 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 27

Desarrollo de un semáforo portátil inteligente para el control del flujo vehicular.

Sebastian Garcia Aristizabal

Alejandro Sarrazola Caro

Ingeniería electrónica

Director(es) del trabajo de grado

Carlos Andrés Madrigal Gonzalez

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO


2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Este proyecto describe el desarrollo de un semáforo portátil inteligente, que tiene como objetivo principal realizar el control del flujo vehicular mediante la implementación de un software basado en técnicas de visión artificial para la detección de vehículos. Su principal característica es que obtiene su energía por medio de paneles solares y es fácil de transportar.


Está compuesto por una parte de hardware y una parte de software, el hardware está construido con elementos resistentes al deterioro que causa el estar expuesto al sol y la lluvia, se compone de un sistema de alimentación por baterías de ciclo profundo y paneles solares que proporcionan energía durante un tiempo considerable, un sistema de control, una cámara para la adquisición de imágenes, un mini pc en el cual se ejecuta el software, las luces led del semáforo y un chasis metálico con ruedas que lo hace portátil. El software realiza la detección de vehículos por medio de la cámara web, el programa hace el reconocimiento, seguimiento automático y conteo de los vehículos que circulan por la vía, y estima el flujo vehicular mediante extracción de características, con respecto a esta información realiza la toma de decisiones para el cambio de estado de las luces de indicación del semáforo. Esta aplicación ha sido programada en Python y hace uso de las funciones que proporcionan las librerías de OpenCv para desarrollar programas de visión artificial.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01- 22

RECONOCIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a nuestros padres por el apoyo y el acompañamiento que nos dieron a lo largo de la carrera, ellos hicieron que cada obstáculo se convirtiera en una fortaleza para nosotros. También queremos darle las gracias a nuestro director de tesis Carlos Madrigal, por su apoyo, por su tiempo, por su continua dedicación y sus indicaciones durante la realización de este proyecto.

Por último agradecerle a la vida por este logro, gracias a todas y cada una de las personas que nos ayudaron y nos apoyaron para sacar esta tesis adelante.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

SBC: Computadora de tablero único.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

LED: Diodo Emisor de Luz.

RGB: Rojo, verde, azul.

VA: Visión artificial.

BLOB: Imagen que se va a manipular.

PW: Potencia.

CPU: Unidad central de procesamiento.

OPENCV: Biblioteca libre de visión artificial.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	9
3. METODOLOGÍA	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	41
REFERENCIAS	43

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22


1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es clave para el crecimiento de la economía de un país por su vinculación con la creación de infraestructura básica, esta industria representa un eje fundamental para el logro de objetivos económicos y sociales, pero mientras se satisfacen estas necesidades también se generan algunos inconvenientes como lo es el entorpecimiento de la movilidad vehicular.

Se ha podido establecer que se generan molestias cuando se ejecutan trabajos de construcción en zonas cercanas a vías transitadas, en estas vías se presentan condiciones especiales que afectan la circulación, debido a trabajos con maquinaria pesada, movimiento de cargas o depósito de materiales que obstruyen las calles y hacen más lenta la movilidad o en algunos casos paralizando totalmente la circulación vehicular.

A esta problemática se suma el aumento de la cantidad de vehículos, en la ciudad de Medellín cada día se ponen en circulación más carros y motos, pero no son tantas las posibilidades de ampliar los 2.300 kilómetros de vías con las que se cuenta en la actualidad sólo en las zonas urbanas. Teniendo en cuenta también el mal estado de algunas de ellas, estos dos problemas sumados a los embotellamientos ocasionados por las construcciones se convierten en una seria dificultad para la movilidad de las personas. (Álvarez V, 2015).

Estas situaciones deben ser atendidas especialmente, ya que traen consecuencias como el aumento de la posibilidad de accidentes, ya que en este punto convergen peatones, vehículos, maquinaria de construcción, personal de construcción y materiales, también en algunas ocasiones se pueden presentar retrasos en la finalización de las obras por causa del desorden que se puede llegar a ocasionar en estos puntos, para esto se deben

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

establecer normas y medidas técnicas apropiadas, que se incorporen al desarrollo de los proyectos cualquiera sea su importancia o magnitud, con el objeto de reducir el riesgo de accidentes y hacer más ágil el tránsito de las personas, procurando reducir las molestias en su desplazamiento por la vía y evitando sanciones a los constructores por los accidentes que se puedan ocasionar.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un semáforo portátil inteligente para el control del flujo vehicular usando técnicas de visión artificial y reconocimiento de patrones. Para lograr este objetivo se han definido cuatro etapas que coinciden con cada uno de los objetivos específicos, la primera es diseñar y construir un prototipo de semáforo portátil que permita regular el flujo de vehículos usando paneles solares, comunicación inalámbrica y un hardware para el procesamiento de imágenes, la segunda es determinar las técnicas de preprocesamiento y segmentación adecuadas para la detección de autos en condiciones de iluminación variables, la tercera es implementar un algoritmo para la estimación del flujo mediante la extracción de características y la toma de decisiones y por último evaluar cuantitativamente el desempeño del control de flujo con métricas establecidas por la literatura.

Este proyecto se divide en 5 partes que describen de forma ordenada como se llega a cumplir con el objetivo general establecido. En esta sección se muestra una introducción en la que se plantea la problemática y las consecuencias para la movilidad vehicular en las vías, poniendo un poco en contexto al lector de cuál es el problema que se pretende solucionar, luego se muestra el marco teórico en el que se presentan generalidades de algunos temas que intervienen en la realización de este proyecto como lo son la visión artificial, el procesamiento de imágenes, el aprendizaje automático, los paneles solares, la automatización y las características de las cámaras que se utilizan en los proyectos de visión artificial, más adelante se muestra la metodología que se implementó para lograr el

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

objetivo general del proyecto, en la que se muestra el diseño del semáforo, las técnicas de visión que se utilizaron y el algoritmo que se implementó para la detección de vehículos, después se presentan los resultados obtenidos con las pruebas experimentales realizadas en las etapas de construcción del semáforo y el desarrollo del software y por último se muestran las conclusiones relevantes que dejó la realización de este proyecto y las recomendaciones que se le dan al lector para tener en cuenta cuando se realicen trabajos similares a este.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Visión artificial: Es una rama de la inteligencia artificial cuyo objetivo principal se centra en modelar imágenes y representarlas matemáticamente, con el fin de analizar la información obtenida a través de cámaras y a partir de esta crear un modelo del mundo real simulando en una computadora. (Nagabhushana, 2005, pág. 2). La visión artificial resulta de gran utilidad en diferentes áreas de aplicación y el número de aplicaciones relacionadas a ella va en aumento, en la siguiente tabla se citan algunos de los campos donde se emplea:

ÁREA DE PRODUCCIÓN	APLICACIONES
Astronomía	Exploración espacial
Control de calidad	Inspección de productos.
	Etiquetados.
	Identificación de estado de las piezas y soldaduras.
Control de tráfico	Reconocimiento de placas.
	Control de velocidad.
	Detección de vehículos.
Robótica	Guiado de robots.
Agricultura	Control de plantaciones.
	Interpretación de fotografías.
Biomédica	Análisis de imágenes de microscopía.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	Resonancia magnética.
--	-----------------------

Tabla 1. Aplicaciones. Recuperado de: "Introducción a la Visión Artificial", Platero C, 2009.

2.2 Control del tráfico vehicular: El control del tráfico vehicular es un campo cuyo objetivo se centra en la detección y organización de la circulación de los vehículos que se movilizan por una determinada zona, evitando congestionamientos y accidentes, en la actualidad este es un campo de investigación muy activo, muchas aplicaciones ofrecen solución a esta problemática implementando técnicas de visión artificial, todas estas orientadas en la búsqueda de lograr sistemas más precisos y rápidos.

En 1989 en el Jet Propulsion Laboratory de la Nasa y el California Institute of Technology, se desarrolló un sistema de detección de vehículos en tiempo real con la capacidad no solo de detectarlos sino también de contarlos y medir su velocidad usando el método de diferenciación de marcos. (Iñigo, 1989).

