



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE  
SUEÑO, EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO DE LA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO.**

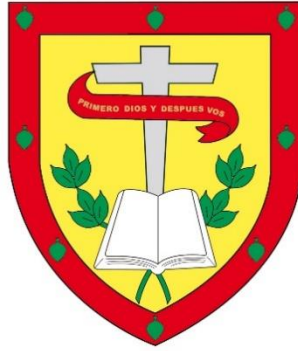
**AUTOR: ÁNGEL ISMAEL VELECELA SANTANDER**

**DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS ORTEGA**

**AZOGUES – ECUADOR**

**2021**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE  
SUEÑO, EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO DE LA  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO.**

**AUTOR: ÁNGEL ISMAEL VELECELA SANTANDER**

**DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS ORTEGA**

**AZOGUES – ECUADOR**

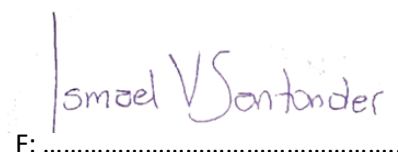
**2021**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

### **Declaratoria de Autoría y Responsabilidad**

**Ángel Ismael Velecela Santander** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0920813755**. Declaro ser el autor de la obra: **“Implementación de un sistema de detección de sueño, en el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **05 de octubre del 2021**



F: .....

**Ángel Ismael Velecela Santander**

**C.I. 0920813755**

Azogues, 13 de agosto de 2021

**Asunto:** Informe de calificación del trabajo escrito de titulación.

Señora Economista  
Nancy Lucía Peralta Idrovo.  
**AUXILIAR DE SECRETARIA DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE  
INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.**  
Ciudad.

Presente. -

De mi consideración:

Por medio del presente me permito saludarle, a la vez que es menester indicarle que una vez culminada la revisión del trabajo de fin de carrera del estudiante Ángel Ismael Velecela Santander, con C.I. 092081375-5, es mi deber conferir la nota de **50/50** puntos al trabajo en mención, cumpliendo de esta manera con los parámetros establecidos por parte de nuestra Alma Máter como tutor de la misma.

Dicho proyecto lleva por nombre **“Implementación de un sistema de detección de sueño, en el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico, de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.

Atentamente:



**Ing. Juan Carlos Ortega  
Castro. Mg Universidad  
Católica de Cuenca UAIC**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi ángel guardián, quien desde el cielo me guía, me cuida, y me ha dado fuerza para seguir adelante, a pesar de toda circunstancia, tu sueño mamita Luca fue verme como un profesional y te dedico este proyecto como muestra de mi amor y aprecio hacia ti, tu nieto que te ama y extraña tanto.

*Ángel Ismael Velecela Santander*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios quien me ha cuidado siempre, y la virgen María por darme uno de los mejores regalos, a mi madre y abuelita y a mis tías, a la mejor familia que pudo haberme otorgado, ya que, con su apoyo y consejos, he llegado a ser la persona que actualmente soy.

Expreso mi más sincero agradecimiento al ING. JUAN CARLOS ORTEGA, quien desde un inicio tuvo toda la disposición y acogida para el desarrollo de este proyecto, siendo uno de los personajes claves en esta tesis.

*Ángel Ismael Velecela Santander*

## RESUMEN

Esta tesis tiene como objetivo, el desarrollo de un sistema de detección del sueño para el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca, con el uso de equipos electrónicos, visión artificial, y dispositivos de hardware y software, con la intención de mitigar accidentes de tránsito provocados por cansancio o somnolencia. En su desarrollo se presenta una propuesta, utilizando una cámara web, que permite realizar el monitoreo y control del rostro del usuario, para lograrlo, se realiza un tratamiento de imágenes en tiempo real, logrado a través del análisis de los rasgos característicos de cada usuario. Una característica fundamental es que este diseño no sea invasivo y se adapte a los cambios que puedan presentarse en la iluminación y su entorno. La metodología utilizada sigue un orden lógico de elaboración, es decir, iniciamos con el estudio del estado del arte y la fundamentación teórica, para lograr bases fuertes de conocimiento previo al diseño y desarrollo del sistema, luego procedemos a realizar el diseño, con el uso de elementos electrónicos y herramientas de hardware y software, para que por último, los resultados y su discusión se presenten mediante conclusiones y recomendaciones, siendo la conclusión más importante que la carga de trabajo, sumada a la depresión y el estrés, causan parpadeo constante, además de pesadez en la cabeza, reduciendo gradualmente la concentración de las actividades, haciendo que el conductor pierda su capacidad de respuesta al conducir, provocando accidentes, que con la aplicación de este proyecto podría reducirse considerablemente.

*Palabras clave:* Cámara web, inteligencia artificial, método Haar – Cascade, raspberry Pi 3b, visión artificial.

## ABSTRACT

This thesis aims to develop a sleep detection system for the electric vehicle of the Catholic University of Cuenca, with the use of electronic equipment, artificial vision, and hardware and software devices to mitigate traffic accidents caused by tiredness or drowsiness. In its development, a proposal is presented, using a web camera, which allows monitoring and taking control of the user's face, to achieve this, an image treatment is conducted in real-time, achieved through the analysis of the characteristic features of each user. A key feature is that this design is non-invasive and adapts to changes that may occur in lighting and its environment. The methodology used follows a logical order of elaboration, that means, to begin with, the study of the state of the art and the theoretical foundation, later to achieve strong bases of prior knowledge to the design and to reach the development of the system, then we proceed to carry out the design, with the use of electronic elements and hardware and software tools, so finally results and discussion are presented through conclusions and recommendations, the most important conclusion will be that the workload, added to depression and stress, cause constant blinking, in addition to heaviness in the head, gradually reducing the concentration of activities, causing the driver to lose his ability to respond when driving, causing accidents, which with the application of this project could be considerably reduced.

Keywords: webcam, artificial intelligence, Haar - Cascade method, raspberry Pi 3b, artificial visión

# ÍNDICE GENERAL

.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>DEDICATORIA</b> .....	V
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	VI
<b>RESUMEN</b> .....	VII
<b>ABSTRACT</b> .....	VIII
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	IX
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	XII
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	XIII
<b>Capítulo I</b> .....	1
<b>Fundamentación teórica</b> .....	1
1.1.    Introducción .....	1
1.2.    Antecedentes .....	1
1.3.    Justificación .....	2
1.4.    Definición del problema .....	2
1.5.    Objetivos.....	3
1.5.1.    Objetivo general.....	3
1.5.2.    Objetivos específicos.....	3
1.6.    Metodología .....	4
1.7.    Fatiga .....	4
1.8.    Somnolencia.....	5
1.9.    Tecnologías actuales para la detección de la somnolencia.....	6
1.9.1    OptAlert.....	6
1.9.2    Detector de fatiga de Bosch.....	7
1.10.    Afección de la somnolencia en la conducción .....	7
1.11.    El ojo humano .....	8
1.11.1.    Parpadeo o pestañeo .....	8
1.11.2.    Frecuencia de parpadeo .....	9
1.11.3.    Tiempo de duración del parpadeo .....	9
1.11.4.    Nivel de apertura del ojo .....	9

1.12.	Procesos para la detección de rostro.....	10
1.12.1.	Seguimiento del rostro.....	10
1.13.	Visión artificial.....	11
1.14.	Procesamiento digital de imágenes.....	11
1.15.	Sistemas de visión por computador.....	12
1.16.	Raspberry Pi 3 Model B.....	12
1.17.	Cámara web.....	12
1.18.	Open CV.....	13
1.18.1.	Instalación de Open CV en Raspbian.....	13
1.18.2.	Librerías de Open CV.....	13
1.19.	Detección y reconocimiento facial.....	14
1.20.	Detección de ojos.....	15
1.21.	Evaluación de apertura y posición del ojo en imágenes filtradas.....	15
1.22.	Seguimiento de los ojos.....	16
1.23.	Clasificador Haar - Cascade.....	17
1.24.	Reconocimiento facial con Open CV.....	18
1.25.	Los sistemas de reconocimiento facial automáticos.....	18
1.26.	Smart Mobility.....	18
<b>Capítulo II</b>	.....	<b>20</b>
<b>Materiales y métodos</b>	.....	<b>20</b>
2.1.	Situación actual del vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca 20	
2.2.	Metodología.....	21
2.3.	Análisis comparativo.....	25
<b>Capítulo III</b>	.....	<b>31</b>
<b>Diseño e implementación</b>	.....	<b>31</b>
3.1.	Desarrollo de software.....	31

3.2.	Reconocimiento facial .....	31
3.3.	Entrenamiento .....	31
3.4.	Arquitectura .....	32
3.5.	Sistema operativo y software de programación .....	33
3.6.	Seguimiento del rostro.....	34
3.7.	Haar como detector de rasgos.....	34
3.8.	Algoritmo de identificación de somnolencia y detección de áreas .....	35
3.9.	Implementación del sistema de detección de cansancio .....	38
3.10.	Alarmas .....	39
3.11.	Presupuesto y análisis financiero.....	39
3.12.	Síntesis de funcionamiento .....	44
<b>CAPÍTULO IV</b>	.....	<b>45</b>
<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	.....	<b>45</b>
4.1.	Conclusiones.....	45
4.2.	Recomendaciones.....	46
<b>Anexos</b>	.....	<b>50</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Equipos de oficina y sus características..... 43

