTENCIA VEHICULAR.....	44
5.1	DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE TRANSITO.....	45
5.1.1	Detección de Señales de Transito Preventivas y Reglamentarias.....	45
5.1.2	Reconocimiento de Señales de Transito Preventivas y Reglamentarias .....	45
5.2	DETECCIÓN DE CURVAS .....	48
5.3	DETECCIÓN DE CARRIL .....	49
5.4	DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS.....	50
6.	RESULTADOS Y ANALISIS .....	52
6.1	RESULTADOS DEL ENTRENAMIENTO PARA LA DETECCIÓN DE SEÑALES DE TRÁNSITO PREVENTIVAS Y REGLAMENTARIAS .....	52
6.2	RESULTADOS DEL RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE TRÁNSITO PREVENTIVAS Y REGLAMENTARIAS.....	55
6.3	DETECCIÓN DE CURVAS .....	72
6.4	DETECCIÓN DE CARRIL .....	75
6.5	DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS.....	79
6.6.	GENERACIÓN DE ALARMAS .....	82
	CONCLUSIONES .....	83
	TRABAJOS A FUTURO.....	85
	BIBLIOGRAFIA.....	87



## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla1. Víctimas mortales y tasa de mortalidad en el año 2007.1	15
Tabla 2. Resultados prueba 1. El Cairo – Popayán.2	58
Tabla 3. Resultados prueba 1. Popayán - El Cairo.3	58
Tabla 4. Resultados prueba 2. Clasificador señales reglamentarias.4	60
Tabla 5. Resultados prueba 2. Clasificador señales preventivas.5	61
Tabla 6. Comparación de los clasificadores <i>Haar</i> entrenados.6	62
Tabla 7. Resultados prueba 3. Popayán – El Cairo – Popayán.7	63
Tabla 8. Prueba 4 durante un viaje de 40 Kilómetros de distancia.8	66
Tabla 9. Resultados prueba 5. El Cairo – Popayán.9	67
Tabla 10. Resultados prueba 5. Popayán - El Cairo.10	67
Tabla 11. Resultados prueba 6. El Cairo – Popayán.11	69
Tabla 12. Resultados prueba 6. Popayán - El Cairo.12	70

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Muertes violentas en Colombia y en Bogotá. 1	16
Figura 2. Sistema de asistencia a conductores. 2	17
Figura 3. Componentes básicos de un sistema de visión artificial. 3	21
Figura 4. Pixeles en una Imagen digital. 4	22
Figura 5. Secuencia de imágenes o <i>frames</i> que conforman un video. 5	23
Figura 6. Tipos de sensores usados en las cámaras digitales. 6	25
Figura 7. <i>Adaboost</i> . Clasificador débil. 7	33
Figura 8. Detector de Señales <i>Adaboost</i> – implementado por Viola-Jones. 8	34
Figura 9. Diferentes tipos y orientaciones de características tipo <i>Haar</i> [13]. 9	34
Figura 10. Modos de Características <i>Haar</i> en la Biblioteca OpenCV. 10	35
Figura 11. <i>Wavelets</i> Madre: DB2 y <i>HAAR</i> . 11	35
Figura 12. Desplazamiento y escalizado de la señal <i>wavelet</i> madre. 12	36
Figura 13. Imágenes positivas. 13	37
Figura 14. Imágenes negativas. 14	38
Figura 15. Marcado de imágenes. 15	39
Figura 16. Tres muestras de señales preventivas de las 4000 creadas. 16	41
Figura 17. Tres muestras de señales reglamentarias de las 4000 creadas. 17	41
Figura 18. <i>Microsoft LifeCam HD-5000</i> . 18	44
Figura 19. Señales preventivas y reglamentarias reconocidas por el sistema. 19	46
Figura 20. Imágenes detectadas por los clasificadores y luego segmentadas 20	47
Figura 21. <i>Templates</i> escogidos para el reconocimiento de señales. 21	47
Figura 22. Proceso de detección de curvas. 22	49
Figura 23. Proceso de detección de carril. 23	50
Figura 24. Proceso de detección de automóviles. 24	51
Figura 25. Detecciones realizadas por los clasificadores. 25	53
Figura 26. Detecciones realizadas por los clasificadores en la noche. 26	54
Figura 27. Reconocimiento de las señales de tránsito. 27	55
Figura 28. Ejemplo de error de reconocimiento. 28	57
Figura 29. Reconocimiento de clasificador <i>Haar</i> señales preventivas. 29	59
Figura 30. Objetos extraños cubriendo la señal de tránsito. 30	59
Figura 31. Efecto de distorsión de la lluvia sobre la captura del video. 31	64
Figura 32. Luces parasitas capturadas por la <i>webcam</i> . 32	65
Figura 33. Tamaño y distancia de la señal de tránsito. 33	66
Figura 34. Detecciones realizadas por los dos <i>Haar</i> en la prueba 5. 34	68
Figura 35. Detecciones realizadas por los clasificadores <i>Haar</i> en la prueba 6. 35	70
Figura 36. Indicación de curva a la derecha luego de procesar la imagen. 36	73

Figura 37. Indicación de curva a la izquierda luego de procesar la imagen.	37	74
Figura 38. Imagen adquirida por la cámara cuando ha llovido recientemente.	38	75
Figura 39. Salida del programa cuando no detecta carril.	39	77
Figura 40. Salida cuando se detecta satisfactoriamente el carril.	40	77
Figura 41. Salida cuando el vehículo esta ubicado incorrectamente en la via.	41	78
Figura 42. Motocicletas detectada por el algoritmo.	42	79
Figura 43 Detección de vehículos y su respectiva distancia.	43	80
Figura 44. Ejemplo de la no detección de un vehículo.	44	81

## INTRODUCCIÓN

La seguridad en carretera es uno de los temas mas importantes actualmente para los fabricantes de vehículos a nivel mundial, a tal punto que se investiga constantemente tecnologías y métodos que sirvan para alertar al conductor sobre todo suceso que estén ocurriendo a cierto rango del vehículo que pueda generar riesgo para él y los demás ocupantes del mismo.

Para ello cada vez son mas la cantidad de sensores que se ubican en el vehículo para intentar recrear de alguna manera el entorno que lo rodea y poder determinar con exactitud cuando se esta en riesgo, o cuando el conductor debe estar en un estado mas alerta al normal.

Al sistema formado por todos estos sensores se le llama Sistema de Asistencia a Conductores o D.A.S (por sus siglas en inglés). Un D.A.S es un sistema que se encarga de analizar todas las señales recogidas por los sensores instalados en el vehículo y determinar cuando se esta en una situación riesgosa.

Estos sistemas han probado ser muy eficientes a la hora de dar alertas tempranas a los conductores, siendo así lo que ha ocasionado que muchas compañías automotrices estén apostando por estos sistemas de alerta temprana y los implementen en sus vehículos de gamma media-alta y gamma alta siendo estos últimos los mejores equipados para desarrollar estas tareas de “vigilancia” del entorno del vehículo.

La dificultad más grande que afrontan estos sistemas es que trabajan en condiciones no controladas, dado que su sitio de trabajo es al aire libre donde no se posee control sobre ninguna variable, es por eso que normalmente los sistemas D.A.S no usan cámaras como medio de adquisición de datos para realizar los procesos de alerta temprana, y si las usan las emplean para tareas diferentes como visor de reversa.

Por otro lado actualmente el campo de la visión artificial ha dado grandes avances siendo cada vez más el rango de implementación de dicha herramienta, siendo los más comunes los campos donde se necesite la automatización de algún proceso complejo como por ejemplo: el reconocimiento de objetos, control de calidad, seguimiento de objetos, entre otras.

El objetivo principal de este trabajo es implementar un sistema D.A.S que le permita al conductor recibir alertas de posibles situaciones que comprometan su

integridad y que ayude en cierto modo a aumentar la seguridad en las vías nacionales, así como ser un sistema asequible a un precio moderado para el usuario final.

Este documento se encuentra estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo 1. Se describe de manera breve la seguridad vial en el mundo así como en Colombia, de igual manera en este capítulo se hará una descripción de lo que es un D.A.S y algunos de sus componentes. Luego en el capítulo 2. Describe de manera básica los sistemas de visión artificial, sus componentes y los procesos que se realizan a fin de extraer la mayor cantidad de información posible con estos sistemas, también se hablan sobre los sensores que son usados por estos sistemas, en el capítulo 3. Describe el funcionamiento de un D.A.S que usa la visión artificial como medio de adquisición de datos del entorno vehicular, en el capítulo 4. Se describe de manera breve el clasificador *Haar*, capítulo 5. Se muestra como esta conformado el D.A.S implementado durante este trabajo, así como las técnicas usadas para el desarrollo del mismo, en el capítulo 6. Se muestran los resultados obtenidos con el sistema implementado, así como el análisis de los mismos.

Posterior a todo esto se dará a conocer las conclusiones en base al análisis desarrollado con anterioridad, por último se darán unas recomendaciones y posibles trabajos a futuro encaminados a mejorar el sistema aquí presentado.

## **Capítulo 1.**

### **1. SEGURIDAD VIAL**

La seguridad vial consiste en la prevención de los accidentes de tránsito o la minimización de los efectos causados por dichos accidentes con el objetivo de preservar y proteger la vida y la salud de las personas, la seguridad vial se realiza a través de enfoques tales como: ingeniería vial, gestión del tráfico, educación y formación de los usuarios de las carreteras, y diseño de vehículos [2].

Tan importante es la seguridad vial en el mundo que en 1974 la Organización Mundial de la Salud (OMS) declara en la Asamblea Mundial: el accidente de tránsito como asunto relevante en salud pública adquiriendo un papel importante en ámbitos mundiales y nacionales.[1]

#### **1.1 PANORAMA MUNDIAL DE LA SEGURIDAD VIAL**

La seguridad vial se ha convertido a nivel mundial en un tema de interés social y económico, se encuentra completamente ligado al desarrollo y a la salud pública de los países, debido a que en el mundo más de 1 millón de personas mueren y más de 50 millones resultan heridas a causa de los accidentes de tránsito, además, los estudios indican que la mitad de las personas afectadas por éste flagelo están en edad de trabajar por lo que no solo conlleva en primer lugar y de mayor importancia al sufrimiento de la familia y del afectado sino que en todo el mundo se impone un costo financiero anual que asciende a los cientos de miles de millones de dólares según lo registra las Naciones Unidas en su publicación sobre seguridad vial titulado: “Mejora de la seguridad vial en el mundo: Establecimiento de objetivos regionales y nacionales para a la reducción de víctimas por accidentes de tráfico”.

Organizaciones como Naciones Unidas, la Organización Mundial de la Salud y el Banco Mundial, advierten que debido a que el número de automóviles adquiridos por las personas y que circulan por las vías, se hace cada vez mayor, de no prevenir de manera oportuna la accidentalidad en el mundo, en el año 2020 el número anual de víctimas mortales podría ser de 1.9 millones. Prevenir mediante la puesta en marcha del “decenio de acción destinado a la Seguridad Vial en el mundo” puede generar importantes ahorros económicos para la sociedad debido a que los accidentes de tránsito representan un costo entre el 1% y el 3% del PIB de

un país, además, representan una carga para la sanidad y otros servicios públicos, cabe aclarar que este costo en el PIB representa un mayor gasto en países de ingresos bajos y medios superior al costo recibido por la asistencia al desarrollo. A continuación se presentan algunos datos sobre víctimas mortales en accidentes de tránsito durante el año 2007 en países de Europa y América [3]:

Tabla1. Víctimas mortales y tasa de mortalidad en el año 2007.<sup>1</sup>

PAIS	VICTIMAS MORTALES	TASA	IG (Nivel de Ingresos)	PAIS	VICTIMAS MORTALES	TASA	IG (Nivel de Ingresos)
Alemania	4.949	60	A	Argentina	5.427	137	M
España	38.323	83	A	Bolivia	1.594	167	M
Estados Unidos	42.642	139	A	Brasil	35.155	183	M
Francia	4.620	75	A	Chile	2.280	137	M
Italia	5.131	87	A	Colombia	5.409	117	M
Polonia	5.583	147	M	Costa Rica	688	154	M
Portugal	974	92	A	Cuba	964	86	M
Reino Unido	3.058	50	A	Ecuador	2.341	175	M
Federación Rusa	35.972	252	M	México	22.103	207	M
Turquía	10.066	134	M	Paraguay	1.206	197	M <sup>1</sup>

## 1.2 PANORAMA NACIONAL DE LA SEGURIDAD VIAL

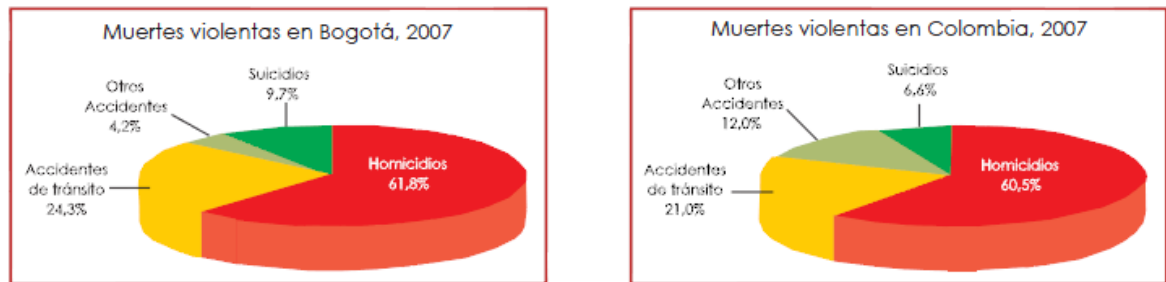
En el año 2007 la Cámara de Comercio de Bogotá a través del Observatorio de Movilidad en convenio con la Universidad de los Andes realizaron un estudio sobre la seguridad vial en Colombia especialmente en Bogotá llegando a la conclusión

<sup>1</sup> Tabla tomada de

Informe sobre la ejecución del proyecto “Mejora de la seguridad vial en el mundo: Establecimiento de objetivos regionales y nacionales para la reducción de víctimas por accidentes de tráfico”

de que los accidentes de tránsito representan la segunda causa de las muertes violentas en el país [3], las siguientes gráficas representan este fenómeno:

Figura 1. Muertes violentas en Colombia y en Bogotá.<sup>1</sup>



2

En el año 2009, se realiza un estudio llamado “Forensis 2009: datos para la vida” realizado por el Instituto Nacional de Medicina Legal con el apoyo del Fondo de Prevención Vial, en el capítulo del estudio titulado “Muertes y lesiones por accidentes de tránsito. Colombia 2009” se observan cifras de muertes y lesiones originadas por eventos de accidentes de tránsito: 5796 víctimas fatales, ésta cifra representa un incremento del 2,2% frente a los casos registrados en el año 2008. EL Fondo de Prevención Vial siendo una entidad cuyo objetivo es salvar vidas específicamente en accidentes de tránsito en Colombia ha puesto en marcha la campaña denominada Inteligencia Vial la cual busca consolidar una nueva forma de vivir en las calles y carreteras de Colombia mediante la concientización y el uso de la inteligencia del ser humano para no cometer imprudencias que ocasionen o conlleven a accidentes de tránsito. El Gobierno Colombiano actualmente está realizando campañas de concientización frente al tema de la Seguridad Vial y mediante la ubicación de puestos de control de policía en sitios estratégicos, observa y trata de prevenir accidentes en la vía, debido a los altos índices de accidentalidad que se presentan en Colombia. En el aspecto tecnológico, ejemplo, la implementación de sistemas de asistencia a la conducción o sistemas ACC (Control de Crucero Adaptativo) el país no explora esta posibilidad aún debido al alto costo de los vehículos que incorporan éstas tecnologías.

<sup>1</sup> Imagen tomada de Observatorio de Movilidad, Cámara de Comercio de Bogotá, Universidad de los Andes, “Boletín de accidentalidad vial”, 2007, No. 2 ·ISSN. 2027-1026



### 1.3 DRIVER ASSISTANCE SYSTEM (DAS)

El sistema de asistencia a conductores o asistente de conductores o DAS (por sus siglas en inglés, *Driver Assistance System*) es como se ha denotado a los sistemas de ayuda a la conducción, son sistemas que: Alertan al conductor en caso de un posible peligro inminente, dan un aviso al conductor en caso de no tener reacción alguna en caso de peligro inminente y además intervienen o pueden intervenir de forma activa o como último recurso para prevenir accidentes y/o disminuir sus consecuencias. Estos sistemas también se desempeñan de otras maneras como lo es mantener el vehículo a una velocidad segura, mantener una distancia segura entre vehículos, mantener el vehículo en el carril correcto, evitar de alguna manera la conducción temeraria, es decir adelantamientos bruscos, exceso de velocidad, atravesar de manera insegura un cruce de vías, informar al conductor sobre peatones u obstáculos en la vía, entre otras funciones que se le pueden delegar a dichos sistemas. [5]

Figura 2. Sistema de asistencia a conductores. <sup>2</sup>



Estos sistemas son compuestos por diferentes sistemas encargados de una función específica. A continuación hablaremos de algunos de ellos:

<sup>3</sup> Imagen tomada de <http://www.csmauto.com/news/csminsights/2008/01/Europe+Shifts+Towards+Active+Safety>

### **1.3.1 Sistemas de control de crucero y control de crucero adaptativo**

En la actualidad todos los vehículos comerciales y modernos traen consigo sistemas de asistencia a la conducción los cuales permiten llevar un manejo del vehículo más tranquilo y disminuir el cansancio o fatiga en el conductor, además, optimizan el consumo de combustible. Los sistemas de asistencia son capaces de advertir al conductor y prevenir de forma autónoma colisiones frontales con el vehículo que precede en la vía [4].

El Sistema de Control de Crucero y el Sistema de Control de Crucero Adaptativo forman parte de los sistemas de asistencia a la conducción. Sistemas de Control de Crucero, sistema electrónico que permite fijar de manera constante la velocidad de marcha del automotor, el sistema se desactiva cuando se pisa el freno o cuando el usuario presiona el botón ubicado en el panel de instrumentos, la principal desventaja es que el conductor debe constantemente ajustar la velocidad según la densidad del tráfico en la vía. El Sistema de Control de Crucero Adaptativo, supera las limitaciones del Control de Crucero convencional puesto que ofrece al usuario mayor cantidad de ayudas en la conducción, ejemplo, cuando se aproxima un vehículo que precede debido a la disminución de su velocidad entonces el sistema disminuye automáticamente la velocidad del automotor con el bloqueo del acelerador y el accionar de los frenos ubicando la distancia segura entre vehículos programada por el usuario con anterioridad. El sistema ACC está provisto de un dispositivo FCW (*Forward Collision Warning*, en español Advertencia de colisión frontal) el cual alerta al conductor sobre una posible colisión con el vehículo que se encontraba en movimiento y fue detectado por el sistema y que de manera abrupta se detiene. Los sistemas presentan debilidades a la hora de advertir al conductor sobre colisiones con objetos estáticos; los cuales fueron detectados sin ningún movimiento, otras debilidades son no poder detectar el tráfico en sentido contrario y objetos que se alejan del vehículo, por ejemplo, en un sobrepaso [4].