Entre los años 1989 y 1991, Hoose desarrolló un sistema capaz de hacer seguimiento a vehículos detectando las cualidades presentes en una imagen, el sistema comienza por dividir en celdas la imagen obtenida, luego divide en grupos las celdas obtenidas: celda vacía, celda con vehículo estático y celda con vehículo en movimiento, finalmente agrupa cada conjunto. Los vehículos fijos se encuentran ubicando la forma de sus bordes en las celdas agrupadas y los vehículos en movimiento se encuentran comparando las celdas en tiempos diferentes. (Hoose, N, 1991)

En 1996 Betke, Haritaoglu, y Davis desarrollaron e implementaron un sistema que reconoce y rastrea vehículos a partir de videos en escala de grises tomados desde otro vehículo en movimiento, la cámara en movimiento representa un desafío mayor a la que se ubica en un punto estático, debido al desplazamiento que realiza, al paisaje cambiante

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que debe evaluar y a la iluminación variable. La detección de vehículos se llevó a cabo buscando objetos rectangulares y evaluando los bordes horizontales y verticales en las imágenes obtenidas, buscando las que cumplen cierta relación entre sus medidas. (Betke, Haritaoglu, Y Davis, 1996).

En el 2002 en su trabajo de Detección y Clasificación de vehículos, los autores crearon un sistema capaz de proporcionar información acerca de la ubicación, velocidad y tipo de vehículo, a partir de imágenes grabadas por una cámara que apuntaba a una carretera, el proceso de detección se basa en el establecimiento de correspondencias entre regiones, los vehículos se modelan como parches rectangulares y según las medidas obtenidas de cada parche se clasifica como vehículo pequeño o camión, aunque lograron detecciones efectivas por encima del 90%, los niveles altos de ruido pudieron causar en ocasiones la detección de un vehículo. (Gupte, Masoud, Martin, Y Papanikolopoulos, 2002).

(De La Rocha, 2009) desarrolló un sistema inteligente utilizando cámaras IP y antenas Bluetooth instaladas en los semáforos viales, mediante dos algoritmos basados en el tratamiento digital de imágenes, uno para la detección en el día y otro para la noche, sus resultados fueron satisfactorios, obteniendo porcentajes de fiabilidad por encima del 95%.

(Moreno, Sánchez, Valcárcel, Y Chaves 2012), muestran el desarrollo de un sistema de control de tráfico con prelación para vehículos de emergencia, realizando un análisis de secuencias de video por medio de técnicas de procesamiento de imagen, en este trabajo los autores definieron dos características principales de este tipo de vehículos, estas son los colores distintivos y la presencia de una sirena en la parte superior, para detectar la sirena verificaron con un filtro de detección de contornos en la parte superior de los vehículos y para detectar los colores calcularon las componentes R, G y B. En este trabajo lograron un desempeño de detección efectiva del 94%.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En su trabajo de detección de vehículos en movimiento los autores Sun, Bebis y Miller presentaron una revisión de los sistemas de detección de vehículos en carretera usando técnicas de visión artificial, sin embargo los estudios existentes hasta ese entonces, continuaban sin poder solucionar toda la problemática debido a la fuerte variabilidad del entorno vehicular. En la actualidad este sigue siendo un tema de investigación. (Sun, Bebis y Miller, 2006)

Aunque estas aplicaciones y prototipos muestran resultados prometedores, el reconocimiento de objetos para fines de asistencia visual aún se encuentra en una etapa temprana de desarrollo, debido a que presenta diversos retos que no han sido resueltos del todo, por ejemplo el caso del usuario que no apunta correctamente al objeto y tiene solo una porción del mismo, o los movimientos rápidos de la cámara que producen imágenes borrosas, todo ello degradando el rendimiento de los algoritmos de reconocimiento de objetos.

Cada sistema de Visión Artificial incluye diversas técnicas según su finalidad, sin embargo en términos generales tiene las siguientes etapas:

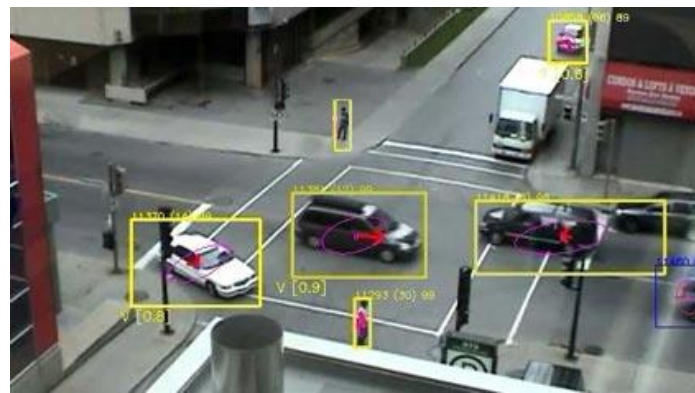


Figura 1. Visión Artificial, Novadep. (2018). Recuperado de: <http://www.novadep.com>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1.1 Adquisición o captura: Se refiere a los diferentes medios que se utilizan para la obtención de imágenes, ya sea por medio de cámaras digitales, cámaras de video o digitalizando imágenes analógicas, estas imágenes son convertidas en valores digitales almacenados en la memoria del computador para su posterior análisis, la captura y digitalización van incorporadas en el mismo dispositivo, ya sea una cámara o un escáner.

Para su Sistema Automático de Conteo y Clasificación de Flujo Vehicular (Maldonado, 2006) utilizó una cámara marca Elbex modelo EX/C100/6 en una intersección vial del área metropolitana de Monterrey, con esta cámara grabó videos con duraciones entre 5 minutos y 90 minutos sin sonido a una resolución de 352x240 píxeles en formato AVI a una tasa de 30 cuadros por segundo, con este hardware y su algoritmo de detección vehicular logró una tasa de clasificación vehicular aceptable. En su trabajo (Rodríguez, Vera y Vintimilla, 2012) usaron una cámara digital Bosch modelo REG-L1-816XC-01 la cual trabaja con un rango de visión de 5 metros a 8 metros, con la que lograron su objetivo de detectar placas de vehículos a partir de videos obtenidos con estas cámaras, en la figura 2 se observa una imagen obtenida en el lugar escogido para realizar la detección vehicular.



Figura 2. Etapa de captura.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1.2 Preprocesamiento: En el análisis de imágenes o tratamiento digital se pretende mediante el uso de filtros realizar un descarte de las partes de la imagen que no son de interés y enfocar las partes con mayor probabilidad de coincidencia con lo buscado, figura 3, aquí se debe hacer un recorrido completo de la imagen mediante el uso de técnicas que permiten extraer información explícita, estas técnicas pueden mejorar el contraste de la imagen, eliminar ruido, realzar características, etc. (Caballero, 2017, pág 12).

En su Sistema de reconocimiento de patrones en placas vehiculares, (Espinosa, 2014, pág 38) realizó una mejora del contraste de la imagen utilizando la técnica de ecualización de histograma. Usando este método obtuvo un mejor contraste incrementando el diferencial de tonalidades de gris entre píxeles de diferente tono haciendo los bordes más notorios.



Figura 3. Etapa de análisis. <https://www.youtube.com/watch?>

2.1.3 Segmentación: El objetivo de este proceso es dividir una escena en sus partes constituyentes para luego hacer su reconocimiento, figura 4. Esta es una de las tareas a resolver en un sistema de detección de vehículos, algunos de los problemas que se encuentran en estas imágenes son el bajo contraste, alto nivel de ruido, información presente en ellas que no es propiamente de ese plano y distribución no uniforme de la intensidad. (Rocha Y Escorcía, 2010, pag 3). Cornish y Wakefield en el año 1997 lograron

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

reconocer vehículos a partir de escenas en movimiento por medio de técnicas de diferenciación de marcos, esta técnica ha sido adecuada pero tiene restricciones ya que es muy sensible a cambios o variaciones en las condiciones para las que fueron empleadas. Bevilacqua en 2002 creó un sistema para el monitoreo de tránsito que logró resultados satisfactorios en imágenes con altos niveles de ruido, usó un método de segmentación y sustracción de escenas comparándolas con un marco de referencia, tres años más tarde Yoneyama, yeh y Jay, lograron solucionar tres problemas presentes en la captura de las imágenes, el primero es la eliminación de las sombras que producen los vehículos, para este problema encerraron cada vehículo junto con su sombra en un cubo y luego los separaron usando proyecciones de puntos de fuga, el segundo problema es la detección de oclusiones, para esto usaron varias cámaras y así lograron extraer la localización de cada vehículo, por último resolvieron la detección de vehículos en imágenes tomadas en la noche siguiendo al vehículo desde la parte delantera y posterior, también mejoraron la extracción del fondo de las imágenes. (Leal, Leal Y Branch, 2010 pág 77 - 79).



