



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**ASISTENTE VEHICULAR PARA PERSONAS CON DÉFICIT DE
ATENCIÓN O DALTONISMO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

DAVID ALEXANDER SALVADOR MOSQUERA

DIRECTOR: ING. GUILLERMO MOSQUERA CANCHINGRE

Quito, Febrero 2020

© Universidad UTE 2020.

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1718312471
APELLIDO Y NOMBRES:	SALVADOR MOSQUERA DAVID ALEXANDER
DIRECCIÓN:	ESPINOSA POLT OE4-396 Y LA PRENSA
EMAIL:	dsalvador94@outlook.com
TELÉFONO FIJO:	2590992
TELÉFONO MOVIL:	0958870815

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ASISTENTE VEHICULAR PARA PERSONAS CON DÉFICIT DE ATENCIÓN O DALTONISMO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL
AUTOR O AUTORES:	DAVID ALEXANDER SALVADOR MOSQUERA
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	12/02/2020
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	GUILLERMO MOSQUERA
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERA MECATRÓNICA
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>El presente proyecto describe el diseño de un asistente vehicular que detecta semáforos e identifica el estado en que se encuentra el mismo mediante visión artificial para posteriormente informar al usuario. Se utilizó la metodología mecatrónica fundamentada en el modelo en V para desarrollar el prototipo del asistente vehicular, primero se definieron los requerimientos del sistema basándose en el estado del arte. Con los requerimientos establecidos, se realizó un diseño conceptual, para proceder a establecer el diseño específico. En el diseño específico se diseñaron la carcasa y el soporte de la cámara, se seleccionaron la cámara y la unidad de procesamiento, se desarrolló el algoritmo de programación que permite reconocer los semáforos y la interfaz que</p>

permite notificar, en esta etapa del diseño también se delimitó el rango de los colores a detectar asignando un mínimo y un máximo de trabajo a los colores verde, amarillo y rojo, además, se determinó el área de trabajo para eliminar el ruido en la imagen. Se realizó la integración de todos los componentes del sistema para verificar que se cumplan con todos los requerimientos planteados inicialmente. Igualmente, se verificó que el rango de los colores a detectar se haya delimitado correctamente. Se sometió al asistente vehicular a pruebas de funcionamiento. Finalmente, se obtuvo un prototipo de asistente vehicular para personas con déficit de atención o daltonismo mediante visión artificial, el cual es capaz de detectar semáforos e identificar el estado en el que se encuentra el mismo para notificar e informar al usuario.

PALABRAS CLAVES:

Cámara, imagen, visión artificial, asistente vehicular, semáforo.

ABSTRACT:

This project describes the design of a driver assistant that detects traffic lights, identifies the color of the lights by artificial vision and notifies the user. The V-model based mechatronic methodology was used to develop the prototype of the vehicular assistant starting with the system requirements which were based on the state of the art. Following this, conceptual design was made, then the specific design was established. At this stage the case was designed such as the camera support, the camera and the processing unit were selected; the programming algorithm that allows to recognize the traffic lights and the interface that allows to notify was developed; the range of colors was determined to detect assigning a minimum and a maximum of work to the green, yellow and red colors; in addition, the work area was delimited to eliminate noise in the image. The integration of all system components was carried out which it was possible to verify that all requirements satisfied as raised at the beginning. In the same way, it was verified that the range of the colors to detect was correctly delimited. Then, the vehicular assistant was submitted to a experimental test phase. Finally, a vehicle assistant prototype was obtained for people with attention deficit or color blindness through artificial vision, which is able to detect and identify the state of traffic lights and notify the user.

KEYWORDS

camera, image, artificial vision, driver assistant,
traffic light.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 
SALVADOR MOSQUERA DAVID ALEXANDER
C.I.: 1718312471

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **SALVADOR MOSQUIERA DAVID ALEXANDER**, Ci: 1718312471 autora del proyecto titulado: **“ASISTENTE VEHICULAR PARA PERSONAS CON DÉFICIT DE ATENCIÓN O DALTONISMO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 12 de febrero del 2020

f: _____

SALVADOR MOSQUER DAVID ALEXANDER

C.I.: 1718312471

DECLARACIÓN

Yo **DAVID ALEXANDER SALVADOR MOSQUERA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



David Alexander Salvador Mosquera

1718312471

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **“ASISTENTE VEHICULAR PARA PERSONAS CON DÉFICIT DE ATENCIÓN O DALTONISMO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL”**, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **David Alexander Salvador Mosquera**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Guillermo Alfredo Mosquera Canchingre

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I.: 0802613059

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA	13
2.1 Requerimientos	15
2.2 Diseño Conceptual	15
2.3 Funcionamiento del asistente vehicular	16
2.4 Diseño Específico.....	17
2.4.1 Selección de la unidad de procesamiento	17
2.4.2 Selección de la cámara	17
2.4.3 Diseño de la carcasa y el soporte de la cámara.	18
2.4.4 Desarrollo del algoritmo de programación y del interfaz	18
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
CONCLUSIONES	28
RECOMENDACIONES	28
Bibliografía	29

ÍNDICE DE TABLA

	PÁGINA
Tabla 1. Comparación entre ordenadores Raspberry	17
Tabla 2. Matriz de confusión general.....	23
Tabla 3. Resultados de la matriz de confusión general	24
Tabla 4. Matriz de confusión en días soleados.....	24
Tabla 5. Resultados de la matriz de confusión en días soleados.....	25
Tabla 6. Matriz de confusión en días nublados.....	25
Tabla 7. Resultados de la matriz de confusión en días nublado.	25
Tabla 8. Matriz de confusión parcialmente nublado.....	25
Tabla 9. Resultados de la matriz de confusión en días parcialmente nublado.	26

ÍNDICE DE FIGURA

	PÁGINA
Figura 1. Siniestros por causas probables a nivel nacional.	4
Figura 2. Diagrama de bloques de las etapas típicas en un sistema de visión artificial.....	6
Figura 3. Detección de Peatones.	8
Figura 4. Google Driverless Car.	9
Figura 5. MINI Vision Next 100.	9
Figura 6. Modelo en V.....	14
Figura 7. Diagrama de requerimientos.	15
Figura 8. Estructura general del proyecto.	15
Figura 9. Estructura básica del sistema	16
Figura 10. Estructura de conexiones internas	16
Figura 11. Diagrama de caso de uso de los usuarios.....	17
Figura 12. Asistente vehicular para personas con déficit de atención o daltonismo.....	18
Figura 13. Flujograma del algoritmo de programación del asistente vehicular	19
Figura 14. Interfaz.....	20
Figura 15. Rutas de Pruebas	22
Figura 16. Posicionamiento del asistente vehicular	22
Figura 17. Grafica comparativa de resultados.	26

RESUMEN

El presente proyecto describe el diseño de un asistente vehicular que detecta semáforos e identifica el estado en que se encuentra el mismo mediante visión artificial para posteriormente informar al usuario. Se utilizó la metodología mecatrónica fundamentada en el modelo en V para desarrollar el prototipo del asistente vehicular, primero se definieron los requerimientos del sistema basándose en el estado del arte. Con los requerimientos establecidos, se realizó un diseño conceptual, para proceder a establecer el diseño específico. En el diseño específico se diseñaron la carcasa y el soporte de la cámara, se seleccionaron la cámara y la unidad de procesamiento, se desarrolló el algoritmo de programación que permite reconocer los semáforos y la interfaz que permite notificar, en esta etapa del diseño también se delimitó el rango de los colores a detectar asignando un mínimo y un máximo de trabajo a los colores verde, amarillo y rojo, además, se determinó el área de trabajo para eliminar el ruido en la imagen. Se realizó la integración de todos los componentes del sistema para verificar que se cumplan con todos los requerimientos planteados inicialmente. Igualmente, se verificó que el rango de los colores a detectar se haya delimitado correctamente. Se sometió al asistente vehicular a pruebas de funcionamiento. Finalmente, se obtuvo un prototipo de asistente vehicular para personas con déficit de atención o daltonismo mediante visión artificial, el cual es capaz de detectar semáforos e identificar el estado en el que se encuentra el mismo para notificar e informar al usuario.

Palabras Clave: cámara, imagen, visión artificial, asistente vehicular, semáforo.

ABSTRACT

This project describes the design of a driver assistant that detects traffic lights, identifies the color of the lights by artificial vision and notifies the user. The V-model based mechatronic methodology was used to develop the prototype of the vehicular assistant starting with the system requirements which were based on the state of the art. Following this, conceptual design was made, then the specific design was established. At this stage the case was designed such as the camera support, the camera and the processing unit were selected; the programming algorithm that allows to recognize the traffic lights and the interface that allows to notify was developed; the range of colors was determined to detect assigning a minimum and a maximum of work to the green, yellow and red colors; in addition, the work area was delimited to eliminate noise in the image. The integration of all system components was carried out, in which it was possible to verify that all requirements were satisfied as raised at the beginning. In the same way, it was verified that the range of the colors to detect was correctly delimited. Then, the vehicular assistant was submitted to an experimental test phase. Finally, a vehicle assistant prototype was obtained for people with attention deficit or color blindness through artificial vision, which is able to detect and identify the state of traffic lights and notify the user.