**Tabla 2.** Equipos de oficina y sus características.....44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de funcionamiento del sistema de control.....	6
<b>Figura 2.</b> Nivel de apertura del ojo humano. ....	10
<b>Figura 3.</b> Características visuales en una imagen. ....	14
<b>Figura 4.</b> Estados aplicados al seguimiento de los ojos.....	17
<b>Figura 5.</b> Esquema general de un reconocimiento de patrones.....	22
<b>Figura 6.</b> Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema. ....	24
<b>Figura 7.</b> Sistema activo de detección de somnolencia. ....	32
<b>Figura 8.</b> Arquitectura del prototipo para la detección de signos de fatiga. ....	32
<b>Figura 9.</b> Circuito de potencia y diseño para PCB.....	33
<b>Figura 10.</b> Técnicas para el seguimiento de rostros. ....	34
<b>Figura 11.</b> Algoritmo de detección de la somnolencia. ....	35
<b>Figura 12.</b> Contorno de los ojos.....	36
<b>Figura 13.</b> Grafica de valores de porcentaje en tres estados.....	37
<b>Figura 14.</b> Análisis de imágenes con el equipo desarrollado. ....	38

# Capítulo I

## Fundamentación teórica

### 1.1.Introducción

La investigación sobre la biología del sueño y sobre los efectos clínicos de sus trastornos cada vez deja más en claro que el sueño es un proceso de vital importancia para la salud integral del ser humano (Carrillo-Mora, Ramírez-Peris, y Magaña-Vázquez, 2013). El tiempo recomendado por médicos para dormir, es de cinco a seis horas, sin embargo, se tienen jornadas de trabajo de más de ocho horas, lo que provoca la falta de una calidad de sueño adecuada. Según algunos estudios, la tendencia en la población mundial indica que hay una notable reducción del tiempo de sueño en los jóvenes, lo cual los hace especialmente proclives a que desarrollen trastornos del sueño. Para conducir un vehículo se requiere concentración y buena oxigenación en el cerebro, a la falta de este se tiene un 40 % de probabilidad de sufrir un accidente de tránsito. En Ecuador, según las cifras de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), en 2018, el 1.38 % de los accidentes de tránsito fueron producidos por somnolencia o fatiga (ANT, 2016). Ante esto, surge la idea del desarrollo e implementación de un prototipo de detección del sueño, con el principio de reconocimiento facial, usando una cámara infrarroja, que permita el monitoreo del conductor en tiempo real, su número de parpadeos, etc. En definitiva, la intención de esta investigación, es disminuir los accidentes de tránsito en las vías, y, parcialmente, el número de víctimas mortales, ocasionadas por conductores con síntomas de somnolencia o fatiga.

### 1.2.Antecedentes

El índice de accidentes por pérdida de pista, muestra que estos se originan al conducir en estado de somnolencia, o debido a malas condiciones físicas. La mayoría de vehículos en el Ecuador son de gama baja, los cuales no vienen equipados con tecnología suficiente, como para alertar estos estados, previniendo accidentes. El

avance tecnológico, busca alcanzar innovaciones que permitan al conductor, ofrecerle una alta efectividad en seguridad (López Romero, 2016).

El procesamiento de imágenes, en la inteligencia artificial, es conocido como la visión artificial, estos avances permiten realizar un procesamiento mediante algoritmos computacionales, los cuales conjuntamente con el lenguaje de desarrollo Open CV, buscan solventar esta necesidad(Flores Calero, 2009).

En la última década, ha surgido un gran avance tecnológico, ofreciendo ordenadores de alto nivel, los cuales pueden simplificar la vida de los usuarios, con el desarrollo de la inteligencia artificial (López Romero, 2016).

La inteligencia artificial avanza cambiando el estilo de vida de todos los seres humanos, no tanto respecto a lo que podemos hacer con ella, sino en lo que se aplica, haciendo referencia a una secuencia de algoritmos establecidos de acuerdo a las necesidades requeridas(Israel, 2016).

### **1.3.Justificación**

El avance tecnológico ha revolucionado nuestras vidas, teniendo al alcance ordenadores y software de alto nivel, los cuales permiten la vinculación con equipos, datos en la nube, etc., mejorando así la calidad de vida de las personas. Este avance busca alcanzar innovaciones que permitan a los conductores obtener seguridad al momento de conducir durante grandes periodos de tiempo, por lo general los vehículos de gama baja no cuentan con sistemas que proporcionen alertas frente a síntomas de cansancio, razón por la cual, este proyecto de titulación cuenta con el desarrollo de un algoritmo capaz de determinar los signos de fatiga o cansancio en la conducción, utilizando métodos de visión artificial (Israel, 2016).

### **1.4.Definición del problema**

En el Ecuador, se han presentado múltiples accidentes, ocasionados por choques laterales, estrellamiento o pérdida de pista, los cuales se producen por síntomas de

fatiga o cansancio al momento de conducir. Siendo esta una de las mayores afecciones presentes. La fatiga o somnolencia al momento de conducir es determinada como un factor de riesgo, la cual origina accidentes de tránsito, esta se produce debido a la privación de sueño con excesivas horas de conducción, generando un conflicto entre las necesidades fisiológicas y las actividades profesionales del conductor, por lo tanto, es fundamental el entendimiento de los límites humanos entre la fatiga, la somnolencia y la privación de sueño. Estos síntomas en los conductores son un factor muy importante, puesto que puede ocasionar excesivos accidentes de tránsito, es por esta razón que durante la última década, el problema de somnolencia en conductores ha recibido un incremento importante de atención por parte de la comunidad científica(Alexander et al., 2017).

## **1.5.Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Desarrollar un sistema de detección del sueño para el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca, con el uso de equipos electrónicos, visión artificial, y dispositivos de hardware y software, que permita la mitigación de accidentes de tránsito provocados por cansancio o somnolencia.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Revisar la literatura necesaria, que permita fundamentar correctamente los conceptos adecuados para el desarrollo del proyecto.
- Diagnosticar la situación actual del vehículo eléctrico, para que, en base a sus prestaciones, determinar qué tipo de dispositivos y equipos utilizar.
- Diseñar el sistema de detección del sueño a ser implementado, con las respectivas pruebas de ensayo y error, para alcanzar el mejor resultado de aplicación.
- Expresar la discusión de los resultados, a través de conclusiones y recomendaciones.

## **1.6. Metodología**

Para este proyecto el tipo de investigación realizada, es de carácter experimental, el método utilizado es el de la observación, pruebas, ensayos y revisión de literatura. Para ello como instrumentos de recolección de información se utilizaron: bibliografía física, la Internet, bases de datos científicas, fichas de observación, etc. Además, para culminar con éxito en su desarrollo e implementación se dividió el trabajo en diferentes etapas, siendo estas:

- Revisión de literatura y estado del arte.
- Análisis de elementos a utilizar.
- Elección de dispositivos.
- Cuadros comparativos y análisis de precios.
- Desarrollo del sistema.
- Pruebas y monitoreo.
- Discusión de resultados.
- Implementación.

## **1.7. Fatiga**

Según (Paper & Mar, 2015), la fatiga ha sido definida de las más diversas maneras y ha sido confundida con la somnolencia; sin embargo, hoy en día se aceptan algunas definiciones de fatiga que la definen como “un estado asociado con el cansancio, dolores musculares o malestar, y una renuencia a continuar lo que se ha estado haciendo”. Incluso se afirma que la fatiga “empeora progresivamente con la duración e intensidad de la tarea”.

Bajo estos parámetros, se podría decir que existen tres aspectos en donde infiere directamente la fatiga: fisiológica, objetiva y subjetiva.

Dicho concepto guarda relación directa con el proyecto de tesis, en virtud de que es precisamente aquí donde se pretende dar una solución, en el problema se mencionó

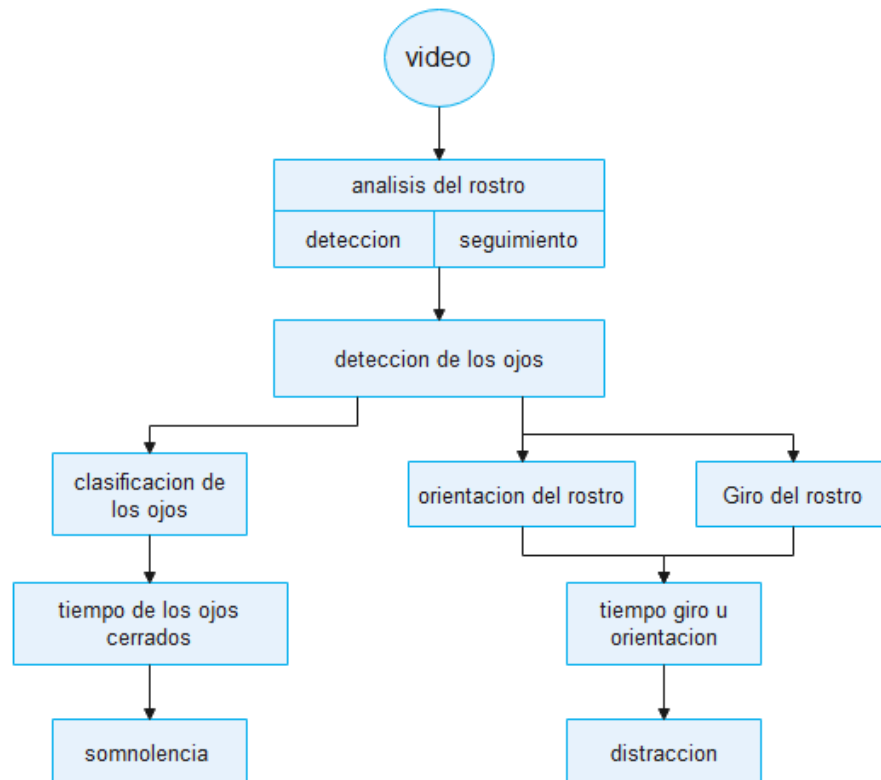
que uno de los principales factores de accidentes de tránsito es precisamente esta variable, generada por diversos motivos, así que conociendo su definición podemos tratar de diseñar un sistema que permita reaccionar al conductor frente a este inconveniente.