Figura 4. Etapa de segmentación. Recuperado de: Espinosa Y Mafla, 2014.

2.1.4 Extracción de características: Es el proceso por el cual se obtienen características convenientes para diferenciar un tipo de objeto de otro, como lo es el tamaño y la forma, este es un paso en el reconocimiento de patrones en el cual las medidas u observaciones son procesadas para encontrar atributos que puedan ser usados para asignar los objetos a

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

determinada clase (Viola Y Jones, 2001). Es un enfoque de aprendizaje automático donde la función de cascada está entrenada a partir de muchas imágenes positivas y negativas. Luego se usa para detectar objetos en otras imágenes. Usar descriptores de Fourier para reconocer objetos ayuda a lograr resultados óptimos casi en tiempo real, este tiempo depende de la cantidad de descriptores de Fourier (Granados, 2007). Existen varias técnicas para la detección, seguimiento y conteo de vehículos, entre las principales se encuentran:

Haar Cascade: Es un método para detectar objetos que consiste en entrenar una función a partir de una gran cantidad de imágenes para identificar características que definen al objeto en cuestión basándose en la intensidad de su píxeles, fue propuesto por Pablo Viola y Michael Jones en 2001, aunque esto se considera una mejora de la primera versión de este clasificador que inicialmente se creó para identificar caras y se conocía como Haar Wavelets. (Trávez, Soria Y Viracocha, 2016). Las características son la combinación de varios rectángulos del mismo tamaño adyacentes en dirección horizontal o vertical (Imagen 2), al final se obtiene un descriptor global de toda la imagen, capaz de identificar objetos en otras imágenes.



Figura 5. Filtros Haar básicos. Recuperado de: <https://es.coursera.org/learn/deteccion-objetos/lecture/ncf9B/I5-2-caracteristicas-de-haar>

Los rectángulos negros representan las zonas que tienen una contribución positiva al resultado final y los blancos representan los que tienen una contribución negativa al filtro final, así entonces, cuando se aplica el filtro en una posición de la imagen escogida (Imagen 3), el resultado va a ser la diferencia entre la sumatoria de intensidad de todos los

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

píxeles que están situados en el rectángulo negro y la suma de intensidad de los píxeles del rectángulo blanco, este valor, puede ser necesario normalizarlo por el tamaño de la ventana del filtro para conseguir que los valores sean invariantes a cambios en el tamaño de los objetos y también para que características aplicadas a diferentes escalas en toda la imagen tengan valores comparables.

200	200	100	100	200	200	100	100
250	250	50	50	250	250	50	50
255	255	255	255	100	100	100	100
255	255	255	255	100	100	100	100
200	200	100	100	200	200	100	100
250	250	50	50	250	250	50	50
255	255	255	255	100	100	200	200
255	255	255	255	100	100	250	250

Figura 6. Filtro aplicado a una imagen. Recuperado de: <https://es.coursera.org/learn/deteccion-objetos/lecture/ncf9B/15-2-caracteristicas-de-haar>

Un gran número de características de tipo Haar son necesarias para describir un objeto con suficiente precisión, en esta cascada, en lugar de aplicar todas las características en una ventana, se agrupan las características en diferentes etapas de los clasificadores y se aplica una por una, normalmente las primeras etapas contendrán un número muy reducido de características a usar, si una ventana falla en la primera etapa se desecha y no se evalúan las características restantes en la ventana, si pasa se aplica la segunda etapa de funciones y se continúa el proceso. La ventana que pasa por todas las etapas es una región donde se encuentra el objeto requerido. (Parra Barrero, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 7. Estructura en cascada, cada imagen es un clasificador que aumenta de complejidad de izquierda a derecha.

Recuperado de: <https://es.coursera.org/learn/deteccion-objetos/lecture/ncf9B/I5-2-caracteristicas-de-haar>

El clasificador final es una suma ponderada de estos clasificadores débiles. Se llama débil porque por sí solo no puede clasificar la imagen, pero en conjunto con los demás constituye un fuerte clasificador.

Sustracción de fondo: Es uno de los principales pasos de preprocesamiento de imágenes en muchas aplicaciones basadas en visión artificial. También conocida como detección de primer plano, consiste en comparar cada una de las imágenes que componen un video con una imagen inicial o de referencia, realizando este proceso se puede concluir que los elementos que no permanecen constantes es porque presentan movimiento en alguna dirección. En 2010 Prieto logró un alto grado de desempeño en su sistema de conteo vehicular usando franjas de interés, en él las franjas se definen sobre la región del video donde se necesita calcular el flujo vehicular, la librería de visión por computador de código abierto OpenCV ha puesto en marcha tres de estos algoritmos que son fáciles de usar.




Figura 8. Sustracción de fondo. Recuperado de: <https://groups.google.com/forum/#!msg/opencv-gsoc-2017/ISJv77jxpYE/luYXNfJ8BAAJ>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El semáforo Vehicular: Es un dispositivo electrónico para regular el tránsito de peatones y vehículos mediante el uso de señales luminosas, a comienzos de los años 20 en la ciudad de Cleveland, Ohio, transitar por las calles de la ciudad era un caos, los automóviles compartían la vía con tranvías, peatones y carretas tiradas por caballos sin ningún tipo de control, por lo cual se causaban muchos accidentes, esta problemática impulsó a Garrett A. Morgan, un ciudadano que había presenciado varios accidentes a crear una solución para este problema, Morgan instaló en la esquina de la calle 105 y la avenida Euclid el primer semáforo que controlaría el paso por esta transitada vía, su diseño consistía en un semáforo giratorio que en sus 4 caras tenía señales de pare, siga y una señal de precaución que funcionaba manualmente, unos años más adelante la compañía General Electric compró la patente de Morgan y cambió las señales por luces de color verde y rojo, los cuales se utilizan hasta la actualidad. (McShane 1999).

En Colombia la empresa Soluciones De Tráfico, ubicada en la ciudad de Medellín ofrece dentro de su portafolio desde 1999 servicios para el diagnóstico, supervisión y control del tránsito vehicular por medio de semáforos y señalizaciones viales. Reflex LTDA es otra de estas empresas, creada en el 2005 en la ciudad de Palmira, presta servicios en el área de señalización vial horizontal y vertical.

Páneles solares en sistemas de control de tráfico vehicular: Los paneles solares son una buena alternativa cuando se requiere generar electricidad de forma amigable con el medio ambiente, en Colombia se ha hecho uso de esta tecnología para alimentar semáforos, en el 2012 surgió una iniciativa por parte del programa de las naciones unidas para el desarrollo, en busca de alertar y crear conciencia en las personas sobre los efectos que produce una prolongada exposición a la radiación ultravioleta sobre la salud humana, como parte de esta campaña se instalaron varios equipos llamados solmáforos en varias ciudades del país, estos equipos indican a través de luces, similares a las de un semáforo

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de tránsito el nivel de radiación ultravioleta presente. (“Solmáforos”: novedosa iniciativa para medir los rayos ultravioleta en ciudades de Colombia, 2012).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

En la figura 9 se muestra el esquema metodológico usado en el desarrollo de este proyecto.