### **1.3.2 El ABS (sistema antibloqueo de frenos)**

El ABS evita que se bloqueen las ruedas modulando automáticamente la presión sobre los frenos cuando el conductor pisa el pedal a fondo. En suelos resbaladizos, en los que la fricción entre la superficie de la carretera y el neumático es baja, las ruedas se bloquean fácilmente, lo que hace imposible controlar el vehículo. Al evitar que se bloqueen las ruedas, el sistema permite al conductor mantener el control de la dirección y detenerse en la menor distancia posible en la mayoría de las situaciones. Este proceso dota al sistema de la

máxima potencia de frenado. El ABS se usó por primera vez en coches en 1970. En 2006, el 91% de los vehículos nuevos estaban equipados con este sistema. [5]

### **1.3.3 Las luces autoadaptables**

Estas orientan el haz luminoso a la izquierda, a la derecha, hacia arriba o hacia abajo según el ángulo de dirección de las ruedas, la velocidad y el movimiento del vehículo. Así se mantiene la carretera correctamente iluminada cuando la delantera del vehículo baja debido a una fuerte desaceleración; se evita que el haz se eleve cuando el vehículo acelera y, además, la luz se mantiene en la calzada, y no a un lado, al tomar curvas. [5]

### **1.3.4 Detección de ángulo muerto y Asistente de cambio de carril**

El sistema de detección de objetos en el ángulo muerto y el asistente de cambio de carril vigilan constantemente los puntos traseros sin visibilidad a ambos lados del vehículo. Por ejemplo, antes de adelantar o cambiar de carril, el conductor mira por el retrovisor exterior y confirma que no hay nadie en el carril al que pretende cambiar; pero de repente entra un coche, justo cuando el conductor está a punto de hacer la maniobra. Cuando se prepara un cambio de carril o adelantamiento y se activa el direccional para señalar que el conductor está a punto de cambiar de carril, estos sistemas avisan visualmente o con una suave vibración del volante en caso de peligro. [5]

### **1.3.5 El control electrónico de estabilidad**

Muchos accidentes se deben, al menos en parte, a que el conductor pierde el control del vehículo. Esto puede obedecer a muchas causas: valoración incorrecta por parte del conductor, como lo es velocidad excesiva al tomar una curva, maniobras bruscas para evitar peligros o superficies resbaladizas. En esas circunstancias el vehículo excede a menudo los límites de tracción de los neumáticos sobre la carretera y el coche derrapa. O bien no puede girar a velocidad suficiente (subviraje), o bien gira a velocidad excesiva, lo que da lugar a un trompo (sobreviraje). Una vez que el conductor ha perdido el control, es muy difícil maniobrar el vehículo de forma segura, lo que suele provocar un accidente.

El control electrónico de estabilidad detecta la desviación de la trayectoria del vehículo con respecto a la dirección que se desea llevar. Sin que el conductor tenga que hacer nada, el sistema frena ligeramente cada rueda por separado y así devuelve el vehículo a la trayectoria deseada. El conductor mantiene el control del

vehículo y, a menudo, ni se da cuenta de que ha intervenido el sistema de control de estabilidad. [5]

Además los sistemas de asistencia a conductores también se apoyan de los sistemas de visión artificial de los que se tratara en el siguiente capítulo.

## Capítulo 2.

### 2. SISTEMAS DE VISIÓN ARTIFICIAL

Un sistema de visión artificial es como se denomina al conjunto formado por una cámara de video, un procesador o pc y una fuente de iluminación. Cuando estos elementos se juntan de la manera adecuada se obtiene un sistema de visión artificial es decir un sistema capaz de simular en cierta manera la visión humana

Figura 3. Componentes básicos de un sistema de visión artificial.3



En la figura 3 se observan los componentes básicos de un sistema de visión artificial, un PC, y una cámara.

A continuación hablaremos sobre los componentes básicos de un sistema de visión artificial.

#### 2.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VISION ARTIFICIAL

La primera parte de un sistema de visión artificial es la etapa de adquisición de las imágenes o el video que deberán digitalizarse para su posterior uso, de esta parte trataremos a continuación:

##### 2.1.1 Imágenes Digitales

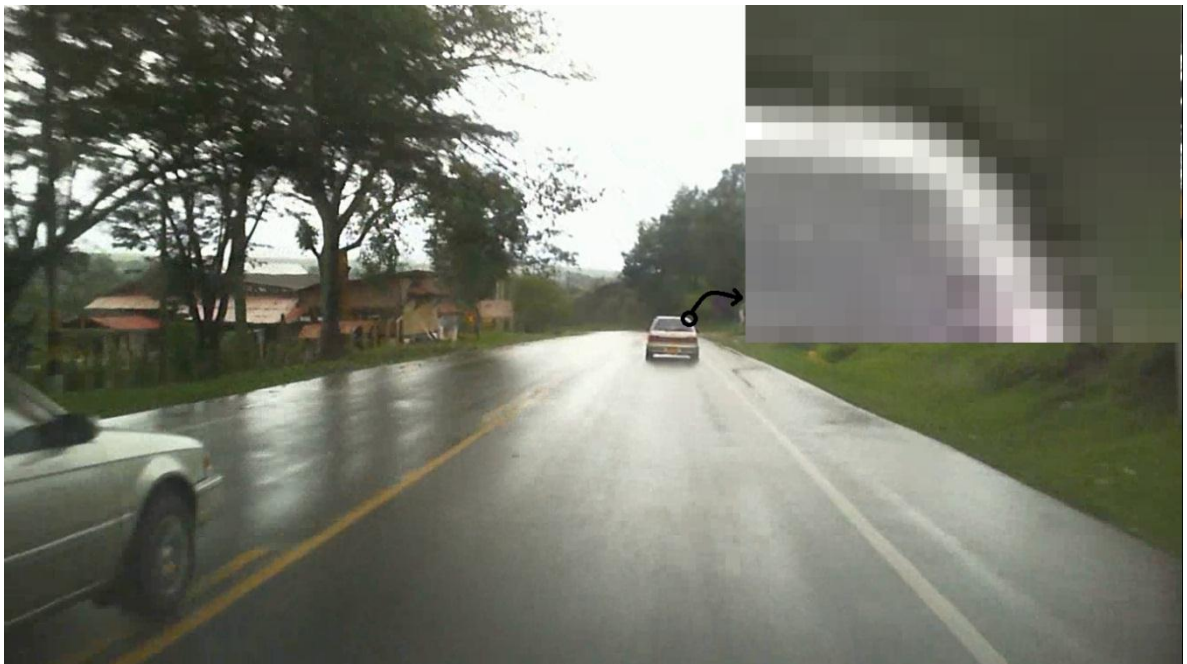
Una imagen es el resultado de una función bidimensional de luz  $f(x, y)$  donde  $x$  e  $y$  representan las coordenadas espaciales y  $f$  representa en un punto  $(x, y)$  un valor proporcional al nivel de gris de la imagen en ese punto específico [7]. Este nivel de gris depende de la cantidad de luz que incida sobre la escena y la luz que se refleje de los objetos en la escena que se esté observando al momento de

tomar la imagen. Estos dos componentes están relacionados de la siguiente manera

$$f(x,y) = i(x,y) * r(x,y)$$

Donde  $i(x,y)$  representa la iluminación y  $r(x,y)$  representa la reflexión, es decir la iluminación que se da por el reflejo de la luz en los objetos presentes en la escena. La iluminación viene dada por la fuente de luz que este iluminando a la escena, y la reflexión depende enteramente de las características de los objetos en la escena [8].

Figura 4. Pixeles en una Imagen digital.4



Una imagen digital es el resultado de discretizar la imagen  $f(x,y)$  tanto en coordenadas espaciales como en el nivel de gris o brillo, además la imagen digital se puede considerar como una matriz cuyos índices de fila y columna representan un punto de la imagen y el valor correspondiente del elemento de dicha matriz representa el nivel de gris. Estos elementos se denominan normalmente como pixeles, los pixeles de una imagen dependiendo de la calidad de la misma se podrán observar al hacer zoom un par de veces sobre la imagen.

### 2.1.2 Video

El video es una tecnología de captura electrónica, grabación, almacenamiento, transmisión y reconstrucción de una secuencia de imágenes que representan una

escena en movimiento. Cada una de las imágenes que conforman la escena en movimiento capturada en la secuencia de video recibe el nombre de *frame* (cuadro). El número de imágenes o *frames* por unidad de tiempo recibe el nombre de *frame rate*, que en los modelos viejos de cámaras de video era entre 6 a 8 imágenes por segundo (fps por sus siglas en inglés *frames per second*) y 120 o más fps para las nuevas cámaras profesionales.

Figura 5. Secuencia de imágenes o *frames* que conforman un video. 5



A nivel mundial se manejan 3 estándares: el *PAL* manejado en Europa, Asia, Australia, etc., el *SECAM* usado por Francia, Rusia, algunas partes de África etc., estos dos especifican 25 fps, el *NTSC* usado en USA, Canadá, Japón entre otros, especifica 29.97 fps.

La señal de video está formada por 525 líneas horizontales, que se crean alternadamente, según el estándar *NTSC*. Un *frame* del video se compone de barridos de 262.5 líneas horizontales, es decir la cámara recorre inicialmente, 262.5 líneas y luego se escanea las 262.5 líneas restantes, a cada mitad se le conoce como *campo de video*. En el *NTSC* se tienen 60 campos de video cada segundo, mientras que en el *PAL* y el *SECAM* se tienen 50 campos de video cada segundo [9]

### 2.1.2.1 Video Digital

Como mencionamos antes los estándares analógicos están siendo reemplazados por estándares digitales, es decir que la información analógica capturada por las cámaras ahora está siendo convertida a la información digital.

Existen diversas formas en las cuales un video analógico se puede representar de manera digital. Una de ellas es la PCM (*Pulse Code Modulation*) o Modulación por Pulsos Codificados. En estos procesos de conversión la onda analógica es muestreada y convertida en una serie de números que son almacenados en un dispositivo digital. A este proceso se le conoce como *muestreo* y la frecuencia con la que se toman las muestras se le conoce como *frecuencia de muestreo*, la cual según el teorema de Nyquist debe ser por lo menos el doble de la frecuencia de la señal que se está muestreando. Como resultado de muestrear la señal se obtiene el *video digital*. La Unión Internacional de Comunicaciones estableció el estándar para la toma de muestras para video digital llamado ITU-R BT.601 comúnmente conocido como CCIR 601. ITU.

El CCIR 601. ITU es basado en múltiplos de una frecuencia fundamental de muestreo de 3,375 MHz. Esta frecuencia fue cuidadosamente escogida ya que es la misma para los formatos *NTSC* y *PAL*. La iluminancia se muestrea a 13,5 MHz, mientras que las señales de color son muestreadas a 6,75 MHz. Por último se realiza el proceso de *cuantización* que termina con la conversión del video análogo a digital

El proceso de cuantización convierte todo lo que fue muestreado a *bits*. Este proceso ocurre luego del muestreo, dando a los valores continuos de la imagen un grupo finito de valores. Un buen cuantizador representa la señal original con una mínima pérdida o distorsión. Existen dos tipos de cuantización: la cuantización escalar y la cuantización vectorial. En la primera cada entrada es tratada individualmente cuando se produce la salida, en la última cada entrada es organizada en vectores y luego procesados para producir una salida [9].

### **2.1.3 Iluminación**

La iluminación es uno de los componentes de vital importancia en la visión artificial, ya que la calidad de la imagen captada depende en gran parte de un buen sistema de iluminación. Si tenemos la escena o el objeto de interés bien iluminada las etapas que siguen a la adquisición de la imagen resultan más cómodas, ya que se simplifica el análisis y la interpretación de la escena. La iluminación suele complicar más los algoritmos de visión es decir es más rápido solucionar un problema cambiando la iluminación que modificando en algoritmo [9]. La iluminación puede ser controlada o no controlada, es decir que se puede escoger el tipo de iluminación que se necesita o se puede trabajar en ambientes donde la iluminación no puede ser elegida por el usuario, como por ejemplo cuando se trabaja en ambientes al aire libre o sitios donde no se puede usar

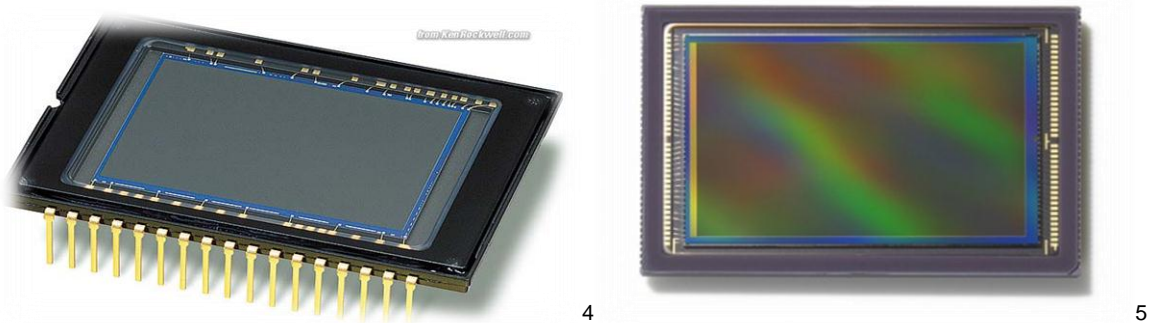


iluminación controlada .La iluminación debe ser escogida dependiendo de la situación que se quiera estudiar ya que el objetivo de esta es resaltar las características de interés de la escena o del objeto escogido.

#### 2.1.4 Cámaras Digitales

Las cámaras con la que se encargan de capturar la imagen, es decir tomar la información luminosa de la escena y la trasmite al computador como una señal analógica o digital. En la actualidad los dispositivos más usados son las cámaras digitales, de las cuales existen dos tipos: las cámaras CCD (*Charged Coupled Device*) y las CMOS (*Complementary Metal Oxide Silicon*).

Figura 6. Tipos de sensores usados en las cámaras digitales.<sup>6</sup>



La diferencia entre las CCD (figura 6a) y las CMOS (figura 6b) es que estas últimas tienen la ventaja de incorporar el convertidor análogo-digital, circuitos de tiempo y sincronización en el mismo chip, y las señales digitales son transmitidas sin ser almacenadas contrario de las cámaras CCD, por otro lado los sensores CMOS brindan una alta calidad de imagen pero su sensibilidad es menor que la de los sensores CCD.

Estas cámaras poseen un arreglo de lentes que les permite captar de la mejor manera posible la imagen y dependiendo de los filtros que se usen en ella pueden capturar la imagen en un amplio rango, desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.

#### 2.1.5 Tarjeta de Adquisición y Procesamiento de Imágenes

Una vez la cámara ha tomado la imagen, esta tarjeta recibe la señal analógica y la convierte en una señal digital y realiza el procesamiento de la misma. Existen tres

<sup>4</sup> Imagen tomada de <http://canalblog.es/2010/08/31/el-sensor-cmos-mas-grande-del-mundo-desarrollado-por-canon/>

<sup>5</sup> Imagen tomada de <http://www.nikonistas.com/digital/foro/lofiversion/index.php/t60943.html>

tipos de tarjetas: las digitalizadoras de imágenes o *frame grabbers*, las digitalizadoras de imágenes con procesador específico y las tarjetas de procesamiento paralelo.

Las digitalizadoras de imágenes muestrean la señal de la cámara y guardan la imagen en una zona de memoria, que pueda ser accedida por el procesador del computador. Este proceso puede hacer que se pierda tiempo de ejecución a menos de que se dote a la digitalizadora con un procesador y así libere al computador de algunas tareas y entregue una imagen pre procesada por decirlo de alguna manera al computador liberándolo de trabajo. Este componente suele ser un DSP (*Digital Signal Processor*).

Además de todo esto los sistemas de visión artificial usan sensores para complementar la información que obtienen mediante las cámaras que son un tipo de sensores.

A continuación hablaremos brevemente sobre estos.

## **2.2 SENSORES**

Un sensor es un dispositivo que puede detectar magnitudes físicas o químicas, que comúnmente se conocen como variables, y transformarlas en variables eléctricas. Estas variables pueden ser: temperatura, distancia, aceleración, velocidad, presión, etc. Estas variables son representadas por los sensores como una magnitud eléctrica tal como una resistencia eléctrica, una capacidad eléctrica, una tensión eléctrica o voltaje o una corriente eléctrica por ejemplo.

Los sensores son de mucha utilidad en áreas como la industria automotriz, la aeroespacial, en la medicina, la robótica entre otras. En estas áreas los sensores son conectados a un computador permitiendo así el acceso a una base de datos para comparar los resultados dados por el sensor o para crear una base de datos con dichos resultados, esto es de mucha ayuda actualmente ya que se pueden crear aplicaciones basadas en estas bases de datos.

En la mayoría de los casos la señal de salida de los sensores no es apta para su lectura ni para su procesamiento por lo que se necesitan de componentes para adaptarla y procesarla antes de poder dar uso a la medición hecha por el sensor.

### **2.2.1 Características de un sensor**

Las características de un sensor son las siguientes: el rango de medida, la precisión, la desviación de cero u offset, la linealidad, la sensibilidad, la resolución, la rapidez de respuesta y la repetitividad.

- El rango de medida es como se denomina a los valores entre el mínimo y el máximo valor que puede detectar o medir el sensor.
- La precisión es la capacidad de un instrumento de arrojar el mismo valor en mediciones diferentes realizadas bajo las mismas condiciones, cabe mencionar que esta cualidad debe evaluarse a corto plazo.
- Offset es el valor medido que arroja el sensor cuando la variable física a medir es nula, es decir es el valor que muestra el sensor cuando no está realizando medida alguna.
- La linealidad es la capacidad que tiene un sensor para proporcionar un valor que tenga una relación lineal con la magnitud que está midiendo.
- La sensibilidad es la relación entre la variación del valor medido por el sensor y la variación de magnitud medida.
- La resolución es la mínima variación que el sensor es capaz de percibir y sobre la cual puede arrojar un valor de salida.
- La rapidez de respuesta es la velocidad con la que el valor de salida del sensor cambia dependiendo de las variaciones de la magnitud que se desea medir.
- La repetitividad es el error que se espera al repetir varias veces la misma medida.

### **2.2.2 Tipos de sensores**

Los tipos de sensores son: de posición lineal o angular, desplazamiento y deformación, velocidad lineal y angular, aceleración, fuerza y par, presión, caudal, temperatura, de presencia, táctiles, visión artificial, proximidad, acústico, acidez, sensor de luz etc.

## **2.3 AMBIENTE**

El ambiente de trabajo también es muy importante en los sistemas de visión artificial, el ambiente de trabajo determina en gran parte las limitaciones del sistema de visión artificial. Se tiene dos tipos de ambientes

### **2.3.1 Ambiente estructurado**

Un ambiente estructurado se caracteriza por tener límites definidos, estar supervisado, y en donde la mayoría o todas las variables que afectan al sistema de visión están controladas por el usuario.