Keywords: camera, image, artificial vision, driver assistant, traffic light.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se han presentado avances tecnológicos en la ingeniería, en especial los sistemas de visión artificial, que han permitido mejorar los sistemas de conducción llegando a ser vehículos autónomos.

En el Ecuador durante el año 2017 tuvieron lugar un total de 28 967 accidentes de tránsito, de los cuales 5 115 fueron ocasionados por conducir sin prestar atención a las condiciones de tránsito ocasionados por el uso de: celular, pantallas de video, comida, maquillaje o cualquier otro elemento distractor; obteniendo un 17,66% de los accidentes de tránsito, también 3 967 por no respetar las señales reglamentarias de tránsito (pare, ceda el paso, luz roja del semáforo), obteniendo un 13,69% de los accidentes de tránsito, resultando 9 082 siniestros equivalente a un 31,35% (Agencias, 2017).

Estas dos causas, a pesar de tener los porcentajes bajos, producen una gran cantidad de accidentes de tránsito y ocurren con mayor frecuencia dentro del país, como se muestra en la Figura 1.

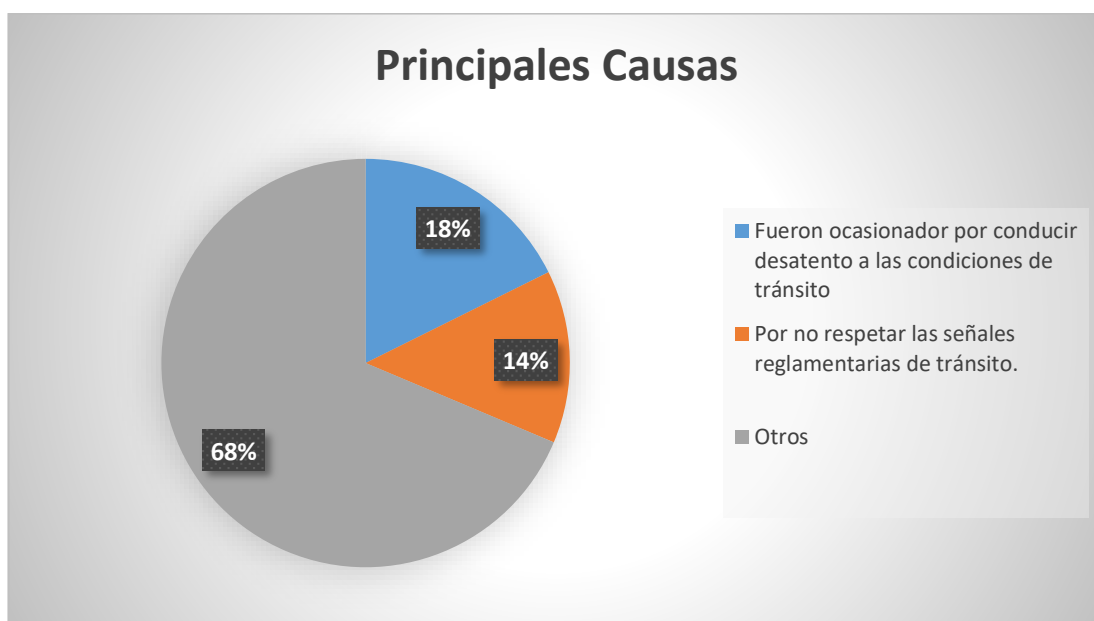


Figura 1. Siniestros por causas probables a nivel nacional.
(Agencias, 2017)

Al conducir, entre el 80% y 90% de la información se percibe por medio de los ojos. Cuanto menor es la luz que rodea, más difícil se hace diferenciar los colores. Eso ocurre a la mayoría de las personas, y no debería ser un problema para aquellos conductores que gozan de una buena salud visual. Existen determinados factores que hacen que esa percepción de los colores disminuya, aún en condiciones de buena iluminación, sin la afectación de los elementos del clima (lluvia, niebla, polvo) a esto se denomina daltonismo. Cuando la luz ambiental baja, aumenta la dificultad que tiene una persona daltónica para apreciar claramente ciertas tonalidades (Camos, 2013).

El daltonismo, discromatopsia o ceguera de color es un defecto genético que tiene una persona al no poder diferenciar los colores. El término ceguera al color es para señalar la alteración de dos formas: genética y congénita, que se presenta en un 8% en hombres y un 0.3% en mujeres; el daltonismo se denomina acromatopsia, la personas con este tipo de daltonismo no tienen visión o carece de una perfecta distinción de uno o dos colores todo esto depende del cromosoma X, por esta razón afecta en mayor número al género masculino (Zalgado Torres, 2017).

No obstante, no todas las personas que padecen de daltonismo confunden las mismas tonalidades, lo más común es que tengan dificultades para distinguir entre el verde y el rojo. Por otro lado, un daltónico puede apreciar más matices del violeta que un sujeto con visión normal (Alegría Irene, 2013).

A nivel general se pueden distinguir tres tipos de daltonismo:

- **Monocromático:** se caracteriza porque en la retina sólo tiene un cono sensitivo, por lo que únicamente ve un color.
- **Dicromático:** este hecho trae consigo que se encuentra a su vez con tres tipos de daltónicos: los que son insensibles absolutamente al rojo; los que confunden las sombras rojas, verdes y amarillas; y los que son insensibles al azul al tiempo que confunden las sombras azules y verdes.
- **Tricromático anómalo:** no logran distinguir los colores, confunden unos con otros.

La visión artificial tiene como objetivo principal la extracción de información del mundo físico a partir de imágenes (Velez Serrano, 2013).

Existen razones para creer que el primer paso de este proceso consiste en encontrar elementos más simples en los que descomponer la imagen como segmentos y arcos. Después el cerebro se encarga de interpretar la escena y por último actúa en consecuencia. La visión artificial, trata de reproducir este comportamiento, la cual se define tradicionalmente cuatro fases principales (Velez Serrano, 2013).

- La primera fase, que es totalmente sensorial, consiste en la captura o adquisición de las imágenes digitales mediante algún tipo de sensor (Velez Serrano, 2013).
- La segunda etapa consiste en el tratamiento digital de las imágenes. En esta etapa de procesamiento previo es donde, con la ayuda de filtros y transformaciones geométricas, se eliminan partes indeseables de la imagen o se realzan partes interesantes de la misma (Velez Serrano, 2013).

- La siguiente fase se conoce como segmentación; consiste en aislar los elementos que interesan de una escena para comprenderla (Velez Serrano, 2013).
- Por último, se llega a la etapa de reconocimiento o clasificación. En ella se busca distinguir los objetos segmentados, gracias al análisis de ciertas características que se establecen previamente para diferenciarlos (Velez Serrano, 2013).

Estas cuatro fases no siempre son de manera secuencial, sino que en ciertas ocasiones deben realimentarse hacia atrás como se muestra en la Figura 2. Así, es normal volver a la etapa de segmentación si falla la etapa de reconocimiento, o a la de preproceso, o incluso a la de captura. (Velez Serrano, 2013).

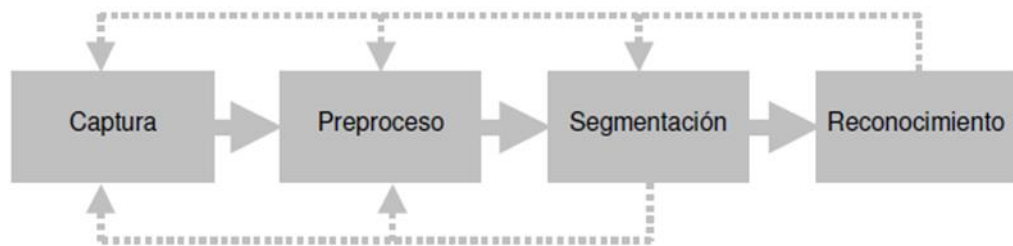


Figura 2. Diagrama de bloques de las etapas típicas en un sistema de visión artificial. (Velez Serrano, 2003)

La visión artificial en el entorno de los sistemas avanzados de ayuda a la conducción, generalmente conocido por sus siglas en inglés, ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*), que están destinados a aumentar la seguridad del automóvil y en general la seguridad vial. Los sistemas basados en visión artificial suponen un complemento potente a los sistemas clásicos que usan sensores activos, puesto que su carácter no-intrusivo evita posibles interferencias entre vehículos, ofreciendo una mayor riqueza de información (Salgado, 2014).