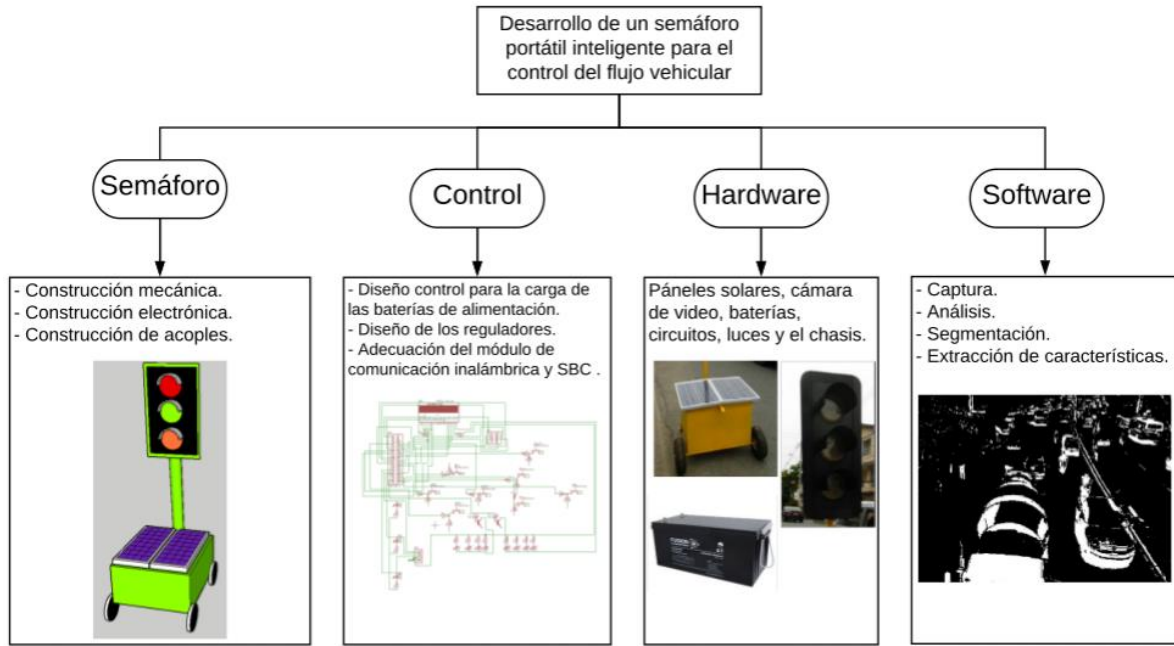


Figura 9. Esquema metodológico.

3.1 Semáforo: Este semáforo se desarrolló bajo las condiciones para que fuese inalámbrico, portátil, que utilice energía solar para su alimentación y que tenga la capacidad de trabajar en condiciones de iluminación variables. Los semáforos se utilizan en exteriores, por lo tanto sus componentes deben ser muy duraderos y resistentes a las condiciones climáticas. Se comenzó por diseñar los circuitos de las luces y la parte de control, con el fin de calcular un estimado del consumo del semáforo, usando elementos de bajo consumo.

Consumo de la Raspberry = 2.5W

Consumo de las luces = 5W

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Consumo de circuito de potencia = 2.5W

Potencia Total = Pr + Pl + Pc = 2.5w + 5w + 2.5w = 10W

La potencia producida por el sistema de alimentación es = 120W

Con base a estos cálculos el consumo total aproximado es de 10W por hora, así que es suficiente alimentarlo con una batería de ciclo profundo de 120W - 12V, esta batería se puede recargar con 2 paneles solares fotovoltaicos de 20W - 12V cada uno. Las baterías de ciclo profundo son ideales para ser cargadas con paneles solares, el uso de energía renovable permitirá obtener un ahorro de energía ya que se aprovecha la cantidad de horas de sol del día, con este par de elementos y estas características se puede garantizar que su uso no se limite a ser durante el día sino también durante la noche o en momentos en los que no se presente gran iluminación solar, ya que podrían mantener el sistema energizado sin recibir luz solar por 12 horas iniciando con las baterías totalmente cargadas.

Teniendo en cuenta el tamaño de estos dos elementos que son los más grandes y delicados, se hizo un modelo físico del semáforo y se procedió a recolectar los materiales necesarios para construirlo, el modelo aproximado se ve a continuación en la figura 10.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

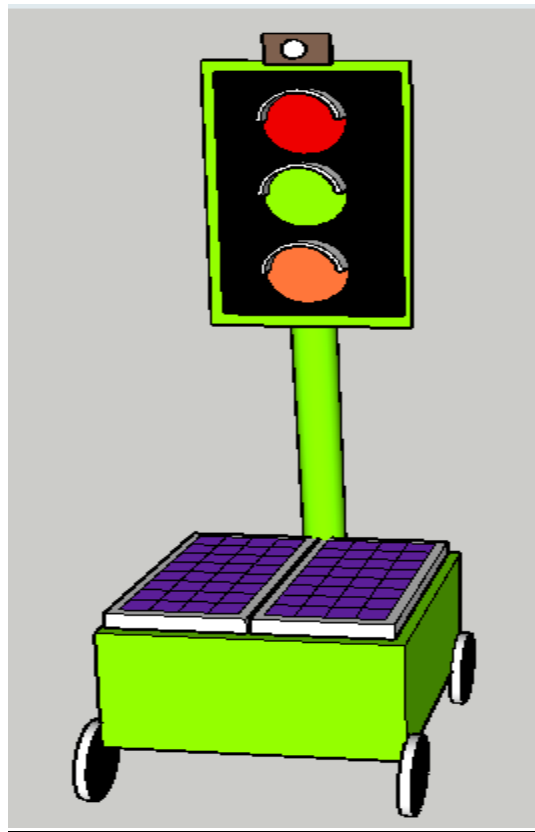


Figura 10. Modelo del semáforo.

La construcción de la parte física se divide en 2 partes principales que son:

3.1.1 Base: La base soporta el peso del semáforo y facilita su transporte, se construyó con 6 piezas de metal unidas entre sí en forma de cajón, dentro de este se ubica la batería de gel de ciclo profundo y sobre él reposan los 2 paneles solares, a esta base se le adaptaron dos ruedas que permiten su transporte, todo el exterior fue pintado con pintura electrostática para proteger las partes del deterioro que causan los rayos del sol y las lluvias, en su interior se ubica la batería de ciclo profundo y en la parte superior se ubican los paneles solares, de forma que reciban la máxima cantidad de luz.

3.1.2 Cuerpo: Está constituido por el soporte y la cabeza del semáforo, la cabeza se hizo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

con láminas metálicas en forma de cajón similar a la base de tamaño más reducido con 3 aberturas circulares de la misma medida, dentro de esta pieza se ubican las tres luces de indicación de forma que queden visibles desde el exterior por cada abertura, en el exterior se instaló una visera metálica y un lente plástico transparente para cada luz con el fin de mejorar su visibilidad, el soporte es el que le da altura a la cabeza, mejor visualización y unión con la base. Este cuerpo es un tubo metálico, hueco en el interior de 90 cm de largo, con el cual se puede alcanzar una máxima altura de 3 metros, dentro de este se conectan las luces y la cámara web con el circuito de control y alimentación. En la parte más alta del semáforo sobre el cuerpo se ubica la cámara web que captura en video la circulación de los vehículos.

Continuando con el cronograma se procedió a construir los circuitos de las luces, para las 3 indicaciones luminosas rojo, amarillo y verde se diseñaron circuitos con 63 leds de 10mm de alto. Luego se diseñó el circuito de control y el acople para conectar estas partes con el resto del sistema, finalizando con el montaje de todas las partes en el chasis. A continuación se muestran en las figuras 11, 12 y 13 algunas de las partes del cuerpo del semáforo y sus características en la tabla 2.

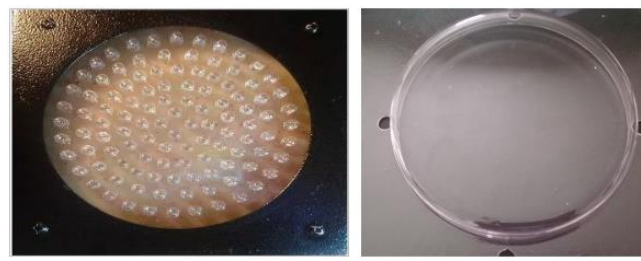


Figura 11. Leds y placa de contraste.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 12. Parte superior del semáforo.



Figura 13. Base móvil.