### **2.3.2 Ambiente no estructurado**

Un ambiente no estructurado es aquel donde los límites no están bien definidos y la mayoría de las variables o todas las variables que pueden afectar a un sistema no están controladas por el usuario.

## Capítulo 3.

### 3. SISTEMAS DE ASISTENCIA QUE USAN VISION ARTIFICIAL

El primer paso a realizar para estos sistemas es mejorar la imagen obtenida para resaltar las características que se necesitan al momento de procesar la imagen y determinar los errores en el proceso de conducción.

#### 3.1 PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Este es uno de los pasos más importantes para el posterior análisis de imágenes ya que aquí se busca corregir errores o simplificar la imagen dejando solo lo necesario para que el análisis de la misma sea mucho más fácil y rápido.

En cuanto a pre-procesamiento de imágenes hay dos ramas una de ellas es el mejoramiento de imágenes que trata de mejorar la calidad de la imagen o enfatizar aspectos particulares de la misma. Los resultados de este proceso pueden producir una imagen con grandes diferencias respecto a la original y con algunos aspectos de la imagen perdidos a cambio de mejorar los aspectos requeridos.

Por otra parte tenemos la restauración de imágenes se encarga de recuperar o de llevar una imagen que ha sido degradada por factores conocidos a su estado original, estos factores pueden ser operaciones realizadas para el mejoramiento de la imagen o desperfectos conocidos en la cámara que capturo la imagen.

Estos dos procesos involucran la aplicación de filtros sobre la imagen original, que son de mucha utilidad para eliminar cosas como el ruido de una imagen. El ruido de una imagen se manifiesta generalmente en píxeles aislados que toman un nivel de gris diferente al de los píxeles vecinos.

#### 3.2 RECONOCIMIENTO DE OBJETOS

El reconocimiento de objeto es la última etapa dentro del sistema de visión artificial. A partir de las características encontradas y de los posibles objetos que el conocimiento anterior al problema se espera puedan aparecer en la escena, el sistema debe ser capaz de determinar que objetos están presentes. A menudo se realizan fuertes simplificaciones para que esta etapa funcione con éxito [7].

Este proceso se realiza obteniendo de la imagen los descriptores y las características del objeto, una vez tenemos esto pasamos al clasificar el cual se vale de una base de datos previamente establecida con los objetos que podrían aparecer en la escena y de los descriptores y las características que se le dan para determinar qué tipo de objeto es el que aparece en la escena

### **3.3 DETECCIÓN DE MOVIMIENTO**

Los algoritmos de detección de movimiento ayudan a detectar regiones en las imágenes donde hay movimiento, es una de las primeras etapas en un sistema de visión artificial ya que ayuda al análisis de las etapas posteriores [10].

Las técnicas más usadas son

#### **3.3.1 Sustracción de Fondo**

Esta es una operación de resta de imágenes en la cual se sustrae el fondo de una imagen obtenida dejando solamente los objetos que no pertenezcan a la imagen original o fondo, el fondo es creado promediando imágenes en un periodo de inicialización [10], al hacer esto en una secuencia de imágenes se puede observar los cambios de posición del objeto en movimiento y así detectar el movimiento del mismo.

Las sombras, el ruido de la imagen, la variación en las condiciones de iluminación, climáticas y en los parámetros de la cámara, pueden introducir errores en la imagen y puede detectarse como movimiento. Así como objetos de un tono similar al del fondo podría no detectarse [10].

#### **3.3.2 Métodos Estadísticos**

Son métodos más avanzados que emplean las características estadísticas de los píxeles individuales. Estos métodos están basados, principalmente, en métodos de sustracción de fondo, al actualizar dinámicamente las estadísticas de los píxeles que pertenecen a la imagen de fondo. Las estadísticas de los píxeles del fondo, es decir que pertenecen a regiones que no están en movimiento en la imagen actual, se actualiza con los nuevos datos de la imagen [10].

#### **3.3.3 Flujo Óptico**

Los métodos de flujo óptico emplean vectores de flujo de objetos moviéndose en el tiempo, para detectar regiones en movimiento en una imagen. Estos algoritmos

pueden detectar movimiento en escenas grabadas incluso con cámaras en movimiento. El problema de estos métodos es el alto consumo computacional, además de necesitar un hardware especial para poder hacer análisis en tiempo real [10].

### **3.4 SEGUIMIENTO DE OBJETOS EN MOVIMIENTO**

El objetivo del seguimiento de objetos es determinar si un objeto en el *frame* actual estaba presente en el *frame* anterior, al obtener esta correspondencia del objeto en diferentes escenas, cuadros o *frames* permite realizar operaciones tales como: cálculo de trayectoria, velocidad y dirección entre otras. Este proceso es vital para el análisis de comportamiento del objeto de interés en la escena, además en una de las tareas más difíciles de realizar [10].

### **3.5 CLASIFICACIÓN DE OBJETOS**

Las regiones en movimiento detectadas en una secuencia de imágenes pueden corresponder a diferentes objetos como, peatones, vehículos, animales, etc. Es de gran importancia reconocer el objeto detectado para hacer un mejor análisis y seguimiento del mismo. La etapa de reconocimiento de objetos asigna una etiqueta al objeto basándose en la información proporcionada por los descriptores proporcionados en las etapas posteriores [10].

## Capítulo 4.

### 4. CLASIFICADORES HAAR

Las principales características que el sistema de asistencia debe tener como prioridad son la detección y a continuación el reconocimiento de las señales de tránsito debido a que en carreteras nacionales brindan gran parte de la información necesaria para un óptimo manejo del vehículo por parte del conductor puesto que advierten sobre los posibles riesgos en la vía por la cual se transita, además, de las normas de velocidad impuestas por el ente regulador de tránsito nacional. Lo anterior implica que una vez sea adquirida la imagen por parte del dispositivo de captura de video, la información sea procesada para lograr clasificar las señales de tránsito que en la imagen se encuentren presentes. Es necesario que la clasificación de la información se haga de manera rápida y correcta, es decir, evitar lo que comúnmente se conoce como falsas detecciones: reporte erróneo de detección del sistema de una señal de tránsito.

Considerando que el sistema debe trabajar en condiciones ambientales no controladas, se hace necesario que el sistema de asistencia vehicular deba ser en lo posible inmune a variables como cambio de iluminación, lluvia, deterioro del color de la señal de tránsito, velocidad a la cual viaja el vehículo, entre otras, lo anterior exige que el método de detección de señales escogido permita que los anteriores problemas puedan ser superados con éxito.

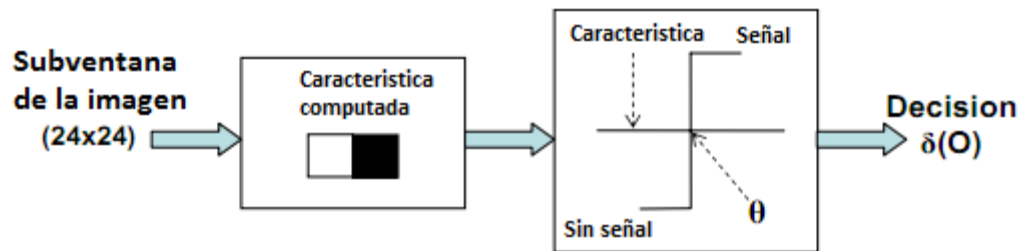
Los métodos que implican modelos discriminatorios en la clasificación de objetos han demostrado un excelente resultado a la hora de lograr separar adecuadamente de una imagen la información contenida en ciertas características [11]. Es así como aparecen las técnicas de *Boosting*, *Nearest neighbour*, *Support Vector Machines* y *Neural Networks* [11], para el presente trabajo se escoge la técnica *Boosting* específicamente el modelo basado en el clasificador *Haar* puesto que su velocidad de procesamiento, su excelente capacidad de clasificar o discriminar de una imagen ciertas características, su buen rendimiento computacional y su fiabilidad a la hora de la escogencia de la señal de tránsito dan alta robustez al sistema de asistencia vehicular.



## 4.1 MÉTODO ADABOOST

Los métodos discriminatorios están compuestos por clasificadores, los cuales según su estructura pueden ser de dos tipos: fuertes o débiles. Un clasificador sencillo o también llamado clasificador débil, como se muestra en la figura 8., recibe una característica específica, ejemplo cuadro del diagrama de la figura 8 llamado “*Compute Feature*”, el color blanco de la característica indica que en esa zona el clasificador debe buscar el objeto que se quiere detectar. El clasificador es representado por medio de un umbral llamado “*thita*” en la figura 8 cuando se sobrepasa el valor del umbral, la decisión del clasificador será que en la zona de color blanco se encuentra la señal de tránsito sino la imagen o parte de la imagen es desechada.

Figura 7. *Adaboost*. Clasificador débil.7



Los clasificadores simples (o débiles) presentan un resultado muy pobre cuando se quiere detectar un objeto, la agrupación de varios clasificadores débiles forma el clasificador fuerte, mejora la detección de los objetos y por ende mejora la discriminación de las características buscadas en la imagen.

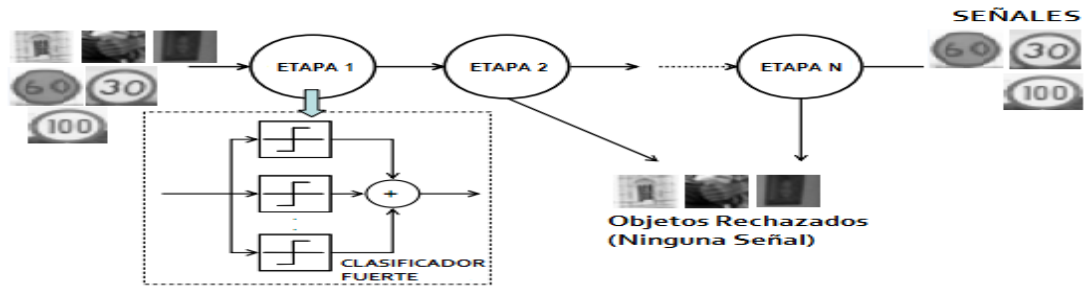
El método presentado por Viola – Jones [12] consiste en la unión de varios clasificadores fuertes en forma de cascada, cada clasificador fuerte se compone de varios clasificadores débiles, la forma matemática de un clasificador fuerte es:

$$F(x) = \alpha_1 f_1(x) + \alpha_2 f_2(x) + \alpha_3 f_3(x) + \dots + \alpha_n f_n(x) \quad (1)$$

Donde:  $F(x)$  es el clasificador fuerte,  $\alpha_i$  el peso del clasificador débil  $f_i(x)$  que se utiliza para la comparación en el umbral.

Una manera gráfica de representar el clasificador implementado por Viola-Jones se muestra en la siguiente imagen:

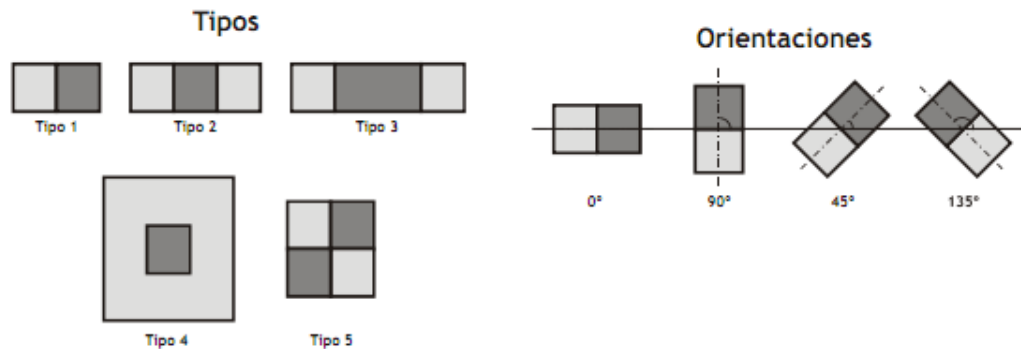
Figura 8. Detector de Señales *Adaboost* – implementado por Viola-Jones.<sup>8</sup>



El anterior clasificador utiliza una serie de imágenes digitales con una forma geométrica definida para realizar las comparaciones y así poder detectar los objetos de interés, para nuestro caso las señales de tránsito, tales características son capaces de acoplarse a las subventanas obtenidas de la imagen de interés, en otras palabras las características son “*bounding box*” cuyo objetivo es descartar mediante zonas la presencia del objeto en toda la imagen adquirida por el sistema de captura.

Las características que son usadas por el método *Adaboost* se muestran en la siguiente imagen:

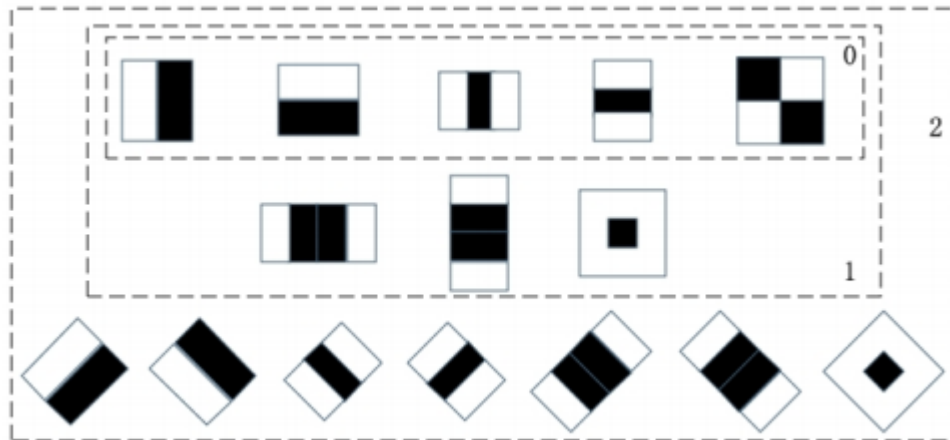
Figura 9. Diferentes tipos y orientaciones de características tipo *Haar* [13].<sup>9</sup>



Viola – Jones proponen y usan en su clasificador las características tipo 1, 2 y 5 con orientaciones vertical y horizontal, después aparece Lienhart que añade a este sistema dos nuevos tipos de características: tipo 3 y 4, además, quita la característica tipo 5 y añade dos nuevas orientaciones diagonales (45° y 135°) [13], mejorando enormemente el método discriminatorio *Adaboost* y aumenta su robustez. Cabe destacar que todas las características de la figura 10 son posteriormente implementadas en la biblioteca OpenCV para darle al usuario mayores herramientas en el uso de los métodos *Adaboost* que en ella se

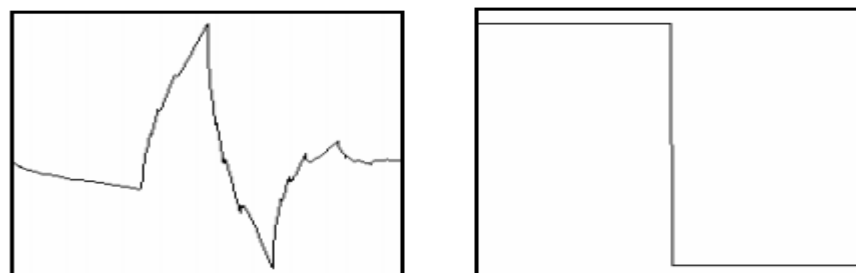
consiguen, a continuación se muestra la figura y el respectivo valor “modo” para poder implementarlas en el entrenamiento del Clasificador *Haar*.

Figura 10. Modos de Características *Haar* en la Biblioteca OpenCV. 10



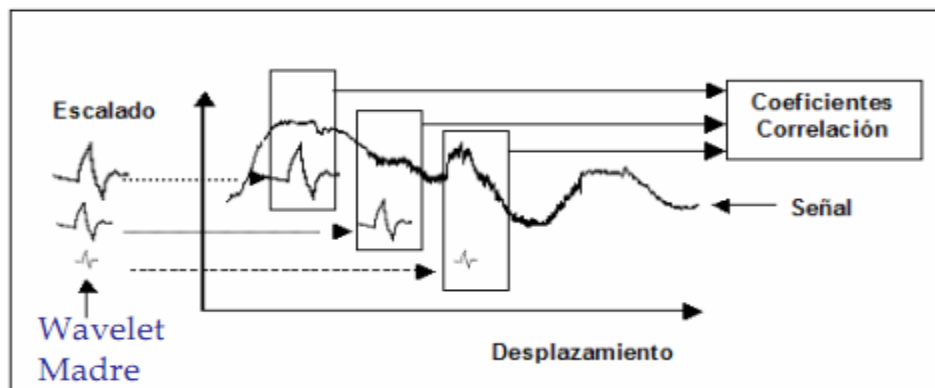
Las anteriores características *Haar* mencionadas en la figura 10 funcionan bajo el principio de la transformada de *wavelet*, es decir, la transformada de *wavelet* permite la observación y medición en el plano Tiempo-Frecuencia de conjuntos de características de las señales, en realidad en la literatura aparece que la transformada de *wavelet* se puede analizar en el Tiempo-Escala de la señal debido a que la escala tiene una relación inversamente proporcional a la frecuencia [14], lo anterior permite que las subventanas donde aparece la señal de tránsito y la imagen negativa, por imagen negativa se entiende toda imagen que no contenga ninguna señal de tránsito, sean analizadas mediante el “crecimiento o desplazamiento” de versiones desplazadas y escaladas de funciones denominadas *wavelet* madre (ver figura 11)

Figura 11. *Wavelets* Madre: DB2 y HAAR.11



Las señales *wavelet* funcionan estilo *bounding box* como se había mencionado anteriormente con las características *Haar*, la señal que debe ser analizada en nuestro caso el objeto: Señal de tránsito, representa una señal de frecuencia la cual debe ser discriminada y detectada de otros tipos de información que se presenten en el *frame* a analizar. A continuación se presenta un gráfico de como se produce el desplazamiento y escalizado de la señal madre con el objetivo de obtener la señal de entrada.

Figura 12. Desplazamiento y escalizado de la señal *wavelet* madre.<sup>12</sup>



Los coeficientes de correlación no son otra cosa que los umbrales que los clasificadores débiles que se encuentran unidos al clasificador fuerte irán adquiriendo a medida que el entrenamiento del clasificador *Haar* transcurre.

Hasta el momento han sido nombrados los tres parámetros que se pueden agregar al clasificador *Haar* una vez se desee comenzar su entrenamiento. La escogencia o combinación de Número de etapas o Clasificadores fuertes, número de características usadas por etapa (características *Haar*) y por último el umbral de cada etapa, pueden lograr obtener mayor o menor precisión a la hora de la detección del objeto de interés, es decir, en la mayoría de los casos el clasificador con mas características *Haar* usadas alcanza tarifas de detección mas altas y además baja la tasa de falsas detecciones o Errores de reconocimiento pero el costo que se debe pagar es una tasa alta en horas de computo mientras se entrena el sistema, desde días hasta meses el computador puede entrenar para alcanzar las tasas de discriminación que se le piden antes de finalizar su computo.