En un sistema de visión artificial existen varias técnicas, tales como el procesamiento de imágenes (captura, transformación, codificación de imágenes) o como el reconocimiento de formas (teoría estadística de decisiones, enfoques sintácticos y neuronales aplicados a la clasificación de patrones). En este tipo de sistemas, se incluyen técnicas de modelado geométrico y procesos de conocimiento. Sin embargo, aunque cada aplicación de visión artificial tiene sus características específicas, existen una serie de etapas que son comunes a todo proceso (Jiménez Ochoa, 2015).

Los métodos de análisis de imágenes para la detección y seguimiento de vehículos se enfrentan a cuatro problemas principales: la distorsión de perspectiva inherente a las imágenes adquiridas, la enorme variabilidad de los

vehículos, la complejidad del fondo de la escena debido al movimiento constante de la cámara y las limitaciones en el tiempo de procesamiento para poder alcanzar el tiempo real. Por lo tanto, el objetivo de cualquier propuesta debe ser la identificación y localización de los vehículos independientemente de las condiciones de la escena y de su apariencia, siguiendo su trayectoria a lo largo de las imágenes y operando en tiempo real. Este objetivo se puede dividir en dos problemas: la detección de los vehículos y el seguimiento de los vehículos detectados (Salgado, 2014).

Para iniciar a trabajar con la visión artificial, se requiere un dispositivo sensible a la luz visible que permita almacenar las imágenes en formato digital. En otras palabras, se necesitará una cámara web, una cámara de vídeo o una capturadora analógica. Las cámaras web y la mayoría de las cámaras de vídeo se pueden conectar directamente a los ordenadores por medio de los puertos USB, *FireWire* o *Thunderbolt*, de esta manera capturar sus fotogramas en tiempo real. En todo caso, se puede utilizar una capturadora analógica que, a partir de una señal de vídeo analógico, permitirá capturar imágenes y procesarlas (Jiménez Ochoa, 2015).

Un sistema de visión artificial simula una realidad que proporciona información sobre brillo, colores, forma. Esta información suele estar en forma de imágenes estáticas, escenas tridimensionales o imágenes en movimiento (Velez Serrano, 2013).

Parte fundamental de la visión artificial es la adquisición de la imagen, la cual trata de captar una imagen del medio del que se pretende desarrollar el control de dicha imagen, es la primera etapa de un sistema de visión artificial (Baque León Jhonny, 2014).

Este tipo de sistemas ofrecen un buen compromiso entre fiabilidad, coste y flexibilidad, aspectos especialmente atractivos para los sistemas de ayuda a la conducción. Si bien los resultados obtenidos en esta línea de investigación son muy significativos, no han alcanzado todavía el nivel de precisión y actual robustez requerido, constituyendo un campo de investigación abierto en el marco de los sistemas de transporte inteligente y se tienen las siguientes aplicaciones (Salgado, 2014).

- **Visión artificial en autos para detectar a peatones.**

Investigadores alemanes, y de la Universidad de Alcalá, desarrollaron un sistema que, mediante visión artificial, detecta la presencia de peatones desde un auto al conducir, una ilustración de ello se muestra en la Figura 3 (Mendieta, 2013).



Figura 3. Detección de Peatones.
(Mendieta, 2013)

La visión estéreo densa permite que en tiempo real se realice un reconocimiento más exacto del entorno frontal del vehículo, como el modelado de la carretera, la presencia de baches o las variaciones entre el vehículo y el asfalto. Las imágenes pueden ser vistas en una pantalla, con *heads-up displays* (monitor transparente frontal) o con proyecciones sobre la luna interior del coche y añadirse elementos para advertir o ayudar al conductor, como alarmas que avisen de la presencia de un peatón, sistemas de activación del freno, e incluso dispositivos que actúan sobre el volante para ejecutar maniobras de evitación de atropellos (Mendieta, 2013).

- ***Google Driverless Car.***

Es una idea en la que “Google”, bajo el nombre de *Google Cars*, es una combinación de diferentes tecnologías con el objetivo de hacer posible la conducción automática, sin piloto; también es conocido como vehículo robótico.

Este automóvil es capaz de imitar las capacidades humanas de manejo y control. Como vehículo autónomo es capaz de percibir el medio que lo rodea. La idea de este prototipo consiste en que una persona pueda elegir el destino, pero no requiera activar ninguna operación mecánica del vehículo para manejarlo.

Los vehículos autónomos perciben el entorno mediante tecnologías complejas como láser, radar, GPS y visión computarizada. Los sistemas avanzados de control interpretan la información para identificar la ruta apropiada, así como los obstáculos y la señalización relevante. Estos vehículos generalmente son capaces de crear sus propios mapas y rutas (Sepúlvesa, 2014).



Figura 4. Google Driverless Car.
(Sepúlvesa, 2014)

Este vehículo está diseñado para detectar y reconocer los semáforos presentes en la carretera. El vehículo deberá disponer de una cámara con la que se monitorice la carretera y un equipo que procese la aplicación. Mediante una pantalla se advierte al conductor la presencia de los semáforos detectados y su correspondiente señalización, como se observa en la figura 4 (Mendieta, 2013).

- ***MINI Vision Next 100.***

El *MINI Vision Next 100* son vehículos equipados con tecnología de conducción autónoma capaces de acudir por ellos mismos a las estaciones de servicio, recargar baterías y limpiarse por su cuenta. Por supuesto el MINI conoce todas las características y preferencias del conductor, la música que escucha, la posición del asiento, o si prefiere tener activada la conducción autónoma, así como los destinos frecuentes, incluso el diseño exterior del coche, el cual cuenta con tecnología de proyección que es capaz de hasta dar la bienvenida.

Esta tecnología de proyección también sirve para indicar a los peatones cuando es seguro cruzar ante el coche, así como cambiar el aspecto y diseño interior y exterior del coche, como se muestra en la figura 5 (Ramírez, 2016).



Figura 5. MINI Vision Next 100.
(Ramírez, 2016)

- ***Traffic light violation detection system***

Este artículo explica el funcionamiento de un sistema que detecta las infracciones que se cometen en los semáforos, el cual tiene la capacidad de detectar la luz de color rojo y la activación de un software que cumple con el funcionamiento de detectar si los vehículos violan las indicaciones de los semáforos, este software está basado en un modelo HSV (*Hue Saturation Value*), el cuál es utilizado ya que la detección de la luz roja tiende a ser difícil debido a: desvanecimiento o atenuación de esta, obstaculización vehicular, tiene como capacidad principal identificar con precisión todos los colores del semáforo con un valor del 96% (Wonghabut, Kumphong, Ung-arunyawee, Leelapatra, & Satiennam, 2018, July).

- ***Automatic generation of traffic signal based on traffic volume***

Este artículo habla acerca de la visión artificial que es utilizada en la vigilancia del tráfico, se usa para la seguridad pública y la gestión del tráfico, basándose en algoritmos de computadoras que se utilizan para extraer información de videos, tiene como función la detección de giros ilegales e identificar peatones, vehículos y esto lo hace por el uso de técnicas de reconocimiento de patrones y visión por computadora que identifica instancias de objetos del mundo real que incluyen personas, rostros y vehículos en imágenes o videos. La detección de vehículos permite tener un control de cruce adaptativo y advertencia de colisión frontal (Sridevi, Harinath, & Swapna, 2017, January).

- ***Double lane line edge detection method based on constraint conditions Hough transform***

En este artículo propone un método de detección basado en la restricción *Hough Transform* mediante el proceso de extracción de la imagen en el área de la línea del carril tomando en cuenta el ancho y la función de color del carril. La detección de bordes de *Canny* para imágenes en escala grises, se usa para obtener información del borde de la línea del carril, después se extraen las características de la línea del carril a través de la información del área de la línea del carril. la transformación de *Hough* utiliza un ángulo y radio polar para identificar los bordes dobles de las líneas del carril. Además, se utiliza para determinar los puntos finales y los puntos de inicio de las líneas de carril recto, se identifica como una curva al campo lejano y la parte recta se identifica como la línea del carril (Deng & Wu, 2018, October).

- ***Deep cnn-based real time traffic light detector for self-driving vehicles.***

Este artículo explica como los sistemas de detección de semáforos, siguen siendo considerados como un módulo autónomo de vehículos al igual que los sistemas de asistencia al conductor. Para poder mejorar la baja flexibilidad y precisión de los algoritmos heurísticos los cuales se basan en la visión y el

alto consumo de energía de los métodos basados en el aprendizaje profundo, se sugiere un detector de semáforo ligero que se basa en un tiempo real para la plataforma de vehículos autónomos. Este modelo consiste en un módulo heurístico de selección de región que identificará todos los semáforos posibles y también contiene un clasificador ligero de red neuronal de circunvolución, para clasificar los resultados obtenidos (Ouyang, Niu, Liu, & Guizani, 2019).