### **1.8.Somnolencia**

La somnolencia es común a diferentes trastornos del sueño y condiciones médicas. Se sabe que muchos de los accidentes se deben a que las personas en algún momento presentaron somnolencia. En tanto la evaluación de la somnolencia y sus consecuencias son importantes para la salud de la población. Aunque no es posible precisar la cifra exacta del conductor que maneja en periodos de somnolencia, el Ministerio de Salud toma en cuenta esto para corregir y tratar de disminuir el riesgo de accidentes por motivo de cansancio (Vinueza Veloz et al., 2020)(Pujiwidodo, 2016).

Los efectos o problemas que la somnolencia puede causar en conductores son: dormirse en un instante determinado sin darse cuenta, y, pérdida de pista durante la conducción.

El sistema trabaja directamente sobre una de las tipologías más presentes en la somnolencia, a nivel fisiológico, donde sus características a nivel del rostro pueden ser identificadas, entre ellas: parpadeo, movimientos de boca, cabeceo, etc. (Guevara Carrillo & Valencia Bernal, 2013). Determinar el estado de somnolencia resulta complicado, no hay métodos, datos y mediciones, que permitan establecerlo con claridad, la Figura 1 ayuda a entender la funcionalidad y revisión de estas etapas.



**Figura 1.** Diagrama de funcionamiento del sistema de control.  
**Fuente.**(Guevara Carrillo & Valencia Bernal, 2013)

### 1.9. Tecnologías actuales para la detección de la somnolencia

En vehículos de alta gama, existe infraestructura necesaria para detectar diferentes problemas en el estado de conducción, trabajan directamente sobre la seguridad de los pasajeros, OptAlert es una de estas innovaciones que permite conocer o detectar la fatiga, en tiempo real, cuando ésta se presenta (“Detector de fatiga al volante Bosch [Laboratorio Tecmovia] | Tecmovia,” 2014).

#### 1.9.1 OptAlert

Es un detector de fatiga que lo realiza al identificar su presencia en tiempo real, analizando los parámetros que la producen, valida la información, en estados de fatiga o somnolencia, en todo el trayecto que realiza el vehículo, analiza al conductor y su comportamiento, su modo de trabajo es analizar, a través de pulsos invisibles de luz, identificando el movimiento y cambios presentes en el rostro, a nivel de parpados y

ojos. (“Detector de fatiga al volante Bosch [Laboratorio Tecmovia] | Tecmovia,” 2014).

### **1.9.2 Detector de fatiga de Bosch**

Este detector trabaja en base a un servo, este dispositivo indica a los conductores si se presentan problemas en la conducción, con recomendaciones sobre este factor, la manera en la que recibe y procesa los datos es con el movimiento y ángulo del volante, inicia su funcionamiento automáticamente al momento de arrancar el vehículo. Los vehículos de alta gama lo poseen o tienen sistemas parecidos, la medición y monitoreo es continua y los mensajes y alarmas que presenta lo hacen de manera constante en su duración de trayecto, monitoreando todo el tiempo (“Detector de fatiga al volante Bosch [Laboratorio Tecmovia] | Tecmovia,” 2014).

### **1.10. Afección de la somnolencia en la conducción**

Problemas como el alcoholismo, pérdida de pista, sobrepasar los rangos de límite de velocidad, entre otros, hacen que los conductores no tengan mayor control sobre su vehículo, aunque, en algunas ocasiones si pueden ejecutar algún tipo de maniobra, sin embargo, la somnolencia no permite realizar ningún tipo de corrección, en vista de que si al conducir un vehículo nos quedamos dormidos, no tendríamos tiempo de reacción alguna. Gracias a esto, la somnolencia es un inconveniente de igual magnitud o incluso peor que las anteriores.

Según (Flores Calero, 2009), los problemas causados por somnolencia y que afectan a los conductores son:

- Incremento del tiempo de reacción.
- Menor concentración y más distracciones.
- Toma de decisiones más lentas y más errores.
- Alteraciones y descoordinación motora.
- Aparición de micro sueños.

- Alteración de las funciones sensoriales.
- Alteraciones en la percepción.
- Cambios en el comportamiento.

### **1.11. El ojo humano**

Es conocido que los seres humanos contamos con 5 sentidos, el ojo, es uno de ellos, considerado entre los más importantes, en virtud de que por su intervención, el cerebro puede entender el entorno en el que se encuentra, ingresan además datos e información, que las personas pueden utilizar para desenvolverse de una manera más segura e independiente, es por esto que, las personas que se encuentran al frente de un volante, deben presentar características básicas de un buen comportamiento y funcionalidad de este sentido, sobre todo por la concentración que demanda el conducir un vehículo, intervenir sobre el sentido de la vista es súper importante en proyectos relacionados a seguridad en vehículos eléctricos, y de todo tipo, pues al entender su comportamiento se pueden tomar decisiones, en base a sistemas y programas, para mejorar la calidad de manejo y mitigar riesgos y accidentes de tránsito (Orosco & Pomasunco, 2018).

#### **1.11.1. Parpadeo o pestañeo**

Otra característica del sentido de la vista, y del movimiento de los ojos en las personas que tienen la suerte de contar con ésta, es el parpadeo, conocido también como pestañeo en algunos vocablos y usos, dicha características se realiza en algunos casos sin darnos cuenta, o no depende exclusivamente de la persona, con características de repetición independiente por cada individuo, a veces voluntariamente y en otras ocasiones de forma involuntaria,

Básicamente este abrir y cerrar de los ojos, cumple dos funciones: la primera que es el encargarse de lubricarlos, evitando de esta manera resequedad; la segunda, como medio de protección de nuestra vista, por diferentes factores externos que podrían molestarla, nublarla o cegarla por completo.

Al hablar de aperturar y cerrar voluntariamente nuestro ojos, lo hacemos cuando se pretende expresar que es algo deliberado y consciente, mientras que, el hacerlo de una manera inconsciente puede generar uno de los problemas que se pretenden solucionar con este diseño, en virtud de que podría deberse a motivos ajenos que intercederían de manera directa en nuestras capacidades de conducción (Orosco & Pomasunco, 2018).

### **1.11.2. Frecuencia de parpadeo**

Entonces, para poder realizar un análisis eficiente en el proyecto de tesis, es necesario conocer la frecuencia de parpadeo, que no es más que la cantidad de ocasiones, en números, que se realiza esta acción en un intervalo de tiempo, dichas acciones se relacionan con el estado mental de los individuos, de forma directa, y se focalizan en la actividad que están ejecutando, según (Orosco & Pomasunco, 2018), en su estudio indican que los individuos, en condiciones normales, pestañea en un rango de 15 a 20 veces por minuto (Orosco & Pomasunco, 2018).

### **1.11.3. Tiempo de duración del parpadeo**

De igual forma, el tiempo de duración del parpadeo también se debe analizar, para determinar cuándo se activa una alarma, y pasa a ser esta característica un problema, generalmente, este periodo de duración puede ser en condiciones de estado despierto, menos de 200ms, en las que pretende realizarse este estudio (cansancio y somnolencia) generalmente mayor a 500ms.

Estos valores sirven de insumo para el desarrollo del proyecto, pues, en base a su conocimiento, se puede diseñar el prototipo y plantear una solución para problemas de fatiga y somnolencia en conductores de vehículos.

### **1.11.4. Nivel de apertura del ojo**

La Figura 2 muestra el nivel de apertura del ojo humano, bajo diversas condiciones, lo que a simple vista permite identificar, cuando un individuo se encuentra cansado y cuando no, esto se puede lograr con el uso de cámaras que permitan monitorear estos

niveles e indicar si una persona se encuentra despierta, activa o en esta de somnolencia. Además, esta información es un insumo para conocer el nivel de cansancio del conductor, mediante el análisis de la apertura y cierre de los ojos (Orosco & Pomasunco, 2018).



**Figura 2.** Nivel de apertura del ojo humano.  
**Fuente.**(Orosco & Pomasunco, 2018)

### **1.12. Procesos para la detección de rostro y ojos**

El entrenamiento para la detección puede realizarse de algunas maneras, para este proyecto es necesario conocer el funcionamiento del clasificador cascada Haar – Based, cuyo propósito es entregar información de una manera rápida, en tiempo real y reconociendo cualquier tipo de rostro que se presente o que este al mando del volante. Este clasificador, puede ser entrenado de manera automática, pudiendo la identificación de rostros en una gran cantidad de data o imágenes. Su análisis lo realiza puntualmente fijado en la relación ojo-boca, con el análisis de este comportamiento con el procesamiento digital de imágenes (Flores Calero, 2009).

#### **1.12.1. Seguimiento del rostro**

De igual manera, existen variedad de librerías para el objetivo de este proyecto, dependientes del sistema que se pretenda utilizar, para este caso particular la librería llamada Template Matching es la escogida, su elección se debe principalmente a su adaptabilidad y compatibilidad con el clasificador, también porque permite ubicar la imagen deseada en la plantilla de datos, pudiendo convertirla en otra de mayor amplitud para su aplicación. Otra bondad presente es que el software OpenCV viene equipado con la función `cv2.matchTemplate()`, la misma que entrega una gráfica en escala de grises, donde el diámetro está conformado por los pixeles indicados en la plantilla, el tamaño por default a la entrada es de la forma  $(w \times h)$  y como retorno se obtiene una imagen del tamaño  $(W - w + 1, H - h + 1)$  (Flores Calero, 2009)

### **1.13. Visión artificial**

La visión artificial, es una rama de la tecnología, muy aplicada hoy en día en diversos proyectos de innovación, juegos, y demás. Su principio de funcionamiento está centrado en el procesamiento de imágenes, donde al captar una señal de entrada, la entiende y procesa, para que la misma sea analizada y utilizada en los propósitos de cada proyecto, en este caso específico, servirá para como insumo para análisis, a través de la tarjeta Raspberry Pi. (Flores Calero, 2009).