Altura Máxima	3 m
Voltaje/Potencia lumínica LEDS	Rojo: 13800 mcd Verde: 13800 mcd Amarillo: 6300 mcd
Voltaje de operación LEDS	3 V
Consumo de potencia	10W hora
Peso	47 Kg

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Estructura	Metal
Batería	Gel de ciclo profundo de 100 A, 12 V
Distancia máxima de comunicación entre semáforos	100 m

Tabla 2. Características técnicas del semáforo.

3.2 Conteo Vehicular: Al comienzo de la investigación se empezó por profundizar en la literatura para analizar los algoritmos que pudieran aportar en la solución del problema, para luego seleccionar los algoritmos que tuvieran mejores características según nuestras necesidades teniendo en cuenta el problema.

Se concluyó que los algoritmos que más aportan a la solución del problema son el clasificador de Haar y la sustracción de fondo, luego de esto se inició la tarea de implementar estos dos algoritmos para evaluar con cual se logran mejores resultados.

3.2.1 Captura de la imagen: Para la captura de la imagen se grabaron diferentes videos de 40 segundos de duración bajo condiciones de iluminación variables, entre las 10:00 AM y las 5:00 PM, estos videos se grabaron desde un puente peatonal ubicado en la autopista norte de la ciudad de Medellín, el cual cuenta con una altura promedio de 4.9 metros, a esta altura se le suma la altura del piso del puente hasta la ubicación de la cámara, logrando así una altura total aproximada de 5.5 metros, los videos se grabaron utilizando un celular samsung galaxy J7 el cual cuenta con una cámara de 13 megapixeles. En la figura 14 se pueden observar algunas de las capturas obtenidas a partir de los videos.


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22




Figura 14. Imágenes obtenidas.

3.2.2 Preprocesamiento.

Selección del área de interés: Con el ánimo de no procesar regiones que no hacen parte de la vía o que no brinden información suficiente para considerarlas como parte de la imagen, se seleccionó un área de interés, para la cual se deben ingresar las coordenadas de 4 puntos de la imagen que la definen. Teniendo los 4 puntos de la imagen se procede a generar una nueva imagen (máscara), mediante la unión de los 4 puntos de la siguiente manera, generando así un cuadrilátero el cual se puede observar en la figura 15.

P1 con P2, P2 con P3, P3 con P4 y P4 con P1

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

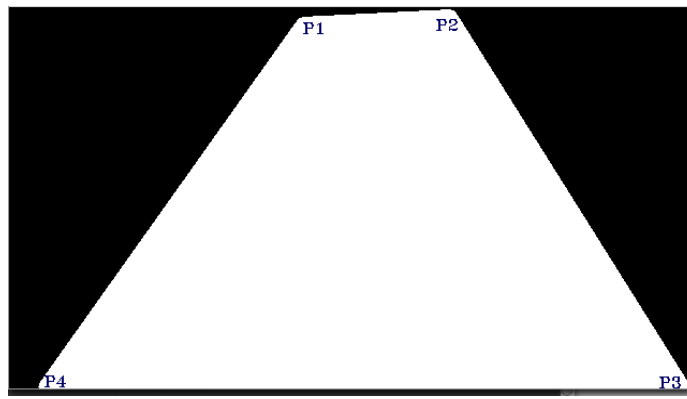


Fig 15. Imagen Máscara.

Luego de tener la imagen máscara se realiza una operación AND entre la imagen a procesar y la imagen máscara, en la figura 16a se muestra el área de interés, mientras en la figura 16b se muestra el resultado de la aplicación de la máscara.



Figura 16. a) area de interes. b) resultado de aplicación de la máscara.

Luego de realizar la captura y preprocesamiento de la imagen se comienza a implementar los algoritmos de clasificación:

Algoritmo Clasificador Haar:

Extracción de Características: Se realiza la extracción de características apoyándonos de los filtros con bases Haar ya que estos filtros se pueden calcular sobre la imagen integral y son selectivos en la orientación espacial y frecuencia, y permiten ser modificados en

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

escala y orientación. Los filtros con bases Haar, realizan una codificación de diferencia de intensidades en la imagen, generando características de contornos, puntos y líneas, mediante la captura de contraste entre regiones.

3.2.3 Clasificador: Para clasificar los vehículos se usó el boosting que consiste en tomar una serie de clasificadores débiles y combinarlos para construir un clasificador fuerte con la precisión deseada. En este caso se usó la clase CascadeClassifier de la librería de OpenCV, en la cual para entrenar al clasificador fue necesario tener una gran cantidad de imágenes positivas y negativas, por lo cual fue necesario convertir los videos obtenidos en imágenes, con este proceso se obtuvieron 192 imágenes. En la figura 17 se muestra una imagen del video.



Figura 17. Imagen de la vía.

Luego se recortaron las imágenes seleccionando las positivas y las negativas según nuestro propio criterio, posteriormente se convirtieron las imágenes a escala de grises, ya que el clasificador así lo requiere, a continuación en las figuras 18 y 19 se puede ver el resultado de este proceso:



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 18. Imágenes positivas.



Figura 19. Imágenes negativas.

Se obtuvieron 408 imágenes positivas y 397 imágenes negativas, obteniendo así una base de datos con un total de 805 imágenes para entrenar el clasificador.

Seguimiento y conteo de vehículos: Para hacer el seguimiento se guarda cada punto donde fue detectado el vehículo y si el vehículo acumula más de 4 puntos consecutivos y logra cruzar la línea color cian se aumentará en una unidad el contador de vehículos, como se muestra en la siguiente figura:

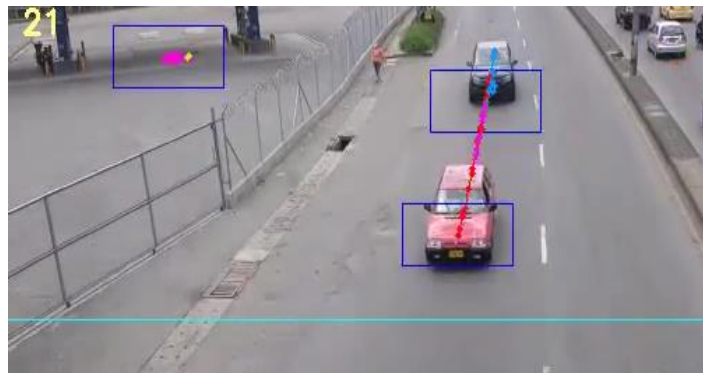


Figura 20. Seguimiento de vehículos.

Algoritmo de Sustracción de fondo: Para aplicar este método se obtuvo una imagen referencia, de la calle donde se desea detectar los vehículos, esta imagen fue tomada en un momento donde no circulaban vehículos, en la figura 21 se puede observar la imagen referencia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

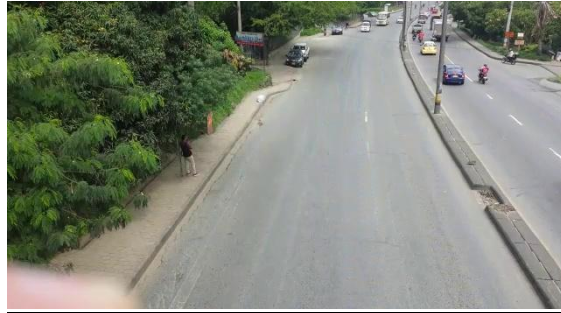


Figura 21. Imagen referencia.

Luego de tener la imagen referencia se procede con obtener una imagen donde se desea detectar vehículos, para restarla con la imagen referencia. En la figura 22 se puede observar la imagen en donde se desea detectar vehículos.



Figura 22 . Imagen deseada para realizar la detección.

Al tener la imagen de la vía, donde circulan los vehículos, se procede a restar con la imagen referencia, mediante una operación de resta entre píxeles, obteniendo así una sustracción de fondo, como se muestra en la figura 23.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 23. Sustracción de fondo.

Al haber hecho la sustracción de fondo se aplican las operaciones morfológicas, para las cuales se usó un kernel de (2,2)

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Usando este kernel se aplicó un erosión, un cierre y por último una apertura, obteniendo el resultado de la figura 24.