- ***Traffic light detection and recognition for self-driving cars using deep learning.***

Este artículo habla como los autos autónomos tienen la capacidad de transformar la movilidad urbana al facilitar la transportabilidad sostenible, segura, conveniente y sin causar congestión vehicular. Esta amplitud de autonomía del vehículo como aplicación tiene varios desafíos, como por ejemplo el reconocimiento infalible de semáforos, señales, etc. Estos inconvenientes pueden ser solucionados mediante el desarrollo de visión profunda en computadora, debido a la disponibilidad de unidades de procesamiento gráfico (GPU). En este artículo se propone un modelo basado en redes neuronales profundas que ayudan a la detección y un reconocimiento confiable de semáforos mediante el aprendizaje de transferencia (Kulkarni, Dhavalikar, & Bangar, 2018, August).

- ***Traffic light detection for colorblind individuals***

Este artículo propone un algoritmo que ayuda a detectar los colores de los semáforos para personas que tienen daltonismo, el algoritmo ya mencionado utiliza técnicas de procesamiento de imágenes que están asociadas a la caja de herramientas de procesamiento de imágenes en *LabVIEW*, para ayudar a las personas daltónicas a identificar los colores de los semáforos. El cual utiliza una cámara móvil fija para capturar imágenes de los semáforos que hayan sido tomadas en diferentes caminos y calles. Finalmente el algoritmo extrae los planos verdes y rojos y reconoce sus colores. Los resultados obtenidos revelan la precisión del algoritmo propuesto (Al-Nabulsi, Mesleh, & Yunis, 2017, October).

- ***Real-time traffic light control system based on background updating and edge detection.***

El artículo habla de la congestión del tráfico en las intersecciones ya que es uno de los problemas más comunes. La tardanza de los semáforos también suelen ser un problema, como por ejemplo el consumo de combustible y el tiempo de viaje del vehículo y las emisiones de gases que causan el efecto invernadero. Por lo que, un sistema de control de tráfico efectivo y útil puede minimizar la demora en los semáforos. Por lo tanto, el artículo propone un sistema de procesamiento de imágenes en tiempo real para medir la densidad del tráfico para ajustar el tiempo del semáforo. El método propuesto se basa

en aplicar la combinación de actualización de fondo y detección de marcas en la carretera o sobras de árboles o edificios. El algoritmo se aplica a los video obtenidos por cámaras estacionarias (Al Okaishi, Atouf, & Benrabh, 2019, April).

Este trabajo está orientado a la utilización de métodos de visión por computador, donde se tiene por objetivo general el diseñar un asistente vehicular para personas con déficit de atención o daltonismo que mediante visión artificial detecte los semáforos e informe el estado que se encuentran, el cual ayudará al conductor a mejorar la capacidad de conducción a través de este asistente vehicular. Para cumplir con el objetivo general se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar un sistema de identificación de semáforo en la avenida.
- Diseñar la interfaz entre el sistema de visión artificial y el usuario.
- Validar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de campo.

Se realizará un asistente vehicular que mediante visión artificial se monitoreará la vía en la cual se encuentra en ese momento el usuario, detectando la existencia de semáforos y mediante la interfaz se informará el estado en que se encuentren (verde, amarillo o rojo). El dispositivo solo se deberá utilizar en condiciones atmosféricas preestablecidas (sin lluvia) y se lo puede utilizar de 7am – 5pm. Se realizarán pruebas de detención de semáforos con el vehículo estático y en movimiento para observar el rendimiento y fiabilidad.

2. METODOLOGÍA

Para desarrollo del asistente vehicular se aplicó la metodología mecatrónica basada en el “Modelo en V” para el desarrollo de sistemas mecatrónicos, se muestra en la Figura 6.

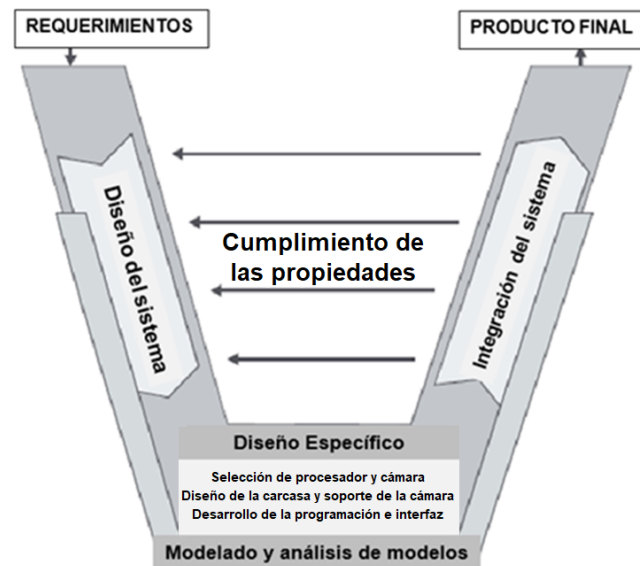


Figura 6. Modelo en V

Para el desarrollo del modelo en V primero se establecieron los requerimientos, como son: detección de semáforos, emisión de avisos, distancias de trabajo, dimensiones, condiciones de funcionamiento y portabilidad.

En el diseño conceptual se tomaron como base los requerimientos los cuales brindaron una idea general del dispositivo, características del trabajo y las condiciones en las que deberá trabajar el asistente vehicular.

A continuación, se realizó diseño específico. En esta etapa se seleccionaron la cámara y unidad de procesamiento con los cuales se procedió a diseñar la carcasa y el soporte de la cámara, posteriormente se realizó la integración donde se unieron todos los elementos seleccionados y diseñados. Se desarrolló el algoritmo de programación con el cual se realizó adquisición de imagen para posteriormente ser procesadas y realizar el reconocimiento de semáforos. Por último, el asistente vehicular fue sometido a prueba de funcionamiento.

2.1 Requerimientos

En la Figura 7 se muestra el diagrama de requerimientos planteados para el diseño y funcionamiento del sistema. El diagrama permite observar aspectos importantes que se deben cumplir para el buen funcionamiento del sistema dentro del satélite.

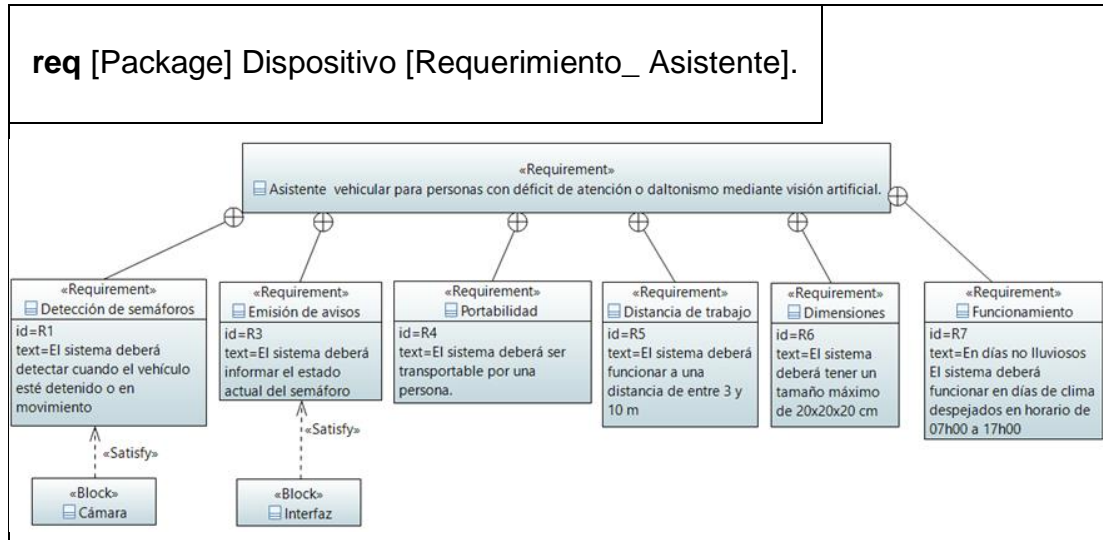


Figura 7. Diagrama de requerimientos.

2.2 Diseño Conceptual

El desarrollo del diseño consistió en cumplir los requerimientos propuestos como se encuentra en la estructura principal del proyecto. En la Figura 8 se muestran cada una de las partes, tanto mecánicas, como electrónicas que componen el asistente vehicular para personas con déficit de atención o daltonismo, mediante visión artificial.

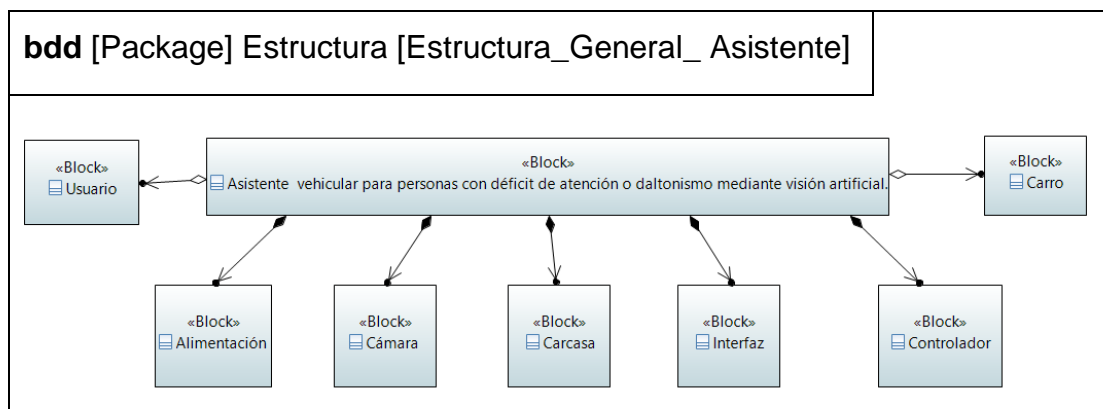


Figura 8. Estructura general del proyecto.