La inteligencia artificial (IA), ha incursionado también fuertemente en esta época de disrupción tecnológica, lo que ha permitido que mediante técnicas de machine learning, Deep learning o redes neuronales, se puedan solventar variedad de problemas en el mundo digital. Su característica de aprendizaje automático y retroalimentación continua permiten que su capacidad de procesamiento sea altamente eficaz, con sistemas expertos y programación libre, acorde a cada desarrollador. Según (Flores Calero, 2009), la inteligencia artificial es una rama de las ciencias computacionales, encargada del razonamiento.

### **1.14. Procesamiento digital de imágenes**

El procesamiento digital de imágenes, por su parte, permite la mejora continua la calidad de los datos recolectados, por definición, es un conjunto de técnicas que se utilizan para provocar dicha mejora. Dependiendo el uso que se pretenda dar, a las imágenes y el proyecto pensado, se ejercen diversas formas de filtrado, conocidas como técnicas, con la intención de posibilitar mejoras en las imágenes capturadas en cada monitoreo ejecutado (Bertran Albertí, 2006.),

El uso de filtros coadyuva a mejorar los procesos de tratamiento de imágenes, sus objetivos fundamentales al ser aplicados son:

- Suavizar la imagen.
- Eliminar ruido.
- Realzar bordes, destacar los bordes que se localizan en una imagen.

- Detectar bordes, detectar los píxeles donde se produce un cambio brusco.

### **1.15. Sistemas de visión por computador**

Como lo plantea (Bertran Albertí, 2006), la visión por computador es el conjunto de herramientas y métodos que permiten obtener, procesar y analizar imágenes del mundo real con la finalidad de que puedan ser tratadas por un ordenador, automatizando de esta manera un mayor número de actividades, las mismas que al combinarse con IA entregan información fiable para la ejecución de las tareas programadas o previamente planificadas, con porcentajes ínfimos de error.

El proyecto de detección de sueño, en el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca, utiliza la visión por computador dentro de su propuesta de monitoreo, con la intención de mejorar la adquisición y tratamiento de datos, mitigando los problemas que desembocan en accidentes de tránsito, al ser su implementación puntualmente de carácter social, el beneficio debe ser a través de una aplicación confiable, con tecnología que permita su adecuado desarrollo.

### **1.16. Raspberry Pi 3 Model B**

Es un ordenador pequeño simple, se ha desarrollado para fomentar y ayudar en la enseñanza de la programación informática, siendo un excelente punto de partida para proyectos IoT (Internet de las Cosas). Su bajo costo, funcionalidad y desarrollo, dan como resultado una placa accesible para todos y con numerosas opciones de conectividad (“Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi,”).

### **1.17. Cámara web**

Dispositivos con resolución digital, codificando los niveles de intensidad luminosa, la cámara web es utilizada para captar las imágenes del rostro y enviarlas para su procesamiento, plug and play es una ventaja de la mayoría de ellas, en virtud de que no necesitan configuraciones adicionales, la resolución mínima requerida es de 640 x

480 pixeles/30fps, se pueden acoplar a cualquier sistema operativo, sin embargo, los procesadores deben cumplir con ciertas características mínimas para que puedan funcionar correctamente, entre ellas: procesador Intel 1.6GHz o AMD y 512MB de RAM (Cancelas et al., 2016).

## **1.18. Open CV**

Por sus siglas en inglés Open Source Computer Vision Library (Open CV) es una librería que permite el tratamiento de imágenes, utilizada en su gran mayoría para proyectos en los que son necesarias proceso de imágenes o visión en computadoras, de forma automática.

Es multiplataforma, convirtiéndose en una bondad de esta librería, su desarrolladora es Intel y fue creada para su uso en visión artificial, permite todo tipo de aplicativos: seguridad, detección de movimiento, control, procesamiento de detección de imágenes, procesos, objetos, etc., incorpora detectores Haar predeterminados, lo que la hace útil al 100% en procesos de detección de las características del rostro humano, los archivos de carga en Open CV son del tipo XML (OpenCV, 2016).

### **1.18.1. Instalación de Open CV en Raspbian**

Para instalar Open CV en Raspbian, es necesario conocer que este sistema está basado sobre Debian (OpenCV, 2016), y, la manera en la que la literatura indica que debe instalarse es la siguiente.

- Actualiza las cabeceras del sistema operativo.
- Instala las dependencias necesarias para usar Open CV.
- Descarga y descomprime Open CV.
- Crea una carpeta built dentro de la descompresión y ejecuta cmake y make.

### **1.18.2. Librerías de Open CV**

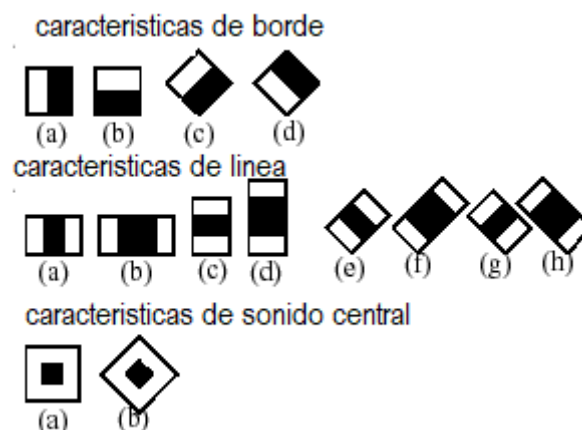
Las librerías de Open CV son de uso gratuito, en todo tipo de proyecto educativo, su desarrollo permite su funcionamiento bajo cualquier tipo de sistema operativo, permite además el uso de diferentes lenguajes de programación, siendo esta otra ventaja de esa librería (OpenCV, 2016).

En proyectos de procesamiento digital de imágenes, Open CV es altamente recomendado, por su adaptabilidad al uso de capturas en visión artificial.

### 1.19. Detección y reconocimiento facial

La detección y reconocimiento facial se realiza mediante clasificadores, la manera en la que trabajan es a través de entrenamiento, igual que cualquier sistema de inteligencia artificial o redes neuronales, se debe entonces entregar al clasificador cantidad suficiente de datos, para el caso de esta investigación, imágenes del rostro con diferentes características.

Este proyecto, al tener la necesidad de detectar y reconocer características del rostro, en tiempo real, siendo éstos lo más precisos posibles, inminentemente debe utilizar clasificadores, OpenCV lo permite a través del uso del algoritmo conocido como de Viola & Jones. (Flores Calero, 2009). La Figura 3 detalla las características visuales de una imagen.



**Figura 3.** Características visuales en una imagen.  
**Fuente.** (Flores Calero, 2009)

(Flores Calero, 2009) en su investigación indican que; “al momento de entrenar con la plantilla se busca combinaciones de las características expuestas en la imagen anterior. Y se selecciona las más significativas para que formen parte del clasificador. Cuando se requiere detectar objetos, el algoritmo aplica una serie de plantillas, sobre una región de interés en la que considera que podría hallarse el objeto en cuestión, si alguna de estas plantillas acaba dando positivo, el algoritmo considera que hay una coincidencia y se ha encontrado el objeto deseado, en este caso un rostro”.

### **1.20. Detección de ojos**

De igual manera, (Flores Calero, 2009) indican que cuando se obtiene la región que se pretende analizar y la misma es identificada, en este caso el rostro, se procede a realizar una segmentación previa de ésta, con una cantidad de información suficiente de rostros diversos, de todo tipo de región, raza y continente, con el uso de antropometría facial, se obtienen los resultados del entrenamiento y se caracterizan de acuerdo a los rasgos visuales de cada imagen.

### **1.21. Evaluación de apertura y posición del ojo en imágenes filtradas**

Las ecuaciones 1 y 2, son las que permiten la obtención de los resultados de las imágenes filtradas, además de su evaluación. Esto se realiza una vez que sobre éstas aplican integrales proyectivas verticales, que no es más que la suma de los niveles de grises de todos los pixeles de una columna; luego, se realiza la integral proyectiva horizontal, que por su parte utiliza el mismo criterio pero aplicado a los niveles de grises ejecutados sobre todas las filas. A manera de ejemplo, las ecuaciones para una imagen I de dimensiones AxB, se plantearían de la siguiente manera:

Ecuación 1. Integral proyectiva vertical.

$$P_B(y) = \frac{1}{B} \cdot \sum_{x=0}^{w-1} I(x, y); \quad \forall_y = 0 \quad B - 1$$

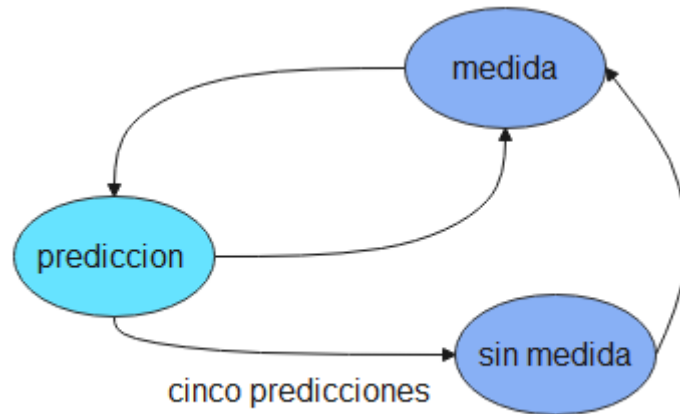
Ecuación 2. Integral proyectiva horizontal

$$P_v = \frac{1}{B} \cdot \sum_{y=0}^{B-1} I(x, y); \quad \forall_x = 0 \quad A - 1$$

Según (Moreno, 2011), al utilizar las ecuaciones 1 y 2, en un reconocimiento de imágenes, lo que se obtienen como respuesta son distribuciones de los niveles de gris en ambos ejes, a través de señales continuas. Utilizan además, convoluciones para manejar los patrones de amplitud y desviación típica, en función de lo que se quiere obtener; de tal manera que, el máximo punto de convolución determinará la posición del iris en la imagen. Esto se realiza en virtud de que, al utilizar filtros no se obtienen datos de posición precisos, lo que haría que el sistema no sea fiable para su implementación, además porque otros factores del ojo y su contorno impedirían que se pueda filtrar y procesar correctamente la imagen.