## 4.2 DETECCIÓN DE SEÑALES DE TRÁNSITO MEDIANTE EL CLASIFICADOR HAAR

Para realizar la etapa de detección de señales de tránsito mediante el uso de la técnica *Adaboost* se requirió entrenar un clasificador *Haar*, el cual está comprendido en las herramientas de la biblioteca de software libre de visión por computadora OpenCV de Intel. Para comenzar con el entrenamiento es indispensable tener una base de información de imágenes que se clasificaran en dos grupos: Imágenes Positivas e Imágenes Negativas.

### 4.2.1 Imágenes Positivas y Negativas

Las imágenes positivas son aquellas donde se encuentra el objeto de interés, es decir, las señales de tránsito preventivas y reglamentarias. La siguiente figura muestra algunas imágenes positivas que se tuvieron en cuenta en el entrenamiento del clasificador *Haar*.

Figura 13. Imágenes positivas.<sup>13</sup>



Por imágenes negativas se debe entender aquellas imágenes donde el objeto de interés: Señales de tránsito Reglamentarias y Preventivas no aparecen. A continuación dos ejemplos:

Figura 14. Imágenes negativas. 14



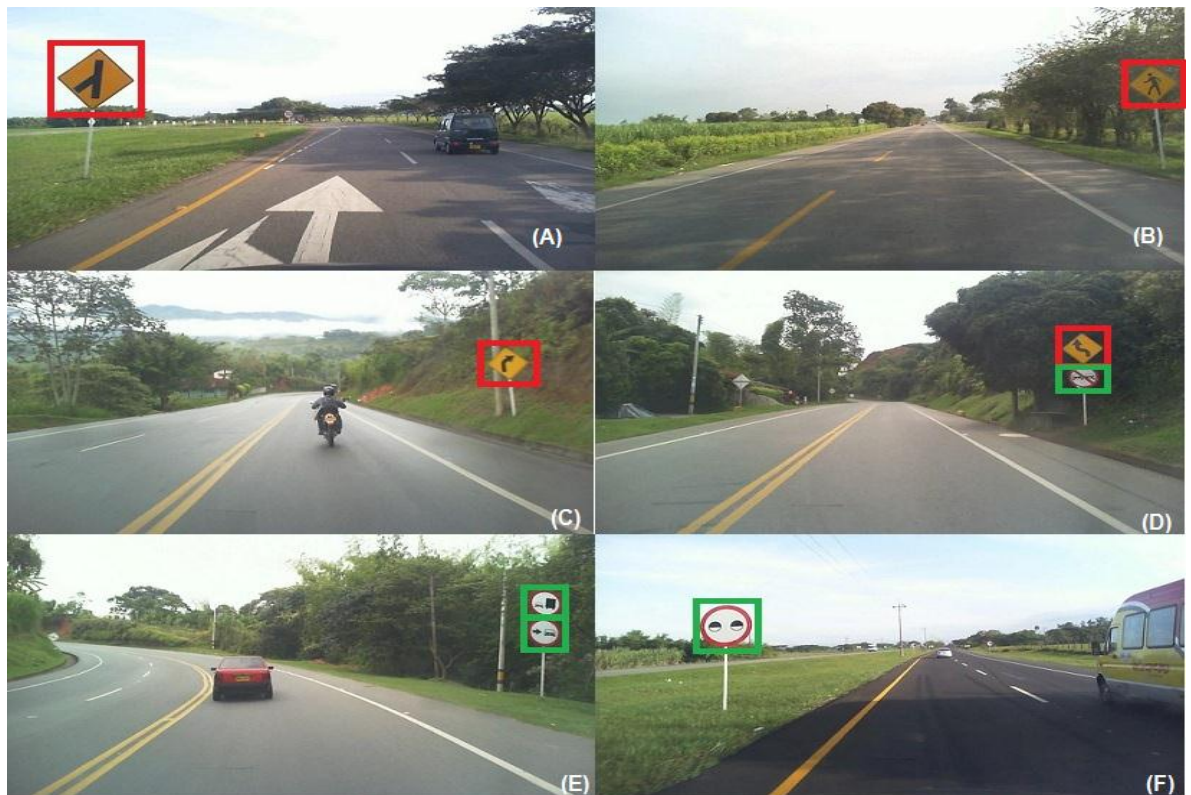
La eficacia del clasificador *Haar* como se explicó en el marco teórico depende del número de etapas, el número de características *Haar* que se usen y de los valores del umbral que se manejen para cada clasificador débil, se debe considerar a parte de las anteriores condiciones las imágenes de entrenamiento que al clasificador se le entreguen, es decir, un gran número de imágenes de entrenamiento asegura mayor información al *Cascade*, archivo .xml, que resulta al final del entrenamiento del clasificador donde se encuentra contenida toda la información del número de etapas (clasificadores fuertes), número de ramas o nodos (clasificadores débiles) y umbrales o “*threshold*” que cada clasificador débil posee. La escogencia del número total de imágenes negativas y positivas para el entrenamiento se hace de forma empírica, basándose en resultados de varios trabajos sobre entrenamiento de clasificadores *Haar* donde se muestra el tiempo requerido o empleado por un computador con sus respectivas características para poder entregar el archivo *Cascade*, por tanto para este proyecto se contaba con un computador de procesador Intel i5, 4GB de *RAM* y frecuencia de reloj de 2.3MHz así que se decide entrenar al sistema con 4000 imágenes positivas de señales preventivas, 4000 imágenes positivas de señales reglamentarias y 8000 imágenes negativas. Las imágenes positivas y negativas se obtuvieron de los diversos viajes hechos en el vehículo de prueba un total acumulativo de 10 horas de video, además, se decide entrenar dos clasificadores por separado: el primero para señales reglamentarias y el segundo para señales preventivas. La decisión de dos clasificadores se toma en base al cambio de simetría y color de los dos objetos de interés: señales de tránsito reglamentarias forma circular, color rojo en los bordes con fondo blanco; señales de tránsito preventivas forma cuadrado con diagonal vertical rombo color amarillo para el fondo.

El resultado del tiempo de procesamiento por parte del entrenamiento fue de 5 días por clasificador. Más adelante se expone con más detalles los resultados del clasificador.

#### 4.2.1.1 Marcado de Imágenes Positivas

Al entrenamiento del clasificador *Haar* no se puede ingresar la imagen completa donde se encuentra la señal de tránsito a pesar de que la imagen en cuestión cumple con las condiciones de ser una imagen positiva, se debe realizar un pre-proceso llamado Marcado de Imágenes antes de ingresar los parámetros al entrenador. El proceso de marcado de las imágenes consiste en imagen positiva a imagen positiva escogida marcar con una zona de interés la posición exacta donde se encuentra la señal, la siguiente figura muestra en que consiste el proceso.

Figura 15. Marcado de imágenes.<sup>15</sup>



Cuando se hace el marcado de las imágenes por ejemplo en la figura 15 (A) se guarda en un archivo de texto la siguiente línea:

D:/imágenes/SeñalPreventiva/image148.jpg 1 66 204 79 84

Los parámetros que se guardan en la línea de texto anterior son:

Dirección de ubicación de la imagen positiva: D:/imágenes/SeñalPreventiva/

Nombre de la imagen positiva: image148.jpg

Los cinco datos que siguen después de .jpg significan: Cantidad de *ROIs* marcados sobre la imagen, Dirección X del inicio del *ROI*, Dirección Y de inicio del *ROI*, Ancho en pixeles del *ROI* en el eje X y Ancho en pixeles en el eje Y. Para nuestro ejemplo se marcó un *ROI* con punto inicial (66,204) y de ancho en pixeles en el eje X de 79 y de ancho en pixeles en el eje Y de 84.

Una línea de texto para el ejemplo en la figura 15 será de la siguiente forma:

D:/imágenes/SeñalReglament/image124.jpg 2 633 278 21 22 886 269 25 22

La anterior línea se interpreta de la siguiente manera: image124.jpg ubicada en la dirección D:/imágenes/SeñalReglament/, la cantidad de *ROIs* marcados fueron 2, el primer *ROI* comienza en (633,278) con un ancho en X de 21 y en Y de 22, el segundo *ROI* comienza en (886,269) con un ancho en X de 25 y en Y de 22.

Al final del proceso de marcado de las imágenes se obtuvieron 2 archivos de texto correspondientes a los *ROIs* de las señales Reglamentarias y Preventivas de las 8000 imágenes positivas y de las 8000 imágenes negativas.

#### **4.2.2 Creación de Muestras**

El marcado de las imágenes positivas y negativas aseguran la creación de los tres archivos de texto necesarios para poder hacer uso de las herramientas de la biblioteca OpenCV del entrenamiento del clasificador *Haar*.

Para comenzar con el entrenamiento se utiliza el programa de crear muestras, el programa se encargará de buscar imagen positiva por imagen positiva el *ROI* que aparece en el archivo de texto, lo anterior con el fin de crear el vector de muestras que almacena la señal de tránsito seleccionada mediante el marcado de las imágenes y re-escalado a un tamaño de 24 x 24 pixeles. OpenCV facilita un archivo de ejecución de comandos con el cual se puede cambiar los parámetros o variables requeridas por el creador de muestras. Los valores que para el trabajo realizado se manipularon fueron: Nombre del archivo que contendrá las muestras positivas y que se genera a partir del archivo de texto, Nombre del archivo de datos con la información de los parámetros de los *ROIs* donde se encuentra



situada la señal de tránsito. Éste archivo fue el que se obtuvo en el marcado de las imágenes. Tamaño de la muestra. Un tamaño de 24x24 es suficiente para la detección de la señal de tránsito por parte del clasificador. El número de muestras positivas que se tienen para ingresar al entrenador del clasificador *Haar*, en nuestro caso 4000 por tipo de señal de tránsito: preventivas y reglamentarias.

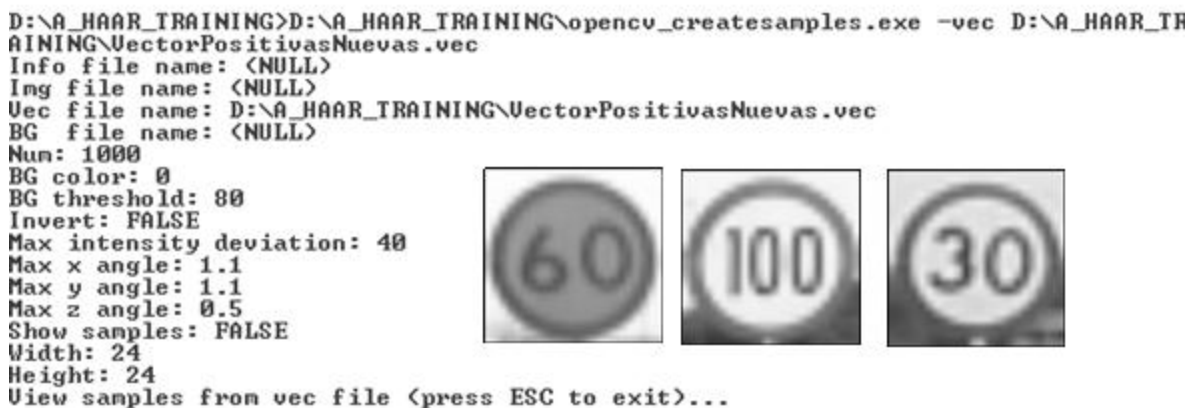
Existen otras variables que pueden manipularse para el archivo de ejecución de comandos por ejemplo los parámetros que sirven para generar distorsiones en la imagen muestra, estos parámetros se usa cuando no se tiene suficientes muestras por lo que en éste trabajo esa condición no se necesita debido al buen número de imágenes de muestra en el clasificador. El color de fondo de las muestras que se obtendrán, para el trabajo se deja por defecto, es decir, en escala de grises.

A continuación se muestra algunas imágenes del vector de muestras tanto para señales reglamentarias como señales preventivas:

Figura 16. Tres muestras de señales preventivas de las 4000 creadas. 16



Figura 17. Tres muestras de señales reglamentarias de las 4000 creadas. 17



### 4.2.3 *HaarTraining*

Cuando se obtiene el vector de muestras de las imágenes positivas de las diferentes señales de tránsito: reglamentarias y preventivas mediante el uso del programa de instrucción de comandos se tienen todas las condiciones necesarias para empezar el entrenamiento del clasificador *Haar* y lograr obtener después del cómputo el archivo llamado *Cascade*. Nuevamente la Biblioteca de visión por computadora OpenCV habilita al usuario los programas necesarios para empezar el entrenamiento. El archivo de ejecución de comandos necesario para modificar las variables de interés del entrenador del clasificador es *HaarTraining*, las variables o parámetros modificables son: El archivo con las muestras positivas de las señales de tránsito reglamentarias y preventivas creado mediante el archivo de ejecución de comandos correspondiente. Los métodos *Adaboost* trabajan con clasificadores fuertes en cascada por tanto existe el parámetro que permite crear el fichero en disco donde se guardarán las diferentes etapas de cada clasificador que sea entrenado, en este parámetro también se pueden crear clasificadores en formato .xml, éste fue el formato usado para el presente trabajo puesto que permite una mejor organización de la información obtenida después del entrenamiento. *bgnname*: mediante el uso del parámetro en mención *HaarTraining* toma las dos variables que *bgnname* permite manipular: el vector de muestras de imágenes positivas de los dos tipos de señales de tránsito y además un archivo .dat (archivo de texto) que contiene las direcciones del fichero donde se encuentran ubicadas las imágenes negativas que se obtuvieron de los diferentes videos adquiridos por la *webcam*. La variable que contiene la cantidad de imágenes positivas que se le envían al entrenador del clasificador *Haar*. Cantidad de imágenes negativas. Etapas que se desea que el clasificador entrene. Memoria RAM en Mb que se le desea asignar al proceso de entrenamiento del clasificador. Taza de Errores de reconocimiento que se admiten durante el proceso de entrenamiento. Número de divisiones por clasificador. Taza de falsos negativos, *HaarTraining* disminuye el número de Errores de reconocimiento hasta alcanzar el máximo de falsas alarmas. Tamaño de la muestra almacenada en el vector de muestras creado con el archivo de ejecución de comandos. Tratado en el marco teórico en la figura 10, variable que contiene el modo de las características *Haar* a usar, modo 0: características básicas, modo 1: características verticales y modo 2: todas las características *Haar* y el parámetro que se utiliza para disminuir el proceso de cómputo cuando los objetos de interés tiene algún comportamiento simétrico.

Para el entrenamiento de la detección de las señales de tránsito preventivas y reglamentarias se exige al entrenador que el mínimo de errores de reconocimiento

tenga la tasa del 0.998 puesto que el sistema al tener la función de advertir sobre posibles peligros en las vías no puede dejar de detectar de la imagen capturada por la *webcam* ninguna señal de tránsito. Se utilizan todas las características *Haar* que OpenCV pone a disposición. Las señales preventivas son cuadradas pero están rotadas 45° teniendo en cuenta las nuevas orientaciones que Lienhart añade a los clasificadores, (ver figura 10), se observa que las orientaciones de 45 grados ayudarían mucho en el proceso de detección de la señal preventiva. Con respecto a la simetría se ha decidido que se considerarán las señales de tránsito, principalmente las señales preventivas como no simétricas debido a que en algunos casos se observa como las señales ubicadas en la carretera están desplazadas y rotadas con respecto a su eje.

## Capítulo 5

### 5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ASISTENCIA VEHICULAR

Instrumentalmente el sistema de asistencia al conductor se encuentra equipado con una *Webcam Microsoft LifeCam HD 5000* ubicada detrás del retrovisor frontal y antes del parabrisas, el hecho de ubicar la cámara sin ningún recubrimiento de color oscuro con el objetivo evitar el reflejo del sol sobre la cartería delantera del vehículo hace necesario la ubicación de una cartulina color negro mate recortada de tal forma que recubra la cartería y así evite que el reflejo del sol genere imágenes no deseadas sobre el video capturado logrando una captura del video “limpia” sobre lo que realmente se está observando por parte del conductor del vehículo.

Figura 18. *Microsoft LifeCam HD-5000*.<sup>18</sup>



Esta cámara se conecta al *PC* mediante *USB* y el sistema desarrollado la usa para adquirir las imágenes antes de eso se desactiva el autofocus para evitar que la cámara se enfoque en una región específica y se pierda información importante en las demás zonas. En la figura 14 se observa el resultado de las imágenes capturadas con el modelo anteriormente expuesto.

El sistema de asistencia vehicular se encuentra equipado con las siguientes funciones de ayuda al conductor en el manejo del vehículo en carreteras nacionales: detección y reconocimiento de algunas señales de tránsito preventivas: Curvas pronunciadas derecha e izquierda, Curvas peligrosas derecha e izquierda, Cruce de peatones y Zona escolar; reglamentarias: Velocidades máximas permitidas en carretera 30Km/h, 40Km/h, 50Km/h y 60Km/h. Consta de un algoritmo capaz de reconocer los límites del carril (línea amarilla y línea blanca)

que se encuentran pintados sobre la carretera con el fin de indicarle al conductor sobre posibles salidas involuntarias de estos límites. La detección de curvas también se encuentra presente en el sistema, es decir, cuando el programa detecta una curva indica al conductor de forma visual el sentido del giro del volante que se debe realizar durante el trayecto que dura la curva. Por último se implementa en el programa un algoritmo capaz de reconocer vehículos que se encuentran frente al vehículo que se conduce brindando la información sobre distancias seguras o prudentes que se deben tener en cuenta cuando se esta en viaje.

Una característica importante a resaltar es que esta diseñado para ambientes no estructuras e iluminación no controlada.

## **5.1 DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE TRANSITO**

### **5.1.1 Detección de Señales de Transito Preventivas y Reglamentarias**

La detección de las señales de transito se realizo usando dos clasificadores *Haar* en el capítulo anterior se explica que es un clasificador *Haar* y el proceso necesario para su entrenamiento. Una vez obtenido los archivos xml se cargan al programa para que este busque en una región de la imagen las señales de transito.

El hecho de que las señales de transito están generalmente ubicadas del mismo lado, es decir del lado derecho del vehículo facilita las cosas, ya que permite definir una región de la imagen donde el clasificador estará buscando el objeto que concuerde con las características que a través de entrenamiento se definieron para reconocer el objeto que debe buscar en la imagen.

Una vez el clasificador encuentra una región de la imagen que concuerda con la descripción que posee del objeto que debe buscar en la imagen, retornara una imagen con el objeto recortado esta imagen será entonces pasada a la parte de reconocimiento y se determinara si es o no una de las señales de transito que el programa debe reconocer.

### **5.1.2 Reconocimiento de Señales de Transito Preventivas y Reglamentarias**

A la etapa anterior le sigue la etapa de reconocimiento de algunas señales que por defecto tiene el sistema de asistencia vehicular. Las señales a ser reconocidas por parte del sistema de asistencia son: Señales preventivas como curvas pronunciadas derecha e izquierda, curvas peligrosas derecha e izquierda, zona

escolar y peatones en la vía. Con respecto a las reglamentarias las señales son: velocidades máximas permitidas 30Km/h, 40Km/h, 50Km/h y 60Km/h. A continuación se presenta una figura con las señales que serán reconocidas.