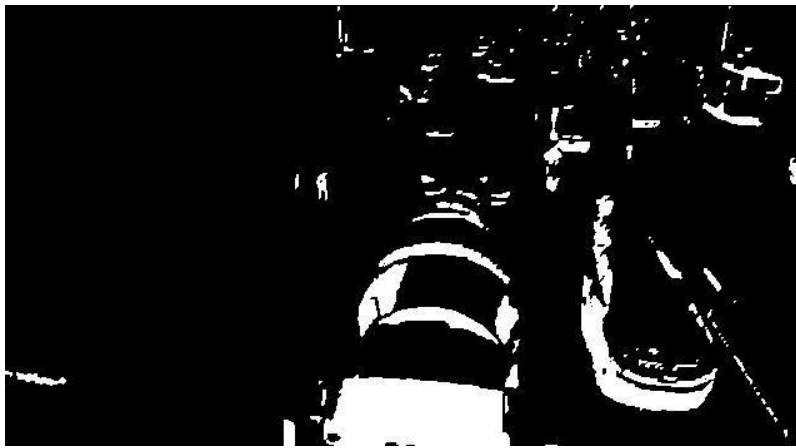


Figura 24. Sustracción de fondo con operaciones morfológicas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Al tener la imagen segmentada, se agruparon los píxeles del primer plano, obteniendo así todos los blobs de la imagen. Al tener los blobs se aplicó un filtro geométrico, en el cual se descartaron los blobs que tuvieran alguno de los lados del rectángulo que lo envolvía menor a 41 píxeles. En la figura 25 se muestra en color verde los blobs que no tienen los lados del rectángulo mayor a 41 píxeles y en color azul los que sí.



Figura 25. Blobs que cumple o no cumple los criterios.

3.3 Control.

3.3.1 Tasa del flujo (q): La tasa del flujo representa la frecuencia a la cual pasan los vehículos por el punto de un carril. La tasa de flujo es pues el número de vehículos N que pasan durante un intervalo de tiempo específico T a una hora, expresada en veh/seg.

La tasa entonces se calcula con la siguiente expresión:

$$q = \frac{N}{T}$$

3.3.2 Sistema de control: El sistema de control es el encargado de decidir a qué carril se le debe dar prioridad, teniendo en cuenta el flujo vehicular de ambos carriles y el contador

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

(Tiempo mínimo de permanencia en verde), el esquema lógico del sistema de control se muestra en la figura 26.

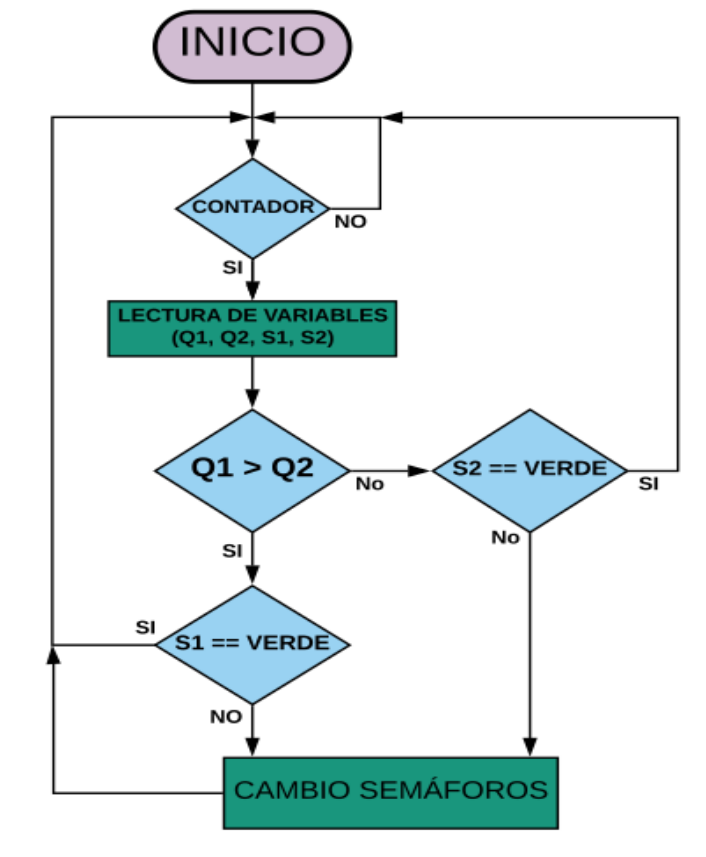



Figura 26. Esquema sistema de control.

Se definió una variable llamada CONTADOR, la cual se debe definir para indicar el tiempo mínimo en el cual un semáforo debe estar en indicador de color verde. El sistema verifica las variables Q1(Flujo del semáforo 1) y Q2(Flujo del semáforo 2) y también mira el estado de cada semáforo. Si Q1 es mayor a Q2 el semáforo 1 se pondrá en verde, de lo contrario lo hará el semáforo 2, todo esto siempre y cuando ya haya pasado el tiempo definido en la variable contador.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación del sistema se midieron diferentes aspectos como el tiempo de ejecución, efectividad, error y conteo.

4.1 Tiempo de ejecución: Durante el proceso de detección y conteo de los vehículos se puede tener mayor consumo de recursos computacionales, este proceso puede dar al sistema cierta lentitud en la toma de datos y adicional a esto puede volverlo menos preciso. Para determinar el desempeño del método propuesto se midió el tiempo que tarda cada video realizando las tareas de procesamiento y se realizó una tabla en la que se muestra este tiempo de ejecución con el tiempo de la grabación. Los resultados de estos tiempos son presentados en la Tabla 3.

Video	Duración del video en minutos	Tiempo de ejecución en minutos
1	8:00	6:34
2	9:20	8:10
3	3:00	2:13
4	8:00	6:23
5	9:00	7:50
6	8:10	6:14
7	7:00	5:21
8	9:00	8:19

Tabla 3. Tiempo de duración de los videos y tiempo de procesamiento.

El tiempo de procesamiento depende de la cantidad de objetos capturados que intervienen en el video, por esto a mayor cantidad de objetos el algoritmo debe realizar una mayor cantidad de comparaciones y por lo tanto toma mayor tiempo su ejecución. En general se observa en los resultados obtenidos que todos los videos fueron procesados en un tiempo menor al tiempo total del video, esto indica que el método usado puede

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

realizar todo el procesamiento de los videos en tiempo real.

4.2 Conteo Vehicular: En las pruebas del conteo de vehículos se obtuvieron los siguientes resultados:

Al finalizar el procesamiento de todos los videos se procedió a revisar la información para validar la eficiencia del método propuesto. Se realizó el conteo vehicular de modo manual y de forma automática en los 8 videos deteniendo la reproducción cada vez que se detectaba un vehículo, de esta manera fue más fácil clasificar el conteo en los siguientes 4 grupos:

- Verdadero Positivo: son los casos que pertenecen a la clase y el clasificador los definió en esa clase.
- Verdaderos Negativos: son los casos que no pertenecen a la clase y el clasificador definió que no pertenecen a esa clase.
- Falso Positivo: son los casos que no pertenecen a la clase pero el clasificador los definió en esa clase.
- Falso Negativo: son los casos que sí pertenecen a la clase y el clasificador no los definió en esa clase.

La siguiente tabla presenta un resumen de los resultados obtenidos:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

VIDEO		1	2	3	4	5	6	7	8
Conteo Manual	Carros	104	94	168	155	146	103	160	195
	No Carros	9	10	7	15	5	7	12	8
Conteo Automático	Verdaderos Positivos	100	90	150	128	130	84	148	177
	Verdaderos Negativos	6	7	6	10	3	5	7	4
	Falsos positivos	3	3	1	5	2	2	5	4
	Falsos Negativos	4	4	18	27	16	19	12	18

Tabla 4: Conteo vehicular.

4.3 Cálculo del error.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se puede realizar el cálculo del porcentaje de error, este cálculo se realizó con respecto al conteo manual. El porcentaje de error por video se calculó mediante la siguiente fórmula:

CM = Conteo Manual

$$\frac{CM-CA}{CM} * 100 = Error \quad CA = \text{Conteo Automático}$$

Luego de calcular el porcentaje de error de cada video se pudo obtener la tabla 5.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO				Código	FDE 089
					Versión	03
					Fecha	2015-01-22

Videos	1	2	3	4	5	6	7	8
Conteo Manual	104	94	168	155	146	103	160	195
Conteo Automático	100	90	150	128	130	84	148	177
% Error	3.84	4.25	10.714	17.41	10.95	18.44	7.5	9.23

Tabla 5: Porcentaje de error por video.