## 1.22. Seguimiento de los ojos

La Figura 4 muestra los estados aplicados al seguimiento de los ojos, es decir que, una vez precisada la ubicación del iris, es necesario continuar con el procesamiento de las siguientes imágenes, (López Romero, 2016) indican que para facilitar su obtención es recomendable el uso de filtros de Karman, el mismo que trabaja como predictor acortando la demora en la búsqueda de las siguientes imágenes que se necesitan para el codificador. Su funcionamiento básicamente consiste en tres etapas: la primera que sería la de medida, la segunda sería la predicción, y, por último, una etapa llamada sin medida. El proceso es en orden, es decir inicia con el estado de medida, luego se predice y después se obtiene una nueva medida, así sucesivamente hasta que el sistema no obtenga señales 5 tramas seguidas, en donde se determina que el ojo se encuentra cerrado o perdido.



**Figura 4.** Estados aplicados al seguimiento de los ojos  
**Fuente.** (López Romero, 2016)

### 1.23. Clasificador Haar - Cascade

Como se ha descrito en los apartados anteriores, se necesita una plantilla, lo que significa que se tendrá que entrenar nuestro propio clasificador de rostros, el cual es proporcionado por Open CV, este nos suministra varios clasificadores en formato .xml los cuales están orientados a reconocer rostros, manos, siluetas humanas, etc. Para descargar se accede a <https://github.com/opencv/data/haarcascades>, en la cual se encuentra una lista con todos los ficheros .xml que ofrece Open CV.

La plantilla Haar está basado en arboles de decisión, con entrenamiento supervisado, el cual se realiza determinando una serie de características faciales, basada en sumas y restas de niveles de intensidad de la imagen, como luz y contraste. Esta plantilla está diseñada para que pueda ser redimensionada, ya sea de forma automática o manual, mediante programación, para que sea capaz de encontrar los objetos de interés, lo cual es mucho más eficiente que redimensionar la propia imagen. Las características de Haar – Cascade son en esencia un conjunto de rectángulos blancos y negros que realizan operaciones de comparación, con el umbral original de la imagen, para determinar si es el objeto que se desea encontrar (OpenCV, 2016).

#### **1.24. Reconocimiento facial con Open CV**

Open CV, a más de facilitar las librerías de visión por computador, nos proporciona herramientas muy efectivas para detectar rostros, sin embargo, no dispone de funciones para identificar fácilmente a personas, por lo tanto, se utiliza la librería **Face\_Recognition**, la cual está diseñada específicamente para realizar el reconocimiento facial en humanos (OpenCV, 2016).

Los sistemas de reconocimiento de rostros son un problema que sigue siendo investigado, ya que intervienen algunos factores que afectan la efectividad del reconocimiento facial, tales como: gestos, elementos que cubran el rostro, iluminación, distancia de la cámara, entre otros. El avance más significativo en este campo, es la aplicación de algoritmos matemáticos, los cuales requieren menos de cien valores para cifrar correctamente una imagen facial, y, el estudio de patrones del iris, como método de captación (OpenCV, 2016).

#### **1.25. Los sistemas de reconocimiento facial automáticos**

Un sistema de reconocimiento facial automático realiza la siguiente función: dada una o varias imágenes de un rostro desconocido, analiza los rostros registrados en su base de datos, aquella que coincida con un mayor grado de similitud o parecido, la valida devolviendo la identidad de esta. El sistema alertará fallos, cuando al presentar una entrada correspondiente a un individuo, que se desea reconocer y no conste en la base, da como resultado una identidad falsa activando alertas al sistema (Moreno, 2011).

#### **1.26. Smart Mobility**

Aquí se plantean iniciativas enfocadas hacia una movilidad inteligente sostenible, la cual garantice que la accesibilidad, los sistemas de transporte, problemas ambientales y la gestión de las áreas de parqueo respondan a las necesidades económicas, sociales y medio ambientales de la ciudad. Para el caso particular de la UCACUE la movilidad en toda su área de cobertura, puede verse beneficiada con el uso de una tarjeta

inteligente, que permitiría varios servicios adicionales, como automatización de bibliotecas, consumo de alimentos, control de acceso de estudiantes y académicos, haciendo que se generen informes de entrada y salida. Esta tarjeta puede usarse como boleto o dinero para sistemas de transporte universitario, además de que se puede hacer un rastreo de autobuses que monitorea el movimiento de los pasajeros del bus, de manera que se pueda tener puntualidad y aumentar la eficiencia en la movilidad.

Para la movilidad entre diferentes estaciones de la Universidad Católica de Cuenca, las paradas de bus pueden estar equipadas con pantallas que permitan revisar a los usuarios los horarios de llegada y estimación en tiempo real de la duración de un trayecto. Ambientalmente, el transporte también puede ser tratado mediante la habilitación de bicicletas para movilidad dentro del campus, o entre varias estaciones del mismo, usando la tarjeta de movilidad. Los estudiantes y académicos también pueden usar estacionamientos inteligentes, ahorrando tiempos en el estacionamiento, seguridad de los vehículos, ubicación mediante una aplicación móvil que le permita al usuario encontrar el estacionamiento más cercano, ubicación de estacionamientos para personas con capacidades

## Capítulo II

### Materiales y métodos

#### 2.1. Situación actual del vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca

El vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca, cuenta actualmente con varios dispositivos implementados o en proyecto de implementación, dichos sistemas surgen en base a un programa de investigación multidisciplinario llamado Smart UniverCity Cato 2.0, específicamente, todos estos proyectos aportan a una arista de este que es la movilidad eléctrica. Este proyecto de detección de sueño es parte también de estas investigaciones, en virtud de que, la intención de cada aplicativo es mostrar como un vehículo eléctrico puede ser sustentable, y que, desde sus características básicas, al ser un automóvil de gama baja, puede irse mejorando gracias al aporte de la tecnología, pero siempre cumpliendo con su objetivo de ahorro de energía, bajas emisiones de gases contaminantes y sustentabilidad.

Actualmente, el vehículo no dispone de ningún dispositivo de este tipo, es por eso que el proyecto busca mejorar las condiciones constructivas del automóvil y brindar seguridad a los pasajeros del mismo. Adaptándose a los sistemas ya incorporados y siendo escalable para futuras mejoras en su diseño y características.

El vehículo de la Universidad es de la marca Dayang, la cual es una empresa de procedencia China dedicada al desarrollo y producción de vehículos eléctricos. Dentro de la fabricación de vehículos se encuentra el modelo CHOK-S, que es el cuadríciclo eléctrico para cuatro ocupantes, un vehículo compacto, pero amplio en su interior y que dadas sus prestaciones está diseñado 100% para la ciudad (Reinoso & Ortega, 2020).

De igual manera, (Reinoso & Ortega, 2020) en su artículo indican que, este automóvil utiliza un motor eléctrico de 4.5kW y una batería modelo 6EVF150, capacidad 150AH (3hr).

Al no existir un sistema de control del estado de somnolencia en el vehículo eléctrico de esta tesis, su acoplamiento permitió emitir alertas, a través de alarmas y mensajes, cuando el conductor se esté quedando dormido, se encuentra cansado o con fatiga.

## **2.2. Metodología**

El método utilizado en este proyecto de investigación fue experimental, en virtud de que se realizaron diferentes secciones de prueba y error hasta lograr el funcionamiento deseado.

Parte de una revisión de literatura fuerte, donde se estudian los conceptos necesarios para poder llevar adelante la investigación, luego se analizó la situación actual del vehículo eléctrico, sus características y funcionamiento, para determinar si el proyecto es aplicable en éste.

Una vez conocido lo anteriormente descrito, se inició con el diseño del proyecto, para mediante pruebas y error, concluir con su implementación, luego de cumplir las etapas de análisis. El tipo de investigación fue científica, la técnica utilizada fue la observación y los instrumentos de recolección en su mayoría fichas de observación, además de imágenes y análisis de los componentes del proyecto.

El sistema se desarrolló de la siguiente manera:

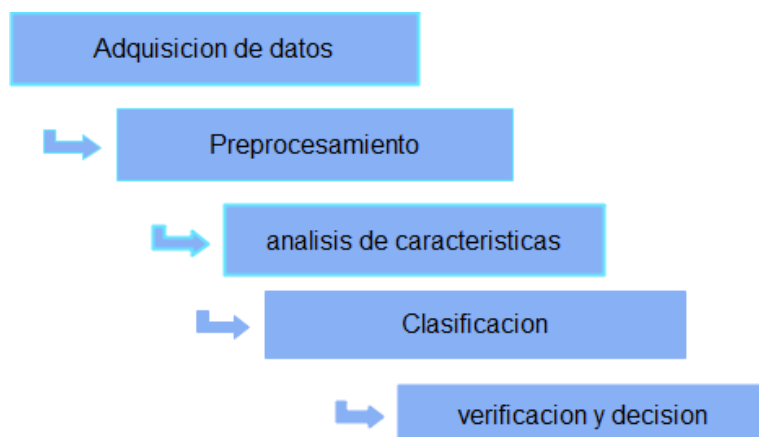
- Investigación bibliográfica
- Consultas en páginas web sobre el proyecto (Google Académico, Scopus, etc.).
- Consulta a profesores con conocimientos sobre el tema.
- Investigación de dispositivos relacionados al proyecto en el mercado.
- Investigación sobre los módulos, sensores y microcontroladores que se utilizarán en el proyecto.
- Elección de la cámara web para el sistema.
- Pruebas de detección del rostro.
- Desarrollo del algoritmo utilizando la librería OpenCV.