Figura 19. Señales preventivas y reglamentarias reconocidas por el sistema.<sup>19</sup>



Existen múltiples algoritmos de reconocimiento o “*matching*” de objetos, implementados en la biblioteca de código abierto de visión por computadora OpenCV: Métodos de reconocimiento mediante comparación de histogramas, Algoritmos EMD (*Earth Mover’s Distance*), Propagación de Fondo y el Método *Template Matching* o correspondencia de plantilla. Para el presente trabajo se implementó el método de *Templates* por las siguientes razones:

- ✓ Las señales detectadas por el clasificador *Haar* son fácilmente segmentables, además, el hecho de que cada señal sea enviada independientemente por cada clasificador permite que el umbralizado sea propio de cada tipo de señal.
- ✓ Usar el método de *MatchTemplate* es muy eficiente cuando se comparan imágenes umbralizadas.
- ✓ El conocer de antemano la posición de la señal dentro de la imagen detectada por el clasificador *Haar* hace que usar el método de *Templates*

sea mucho más eficiente, debido a que en la correspondencia entre la imagen que se usa como *Template* y la imagen fuente se puede aplicar a una cierta región de interés, ejemplo en las señales reglamentarias de 30Km/h, 40Km/h, 50Km/h y 60Km/h el primer dígito que interesa esta siempre ubicado a la izquierda de la señal.

A continuación se presentan tres imágenes ejemplo detectadas por el clasificador *Haar* y después umbralizadas:

Figura 20. Imágenes detectadas por los clasificadores y luego segmentadas<sup>20</sup>



Al observar las imágenes segmentadas se concluyó que la mejor manera de reconocer las señales de tránsito era con el método de *Template Matching* y por ende obtener las imágenes *Templates* de las mismas señales segmentadas, además, como paso previo al reconocimiento y comparación de la imagen fuente con el *Template* se haría una re-escalización de la imagen detectada para lograr que toda señal que el clasificador envíe tenga igual tamaño logrando una mejor comparación en todos los *frames* que lleguen a los *Templates* escogidos. La figura 21 muestra las imágenes *Templates* escogidas para realizar el algoritmo de comparación de plantillas.

Figura 21. *Templates* escogidos para el reconocimiento de señales. <sup>21</sup>



Con el objetivo de generar la alerta de exceso de velocidad se hace necesario la implementación en éste trabajo de un sistema de posicionamiento global, por sus siglas en inglés *GPS*, el cual permitió durante cada segundo obtener el valor de velocidad del automóvil mediante la lectura de la sentencia del protocolo *NMEA GPRMC* (*Sentencia Recommended minimum Specific GPS/TRANSIT DATA*), el parámetro que específicamente interesó fue el dato de velocidad que la sentencia entrega. El *GPS* una vez se conecta al o los satélites entrega cada segundo una cadena de caracteres con un encabezado específico, el sistema de asistencia vehicular lee la sentencia que tiene el encabezado *GPRMC* y obtiene el valor de velocidad, este proceso lo realiza cada vez que el bloque de reconocimiento de señales de tránsito reglamentarias entrega una señal de velocidad máxima permitida en la zona. Antes de realizar la comparación con la señal de tránsito reglamentaria reconocida y el valor de velocidad entregado por el *GPS*, realiza un filtrado del dato para evitar que datos “ilógicos” sean comparados, es decir, si el sistema detecta una señal de tránsito reglamentaria es ilógico pensar que en los siguientes *frames* el automóvil esté en reposo por tanto el dato de velocidad 0Km/h no es enviado a la parte de comparación con el objetivo de dar la alerta de exceso de velocidad, otro dato ilógico son velocidades superiores a 200Km/h, es difícil que un automóvil alcance velocidades superiores en las carreteras colombianas que no están diseñadas para velocidades tan elevadas, retornando al valor de 0Km/h también se obtiene como resultado que el sistema no genere alarmas de exceso de velocidad puesto que si el vehículo se encuentra realmente en reposo, el sistema no entregará alertas de velocidad porque simplemente las normas no serán violadas.

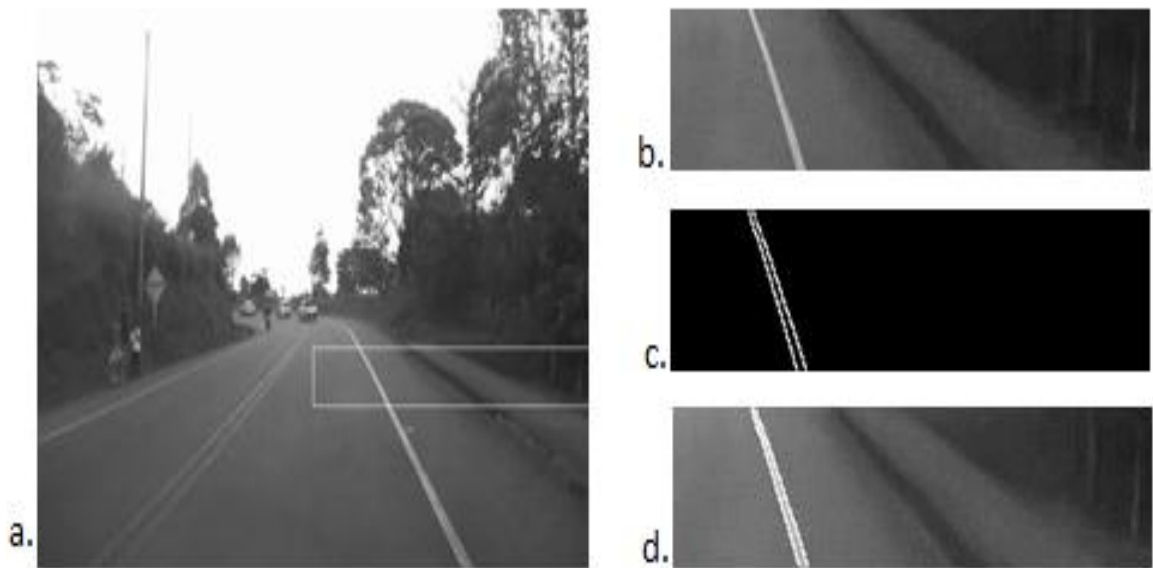
## 5.2 DETECCIÓN DE CURVAS

Luego de usar el clasificador *Haar* para detectar las señales de tránsito y el método *MatchTemplate* para reconocerlas, se toma nuevamente la imagen base o el *frame* capturado por la cámara con el que se está trabajando y se procesa de la siguiente manera.

El primer paso es procesar la imagen base, para ello se hace una separación de planos, una vez se tienen los planos separados, se hace una *ROI* sobre la zona de interés y se procede a aplicar un filtro para resaltar los bordes que se necesitan. Por último se sacan los contornos de la línea y se analizan para determinar si el vehículo está en una curva o en recta. A continuación se muestran imágenes de este proceso



Figura 22. Proceso de detección de curvas.<sup>22</sup>



La figura 22.a muestra un plano de la imagen base con la región de interés dibujada resultado de la primera parte de la etapa de detección de curvas, las figuras 22.b, 22.c, 22.d muestran la *ROI* que se trabaja, los bordes hallados en esta y por ultimo el contorno del borde respectivamente.

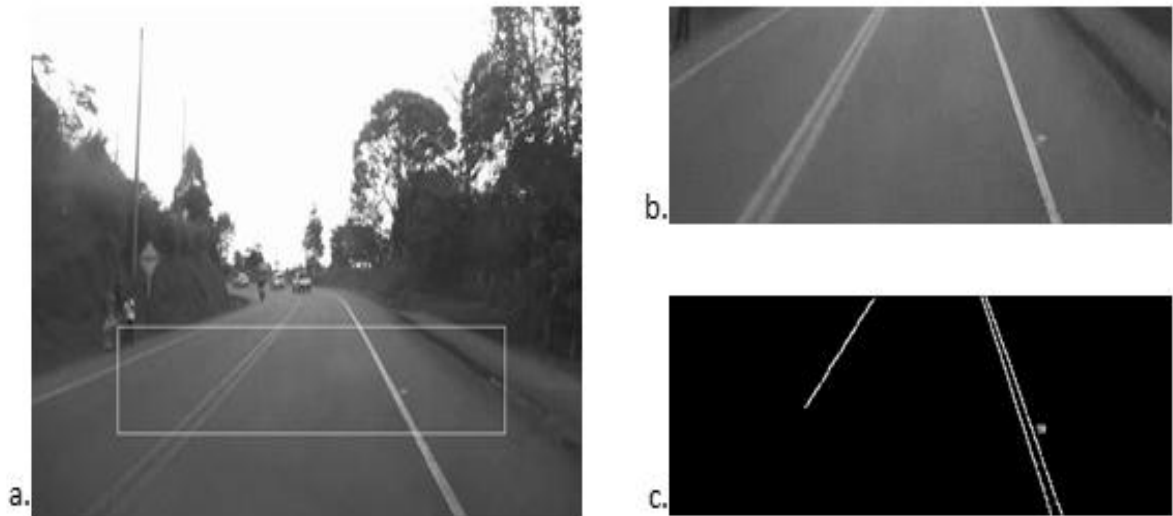
### 5.3 DETECCIÓN DE CARRIL

En esta etapa del sistema se procesa nuevamente la imagen base de manera parecida a la etapa anterior cambiando el lugar del *ROI*, en esta nueva ubicación del *ROI* se busca detectar las líneas (blanca y amarilla) que conforman un carril.

Una vez hecho el *ROI* se aplica un filtro para obtener los bordes de las líneas que definen el carril, con esto se procede a buscar líneas rectas en esa región del *ROI*, estas líneas se analizan para determinar si pertenecen a líneas de carril o si son líneas basura. Al final de este proceso se obtiene una representación del carril detectado.

A continuación se muestran imagen que corresponden a esta etapa.

Figura 23. Proceso de detección de carril.23



La figura 23.a muestra un plano de la imagen base con la región de interés dibujada resultado de la primera parte de la etapa de detección de carril, las figuras 23.b, 23.c, muestran la *ROI* que se trabaja, y los bordes hallados en esta.

#### 5.4 DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS

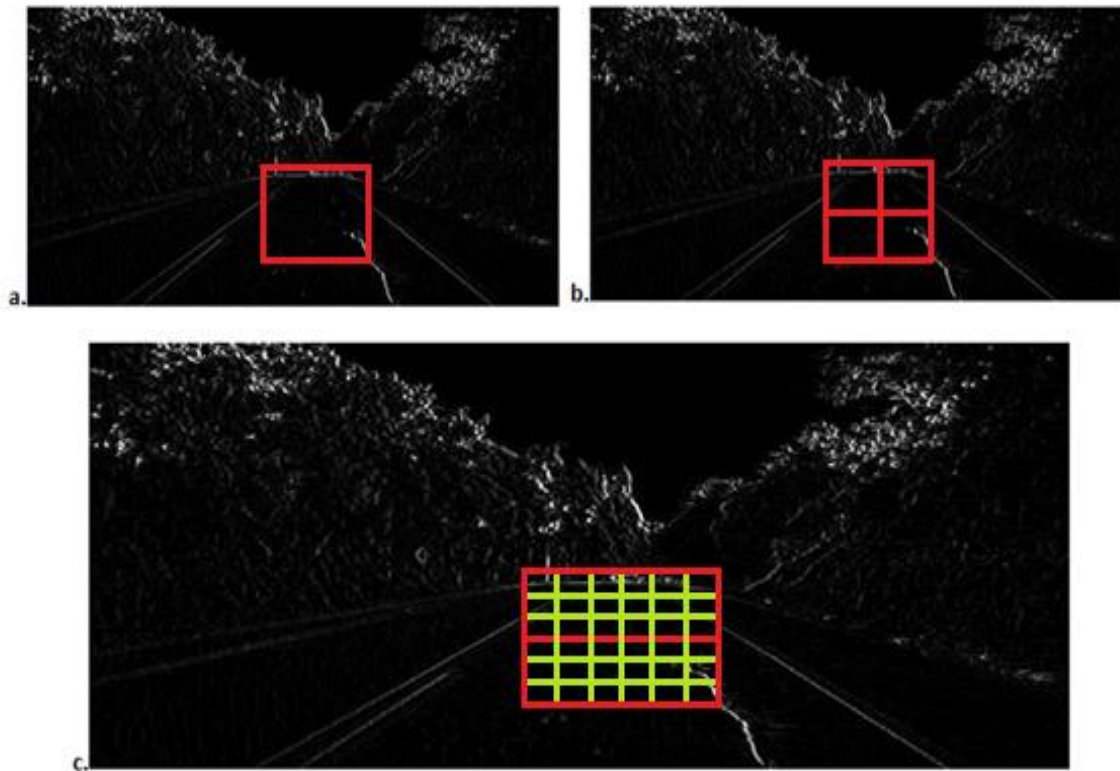
La ultima etapa es la detección de obstáculos para ello se define una zona que será la zona donde interesa detectar obstáculos.

En la primera parte de esta etapa la imagen base es sometida a un filtro para resaltar los bordes horizontales y otro para resaltar los bordes verticales, las imágenes obtenidas se restan para eliminar errores en la obtención de los bordes.

Una vez hecho este procedimiento se inicia la búsqueda de obstáculos en la zona de interés, esto se hace de la siguiente manera: se define la zona de interés y se mira que la concentración de pixeles que conforman bordes horizontales y verticales tenga cierto nivel, de ser así se pasa a la siguiente fase en la que esta zona es dividida en 4 sub-zonas y se analiza nuevamente la concentración, luego estas 4 sub-zonas se dividen cada una en 9 sub-zonas y se analiza la concentración todo esto con el fin de determinar de manera mas precisa la zona dentro de esta región de interés en la cual se encuentra el obstáculo.

A continuación se muestra como se revisa la imagen en estas divisiones de zonas.

Figura 24. Proceso de detección de automóviles.24



La figura 24.a muestra la imagen resultante de la resta de las imágenes de resaltado de borde horizontales y verticales y la región en la que se buscan obstáculos, las figuras 24.b, 24.c, muestran las divisiones que se realizan en la región de interés con el fin de detectar la ubicación de una manera mas precisa del obstáculo [15].

## Capítulo 6

### 6. RESULTADOS Y ANALISIS

#### 6.1 RESULTADOS DEL ENTRENAMIENTO PARA LA DETECCIÓN DE SEÑALES DE TRÁNSITO PREVENTIVAS Y REGLAMENTARIAS

El proceso de entrenamiento del clasificador *Haar* mediante el uso de las funciones de OpenCV concluyó a los 5 días de empezar con el cómputo, es decir, 10 días duró el proceso de entrenamiento de los dos clasificadores *Haar*. Como resultado final de los dos entrenamientos se crearon dos *Cascades* en formato xml para las diferentes señales de tránsito: reglamentarias y preventivas. Los archivos *Cascade* en su interior poseen toda la información del procesamiento y entrenamiento realizado: etapas o clasificadores fuertes, clasificadores débiles con su respectivo umbral y las características *Haar* usadas. El manejo y la compresión de la información por parte de los clasificadores obtenidos esta optimizada puesto que toda la información que en la etapa de entrenamiento se le entrego al entrenador del clasificador tuvo un tamaño en *Megabytes* de 764MB correspondiente a 4000 imágenes positivas de las señales preventivas, con respecto a las señales reglamentarias el tamaño en *Megabytes* fue de 759MB y el tamaño de las señales negativas fue de 1430MB, toda esta gran cantidad de información fue reducida a dos *Cascades*: señales reglamentarias y señales preventivas con un peso en *Kilobytes* respectivamente de 153KB y 88KB.

Los clasificadores *Haar* puestos a funcionar directamente desde una entrada de video detectan y reconocen la señal a un promedio de 39ms por *frame* capturado.

La prueba de los dos *Cascades* recibiendo la señal del video capturado directamente en viaje se muestra a continuación:

La figura 25 muestra en color azul la detección que realiza a las señales de tránsito que encuentra en el camino.

Figura 25. Detecciones realizadas por los clasificadores.25



A pesar de que el sistema de asistencia vehicular al conductor fue diseñado para condiciones de iluminación alta, es decir, el sistema posee limitaciones cuando la iluminación es escasa (horas nocturnas) debido a que el dispositivo de captura de video es una *webcam* y no está diseñado para trabajar en condiciones de iluminación baja ni mucho menos en movimiento, se decidió cambiar el dispositivo de captura por una cámara digital de 2 Megapíxeles con grabación de video a 720p y con la principal característica que no posee similitud a una *webcam* por tanto la captura de video tiene un buen valor de *frame rate* lo cual asegura la cantidad necesaria de *frames* por segundo para ser procesados por los

clasificadores *Haar* de señales de tránsito preventivas y reglamentarias entrenados para éste proyecto. A continuación se muestra la captura de dos señales de tránsito durante la noche y con el dispositivo de captura de video anteriormente mencionado.

Figura 26. Detecciones realizadas por los clasificadores en la noche.<sup>26</sup>

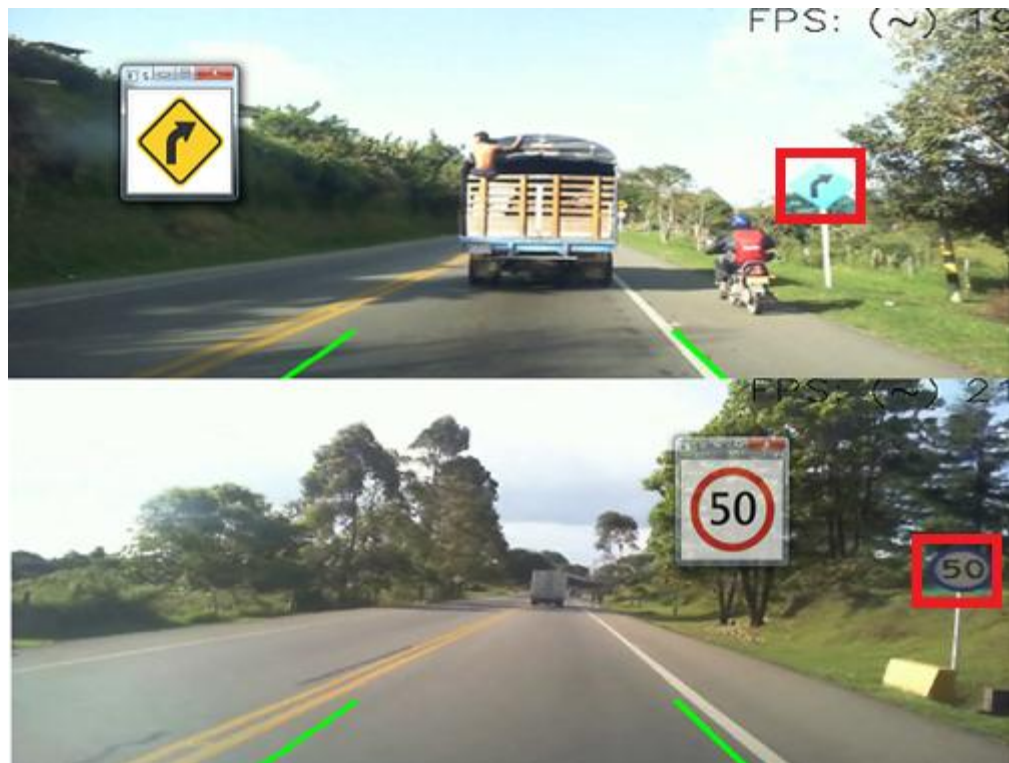


A pesar de que la imagen capturada en la figura 26 es pobre y carece de los parámetros necesarios para que el sistema de asistencia al conductor trabaje de manera óptima, es decir, no se observa las líneas del carril ni los automóviles que viajan delante del vehículo de prueba, si se puede observar como los clasificadores *Haar* de las señales de tránsito preventivas y reglamentarias funcionan, cabe resaltar que durante el entrenamiento no se tuvieron en cuenta imágenes positivas y negativas durante las horas de la noche, lo cual hace pensar que mientras las señales estén bien iluminadas por el vehículo y además sean capturadas un número considerable de veces por el dispositivo de captura de video entonces el bloque correspondiente a detección de señales de tránsito funcionará correctamente. Los clasificadores son capaces de detectar las señales de tránsito debido a que el objeto de interés se encuentra bien delimitado y además, tiene un excelente contraste con el fondo de la imagen que debido a su poca resolución se ve de color negro, por tanto el clasificador podrá obtener de manera rápida el objeto de interés.