Se realizó una adaptación a la estructura básica de un sistema mecatrónico, en la Figura 9 se observar la estructura básica realizada para el proyecto, además también se visualiza cómo se comunica el controlador con el usuario

a través del interfaz, toda la toma de información se realizó mediante la cámara que posteriormente es analizada por el controlador.

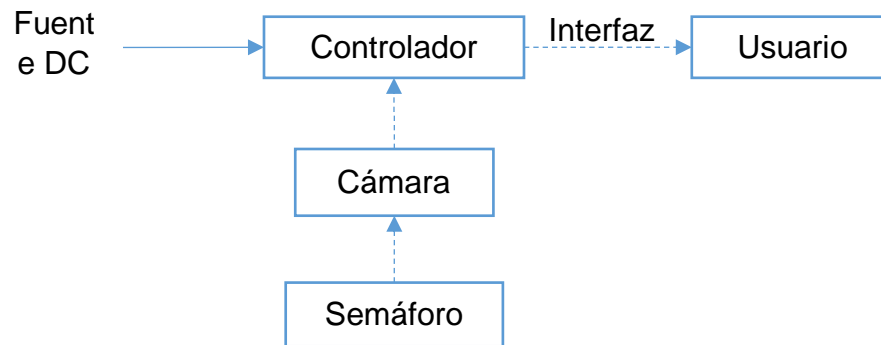


Figura 9. Estructura básica del sistema

Se puede visualizar en la Figura 10 como están conectadas las diferentes partes del sistema. Se observa que el controlador está sujeto a la carcasa y está conectada con la cámara y el interfaz, la carcasa está en contacto, con en el carro.

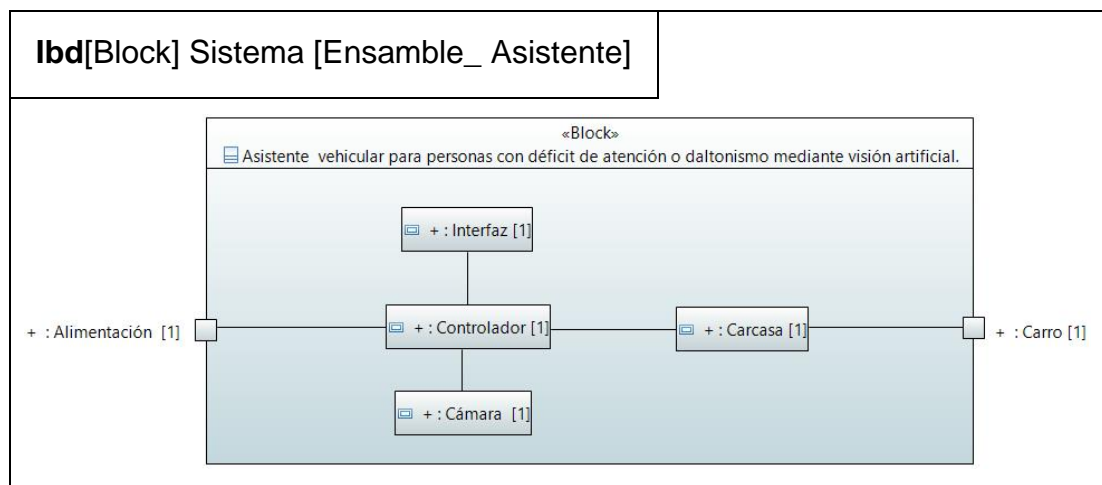


Figura 10. Estructura de conexiones internas

2.3 Funcionamiento del asistente vehicular

El funcionamiento se representó mediante el diagrama de la Figura 11, en el cual se observa la interacción que existe entre el usuario y el asistente vehicular detallando las actividades que el usuario puede realizar para utilizar el sistema.

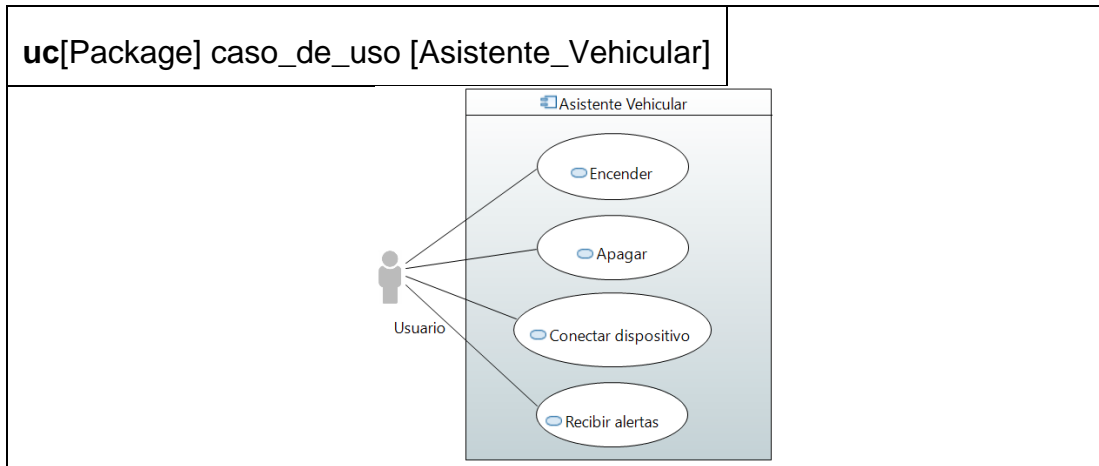


Figura 11. Diagrama de caso de uso de los usuarios

2.4 Diseño Específico

Se realizó el diseño, se seleccionaron y desarrollaron las partes del sistema:

- Selección de la unidad de procesamiento.
- Selección de la cámara.
- Diseño de la carcasa y el soporte de la cámara.
- Desarrollo del algoritmo de programación

2.4.1 Selección de la unidad de procesamiento

Para la selección de la unidad de procesamiento se enfocó en los ordenadores Raspberry Pi ya que su placa tiene el mismo ancho y largo que una tarjeta de crédito, de tal manera que con esta característica se logró satisfacer uno de los requerimientos que es el tamaño del dispositivo.

Se seleccionó la Raspberry Pi serie 4 modelo B de 4 Gb de RAM ya que es el ordenador más rápido de esta marca como se puede visualizar en la Tabla 1 en la cual se compararon con los otros modelos de Raspberry Pi.

Tabla 1. Comparación entre ordenadores Raspberry

Raspberry Pi	1 Model B+	2 Model B	3 Model B	4 Model B
CPU	ARM1176JZF-S	ARM Cortex-A53	ARM Cortex-A53	ARM Cortex-A72
Cores	Single-core	Quad-core	Quad-core	Quad-core
Velocidad	700MHz	900MHz	1400MHz	1500MHz
RAM	512MB	1GB	1GB	1GB / 2GB / 4Gb
GPU	250MHz	250MHz	400MHz	500MHz
Alimentación	5 V a 2A	5 V a 2A	5 V a 3A	5 V a 3A

2.4.2 Selección de la cámara

Para la selección de la cámara se probaron tres tipos de cámaras las cuales son: cámara USB, cámara infrarroja para Raspberry Pi y cámara para Raspberry Pi.

La cámara USB se descartó por su baja resolución además generaba un retraso al transmitir la imagen, en cambio las cámaras Raspberry Pi al tener el interfaz CSI dedicado para la conexión de la cámara no tienen este inconveniente.

Al no contar con un filtro ultravioleta, se seleccionó una cámara infrarroja la cual permite obtener mayor iluminación en la imagen cuando existe la presencia de luces led, dando así mayor contraste en los colores que produce el semáforo.