- Detección del movimiento de ojos (apertura o cierre) con el uso del algoritmo descrito en el capítulo de fundamentación teórica.
- Acople de botón de reinicio de bucle.
- Diseño de las piezas que sostendrán el proyecto en la plataforma Inventor.
- Construcción de prototipo de detección de sueño.
- Pruebas del prototipo.
- Implementación del prototipo en el vehículo eléctrico.
- Acople de integración para el envío de mensajes sobre el estado del conductor.
- Etapa de monitoreo para la detección de fatiga o somnolencia.
- Análisis de costos.
- Conclusiones y recomendaciones del proyecto.

### 2.2.1. Descripción general del sistema.

El sistema de control del estado de somnolencia tiene como finalidad alertar al conductor cuando se esté quedando dormido, el mismo está compuesto por la etapa de monitoreo para la detección de síntomas de somnolencia en el conductor, para ello, se utilizó la cámara Web, la tarjeta electrónica Raspberry Pi, y, un buser para que alerte de síntomas de cansancio o somnolencia.

El reconocimiento de patrones se logró estudiando los módulos que utiliza para su funcionamiento de forma sistemática, como se observa en la Figura 5.



**Figura 5.** Esquema general de un reconocimiento de patrones.  
**Fuente.** El Autor.

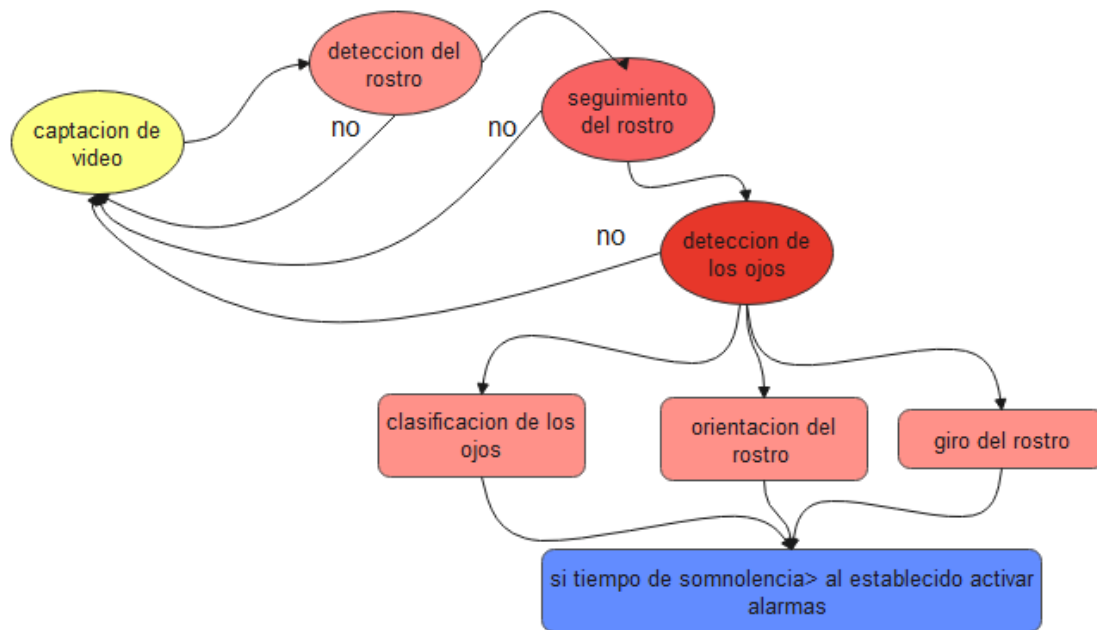
La adquisición de datos se realizó registrando las variables físicas a ser analizadas, para luego procesarlas en los dispositivos, para esto fue importante que los datos sean correctos y fiables, y el número de los mismos dependía directamente del dispositivo escogido. Se realizaron diferentes tomas de muestras, y se convirtieron en datos digitales para su procesamiento.

Para mejorar la calidad de los datos obtenidos, se realizó el procesamiento de los mismos, eliminando aquellos que no eran útiles para su operatividad. Luego se enviaron a través del bucle de datos a la memoria, para que sean procesados, validados, analizados o retroalimentados.

El análisis de características se realizó separando las partes de cada elemento, retroalimentándolo y viendo cómo iba dando mejores resultados.

Una vez realizado esto, se procedió con la clasificación, a través de un control adecuado de las características que necesitábamos para el éxito del proyecto, utilizando en estos pasos los algoritmos de clasificación y el entrenamiento.

El diagrama de bloques del sistema se muestra en la Figura 6, este se encuentra basado en dos secciones básicas, el análisis de visión artificial como punto de partida, capturando el video a través de la webcam, para luego procesar las mismas y seguir el bucle de adquisición hasta no tener detección ya de rostros, una vez logrado esto, se procede con el estudio de los ojos, para saber si los mismo se encuentran abiertos o cerrados, y si su comportamiento está dentro de los rangos normales analizados. Por último, se programaron las alertas para mantener la atención del conductor o para indicarle que está entrando en etapa de fatiga o somnolencia.



**Figura 6.** Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema.  
**Fuente.** El Autor.

La adquisición de imágenes se realizó con el uso de la webcam, la misma que debía ser de alta resolución para el procesamiento digital de los rostros capturados, para que las mismas sirvan de insumo de entrada al sistema, además, debía contar con un modelo que pueda ser adaptado al vehículo eléctrico de la Universidad, las pruebas se realizaron en diferentes cambios climáticos y ambientes, para comparar las imágenes capturadas en el día, en la tarde y en la noche, permitiendo que hagamos los ajustes necesarios para su correcto procesamiento.

Esto nos permitió identificar que eran necesarios ajustes de control en las ganancias, para de manera automática, corregir estos inconvenientes y mitigar los defectos de iluminación y demás. El funcionamiento de estos algoritmos es el siguiente: toman la imagen de entrada, para proporcionar medidas correctas de los parámetros de somnolencia, las analiza y si se encuentran errores o inconvenientes en su apariencia, dan como resultado errores que deben ser corregidos. Luego de las diferentes pruebas realizadas se encontró como inminente iluminar mediante infrarrojos las zonas para la captura de imágenes, logrando así mejorarlas considerablemente.

Características como: los niveles de gris, contraste, ruido, realce, entre otras, fueron procesadas en el tratamiento de imágenes, con el objetivo de lograr mejoras en las mismas, mediante el uso de operaciones morfológicas, y ecualizaciones. Lo que permitió además reducir considerablemente el ruido encontrado en este procesamiento digital.

Por último, se implementaron las alarmas para que a través de sonidos se alerte al conductor cuando entra en estados de fatiga o somnolencias, además, se acopla a otro proyecto presentado en la Universidad, para que, a través de este se envíe un mensaje al conductor y a un pasajero adicional sobre este inconveniente, tratando así de cumplir con el objetivo de mitigar accidentes de tránsito con la incorporación de un sistema de detección del sueño en un vehículo eléctrico.

### **2.3.Análisis comparativo**

- **Microcontroladores**

#### **Raspberry PI 3 (Anexo 1)**

Características:

- CPU Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits
- 1GB de RAM
- BCM43438 LAN inalámbrica y Bluetooth de baja energía (BLE) a bordo
- 100 Base Ethernet
- GPIO extendido de 40 pines
- 4 puertos USB 2
- Salida estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto
- HDMI de tamaño completo
- Conexión de cámara CSI para conectar una cámara Raspberry Pi
- Puerto de pantalla DSI para conectar una pantalla táctil Raspberry Pi
- Ranura Micro SD para cargar su sistema operativo y almacenar datos

Como ya se ha descrito, la Raspberry PI 3 es una mini computadora, con un sistema basado en Linux, con múltiples entradas y salidas digitales (GPIO) que nos permite realizar programación mediante Python, además, controla una gran variedad de dispositivos electrónicos, otorga facilidades también para programas desde cualquier otro equipo que utilice su mismo lenguaje de programación. Tiene todos los puertos necesarios para el proyecto.

### **Arduino UNO R3 (Anexo 2)**

Características:

- Microcontrolador: ATmega328 (5V)
- Alimentación recomendada: 7-12V
- Pines digitales I/O: 14
- Pines PWM: 6
- Entradas analógicas: 6
- Corriente máxima por pin: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB (0.5KB para el bootloader)
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB
- Velocidad: 16 MHz

Genuino o Arduino UNO R3, por su parte, es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 soportan PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un botón de reset, con un entorno de programación basado en Wiring. La gran desventaja del Arduino frente a la RPi es la velocidad de procesamiento, siendo la de la RPi de 900MHz mientras la del Arduino de solamente 16MHz.