Luego de esto se calcula el Accuracy y la Precisión de cada video con la siguiente fórmula, los resultados se presentan en la tabla 6.

$Vp = \text{Verdadero positivo}$

$Fp = \text{Falso positivo}$

$Vn = \text{Verdadero negativo}$

$Fn = \text{Falso negativo}$

$$\frac{VP + Vn}{Vp + Vn + Fp + Fn} * 100 = Accuracy$$

Verdaderos Positivos	100	90	150	128	130	84	148	177
Verdaderos Negativos	6	7	6	10	3	5	7	4
Falsos positivos	3	3	1	5	2	2	5	4
Falsos Negativos	4	4	18	27	16	19	12	18
Accuracy (%)	93.8	93.2	89.1	81.1	88	80.9	90.1	89.1
Precisión (%)	97	96.7	99.3	96.2	98.4	97.6	96.7	97.7

Tabla 6: Porcentaje de Accuracy y precisión por video.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la figura 27 se observa la comparación entre el conteo manual y automático.

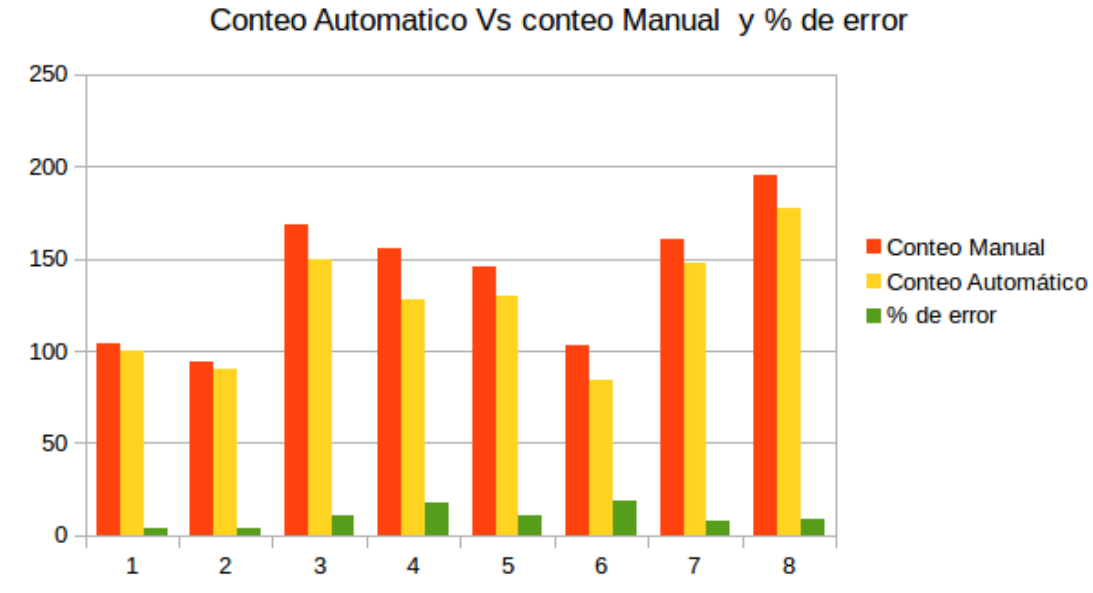


Figura 27. Conteo Manual Vs Automático.

Analizando la anterior gráfica se puede deducir que el porcentaje de error que se obtiene entre el conteo manual y automático en los 8 videos no depende del flujo vehicular, ya que por ejemplo en el video 8 que es donde mayor flujo vehicular se presenta, el porcentaje de error fue menor que otros videos en los que se presenta menor flujo; y en el video 2 dónde menor flujo vehicular se registró el porcentaje de error no fue el menor.

Se hicieron pruebas de especificidad y sensibilidad con el fin de tener un valor estadístico que representa la efectividad del sistema, los valores de especificidad indican la capacidad que se tiene para encontrar casos negativos y los de sensibilidad indican la capacidad de encontrar casos positivos, además de esto se obtuvieron los valores predictivos positivos y los valores predictivos negativos con las siguientes fórmulas:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\text{Sensibilidad} = \frac{Vp}{Vp+Fn}$$

$$\text{Especificidad} = \frac{Vn}{Vn+Fp}$$

$$\text{Valor predictivo positivo} = \frac{Vp}{Vp+Fp}$$

$$\text{Valor predictivo negativo} = \frac{Vn}{Vn+Fn}$$

Los resultados de estas pruebas se presentan a continuación en la tabla 6:

Videos	1	2	3	4	5	6	7	8
VPP (%)	98.04	96.77	92.59	88.27	94.2	89.36	96.73	92.67
VPN (%)	66.66	87.5	50	52.63	36.36	69.23	35	21.05
Sensibilidad (%)	97.08	98.9	95.15	93.43	90.27	95.45	91.92	92.18
Especificidad (%)	75	70	33.33	37.04	50	47.36	58.33	22.22

Tabla 6. Valores predictivos de la prueba.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Según los resultados obtenidos se puede concluir que el sistema trabaja de manera satisfactoria como una herramienta para regular el flujo de vehículos con el uso de los elementos físicos y de software descritos en el marco teórico.
- El semáforo cumple con las condiciones propuestas inicialmente de ser portátil y de contener todo el hardware necesario para trabajar de forma continua siendo alimentado por medio de paneles solares.
- Las técnicas de preprocesamiento y segmentación utilizadas en este trabajo se consideran acertadas porque según los resultados permiten capturar e identificar de manera satisfactoria los vehículos manteniendo un porcentaje de error aceptable.
- Se presentan errores en el conteo cuando dos o más vehículos circulan muy cerca uno del otro, especialmente cuando viene uno detrás del otro, lo cual hace que desde la posición de la cámara se realice el registro de un solo vehículo de gran tamaño, también se presentan errores de conteo cuando la sombra de un vehículo muy grande cubre a otro vehículo de menor tamaño, cuando ocurre este caso también se realiza solo el registro de un vehículo en circulación.
- El sistema de clasificación ha sido implementado haciendo uso del algoritmo de clasificación en cascada utilizando una base de datos de imágenes con vehículos y otros elementos que se encuentran en una vía, gracias a este algoritmo se obtuvieron resultados muy precisos de conteo, aunque cabe resaltar que se puede mejorar un poco los resultados si se modifican las técnicas implementadas.
- El algoritmo propuesto en este método presenta valores alrededor del 90% de tasa de detección, 3% de falsos positivos y tiempos de ejecución aceptables. Para los

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

resultados obtenidos el algoritmo se considera eficiente ya que aumenta el porcentaje de detección comparado con otros algoritmos planteados utilizando la misma técnica.

Trabajos futuros.

Se recomienda realizar la captura de las imágenes mediante un tipo de cámara especializado para trabajo en exteriores y ambientes con iluminación variables para tener una captura más precisa de las imágenes.

El modelo del semáforo puede ser mejorado en cuanto a la ubicación del panel solar, ya que el implementado pierde un poco de iluminación cuando recibe la sombra de su propia estructura.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

<http://www.undp.org/content/undp/es/home/presscenter/articles/2012/11/23/solmaforos-novedosa-iniciativa-para-medir-los-rayos-ultravioleta-en-ciudades-de-colombia.html>

Álvarez V. (2015). El Colombiano. Medellín. Por cada 3 habitantes hay un vehículo rodando en Medellín. Recuperado de: <http://www.elcolombiano.com/antioquia/movilidad/en-medellin-transita-un-carro-por-cada-tres-habitantes-EB3232363>

Betke, M., Haritaoglu, E., & Davis, L. S. (1996, September). Multiple vehicle detection and tracking in hard real-time. In Intelligent Vehicles Symposium, 1996., Proceedings of the 1996 IEEE (pp. 351-356).

Caballero Barriga, E. R. Aplicación Práctica de la Visión Artificial para el Reconocimiento de Rostros en una Imagen, Utilizando Redes Neuronales y Algoritmos de Reconocimiento de Objetos de la Biblioteca OPENCV.