2.4.3 Diseño de la carcasa y el soporte de la cámara.

La carcasa se encargó de unir todas las partes del sistema. Además, la carcasa se encarga de proteger la unidad de procesamiento. Sobre la carcasa se montó el soporte de la cámara el cual se encarga de sostener la cámara y con el cual se pudo ajustar la dirección en la que apunta la cámara. En la Figura 12 se muestra el asistente vehicular

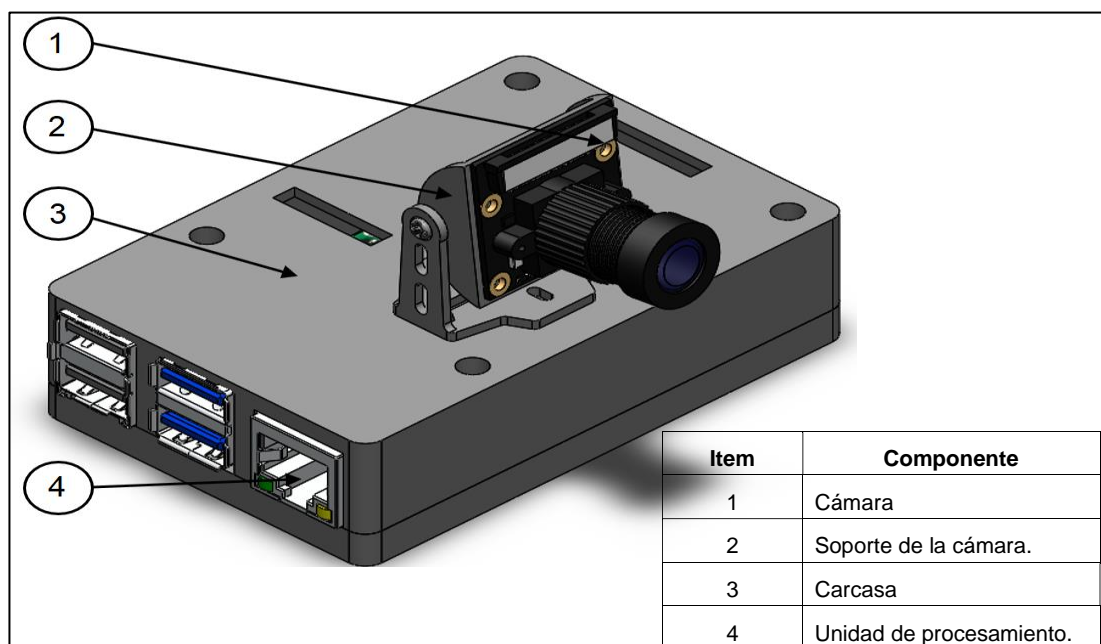


Figura 12. Asistente vehicular para personas con déficit de atención o daltonismo

2.4.4 Desarrollo del algoritmo de programación y del interfaz

La programación se desarrolló en *Python* con la ayuda de la librería *OpenCV*. Se puede visualizar en la Figura 13 el flujograma del algoritmo de programación.

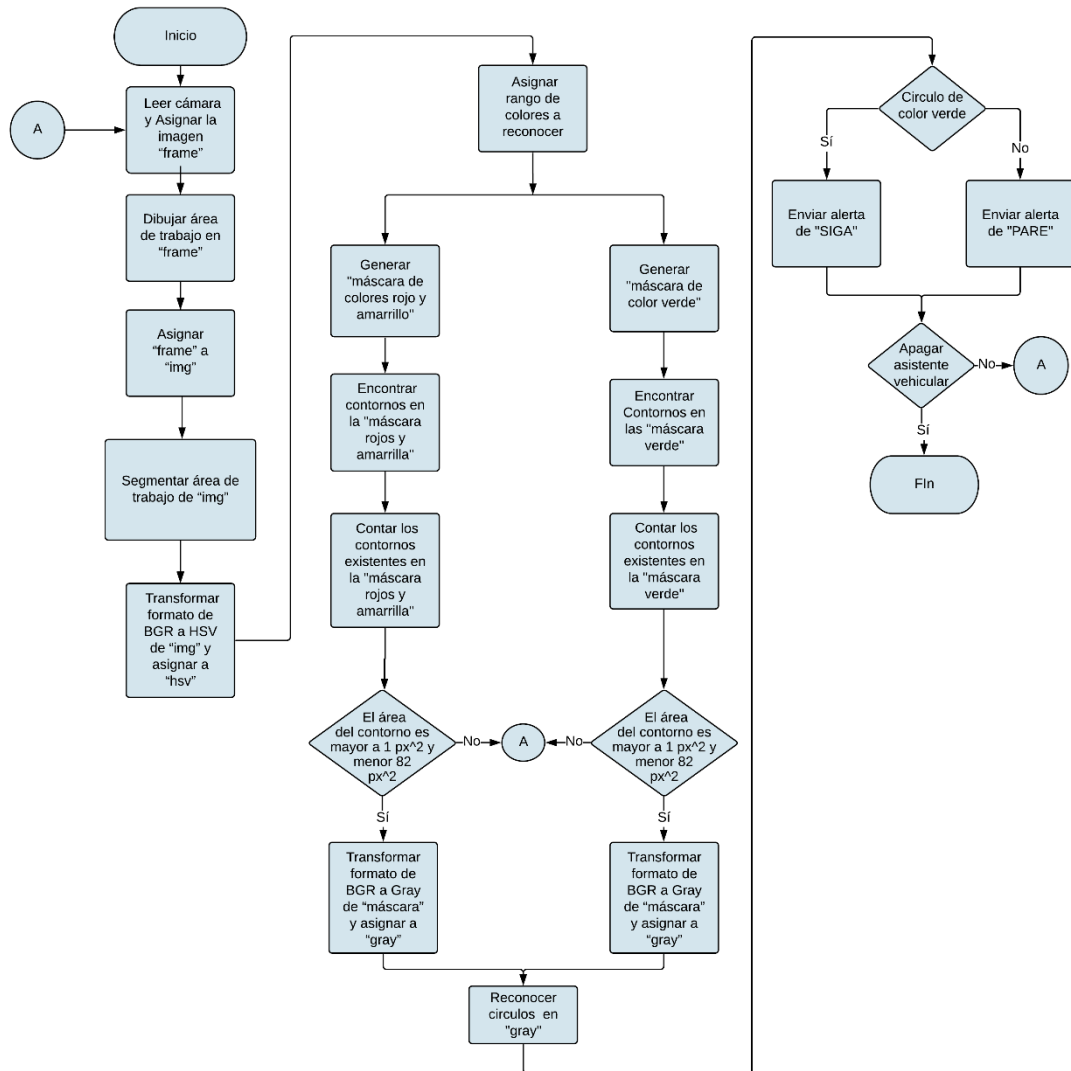


Figura 13. Flujograma del algoritmo de programación del asistente vehicular

Primero se desarrolló la interfaz, la cual se puede visualizar mediante una pantalla LED de 5 pulgadas, como se observa en la Figura 14.

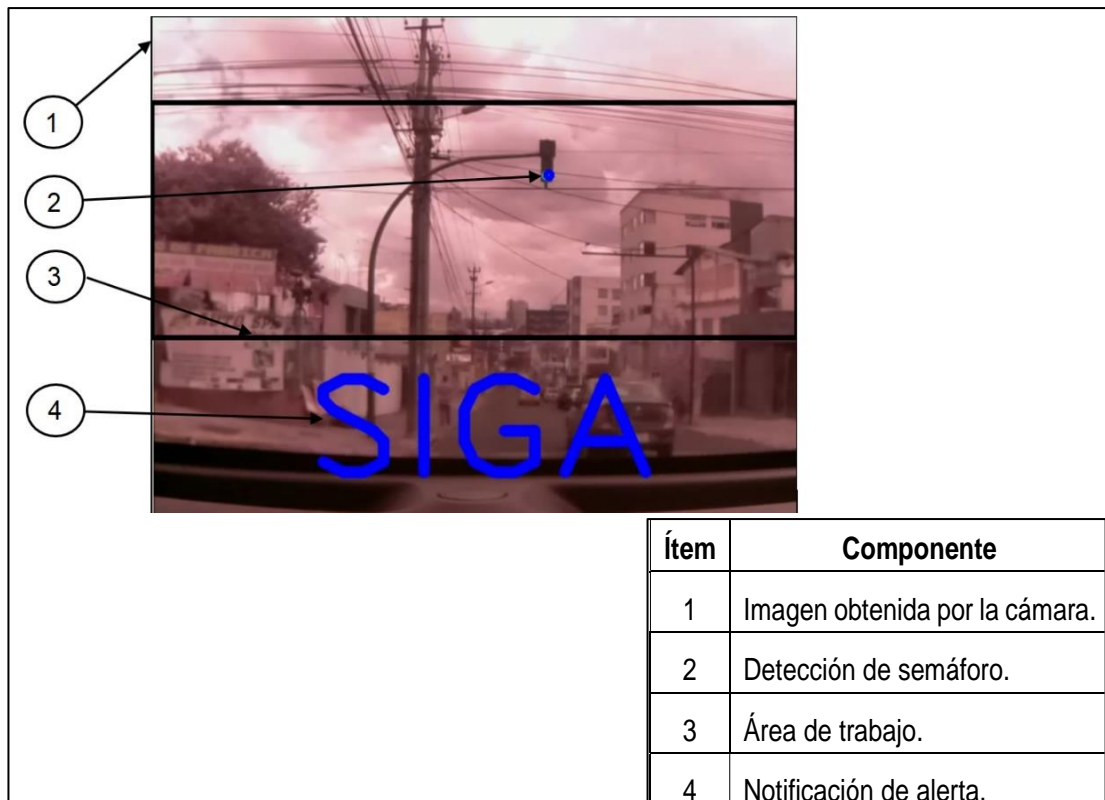


Figura 14. Interfaz

Para poder realizar el reconocimiento de los semáforos se generaron dos parámetros los cuales son: reconocimiento de colores y de círculos. Primero se realizó el reconocimiento de colores para lo cual se delimitó el rango de detención de los colores verde, amarillo y rojo.