- **Cámaras**

### **Logitech (Anexo 3)**

Características:

- Series: C270
- Peso: 340 g
- Dimensiones: 21 x 7,6 x 15,2 cm
- Resolución de pantalla: 3 MP
- Máxima resolución de pantalla: 720p
- Capacidad del disco duro: 200 GB
- Plataforma de Hardware: PC / Mac
- Sistema operativo: Windows XP (SP2), Windows Vista, Windows 7 (32-bit/64-bit)

### **Cámara RPi (Anexo 4)**

Características:

- Compatibilidad: Totalmente compatible con todos los modelos de la Raspberry Pi
- Resolución de pantalla: 5MPxOmnivision
- Resolución de imagen: 2592x1944
- Vídeo: Soporta 1080p a 30fps, 720p a 60fps, 640x480p 60/90 en grabación
- Conexión: 15 pines MIPI cámara Interfaz de serie
- Alimentación: 3,3V
- Dimensiones: 12x8, 2x2, 6cm

### **Cámara Pi Noir (Anexo 5)**

Características:

- La Pi Noir es una cámara Infrarroja para la RPi
- Compatibilidad: Totalmente compatible con to dos los modelos de la Raspberry Pi
- Resolución de Pantalla: 5 mega píxeles Sensor OV5647
- Vídeo: Soporta 1080pa, 30fps, 20p a 60fps ,640x480p, 60/90 en grabación
- Conexión: 15pines MIPI cámara Interfaz de serie
- Dimensiones: 25 x 24 x 6mm
- Especificaciones de la cámara:
- CCD Tamaño: 1/4 pulgadas
- Apertura (F): 2,9
- Longitud focal: 3,29mm
- Diagonal: 72,4 grados
- Alimentación:3,3V
- Soporta hasta 2 LED sin infrarrojos y/o flash de relleno.

- **Iluminación**

### **Iluminación Infrarroja (Anexo 6)**

Características:

- Matriz de LEDs infrarrojos
- Autoprotección integrada contra altos voltajes
- Ángulo:45/60/80
- Cantidad de LEDs: 48LED
- Tensión de trabajo: 12Vcc

### **Luces infrarrojas para cámara PI (Anexo 7)**

Características:

- Luz LED infrarroja de 1W 850.

- Fotorresistor a bordo, el detector de luz ambiental.
- La gran distancia de imagen está dentro de los 2 m.
- Con resistencia ajustable para controlar la luz ambiental.
- Diseñado para funcionar con la cámara Raspberry Pi.
- Material: ABS
- Potencia: 1W
- Voltaje: 5V
- Actual: 5A
- Tamaño del módulo: 2.8 \* 1.9 \* 1.5cm / 1.10 \* 0.75 \* 0.59in
- Tamaño del paquete: 10 \* 8.6 \* 2 cm / 3.94 \* 3.39 \* 0.79in
- Peso del paquete: 14g / 0.49oz

- **Software**

Sistema Operativo:

- Raspbian
- Noobs
- Linux
- Windows

Entorno de Programación:

- Python
- Arduino
- Visión Artificial
- OpenCV (en C++)
- OpenCV (en Python)

Luego de analizar las características de cada elemento de hardware y software, se optó por utilizar la placa Raspberry Pi 3, en base fundamentalmente por su velocidad en el procesamiento de datos y su capacidad y convergencia con casi todo elemento. Comunicación fácil con la webcam seleccionada y su programación es directa o indirecta.

Para el entorno visual del proyecto se seleccionó la cámara PI, sus virtudes para esta implementación son: conexión mediante CSI (puerto incorporado en la Raspberry precisamente para este tipo de cámaras).

El módulo de luces infrarrojas también fue seleccionado, de igual manera por su facilidad de conexión, en este caso a la cámara Pi, lo que permitirá optimizar tiempo y consumo.

Raspbian es un software propio del microcontrolador de la Raspberry Pi 3, es por esto su elección principalmente, además porque viene incorporado con programas predeterminados, lo que le hace de fácil uso y programación.

Por último, y no menos importante, la librería escogida fue Open Cv, por sus funciones gratuitas para fines académicos y es multiplataforma.

## **Capítulo III**

### **Diseño e implementación**

#### **3.1.Desarrollo de software**

El código de la programación del proyecto, se puede observar en el anexo 8, para ello es necesario indicar que se basó en el entorno de desarrollo integrado eclipse, asociando las librerías Open CV, descritas en capítulos anteriores, basado en C++.

Lo esencial de esta programación es que se pueda contar con información del sistema en tiempo real.

#### **3.2.Reconocimiento facial**

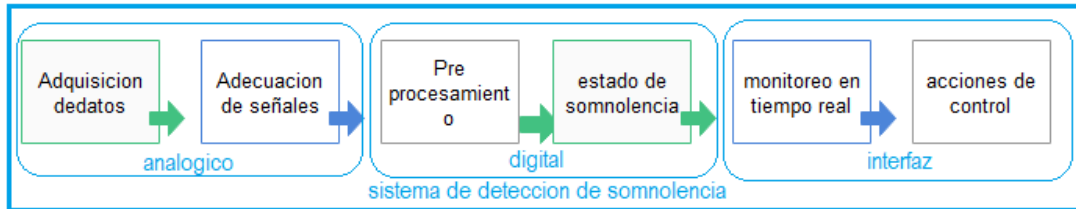
El algoritmo permitió trabajar correctamente con los datos obtenidos, los que para el estudio no necesitaban tener un volumen alto en los mismos. Se identificó que es robusto para trabajar con cambios de iluminación, logrando obtener excelentes resultados en la identificación de los rostros, su entrenamiento permitió alcanzar alta confiabilidad luego de las diferentes pruebas realizadas.

Además, el tiempo de respuesta ante el reconocimiento del rostro fue bajo, lo que permitió trabajar con todo tipo de imagen, en escalas de grises, lo que influyó en que toda la base de datos tratada y procesada fuera analizada de una manera rápida en el sistema para la obtención de resultados.

#### **3.3.Entrenamiento**

El entrenamiento del sistema, consistió en seleccionar la base de datos de las características faciales y probar el sistema para que sus errores sean mínimos, la eficiencia se logró al muestrearlo cada ocasión que se contaba con un usuario diferentes, luego, se almacenaron estos entrenamientos en archivos externos con extensiones yml, siendo estos los ubicados en el mismo directorio donde almacenamos

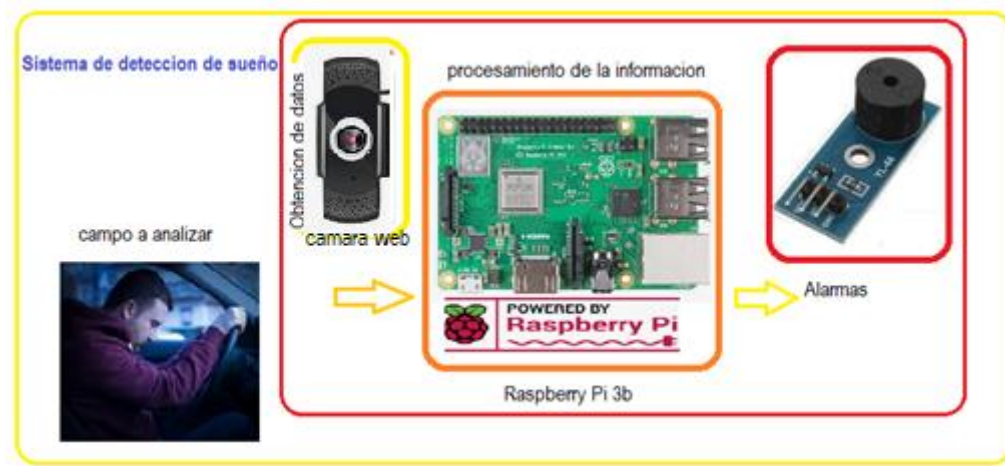
la programación completa del proyecto. La Figura 7, detalla el proceso de detección de en el entrenamiento de características de somnolencia.



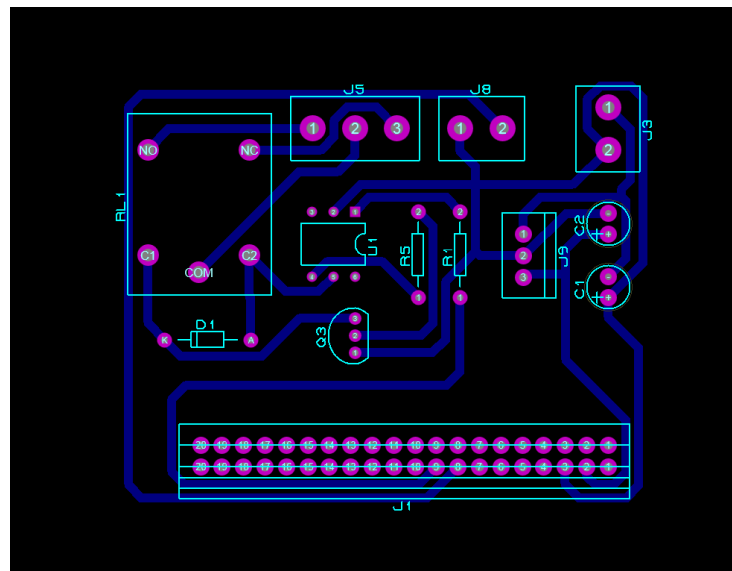
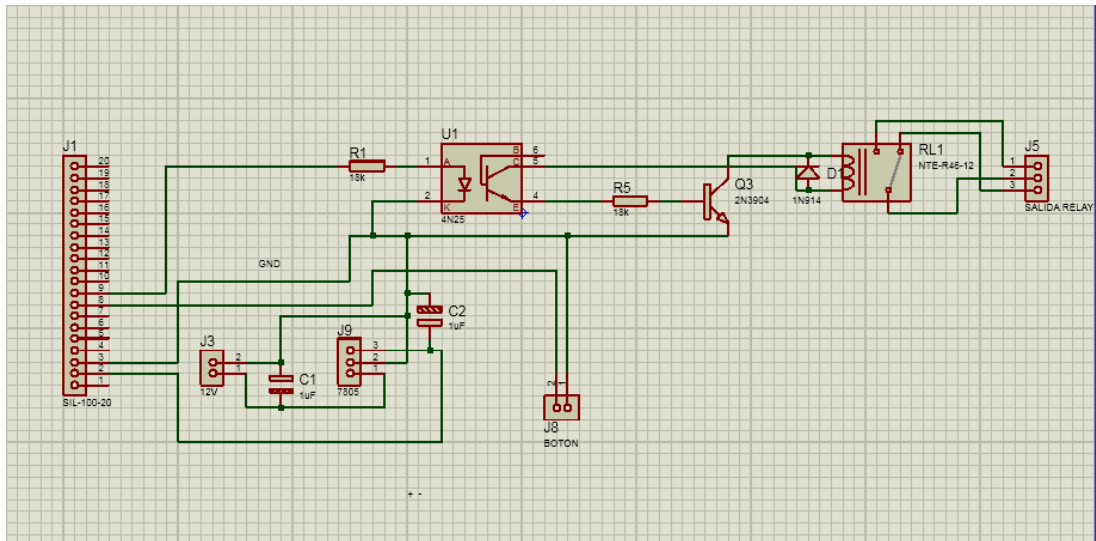
**Figura 7.** Sistema activo de detección de somnolencia.  
**Fuente.** El Autor.