## 6.2 RESULTADOS DEL RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE TRÁNSITO PREVENTIVAS Y REGLAMENTARIAS

La implementación del algoritmo *match Template* dio muy buenos resultados con el reconocimiento de las señales de tránsito, la figura 26 muestra como el programa reconoce la imagen de la señal de tránsito y posterior a eso despliega una imagen pre-grabada de la señal reconocida.

Figura 27. Reconocimiento de las señales de tránsito.<sup>27</sup>



Para dar una mejor estadística de que tan bien puede el sistema de asistencia detectar y reconocer señales y además, dar un porcentaje de error sobre la detección, se prueba el sistema en un viaje ida y regreso que inicia desde la salida norte de la ciudad de Popayán hasta el Puente del Corregimiento el Cairo del Municipio de Cajibío, aproximadamente 40 minutos de viaje a una velocidad promedio del vehículo de 70Km/h.

Con el objetivo de probar el funcionamiento del sistema en tiempo real o directamente en la vía, se realizan viajes en el trayecto comprendido entre la

salida norte del municipio de Popayán hasta el puente del corregimiento del Cairo del Municipio de Cajibío como se menciona anteriormente, aproximadamente 40 kilómetros de distancia y más de 200 señales de tránsito: reglamentarias y preventivas, entre el recorrido de ida y regreso, lo cual asegura para éste trabajo una buena cantidad de muestras de prueba.

Para realizar un análisis detallado del funcionamiento en consumo de procesador y *frames* analizados por segundo, durante la detección y reconocimiento del sistema mediante el uso de los clasificadores *Haar* entrenados para éste trabajo correspondiente a señales de tránsito preventivas y reglamentarias, se realizan una serie de pruebas donde para cada uno se muestra:

- Señales detectadas por los clasificadores *Haar*.
- Señales de tránsito no detectadas o falsos negativos.
- Señales de tránsito reconocidas mediante el uso de la técnica *Match Template*.
- Señales no reconocidas debido a que el programa no pudo encontrar un valor adecuado “*match*” entre la señal detectada y la señal *Template* o plantilla escogida previamente en éste trabajo.
- Negativos reales: señal detectada pero que el programa no debe reconocer debido a que en su base de datos no tiene los *Templates* necesarios para realizar la técnica de correspondencia de plantillas.
- Errores de reconocimientos, es decir, señales de tránsito que mediante el método de *Templates* dan un “*match*” que corresponden a una señal diferente a la detectada.

La figura 28 muestra un ejemplo de un error de reconocimiento, es decir cuando una señal de tránsito que no posee una plantilla en la base de datos de plantillas del sistema es correspondida por una plantilla incluida en la base de datos, o cuando una señal que posee una plantilla es correspondida por la plantilla de otro tipo de señal.

Las pruebas realizadas para la clasificación de las anteriores variables son:

- Clasificador *Haar* de señales de tránsito preventivas sin el uso de las características complementarias del sistema de asistencia al conductor: detección de carril, detección de vehículos y detección de curvas.
- Clasificador *Haar* de señales de tránsito reglamentarias sin el uso de las características complementarias del sistema de asistencia al conductor.



Figura 28. Ejemplo de error de reconocimiento.<sup>28</sup>



- Clasificador *Haar* de señales de tránsito preventivas con todas las características del sistema de asistencia al conductor.
- Clasificador *Haar* de señales de tránsito reglamentarias con todas las características del sistema de asistencia al conductor.
- Clasificadores *Haar* de señales de tránsito preventivas y reglamentarias, aunados sin el uso de las características complementarias del sistema de asistencia al conductor.
- Clasificadores *Haar* de señales de tránsito preventivas y reglamentarias, aunados funcionando con todas las características del sistema de asistencia al conductor.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las pruebas: durante estas pruebas el número de señales detectadas en las dos etapas del recorrido puede variar dependiendo de donde inicia y donde termina el mismo.

- **Prueba 1.**

Clasificador *Haar* de señales preventivas sin las características completas del sistema de asistencia al conductor, trayecto comprendido entre Corregimiento del Cairo municipio de Cajibío a la salida norte de la ciudad de Popayán.

Tabla 2. Resultados prueba 1. El Cairo – Popayán.<sup>2</sup>

PRUEBA 1. El Cairo – Popayán						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
52	47	31	14	5	1	1

Clasificador *Haar* de señales preventivas sin las características completas del sistema de asistencia al conductor, trayecto comprendido entre la salida norte de la ciudad de Popayán y el Corregimiento del Cairo municipio de Cajibío.

Tabla 3. Resultados prueba 1. Popayán - El Cairo.<sup>3</sup>

PRUEBA 1. Popayán - El Cairo						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
70	67	45	17	3	1	4

En la figura 29 se muestran algunas detecciones y reconocimientos realizados durante la prueba 1 por el clasificador *Haar* de señales preventivas y el método de correspondencia de plantillas.

Durante la prueba 1. Entre El Cairo y Popayán se observaron en la vía un total de 52 señales de tránsito preventivas, de las cuales 47 fueron detectadas por el clasificador *Haar* para un acierto del 90.4%. De las señales detectadas, con el método de correspondencia de plantillas se lograron reconocer 31 señales de las 32 que debían ser reconocidas por el sistema, las 15 restantes no contaban con una plantilla en la base de datos del sistema por lo que no habían de ser, ni podían ser reconocidas, sin embargo, una de las señales fue reconocida por una plantilla perteneciente al grupo de señales incluidas en la base de datos ocasionando que sea clasificada en el grupo de errores de reconocimiento.

La señal que no reconoce el sistema a pesar de estar incluidas en la base de datos se debe a que el método de correspondencia de plantillas no dio un valor de *match* comprendido entre los límites establecidos, lo anterior puede ser causado por: iluminación escasa sobre la señal de tránsito, objetos extraños cubriendo la señal, como ramas de arboles, cabezas de personas en motocicleta o bicicleta y dibujos o grafitis hechos sobre la señal de tránsito (figura 30). Lo anterior genera ramificaciones (ruido) que aparecen sobre la señal haciendo que el método estadístico genere valores de correspondencia ubicados fuera de los límites

comprendidos para el reconocimiento de la señal, de igual manera estas fuentes de error pueden generar errores de reconocimiento.

Figura 29. Reconocimiento de clasificador *Haar* señales preventivas.<sup>29</sup>



Figura 30. Objetos extraños cubriendo la señal de tránsito.<sup>30</sup>



En la primer prueba para el viaje entre El Cairo y Popayán el porcentaje de acierto del reconocimiento de señales tránsito preventivas fue del 96.9%. Para el viaje comprendido entre Popayán y El Cairo se observaron 70 señales de tránsito preventivas con un porcentaje de acierto en detección del 95.7% y un porcentaje de acierto en el reconocimiento del 97.8%.

- **Prueba 2.**

Clasificador *Haar* de señales de tránsito reglamentarias sin las características completas del sistema de asistencia al conductor, en un recorrido similar a la anterior prueba.

Tabla 4. Resultados prueba 2. Clasificador señales reglamentarias.<sup>4</sup>

PRUEBA 2. El Cairo – Popayán						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
50	42	22	18	8	1	1

Durante el trayecto del corregimiento del Cairo y la salida norte de la ciudad de Popayán se encuentran ubicadas 50 señales de tránsito reglamentarias de las cuales el clasificador *Haar* entrenado fue capaz de detectar 42 de ellas, de las señales detectadas el programa fue capaz de reconocer de manera efectiva 22, el programa discriminó de manera adecuada 18 debido a que en su base de datos no se encontraron los *Templates* necesarios para su reconocimiento.

Los porcentajes de errores de detección y reconocimiento para éste trayecto fue de: 16% y 4.7% respectivamente.

Con el animo de comparar la velocidad de procesamiento de los dos clasificadores para saber cual de ellos: clasificador *Haar* de señales de tránsito reglamentarias o señales de tránsito preventivas hace el proceso de detección mas rápido y por tanto analiza mayor cantidad de *frames* por segundo se construyó la siguiente tabla que se muestra a continuación, en ella se trabaja sobre el mismo recorrido vial de la tabla 4. Pero con diferente *Cascade* entrenado.

Clasificador *Haar* de señales de tránsito preventivas sin las características completas del sistema de asistencia al conductor, en un recorrido similar a la anterior prueba.

Tabla 5. Resultados prueba 2. Clasificador señales preventivas.5

PRUEBA 2. El Cairo – Popayán						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
52	47	31	14	5	1	1

La anterior tabla muestra el comportamiento del clasificador *Haar* de señales de tránsito preventivas en el mismo trayecto que funcionó el clasificador *Haar* de señales de tránsito reglamentarias, los porcentajes de error que se obtuvieron para el clasificador de señales preventivas fueron: con respecto a detección 9.6% y para el reconocimiento de las señales preventivas fue de 4.2%, cabe aclarar que las detecciones por parte de los clasificadores fue hecha en las mismas condiciones de iluminación. El peso final en Kilobytes de los dos clasificadores fue 88Kb para el clasificador de señales reglamentarias y 152Kb para el clasificador de señales preventivas, los pesos en Kbyte pueden explicar porque el clasificador de señales preventivas tuvo menos error en la detección que su clasificador semejante puesto que un mayor peso implica mayor etapas o clasificadores fuertes en el archivo .xml y por tanto mayor discriminación de la información que aparece en escena o que en otras palabras es capturado por la *webcam*, una mejor detección de las señales por parte del clasificador mejora el resultado del reconocimiento debido a que: a más detecciones de la misma señal mayor será la información base para poder segmentar y poder usar de manera más efectiva el método de correspondencia de plantillas pues los detalles serán “mas finos” y por tanto habrá menos perdida de información cuando se realice la umbralización.

Aunque un mayor peso en Kilobytes del clasificador *Haar* implica mayores clasificadores fuertes (etapas), mayor cantidad de clasificadores débiles (nodos) y mayor cantidad de umbrales o características *Haar* usadas, también conlleva a un mayor procesamiento y consumo de los recursos del computador. La siguiente tabla ilustra las características principales de los clasificadores *Haar* entrenados con su respectiva tasa de análisis de *frames* por segundo:

Tabla 6. Comparación de los clasificadores *Haar* entrenados.<sup>6</sup>

COMPARACIÓN DE CLASIFICADORES <i>HAAR</i>					
Clasificador	Peso en Kilobytes	Número de etapas	% de efectividad en la detección	<i>Frames</i> por segundo	Tiempo de entrenamiento en días
Señales Preventivas	152	18	90,4	30	6
Señales Reglamentarias	88	14	84	47	4

El rendimiento, en cuestión de *frames* por segundo, “disminuye” para el clasificador *Haar* de señales preventivas, cabe aclarar que un análisis de 30 *frames* por segundo es mas que suficiente en el proceso de detección de las señales de tránsito en tiempo real. Si se tiene en cuenta que el clasificador de señales preventivas tiene mas clasificadores fuertes o etapas entonces se puede explicar el hecho de que disminuya la tasa de *frames* analizados puesto que las etapas 15, 16, 17 y 18 son las encargadas de aplicar mayor cantidad de características *Haar* a la escena para poder discriminar con mayor eficacia las partes de la imagen que no son señales de tránsito, en cambio, como ya se había explicado con anterioridad en el marco teórico, las primeras etapas hacen un análisis mas rápido que permite eliminar de forma muy rápida zonas que no son “difíciles” de descartar y no presentan tanta similitud con respecto a la imagen o señal de tránsito requerida.

Aunque se esperaba que las señales de tránsito preventivas hubiesen sido mas fáciles de reconocer debido a que en el conjunto de características *Haar* se encuentran características geométricas cuadradas rotadas 45° y 135° las cuales mediante una escalización podrían tener un buen resultado en los coeficientes de correlación, fue el clasificador de señales reglamentarias el que logró alcanzar el error exigido durante el entrenamiento mas rápidamente, lo anterior puede explicarse debido a que señales circulares (señales de tránsito reglamentarias) poseen una simetría perfecta con respecto a su punto de origen central lo cual permite que si la señal es rotada por el clasificador su forma se conserve y la detección mediante las características *Haar* sea muy rápida y eficiente, tal detalle explica porque el clasificador *Haar* de señales de tránsito reglamentarias funciona de manera eficiente a pesar de tener menos clasificadores fuertes con respecto a su homólogo.

- **Prueba 3**

Clasificador *Haar* de señales de tránsito preventivas con todas las características del sistema de asistencia al conductor, durante el viaje comprendido desde Popayán – Cairo – Popayán. La siguiente tabla muestra las variables a considerar:

Tabla 7. Resultados prueba 3. Popayán – El Cairo – Popayán.<sup>7</sup>

PRUEBA 3. Popayán – El Cairo – Popayán						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
122	115	79	32	7	3	1

Con respecto al comportamiento del clasificador *Haar* de señales preventivas en un trayecto largo de viaje, aproximadamente 40 kilómetros de distancia, los porcentajes de aciertos del clasificador siguen siendo altos, pues cabe aclarar que en carretera se está expuesto a cambios de climas y por tanto cambios en la iluminación, que llega sobre la señal de tránsito, sobre la cámara y sobre el panel protector antirreflejo que se coloca sobre la cartera del carro para evitar luces parasitas que se reflejan de objetos ubicados cerca a la posición de la *webcam*. El porcentaje de aciertos en detección y reconocimiento del sistema fue: 94.3% y 96.5% respectivamente, porcentajes bastante altos y que garantizan una detección y reconocimiento alta de las señales con el fin de asistir al conductor a la hora de manejar.

A pesar de los buenos porcentajes que entrega el clasificador a la hora de detectar las señales de tránsito existen ciertas limitaciones a tener en cuenta, éstas limitaciones pueden llegar a impedir el normal funcionamiento del sistema de asistencia al conductor pero que con una mejora sobre el diseño hardware específicamente protección de luces parasitas que llegan sobre la *webcam* debido al reflejo de la luz del sol sobre objetos cercanos a la posición de la cámara y un cambio en el tipo de cámara, es decir, aunque la *webcam* que se usó para el programa de asistencia al conductor es buena no deja de ser una *webcam* y por tanto no esta hecha para ambientes que pueden ser fuertes: en climas cálidos la intensidad de luz de sol que llega sobre la *webcam* puede llegar a hacer funcionar de forma incorrecta la captura de imagen debido a que las *webcam* no están hechas para temperaturas elevadas, además, lluvias intensas provocan que en el parabrisas se genere un efecto de distorsión de la imagen que se captura. A continuación se presentan algunas imágenes que muestran como la intensidad de

luz solar y la lluvia puede causar en el sistema fallos en la detección y reconocimiento de las señales de tránsito:

Figura 31. Efecto de distorsión de la lluvia sobre la captura del video.<sup>31</sup>



Con este ruido en la imagen se hace complicado que el clasificador realice una detección correcta de la señal de tránsito y que en consecuencia la imagen que logra capturar el clasificador quede mal umbralizada y su reconocimiento falle.

A continuación se muestra los efectos que causa la intensa iluminación del sol sobre el panel que cubre la cartera delantera del vehículo.



Figura 32. Luces parasitas capturadas por la *webcam*.<sup>32</sup>



El brillo que se ve en la zona del recuadro negro muestra como la intensidad lumínica del sol puede llegar a generar brillo sobre el panel antirreflejo color negro mate ubicado sobre la cartería delantera del vehículo.

- **Prueba 4.**

Clasificador *Haar* de señales de tránsito reglamentarias con todas las características del sistema de asistencia al conductor, durante un recorrido de 40 kilómetros de distancia.

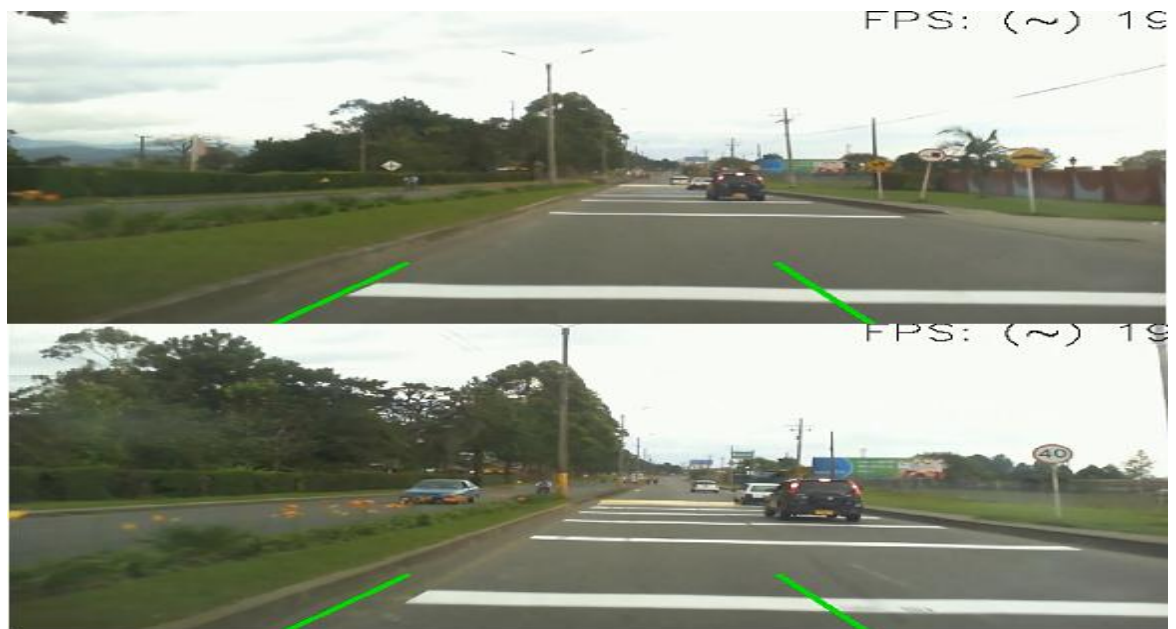
A continuación se muestra la tabla que relaciona las señales detectadas, reconocidas, Errores de reconocimiento, entre otros, durante el recorrido:

Tabla 8. Prueba 4 durante un viaje de 40 Kilómetros de distancia.<sup>8</sup>

PRUEBA 4. Popayán – El Cairo – Popayán						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
106	96	46	47	10	1	2

El porcentaje de error en las detecciones y reconocimientos de las señales de tránsito para esta prueba fue: 9.4% y 3.1% lo cual indica que el *Haar* poco o nada se ve afectado por la inclusión de las características complementarias del asistente a la conducción: detección del carril, detección de vehículos y detección de curvas. Si se debe tener en cuenta otra clase de aspecto que puede generar error a la hora de la detección de las señales de tránsito: la distancia y el tamaño de la señal de tránsito con respecto a la ubicación del vehículo, a continuación se ilustra éste aspecto.