Luego se reforma la imagen de formato de BGR (*red, green, blue*) a HSV (*Hue, Saturation, Brightness*) para posteriormente generar dos máscaras de colores, la primera máscara es de color verde, la otra máscara de color amarillo y rojo.

Después se aplican estas máscaras en la en la imagen transformada a HSV y se hace una búsqueda de contornos sobre la imagen, posteriormente se procede a contarlos, y si el área es mayor a 1 px^2 y menor 82 px^2 se procede a transformar la imagen de BGR a GRAY (matriz de grises).

Finalmente, se procede a identificar los círculos en la imagen trasformada a GRAY; si el circulo es de color verde se envía la alerta de "SIGA" y caso contrario se envía la alerta de "PARE". Las alertas se las representan mediante notificaciones escritas y sonoras.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas funcionamiento del asistente vehicular se realizaron en el sector centro norte de la ciudad de Quito, en horarios en la cual el flujo vehicular es moderado. Se definió la ruta para realizar las pruebas, la cual se puede visualizar en la Figura 15, se tomó en cuenta las vías en las cuales se pudo encontrar aproximadamente 104 semáforos, como la Av. 10 de agosto, Av. Fray Bartolomé de las Casas y Av. Selva Alegre teniendo como punto de partida y finalización de la ruta el campus occidental de la Universidad UTE. El tiempo promedio en recorrer la ruta de prueba fue aproximadamente de 30 minutos.

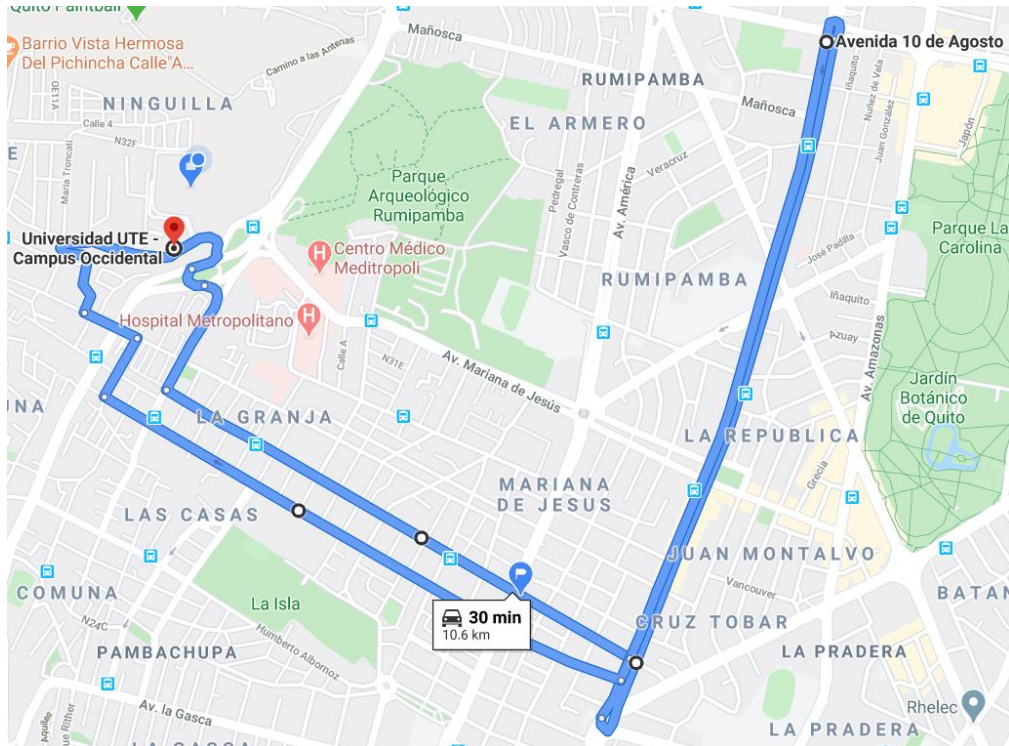


Figura 15. Rutas de Pruebas

Para realizar las pruebas se colocó el asistente vehicular sobre el panel central de carro y la cámara enfocada hacia el parabrisas, como se visualiza en la Figura 16, la interfaz se puede colocar donde el usuario tenga mejor visibilidad.



Figura 16. Posicionamiento del asistente vehicular

Una vez concluida con la etapa de pruebas se analizaron los resultados obtenidos. Para cuantificar el desempeño del asistente vehicular primero se realizó una matriz de confusión general en donde se agruparon todos los datos de las pruebas realizadas.

En la Tabla 2 se muestra los datos de la matriz de confusión general

Tabla 2. Matriz de confusión general

		Predicción		Sumatoria
		Siga	Pare	
Observación	Siga	VS = 544	FS = 13	$n_{cS} = 557$
	Pare	FP = 220	VP = 164	$n_{cP} = 384$
Sumatoria		$n_S = 764$	$n_P = 177$	$n = 941$

Dónde:

VS = Verdadero Siga.

VP = Verdadero Pare.

FS = Falsos Siga.

FP = Falsos Pare.

n_{cS} = Número total datos clasificados como Siga.

n_{cP} = Número total de datos clasificados como Pare.

n = Número total de datos.

n_S = Número total de Siga.

n_P = Número total de Pare.

De matriz de confusión se calculó la exactitud del asistente vehicular utilizando la Ecuación 1.

$$Exactitud = \frac{VS + VP}{n} \quad [1]$$

También se calculó la tasa de error que se produce en el asistente vehicular mediante Ecuación 2.

$$Tasa\ de\ error = \frac{FS + FP}{n} \quad [2]$$

La Ecuación 3 se usó para calcular la sensibilidad de respuestas del asistente vehicular.

$$Sensibilidad = \frac{VS}{n_S} \quad [3]$$

La especificidad del asistente vehicular se calculó mediante Ecuación 4.

$$Especificidad = \frac{VP}{n_P} \quad [4]$$

La precisión del asistente vehicular se obtuvo mediante el cálculo de la Ecuación 5

$$\text{Precisión} = \frac{VS}{n_{CS}} \quad [5]$$

Para realizar el cálculo del valor de predicción negativo (VPN) del asistente vehicular se utilizó la Ecuación 6.

$$\text{Valor de predicción negativo} = \frac{VP}{n_{CP}} \quad [6]$$

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de la matriz de confusión general.

Tabla 3. Resultados de la matriz de confusión general

Exactitud	75,24%
Tasa de erro	24,76%
Sensibilidad	71,20%
Especificidad	92,66%
Precisión	97,67%
VPN	42,71%

Una vez realizados los cálculos de la matriz de confusión general se obtuvo el 75.24% de exactitud, 71.20% de sensibilidad, 92.66% de especificidad y 97.53% de precisión, en el reconocimiento de semáforos.

Luego se realizaron matrices de acuerdo con los datos obtenidos por cada tipo de día para lograr cuantificar el desempeño del asistente vehicular y notar si existe confusiones al reconocer los semáforos al variar el clima.

Se realizaron seis pruebas, las cuales se dividieron por tipo de día: soleado, nublado y parcialmente nublado. Llevando a cabo 2 pruebas por tipo de día, este parámetro se puede validar mediante la aplicación "Clima" del teléfono celular.

Los datos de la matriz de confusión en días soleados se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Matriz de confusión en días soleados.

		Predicción		Sumatoria
		Siga	Pare	
Observación	Siga	VS = 153	FS = 7	$n_{CS} = 160$
	Pare	FP = 74	VP = 43	$n_{CP} = 117$
Sumatoria		$n_S = 227$	$n_P = 50$	$n = 277$

Los resultados obtenidos de la matriz de confusión en días soleado se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la matriz de confusión en días soleados.

Exactitud	70,76%
Tasa de erro	29,24%
Sensibilidad	67,40%
Especificidad	86,00%
Precisión	95,63%
VPN	36,75%

En la Tabla 6 se muestran los datos de la matriz de confusión en días nublados.

Tabla 6. Matriz de confusión en días nublados.

		Predicción		Sumatoria
		Siga	Pare	
Observación	Siga	VS = 194	FS = 4	$n_{CS} = 198$
	Pare	FP = 80	VP = 70	$n_{CP} = 150$
Sumatoria		$n_S = 274$	$n_P = 74$	$n = 348$

Los resultados de la matriz de confusión en días nublados se observan en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la matriz de confusión en días nublado.