Chan, M. J. M. (2006). Sistema automático de conteo y clasificación de flujo vehicular basado en secuencias de video y redes neuronales artificiales.

Delgado Rodríguez, M. (2012). Extracción automática de caras en imágenes captadas con móviles Android.

ESPARZA, J. E. M. ANÁLISIS DE TRÁFICO VEHICULAR USANDO VISIÓN ARTIFICIAL EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO

Espinosa, O., José, A., & Mafla Medina, G. M. (2014). Estudio de los algoritmos de reconocimiento de patrones para la automatización de un semáforo inteligente mediante

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FPGAs (Bachelor's thesis).

Espinoza Vásquez, G. A. J. (2014). Sistema de reconocimiento de patrones en placas vehiculares para el acceso automático de visitas a un edificio.

Fernandez, (2010). La Energía Solar Fotovoltaica. Consultado en: <http://www.nuevasenergias.eu/energiasolarfotovoltaica.php>, 26.

Formación, E. (2007). Energía solar fotovoltaica. FC Editorial.

Franco, L. (2014). Aplicación de Simulación en el Control de Tráfico, una Propuesta para Ciudad del Este. FPUNE Scientific, 4(4).

Freund, Y., & Schapire, R. (1999). A short Introduction to Boosting. Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, 14(5), 771-780.

Garnique, L. A. V., Cabrera, H. I. M., Chavarry, K. L. V., & Barco, M. J. V. (2014). Visión artificial: Aplicación de filtros y segmentación en imágenes de hojas de café. Revista Científica INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación, 1(2), 71. pag76

Gómez, E. Mejora del tráfico en un cruce regulado por semáforos, mediante un sistema basado en Visión Artificial.

Granados, A. F., & Marin, J. I. (2007). Detección de flujo vehicular basado en visión artificial. Scientia et technica, 3(35), 163-168.

Gupte S., Masoud O., Martin R.F.K., and Papanikolopoulos N.P., 2002, Detection and classification of vehicles, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.3, No.1, pp.37–47.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Hsieh, J. W., Yu, S. H., Chen, Y. S., & Hu, W. F. (2006). Automatic traffic surveillance system for vehicle tracking and classification. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(2), 175-187.

Hoose, N. *Computer image processing in traffic engineering*. United States: N. p., 1991. Web.

Koranne, S. (2011). GNU/Linux Operating System. *Handbook of Open Source Tools*, 3-34.

Lamigueiro, O. P. (2013). *Energía solar fotovoltaica*. Creative Commons ebook.

Martínez-Nistal, Á., & Sampedro, A. (1995). *Introducción al Proceso Digital de Imágenes. Técnicas de fluorescencia en microscopía y citometría*, (3), 31.

Leal, N., Leal, E., & Willian Branch, J. (2010). Sistemas de monitoreo de tránsito vehicular basados en técnicas de segmentación de imágenes. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 7(3).

Matich, D. J. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones*. Cátedra de Informática Aplicada a la Ingeniería de Procesos–Orientación I.

Mayhua-Lopez, E., Gómez-Verdejo, V., & Figueiras-Vidal, A. R. (2012). Real Adaboost with gate controlled fusion. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 2003-2009.

McShane, C. (1999). The origins and globalization of traffic control signals. *Journal of Urban History*, 25(3), pag 387.

Montes, N., Osorio, G. U. S. T. A. V. O., Prieto, F. L. A. V. I. O., & Angulo, F. A. B. I. O. L. A.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

(2001). La visión artificial aplicada al proceso de producción del café. Dyna, 133, 41-49. pag43

Moreno, R. J., Sánchez, O. F. A., Valcárcel, F. A. E., & Chaves, C. A. G. (2012). Controlador de Tráfico Inteligente con Prelación para Vehículos de Emergencia. Ingeniería, 17(1), 1-11.

Múnara Salazar, L. E., & Andrés, M. H. D. (2012). Sistema de visión artificial para conteo de objetos en movimiento. El Hombre y la Máquina, No. 40-2012, 40, 87-101. pag91

Nagabhushana, S. (2005). Computer vision and image processing. New Age International. pag2

OpenCv, O. (Enero de 2017). Face Detection using Haar Cascades. Obtenido de OpenCV Docs: http://docs.opencv.org/trunk/d7/d8b/tutorial_py_face_detection.html

Pajares, G., & De La Cruz, J. M. (2004). A wavelet-based image fusion tutorial. Pattern recognition, 37(9), 1855-1872.

Papageorgiou, C. P., Oren, M., & Poggio, T. (1998). A general framework for object detection. . Sixth international conference In Computer vision. IEEE., 555-562.

Parra Barrero, E. (2015). Aceleración del algoritmo de Viola-Jones mediante rejillas de procesamiento masivamente paralelo en el plano focal. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Electrónica Robótica y Mecatrónica (pp. 68).

Platero, C. (2009). Apuntes de visión artificial. Departamento de Electrónica, Automática e Informática Industrial.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Portillo-Portillo, J., Sánchez-Pérez, G., Olivares-Mercado, J., & Pérez-Meana, H. (2014). Detección de movimiento de vehículos en secuencias de video basados en la diferencia absoluta entre fotogramas y la combinación de bordes. *Información tecnológica*, 25(5), 129-136.

Prieto Valdés, M. A. (2010). Algoritmo para conteo vehicular en tiempo real con base en franjas de interés (Bachelor's thesis).

RANGEL, J. E. S., BEJARANO, Y. M. A., MORENO, D. C., PEÑA, J. F., DE PRODUCCION, G. E. S. T. I. O. N., & GOMEZ, C. J. A. Y.

Renovables, E. (2010). La Energía Solar Fotovoltaica. Consultado en: <http://www.nuevasenergias.eu/energiasolarfotovoltaica.php>, 26.

R. M. Iiiigo, "Traffic monitoring and control using machine vision: a survey," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Aug. 1985.

Rocha, C., & Escorcía, J. (2010). Sistema de Visión Artificial para la Detección y el Reconocimiento de Señales de Tráfico basado en Redes Neuronales. In 8th LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCER'2010).

Rodríguez, H., VINTIMILLA, B. X., & VERA, R. (2012). Detección y extracción de placas de vehículos en señales de video. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 25(1).

Rondoy, G., Alexander, E., & Ubillús Vásquez, M. Á. (2014). Diseño de un sistema de semaforización para la avenida José de Lama de Sullana basada en paneles solares y tecnología led.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Salgueiro, F. A., Costa, G., Cánepa, S., Lage, F. J., Kraus, G., Figueroa, N., & Cataldi, Z. (2006). Redes Neuronales para predecir la aptitud del alumno y sugerir acciones. In VIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.

Salinas, J. R. T., Salas, J., & Raducanu, B. Estado del arte en sistemas de visión artificial para personas invidentes. *Cómputo consciente del comportamiento: la tercera ola del cómputo ubicuo*.

Sánchez, J. S. (2002). *Avances en robótica y visión por computador*. Castilla: Univ de Castilla La Mancha.

Sun, Z., Bebis, G., & Miller, R. (2006). On-road vehicle detection: A review. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 28(5), 694-711.

Trávez Toca, I. A., Soria, V., & Fernando, D. (2016). Diseño e implementación de un sistema para la medición de flujo vehicular utilizando visión por computador bajo software libre usando tecnología Raspberry PI (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento de Eléctrica y Electrónica. Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación.).

Valencia López, J. M., & Abril Cañas, M. (2007). Registro de transeúntes en tiempo real utilizando un sistema de visión artificial sobre un ambiente controlado (Bachelor's thesis, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira). pag4

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Valverde, Jorge. Detección de bordes mediante el algoritmo de Canny. 2009.
[http://www.seccperu.org/files/Detecci%C3%B3n deBordes-Canny.pdf](http://www.seccperu.org/files/Detecci%C3%B3n%20deBordes-Canny.pdf)

Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on (Vol. 1, pp. I-I). IEEE.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES



Sebastián García Aristizabal
CC: 1214716727



Alejandro Sarrazola Caro
CC: 1152684885

FIRMA ASESOR



91386332

FECHA ENTREGA: 29-08-2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____