Figura 33. Tamaño y distancia de la señal de tránsito.<sup>33</sup>



A pesar que visualmente para el ser humano son detectables las señales que se muestran a la derecha de los *frames* capturados, los clasificadores *Haar* de las señales de tránsito reglamentarias y preventivas no fueron capaces de reconocer dichas señales, lo que ocurrió fue que primero: las señales de tránsito que aparecen en escena son mas pequeñas de lo que comúnmente se tendrían en

vías nacionales, probablemente ocurra porque estas señales se encuentran ubicadas dentro de la ciudad de Popayán aunque por normatividad las señales deben tener establecido un tamaño fijo y segundo: los parámetros con que se entrenaron los clasificadores *Haar* y los cuales son usados para la detección no cumplen con los requerimientos de búsqueda del objeto de interés dentro de la imagen que esta en escena. Una posible solución para el arreglo del inconveniente que se presenta por el tamaño y distancia de la señal de tránsito sería entrenar un nuevo clasificador donde se le entreguen imágenes de señales de tránsito mas pequeñas y además, se acompañe éste entrenamiento con una serie de parámetros mas bajos en términos de vecinos cercanos, escala de detección y tamaño mínimo de búsqueda.

- **Prueba 5.**

Clasificadores *Haar* de señales de tránsito reglamentarias y preventivas aunados sin el uso de las características complementarias del sistema de asistencia al conductor, trayecto comprendido entre Corregimiento del Cairo municipio de Cajibío a la salida norte de la ciudad de Popayán.

Tabla 9. Resultados prueba 5. El Cairo – Popayán.<sup>9</sup>

PRUEBA 5. El Cairo – Popayán						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
99	92	58	31	7	1	2

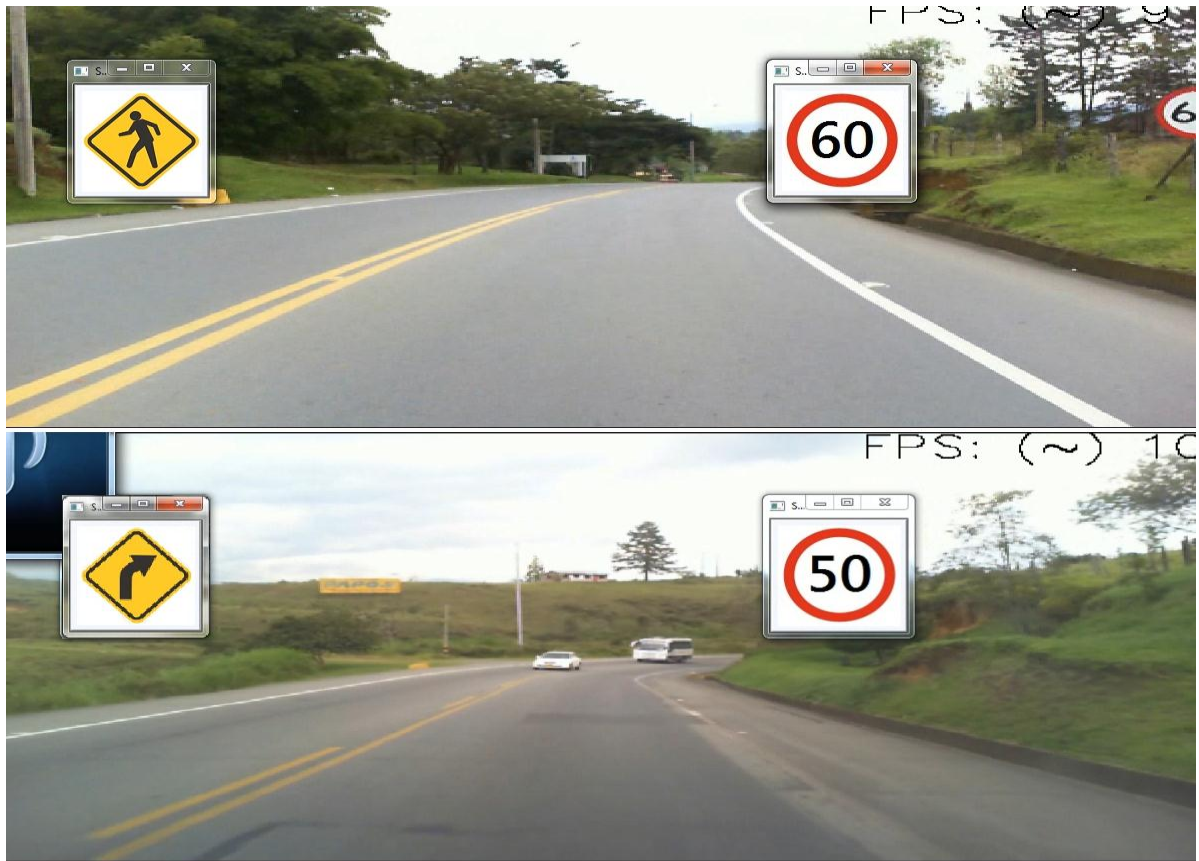
Clasificadores *Haar* de señales de tránsito reglamentarias y preventivas aunados sin el uso de las características complementarias del sistema de asistencia al conductor, trayecto comprendido entre la salida norte de la ciudad de Popayán y el Corregimiento del Cairo municipio de Cajibío.

Tabla 10. Resultados prueba 5. Popayán - El Cairo<sup>10</sup>

PRUEBA 5. Popayán - El Cairo						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
114	110	55	48	4	7	0

A continuación se muestran imágenes de las detecciones hechas en estas pruebas.

Figura 34. Detecciones realizadas por los dos *Haar* en la prueba 5.34



En esta prueba en el recorrido ida y regreso realizado se observaron 213 señales de tránsito con 202 detecciones, es decir un acierto del 94.8% en cuanto a la detección de señales de tránsito reglamentarias y preventivas. De estas señales fueron reconocidas 113 de 121 señales que debía reconocer es decir un acierto del 93.4% siendo la mayoría de las Señales no detectadas o Falsos negativos en la parte del recorrido que comprende Popayán - El Cairo, esto pudo suceder debido a que durante esta parte del recorrido algunas señales se encontraban parcialmente ocultas por objetos extraños como los mencionados anteriormente, pero durante esta parte del recorrido no se hallaron Errores de reconocimiento, a diferencia de el viaje de regreso donde se detectaron dos de ellos.

Estos Errores de reconocimiento como se menciona antes se dan posiblemente debido a que la intensidad lumínica durante el recorrido de regreso disminuyo, ayudando a la generación de ruido sobre la señal que se detecta, y esto a su vez hace que una señal no contemplada en las señales a ser reconocidas y que posee

cierta similaridad con alguna de las señales que se espera reconocer termine siendo reconocida, algo que en diferentes condiciones no pasaría.

Por otra parte el tiempo de procesamiento de cada *frame* al unir los dos clasificadores *Haar* aumentó lo que causo una disminución en la cantidad de *frames* procesados por segundo, cuando se trabajó con un solo clasificador *Haar* *frame* el promedio de *frames* por segundos procesados por el sistema sin hacer uso de todas las características era cercano a los 38 fps (*frames* por segundo). Y al unir los clasificadores el promedio cayó a cerca de 22 fps. Dado que la cámara envía 30 fps al unir los dos clasificadores *Haar* se esta dejando de procesar 8 *frames* y esto podría ser la causa de que se aumente el número de Señales no detectadas o Falsos negativos y de la misma manera de las señales no reconocidas. Esto explica por qué el porcentaje de acierto disminuyo en esta prueba.

A continuación se procede a mostrar los resultados de la última prueba realizada en la cual se usa el sistema de asistencia a conductores de la manera en la que sería usado normalmente por el usuario final en la vía.

- **Prueba 6.**

Clasificadores *Haar* de señales de tránsito preventivas y reglamentarias aunados funcionando con todas las características del sistema de asistencia al conductor, trayecto comprendido entre la salida norte de la ciudad de Popayán y el Corregimiento del Cairo municipio de Cajibío.

Tabla 11. Resultados prueba 6. El Cairo – Popayán.<sup>11</sup>

PRUEBA 6. El Cairo – Popayán						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Señales no detectadas o Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
107	88	53	28	19	5	2

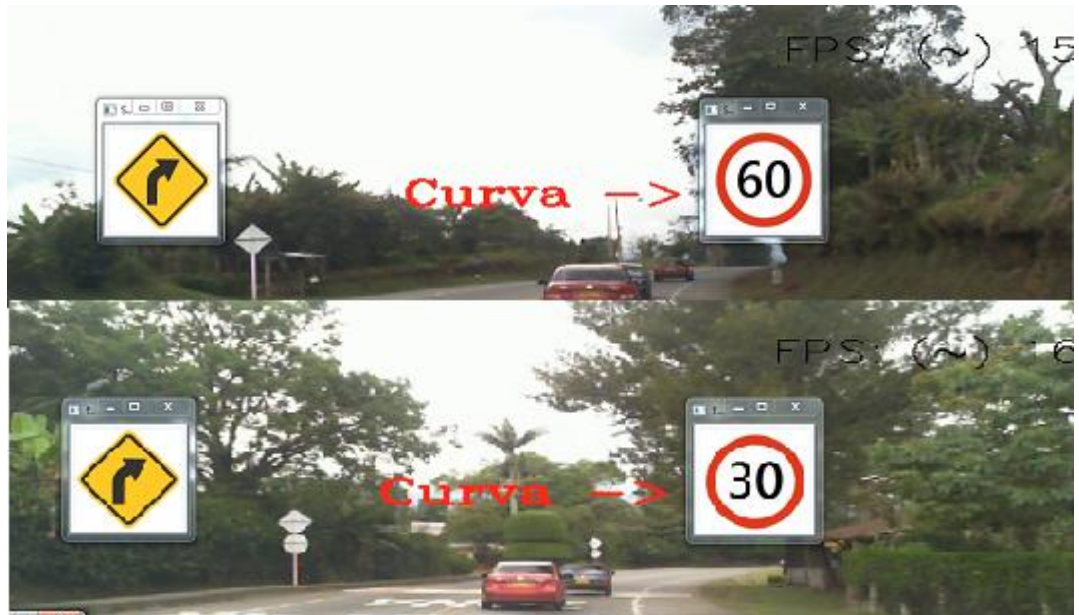
Clasificadores *Haar* de señales de tránsito preventivas y reglamentarias aunados funcionando con todas las características del sistema de asistencia al conductor, trayecto comprendido entre la salida norte de la ciudad de Popayán y el Corregimiento del Cairo municipio de Cajibío.

Tabla 12. Resultados prueba 6. Popayán - El Cairo.12

PRUEBA 6. Popayán - El Cairo						
Total señales en la vía	Señales detectadas	Señales reconocidas	Negativos reales	Señales no detectadas o Falsos negativos	Señales no reconocidas	Errores de reconocimiento
126	118	64	42	8	8	4

A continuación se muestran imágenes de las detecciones realizadas por el sistema bajo estas condiciones.

Figura 35. Detecciones realizadas por los clasificadores Haar en la prueba 6.35



En esta prueba fueron observadas 233 señales de tránsito siendo detectadas 206 de ellas, es decir un 88.4% de acierto. De las 233 señales de tránsito detectadas el sistema debía ser capaz de reconocer 130 señales, y reconoció 117 para un acierto del 90%, reportando 6 Errores de reconocimiento. Cabe mencionar que durante esta prueba las variaciones de la iluminación y las sombras producidas sobre algunas señales por arboles, sombras producida por las lomas sobre la señal en incluso la sobre iluminación de la señal, mostraron ser un factor decisivo a la hora de hacer el reconocimiento de manera correcta de la señal. Por otro lado hubo una disminución en la cantidad de *frames* por segundo que procesa el sistema estando entre los 15 y 19 *frames* por segundo, esta es la causa principal

de la disminución en el porcentaje de acierto tanto para detección, como para reconocimiento.

Los casos en los que el procesamiento cae a 15 *frames* por segundo es cuando se reconoce una señal y se cumplen las condiciones de alarma, este caso se puede considerar irrelevante por que no afecta en gran manera a la detección de la señal, dado que esto ocurre solamente en el caso de generar la alarma de lo contrario el sistema mantiene un promedio de 19 *frame* por segundo, es decir 3 fps por debajo del sistema usando los dos clasificadores *Haar* y sin las demás características del sistema. Se puede decir que no se pierde mucho, pero aunque el numero es pequeño se debe entender que, el sistema detecta la señal de tránsito en varios *frames* y cada uno de ellos es analizados con el método de correspondencia de plantillas buscando el *match* necesario para el reconocimiento de la señal en ese *frame*, por lo que perder 3 *frames* significa que hay una menor posibilidad de reconocer la señal, de la misma manera la posibilidad de detectar la señal de tránsito disminuye, ya que en los *frames* procesados puede no darse las condiciones necesarias para que los clasificadores determinen si la señal esta o no presente en el *frame*.

Como se menciona antes la cámara usada por el sistema envía 30 fps, de esta cantidad de *frames* el sistema funcionando con todas las características procesa 19, esto implica que 11 *frames* en los que podría darse todas las condiciones para detección y reconocimiento de señales de tránsito no serán procesados, es decir cerca del 37% de posibilidades de no detectar y reconocer la señal de tránsito. Sin embargo aun con todo esto el sistema logra muy buenos resultados trabajando en un ambiente no estructurado, sin tener control sobre lo que esta sucediendo a su alrededor y con cámara en movimiento.

En las pruebas anteriores se hablo de que la iluminación y otros aspectos disminuían el porcentaje de acierto de la detección y el reconocimiento de señales de tránsito, pero al unir los dos clasificadores notamos como la velocidad de procesamiento del sistema se veía afectada de manera drástica al perder mas de 10 *frames* por segundo sin hacer uso de todas las características del sistema, y con el sistema funcionando con todas las características, esta tasa de *frames* por segundo disminuye un poco mas. Esto sumado a los problemas ya encontrados con las anteriores pruebas causa que el sistema sea menos acertado en las tareas que debe realizar. Pero esto no quiere decir que sea un mal sistema, bajo las condiciones adecuadas de iluminación y contando con que las señales no presenten “ruido” debido a objetos extraños en ellas el sistema puede dar resultados mejores a los obtenidos en estas pruebas, además el sistema cumple a

cabalidad todos los aspectos para los que esta diseñado, siendo satisfactorio su desempeño.

Además se puede notar que la disminución en la tasa de *frames* por segundo del sistema al usar los dos clasificadores con todas las características del sistema como lo son la detección de curva, carril y de vehículos, no disminuye de manera drástica la cantidad de *frames* por segundo procesados, es decir los procesos de detección de curvas, carril y de vehículos consumen muy poca de la capacidad de procesamiento del sistema, por lo que para solucionar los problemas en cuanto a la tasa de *frames* por segundo a la que funciona el sistema completo, estas características se mantendrían intactas.

El aumento en la tasa de *frames* por segundo podría solucionarse implementando el uso de un solo clasificador *Haar* para detectar los dos tipos de señales de tránsito, o implementando regiones de interés mas focalizadas con el fin de disminuir la cantidad de datos a procesar por el sistema, o tomar otra dirección y no mejorar la tasa de procesamiento de *frames* por segundo del sistema si no mejorar de alguna manera los problemas causados por la siempre cambiante iluminación del entorno.

### **6.3 DETECCIÓN DE CURVAS**

Luego de aplicar el clasificador *Haar* y el *MatchTemplate* para detectar las señales de tránsito y hacer el respectivo reconocimiento de las mismas, se procede a crear una región de interés en la imagen base donde se buscará detectar las curvas.

En esta etapa fue creada una región de interés que encierra la parte de la vía que resultaba mas conveniente para detectar el sentido de la curva en la que se estaba entrando, con esto en mente se determinó la zona que mejor se acomodaba a los requerimientos necesitados para el desarrollo de esta fase.

Este proceso se desarrolla solo con un plano de la imagen, dado que la línea es color blanco cualquier plano de la imagen sirve para trabajar.

A este plano se le aplica un filtro del tipo canny para obtener los bordes, luego se aplica una función que encuentra contornos, dicha función se encuentra implementada en la biblioteca OpenCV de Intel, los contornos hallados se dibujan sobre la imagen *ROI*, haciendo uso de los datos entregados por esta función se calcula la curvatura y el sentido de la misma, para así obtener la dirección de la



curva, es decir si va a la derecha o a la izquierda. Este proceso se puede observar en la figura 22.

Para detectar la curvatura se hace el siguiente procedimiento:

Se descartan contornos de la siguiente manera, se busca un contorno por fila en la región de interés una vez hallado un punto del contorno los puntos de mas adelante son eliminados. Esto se hace debido a que en la imagen quedan contornos no deseados, como lo son los del cambio de calzada a zonas verdes, haciendo esto se obtiene el contorno de la línea blanca de la calzada en la región de interés.

El siguiente paso consiste en buscar la posición de un pixel de contorno mas cercano al inicio y un pixel de contorno 10 posiciones más abajo, la diferencia en la posición x de estos pixeles determina si se esta en curva o en línea recta y la dirección de la curva. Por ultimo al finalizar este proceso se muestra en caso de estar entrando o estar dentro de una curva la dirección de esta.

A continuación se muestran dos imágenes del resultado final de la detección de curvas.

Figura 36. Indicación de curva a la derecha luego de procesar la imagen.<sup>36</sup>



Figura 37. Indicación de curva a la izquierda luego de procesar la imagen.<sup>37</sup>



Las advertencias de curvas solo se muestran cuando se detecta y se reconoce una señal de tránsito que indique que se aproxima a una curva.

Esta etapa demostró ser bastante precisa cuando el estado de la vía es el óptimo, es decir las líneas del carril estén claramente definidas y sin lugares en los que no sea notable su presencia. Cuando las líneas de la vía no se notan claramente la detección de curva funciona pero con muchos errores llegando incluso a indicar que una curva va en el sentido contrario al sentido real de la misma, e indicar que se esta en una curva cuando se va en línea recta. Para evitar esto se decidió agregar al algoritmo la condición de que la advertencia de curva solo se muestre cuando esta concuerde con la dirección que muestra la señal de curva detectada.