Exactitud	75,86%
Tasa de erro	24,14%
Sensibilidad	70,80%
Especificidad	94,59%
Precisión	97,98%
VPN	46,67%

En la Tabla 8 se muestran los datos de la matriz de confusión en días parcialmente nublados.

Tabla 8. Matriz de confusión parcialmente nublado

		Predicción		Sumatoria
		Siga	Pare	
Observación	Siga	VS = 544	FS = 13	$n_{CS} = 557$
	Pare	FP = 220	VP = 164	$n_{CP} = 384$
Sumatoria		$n_S = 764$	$n_P = 177$	$n = 941$

Los resultados de la matriz de confusión en días parcialmente nublados se observan en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de la matriz de confusión en días parcialmente nublado.

Exactitud	78,48%
Tasa de erro	21,52%
Sensibilidad	74,90%
Especificidad	96,23%
Precisión	98,99%
VPN	43,59%

Después de haber realizado todos los cálculos se determinó que el asistente vehicular tiene mayor desempeño en los días parcialmente nublados como se visualiza en la Figura 17.

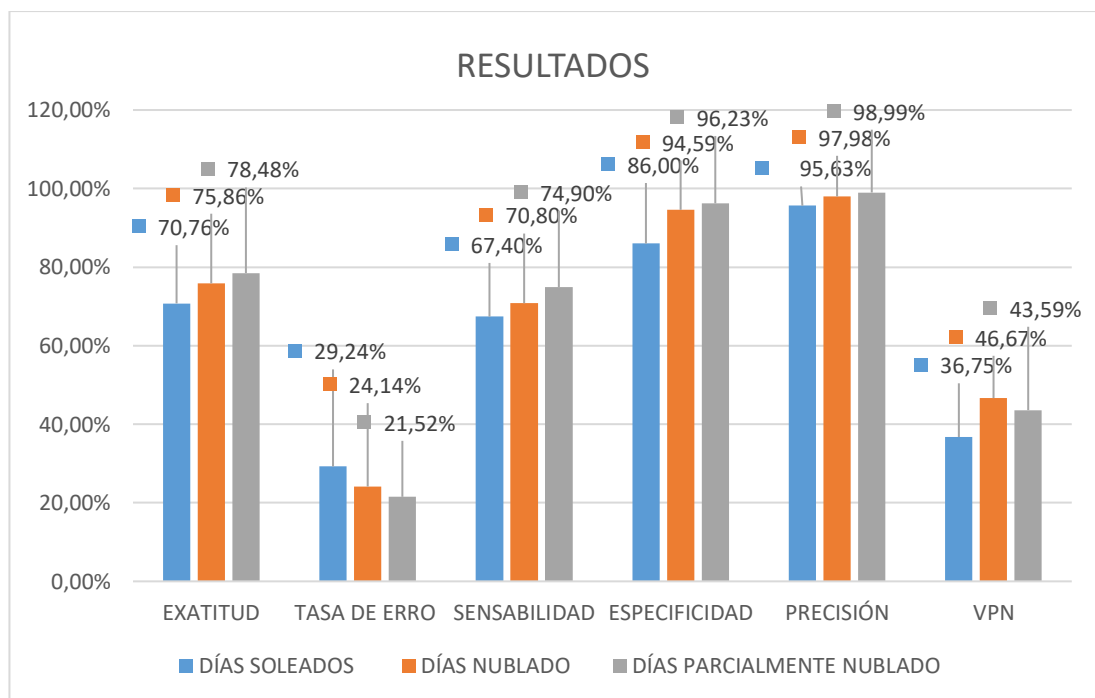


Figura 17. Grafica comparativa de resultados.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un prototipo funcional del sistema propuesto, el cual puede ser adaptado para que funcione en cualquier tipo de vehículo en horario de 7am a 5pm.
- Se construyó un prototipo que dispone de una cámara que permite la adquisición de la imagen, para lo cual se desarrolló un sistema encargado de detectar el estado del semáforo presente en la avenida, mismo que diferencia los colores y alertar al usuario.
- Se diseñó la interfaz en el cual se logró percibir la alerta que notifica al usuario el estado en el que se encuentra el semáforo.
- Al realizar las pruebas se posicionó el asistente vehicular en un automóvil, el cual se manejó a velocidad promedio de 35 Km/h, tomando en cuenta que la velocidad máxima dentro de la ciudad es de 50 Km/h, las pruebas se realizaron a diferentes horas del día debido a la variación de iluminación, obteniendo como resultado una exactitud del 75.24%, una tasa de error del 24.76%, una sensibilidad del 71,20%, una especificidad 92.66%, una precisión del 97.66% y un valor de predicción negativo de 42.71%.
- Se implementó la alerta sonora que notifica el estado en el que se encuentra el semáforo.

RECOMENDACIONES

- Implementar el modo nocturno en el asistente vehicular que permita el reconocimiento de semáforos en la noche.
- Implementar el reconocimiento de señales de tránsito presentes en la vía para la cual se deberá seleccionar otra cámara con mayor resolución.
- Modificar la alerta sonora mediante pitidos por una alerta sonora vocalizada.
- Implementar un subsistema que se encargue de reconocer el estado del conductor con la finalidad de detectar si el conductor se está quedando dormido y poder prevenir accidentes.
- Implementar la distinción de semáforos que indican la posibilidad de curvar de los semáforos convencionales.

Bibliografía

- A. N. (Diciembre de 2017). *Agencias Nacional Tránsito*. Obtenido de Agencias Nacional Tránsito: <https://www.ant.gob.ec/index.php/descargable/file/4959-siniestros-diciembre-2017?start=30>
- Al Okaishi, W., Atouf, I., & Benrabh, M. (2019, April). Real-Time Traffic Light Control System Based on Background Updating and Edge Detection. *In 2019 International Conference on Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems (WITS)*, (pp. 1-5). IEEE.
- Alegría Irene, B. I. (Marzo de 2013). *Estudio de una Anomalía Genética: El Daltonismo*. Obtenido de <https://www.cac.es/cursomotivar/resources/document/2012/005.pdf>
- Al-Nabulsi, J., Mesleh, A., & Yunis, A. (2017, October). Traffic light detection for colorblind individuals. *In 2017 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)*, (pp. 1-6). IEEE.
- Baque León Jhonny, L. C. (2014). *Desarrollo de un algoritmo para la adaptación inteligente de la velocidad de un vehículo automotor mediante el uso de visión artificial para la detección del trazado de la vía y la proximidad entre vehículos*. Cuenca-Ecuador.
- Camos, J. (27 de Julio de 2013). *Circula Seguro*. Obtenido de Circula Seguro: http://www.circulaseguro.com/el-daltonismo-combinado-con-la-conduccion/#disqus_thread
- Deng, G., & Wu, Y. (2018, October). Double Lane Line Edge Detection Method Based on Constraint Conditions Hough Transform. *In 2018 17th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES)*, (pp.107 - 110). IEEE.
- Jiménez Ochoa, M. (26 de Noviembre de 2015). *Desarrollo de un Sistema de Visión Artificial para la Detección de Aglomeración de Personas en un Semáforo*. Obtenido de Universidad Nacional De Loja: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11225/1/Jim%C3%A9nez%20Ochoa,%20Magaly%20Gabriela.pdf>
- Kulkarni, R., Dhavalikar, S., & Bangar, S. (2018, August). Traffic Light Detection and Recognition for Self Driving Cars Using Deep Learning. *In 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, (pp. 1-4). IEEE.
- Mendieta, V. (2013). Detección de Reconocimientos de Semáforos por Visión Artificial. *Universidad Carlos III de Madrid*, 3-4.

- Ouyang, Z., Niu, J., Liu, Y., & Guizani, M. (2019). Deep CNN-based Real-time Traffic Light Detector for Self-driving Vehicles. *IEEE transactions on Mobile Computing*, (pp 300-313). IEEE.
- Ramírez, L. (2 de Octubre de 2016). Vehículos Autónomos. *Universidad Católica "Nuestra Señorde la Asunción"*, págs. 16-17.
- Salgado, L. (8 de Febrero de 2014). Video based vehicle detection and tracking for driver. 1-9.
- Sepúlvesa, M. (2014). *Proyecto de accesibilidad para personas con discapacidad visual*. Chile.
- Sridevi, T., Harinath, K., & Swapna, P. (2017, January). Automatic generation of traffic signal based on traffic volume. *In 2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC)*, (pp. 423-428). IEEE.
- Velez Serrano, J. (2013). *Visión por Computador*. España: 2 ed Universidad Rey Juan Carlos.
- Wonghabut, P., Kumphong, J., Ung-arunyawee, R., Leelapatra, W., & Satiennam, T. (2018, July). Traffic Light Color Identification for Automatic Traffic Light Violation Detection System. *In 2018 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST)*, (pp. 1-4). IEEE.
- Zalgado Torres, I. (2017). *Cortometraje de ficción enfocado en dirección de arte, sobre cómo ven las personas daltónicas*. Quito: UDLA.