Por otro lado en condiciones en que la vía este mojada el sistema no funcionara adecuadamente debido al brillo que se produce en la vía, lo que genera errores al momento de hacer los procesos necesarios para detectar la curva. De igual manera cuando aparezcan sombras sobre la calzada el sistema no dará resultados óptimos por la interferencia de los bordes de las sombras sobre las líneas de carril.

Figura 38. Imagen adquirida por la cámara cuando ha llovido recientemente.<sup>38</sup>



Como se observa en la figura 38, hay un brillo excesivo en la vía lo que al momento de aplicar el algoritmo de detección de curvas no permitirá que los resultados sean óptimos. No obstante la detección de curvas dio muy buenos resultados cuando las condiciones de la vía permitían al sistema recolectar toda la información necesaria.

#### **6.4 DETECCIÓN DE CARRIL**

Para la detección de carril se declara una región de interés que abarca una gran parte de la calzada, esta parte contiene las líneas que separan un carril de otro que es lo que se usa para hacer la detección de carril. Como se puede observar en la figura 23a.

Nuevamente se trabaja con la imagen base, a la cual se le aplica la región de interés y se separa en planos y se escoge el mejor plano para trabajar. Una vez elegido el plano adecuado se aplica un filtro del tipo canny y a la imagen resultante se le aplica una función que pertenece a la biblioteca OpenCV de Intel que encuentra líneas rectas en la imagen, esta función se encarga de regresar todas las líneas rectas que se pueden hallar dentro de la imagen.

Con la información que retorna la función se procede a descartar las líneas halladas que no sean de interés es decir las líneas que no pertenecen a las líneas que delimitan el carril. Estas líneas “basura” se descartan de la siguiente manera.

La línea que representa la limitación izquierda del carril, debe empezar en un punto mas alejado al punto inicial del ancho de la imagen, y terminar en el punto mas cercano, además entre estos dos puntos debe haber una diferencia mínima que fue calculada empíricamente para que pueda ser considerada como una línea delimitante del carril, esta diferencia mínima luego de varios procesos fue determinada en 80 pixeles. Por otro lado la línea que limita el carril del lado derecho debe iniciar en un punto mas cercano al punto inicial del ancho de la imagen, y terminar en el mas alejado, nuevamente además de esto debe cumplir la condición de diferencia mínima. Con estas condiciones nos aseguramos que los puntos restantes pertenecerán a cada línea que delimita el carril.

A continuación se procede a promediar las líneas encontradas que corresponden al carril, de esta manera se evita trabajar con las múltiples líneas detectadas.

Seguido a esto se dibujan unas líneas base sobre la imagen que representan el carril, estas líneas cambiarán de color dependiendo de 3 circunstancias: primero de no detectarse carril estas dos líneas aparecerán de color rojo sobre la imagen acompañadas de un mensaje en pantalla “Sin Carril” que advierte que el programa no fue capaz de detectar el carril, el segundo caso es cuando el carril se detecta satisfactoriamente y el vehículo esta adecuadamente ubicado sobre el, en este caso las líneas se mostraran de color verde, y por ultimo el caso en el que se detecte carril pero el vehículo no se encuentre bien ubicado en él, en este caso la línea sobre la cual el vehículo este muy cerca o este sobre ella se mostrara de color amarillo indicando al conductor que su ubicación en el carril no es la mas adecuada.

A continuación se muestran los 3 casos antes mencionados.

La figura 39 muestra la salida del programa cuando luego de aplicar el algoritmo de detección de carril no se detecta adecuadamente el carril dando lugar a la advertencia de “Sin Carril” antes mencionada, cabe decir que esta detección depende del estado de la vía y si las líneas que delimitan los carriles son lo suficientemente visibles para el programa.

Figura 39. Salida del programa cuando no detecta carril. 39



Figura 40. Salida cuando se detecta satisfactoriamente el carril. 40



La figura 40 muestra la salida del programa cuando se detecta de manera satisfactoria el carril y además el vehículo esta ubicado correctamente dentro del carril.

Figura 41. Salida cuando el vehículo esta ubicado incorrectamente en la via.<sup>41</sup>



La figura 41 muestra la salida del programa cuando se detecta satisfactoriamente el carril pero el vehículo no se encuentra correctamente ubicado dentro del mismo.

Las líneas que cambian de color son líneas fijas ubicadas de manera que represente el carril transitado, esto se hizo con el fin de evitar que las líneas se redibujen constantemente en diferentes posiciones debido a que para cada imagen capturada por la cámara se hace este proceso por lo que la ubicación de las líneas de carril no será estable es decir estará haciendo pequeñas variaciones en cada imagen capturada por la cámara.

De igual forma que en el proceso de detección de curvas cuando la vía se encuentre mojada (ver figura 29) o cuando el estado de la vía no sea lo suficientemente bueno para que el algoritmo recopile de manera precisa los datos necesarios para que los resultados arrojados sean óptimos, en este caso se mostrara el mensaje "Sin Carril" cada vez que esto ocurra. Por ultimo cabe mencionar que la aparición de sombras sobre la calzada afecta esta detección ya que los bordes de las sombras pueden ser detectados como líneas de calzada.

## 6.5 DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS

La siguiente parte de este proceso es detectar obstáculos en frente del vehículo portador del sistema, para realizar este proceso se escoge una región de interés ubicada directamente en la parte frontal de la zona detectada por la cámara donde es de interés detectar obstáculos.

Una vez creada esta región de interés se le aplica un filtro sobel (ver figura 24) para resaltar bordes verticales y horizontales eliminando así mucha información que no es relevante en la detección, con las imágenes obtenidas al aplicar el filtro se crea una nueva imagen restando los datos resultantes de aplicar el filtro horizontal menos el filtro vertical.

Terminado este proceso se procede a determinar la concentración de los pixeles que pasaron el anterior proceso es decir los pixeles que se determinó hacen parte de una línea vertical o una línea horizontal. Acto seguido se divide esta región en 4 sub-zonas que se analizan cada una para determinar cual de ellas posee la mayor concentración, una vez hecho esto se procede a analizar las zonas dependiendo de su concentración, es decir una zona de baja concentración no sería tomada en cuenta en el análisis debido a que es poco probable que el obstáculo se encuentre en ella. El siguiente paso es dividir cada sub-zona en 9 sub-zonas para determinar con un poco mas de precisión la zona donde se ubica el obstáculo.

Figura 42. Motocicletas detectada por el algoritmo.<sup>42</sup>



Teniendo todo esto y la información de la concentración de pixeles se procede a escoger el punto inicial y el punto final de la región que contiene al obstáculo.

Luego de varias consideraciones sobre las múltiples formas y tamaños de lo que se puede considerar un obstáculo en la vía, se decidió limitarlo solo a la detección de vehículos, por lo que de ahora en adelante solo se hará referencia a ello, esta consideración dio buenos resultados a la hora de detectar automóviles y en

algunos casos detectar personas en motocicleta como se muestra en la figura 42. Con esto en mente se decidió omitir regiones cuya concentración de píxeles no estuviese en un rango determinado y regiones cuyo tamaño fuese demasiado grande o pequeño.

Al final de este proceso se muestra con un cuadro blanco sobre la imagen la detección realizada.

Luego se procede a estimar la distancia a la que se está del vehículo detectado, para esto se tomaron las siguientes consideraciones:

Primero con la cámara ubicada en el vehículo se procede a medir distancias frente a un vehículo estático, con esto obtenemos una relación en píxeles por milímetro que nos ayuda a calcular estas distancias. La segunda consideración es que las distancias mayores a 8 metros se consideraran seguras por lo que no se mostrarán solo se indicara que hay una distancia segura al vehículo y además para distancias menores a 5 metros se mostrará el mensaje “conservar su distancia”

Luego de considerar todo esto el proceso de detección de obstáculos obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 43 Detección de vehículos y su respectiva distancia.<sup>43</sup>



Como se ve en la figura 43, el algoritmo detecta de manera satisfactoria los vehículos y muestra la distancia a la que se encuentran.



El algoritmo funciona de manera adecuada o de manera inadecuada dependiendo de muchas condiciones como lo son la iluminación o puntos basura que son generados por el contraste entre la calzada y el cielo en las partes de la vía donde esto es apreciable o los contrastes de vía con los arbustos, matorrales o arboles que se encuentran a los lados de la vía, de igual manera cuando el vehículo no contrasta mucho sobre si mismo, es decir cuando no se notan sombras en su parte trasera o cuando la sombra abarca mucho del vehículo disminuyendo así la capacidad del algoritmo de encontrar los puntos horizontales y verticales de interés, lo que culmina en una no detección del vehículo, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 44. Ejemplo de la no detección de un vehículo. 44



Como se observa en la figura 44 el vehículo no fue detectado por el algoritmo a pesar de estar casi a la misma distancia que en las figuras mostradas anteriormente donde se detectaba satisfactoriamente al vehículo. Las razones para ello es que no cumplió las condiciones necesarias requeridas para ser considerado como un vehículo, esto se puede mejorar cambiando los limites de lo que se puede considerar un vehículo pero al hacer esto se agregan errores al sistema debido a las interacciones entre la vía y el cielo y los elementos que se encuentran a su alrededor, siendo mas notoria la ultima cuando se esta cerca de curvas o en ellas.

## **6.6. GENERACIÓN DE ALARMAS**

La interfaz de comunicación entre el sistema de asistencia a conductores y el conductor se realizó pensando en causar la menor distracción posible al conductor, por lo que las interfaces visuales fueron descartadas dada la necesidad de que el conductor quitara la vista del camino por unos segundos para observar en pantalla la información entregada por el sistema. Debido a que se quería evitar intervenir con la mecánica del carro, ya que no estaba contemplado dentro de los alcances de este trabajo, también se descartaron las interfaces hápticas, es decir interfaces que requieren contacto con el conductor.

Con esto en consideración se procede a realizar una interfaz de comunicación sonora, por medio de la cual se le comunica al conductor de manera verbal cuando se reconoce una señal de tránsito preventiva incluidas en la base de datos de señales a reconocer, por ejemplo: en caso de reconocer una señal de zona escolar, el sistema lanzará el mensaje sonoro que dirá "ZONA ESCOLAR", mientras que para casos de las señales de tránsito reglamentarias que el sistema es capaz de reconocer, que en este caso son señales de limitación de velocidad o de velocidad máxima, el sistema emitirá un sonido de características similares al sonido que emiten los vehículos actuales cuando el conductor no se ha abrochado el cinturón de seguridad, cuando la velocidad del vehículo sea mayor a la velocidad máxima reconocida por medio de la señal detectada por el sistema.

Además cuando el vehículo está mal posicionado dentro del carril el sistema emitirá un beep indicando al conductor del problema hasta que este re-acomode el vehículo en la posición correcta.

## CONCLUSIONES

Las características que se extrajeron en éste trabajo, tales como, líneas de carril, densidad de pixeles en zonas de interés, señales de tránsito preventivas y reglamentarias, las cuales se encuentran presentes en la escena capturada por la cámara fueron de gran relevancia y proporcionaron la mayor información al sistema de asistencia a la conducción generando que éste pudiese funcionar de manera efectiva en el reconocimiento de posibles peligros que se encuentran en la vía.

El reconocimiento de las señales de tránsito preventivas y reglamentarias, fundamentales para el óptimo funcionamiento del sistema de asistencia a la conducción se realizó en tiempo real, detectando y reconociendo con porcentajes de efectividad mayores al 90%.

La ubicación de la instrumentación sobre el vehículo automotor, sensor *GPS* y cámara de video, fue de la siguiente manera: cámara ubicada entre el retrovisor y el parabrisas, ésta ubicación generó que en la captura del video apareciera toda la información necesaria para poder procesarla de manera adecuada y así poder desarrollar las etapas propuestas para el trabajo, además, el *GPS* fue ubicado en la parte superior del vehículo para poder recibir de manera óptima la señal que envían los satélites, la ubicación beneficia al *GPS* puesto que no existe una barrera física que evite la recepción de las señales.

La interfaz de comunicación entre el sensor *GPS*, se realizó a través del puerto *USB* mediante la creación de un puerto serial virtual el cual fue leído usando las bibliotecas de comunicación serial incluidas en el sistema operativo de *Microsoft*.

Las alertas que en el trabajo se implementaron sobre los posibles riesgos que se pueden presentar en la vía donde el vehículo transita fueron escogidas pensando en la menor distracción posible al conductor. Pitidos que indican la salida de carril y voces que anuncian eventos que ocurrirán en la carretera, por ejemplo, curvas pronunciadas, curvas peligrosas y vías donde exista una zona escolar o cruce de peatones son avisados al conductor para que esté atento a ellas.

Las falsas detecciones que el sistema realiza son causadas por variables que no se pueden controlar, es decir, variables inherentes al conjunto de situaciones que implican el proceso de conducción en las vías, por ejemplo: la lluvia excesiva, variable climática, dificultad igual que al mismo conductor. Alta iluminación, igual que con el ojo humano la cámara es deslumbrada generando detecciones

erróneas. Baja iluminación, organismos de tránsito encargados de la seguridad vial recomiendan a los conductores evitar viajar en las noches por la poca visibilidad que se tiene de la vía y la alta accidentalidad que puede ocurrir por tal razón el sistema también se verá afectado, debido a que la cámara usada no supera la gran capacidad de visión del ojo humano.

Se implementó un sistema de asistencia a la conducción de vehículos automotores que probó funcionar de manera efectiva mientras existan las condiciones óptimas en la vía, condiciones que el mismo conductor del vehículo debe tener en cuenta cuando realice sus viajes, tanto por su facilidad de manejo como por su seguridad personal y la de los ocupantes del automotor.

## TRABAJOS A FUTURO

El sistema de asistencia puede ser mejorado a futuro teniendo en cuenta las siguientes sugerencias: debido a que el sistema de asistencia debe funcionar las 24 horas puesto que la conducción por parte de los conductores no tiene un horario específico, se hace necesario un cambio, primero, en el dispositivo de captura debido a que la *webcam* usada para éste proyecto tiene problemas de captura en la noche pues sufre una saturación generando que el *frame rate* disminuya, afectando la detección de las señales de tránsito debido a la poca información que obtienen los clasificadores del video; segundo, se propone la implementación de una cámara infrarroja con el objetivo de lograr resaltar los objetos de interés necesarios para el óptimo funcionamiento del programa: señales de tránsito tanto reglamentarias como preventivas, líneas de carril y vehículos en la vía.

Como posible mejora al sistema de reconocimiento de vehículos y su distancia aproximada, se propone la idea de considerar un mejoramiento del algoritmo implementado en éste trabajo mediante el uso del análisis del histograma, es decir, los vehículos por lo general poseen en su gran parte de la carrocería una mayor tonalidad que sobresale, por tanto la detección de ésta gran zona generaría que las zonas detectadas por la densidad de píxeles que entran en la región de interés observada para la detección del vehículo sea mayormente delimitada por la verdadera área del automóvil que se observa en escena, generando que la medición de alturas que se realiza desde la parte inferior de la imagen fuente hasta la parte inferior de la región de interés del vehículo detectado sea mas fiable y no se vea ampliada por posibles sombras o imperfectos en la vía.

El problema de sombras provocadas por la vegetación y las edificaciones durante los viajes siempre van a estar presentes por tanto implementar un algoritmo de remoción de sombras ayudaría a mejorar el sistema de asistencia vehicular en aspectos tales como: detección de carril, detección de curvas y detección de vehículos.

Por último, el sistema de asistencia al conductor implementado en éste trabajo estuvo enfocado sólo a asistir al conductor mediante algunas alarmas auditivas y visuales sobre posibles eventos de riesgo durante el manejo del automóvil en carreteras nacionales, el sistema no interviene directamente con la mecánica del vehículo, lo cual hace que el conductor una vez sea advertido por la alerta deba reaccionar y corregir el posible error en la conducción, ya sea exceso de

velocidad, salida involuntaria de carril, no giro del volante en una curva y no conservar la distancia segura entre vehículos, por tanto el sistema de asistencia sería ostensiblemente mejorado si se incluyera un control sobre el vehículo realimentado por las alertas que genera el programa, ejemplo, en el momento en el que el sistema detecte que el vehículo se está acercando de manera peligrosa al vehículo que se encuentra en frente entonces el sistema sea capaz de accionar los frenos para detener la marcha y evitar el choque.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Comisiones Regionales de las Naciones Unidas, Informe sobre la ejecución del proyecto “Mejora de la seguridad vial en el mundo: Establecimiento de objetivos regionales y nacionales para la reducción de víctimas por accidentes de tráfico”. Nueva York y Ginebra, 2010.
- [2] Comisiones Regionales de las Naciones Unidas, Informe sobre la ejecución del proyecto “Mejora de la seguridad vial en el mundo: Establecimiento de objetivos regionales y nacionales para la reducción de víctimas por accidentes de tráfico”. Nueva York y Ginebra, 2010.
- [3] Observatorio de Movilidad, Cámara de Comercio de Bogotá, Universidad de los Andes, “Boletín de accidentalidad vial”, 2007, No. 2 •ISSN. 2027-1026.
- [4] Control de cruceo adaptativo (ACC), DAF Vehículos Industriales, S.A.U. Parque Empresarial San Fernando, Fax 916 778 360, 14 de diciembre 2011.
- [5] "El ciudadano, su vehículo y la tecnología!", [info-intelligent-car@ec.europa.eu](mailto:info-intelligent-car@ec.europa.eu)
- [7] R. González, R.Woods, Tratamiento Digital de Imágenes. Wilmington, USA: Addison-Wesley, 1996. ISBN 0-201-62576-8.
- [8] A. Escalera, Visión por computador: Fundamentos y métodos. Madrid: Prentice Hall, 2001. 304 p. ISBN 84-205-3098-0.
- [9] E. Harwood, Digital CCTV. A Security Professional’s Guide. Estados Unidos de América: Elsevier, 2007. ISBN 0-7506-7745-7.
- [10] Y. Dedeoglu, Moving Object Detection, Tracking and Classification for Smart Video Surveillance, Bilkent University, Department of Computer Engineering and the Institute of Engineering and Science, Agosto, 2004.
- [11] H. Flynn, Machine Learning Applied to Object Recognition in Robot Search and Rescue Systems. University of Oxford. September 2009.
- [12] A. Rama, F. Tarrés. Un Nuevo método para la detección de caras basado en Integrales Difusas. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.

[13] L. Vázquez, J. Alba. Detección de caras y localización de características faciales para reconocimiento biométrico. Dpto. de Teoría do Sinal e Comunicacóns. Universidad de Vigo.

[14] G. Farias, M. Santos, F. Marron, S. Dormido-Canto. Determinación de parámetros de la transformada *wavelet* para la clasificación de señales del diagnóstico scattering Thomson. Dpto. Informática y Automática. UNED. 2004.

[15] D. Alonso, L. Salgado, M. Nieto. Robust vehicle detection through multidimensional classification for on board video based systems, Grupo de Tratamiento de Imágenes, E.T.S. Ing. Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España