### 3.4.Arquitectura

La Figura 8 detalla la arquitectura del sistema propuesto, la cual consiste en el tratamiento de la información (imágenes) en tiempo real, la webcam seleccionada ingresa las capturas, esta es tratada a través de la Raspberry Pi, para que mediante la programación de ésta se detecten los eventos, se procesen, y en base a los resultados se activen las alarmas y el envío de mensajes, si se demuestra que el conductor está en una etapa de somnolencia o fatiga, si no ocurre ninguno de estos eventos, el sistema continua muestreando y analizando hasta detectar una falla. La figura 9, por su parte, presenta el circuito de potencia desarrollado, así como su diseño para la impresión en el PCB.



**Figura 8.** Arquitectura del prototipo para la detección de signos de fatiga.  
**Fuente.** El Autor



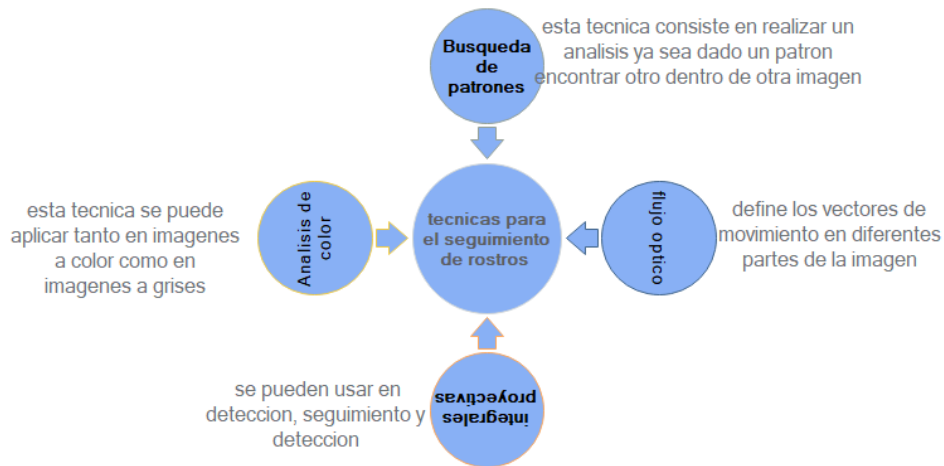
**Figura 9.** Circuito de potencia y diseño para PCB.  
**Fuente.** El Autor

### 3.5. Sistema operativo y software de programación

En el capítulo anterior, se indicó que el sistema operativo seleccionado era Raspbian, completamente compatible con la tarjeta Raspberry utilizada en el proyecto, dicho software se encuentra basado en Linux y es gratis para su desarrollo. Una vez montado sobre este sistema el proyecto se realizaron las pruebas ya de funcionamiento del mismo (Anexo 9).

### 3.6. Seguimiento del rostro

Para el seguimiento del rostro, se utilizaron las técnicas descritas en la Figura 10, las mismas que permitieron integrar completamente la data obtenida con el sistema desarrollado.



**Figura 10.** Técnicas para el seguimiento de rostros.

**Fuente.** El Autor.

### 3.7. Haar como detector de rasgos

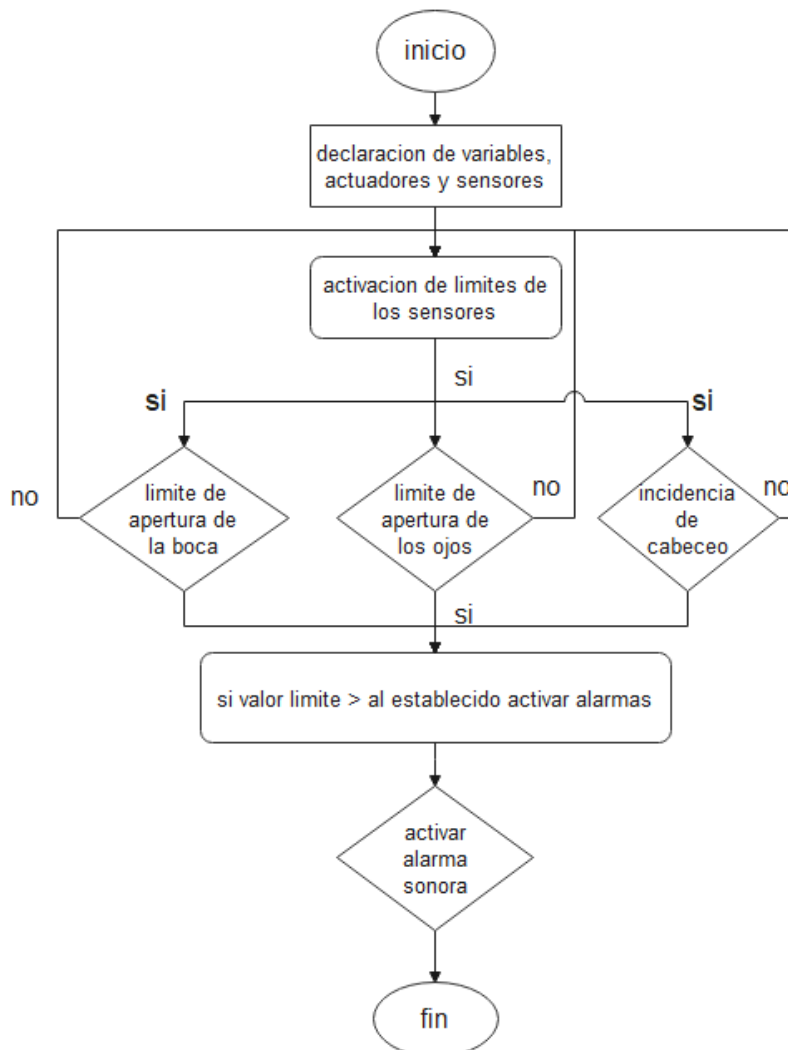
En este punto, se utilizó Visual Basic para el acople del módulo, se desarrolló bajo EmguCV, semejante al uso de OpenCV para C++.

Primeramente, se obtuvo el video mediante un objeto de clase Image, para recopilar las imágenes de la webcam, todo esto en el contexto donde se ubica el conductor, este frame del video fue logrado con el uso de QueryFrame.

Luego, para contar con la cantidad suficiente de argumentos, mediante DetectMultiScale, se logró procesar las imágenes en las escalas y tonos deseados. Se utilizó nuevamente una clase tipo Image como en las detecciones anteriores, una vez logrado esto, se ecualizó la imagen detectada y con el clasificador CascadeClassifier "frontalface.xml", se logró entrenar el sistema de tal manera que la detección de rostros fuera la adecuada.

### 3.8. Algoritmo de identificación de somnolencia y detección de áreas

En la Figura 11, se muestra el algoritmo utilizado para la detección de somnolencia, este considera los factores analizados que determinan si un conductor presenta algún tipo de característica de somnolencia, se consideraron diferentes variables, como por ejemplo el bostezo, analizando cuando uno es producido por cansancio y cuando no, para eso es necesario comprender la relación que existe entre la apertura de la boca y el tiempo de duración de este proceso. Dicha información permite comprender a ciencia cierta cuando una variable de este tipo efectivamente se puede considerar como vulnerable y consecuentemente activar las alarmas proyectadas como métodos de alerta y precaución.



**Figura 11.** Algoritmo de detección de la somnolencia.

**Fuente.** El Autor.

Para la medición y el cálculo de la apertura de la boca, el algoritmo que se utilizó fue el que determina el movimiento de la mandíbula inferior, se consideraron además factores como el cabeceo y la incidencia de los ojos; una vez entrenado el algoritmo, con el uso de diferentes capturas asincrónicas, sirviendo para que cuando el sistema detecta que algunos de estos factores son reiterados o están fuera de los parámetros normales, se activen las alarmas y los actuadores entren a funcionar como medio de prevención.

Para detectar las áreas, es decir, la distancia que debería existir entre el individuo y la webcam de monitoreo, se debe fundamentar su objetivo en la relación del contorno de los ojos, para determinar si el sujeto analizado se encuentra presentando algún síntoma de fatiga. Esto se logró mediante una relación en porcentajes, del área de los ojos, buscando identificar si existen niveles de cansancio en relación a la apertura del ojo del conductor.

La Figura 12 muestra el contorno de los ojos de una muestra ejemplo, su cálculo es expresado en pixeles elevados al cuadrado, la ecuación 3 determina este cálculo, y su valor debe ser luego presentado en porcentajes, para poder utilizarlo como referencia en el sistema desarrollado, este cálculo se logra mediante la aplicación de la ecuación 4.



**Figura 12.** Contorno de los ojos  
**Fuente.** El Autor.

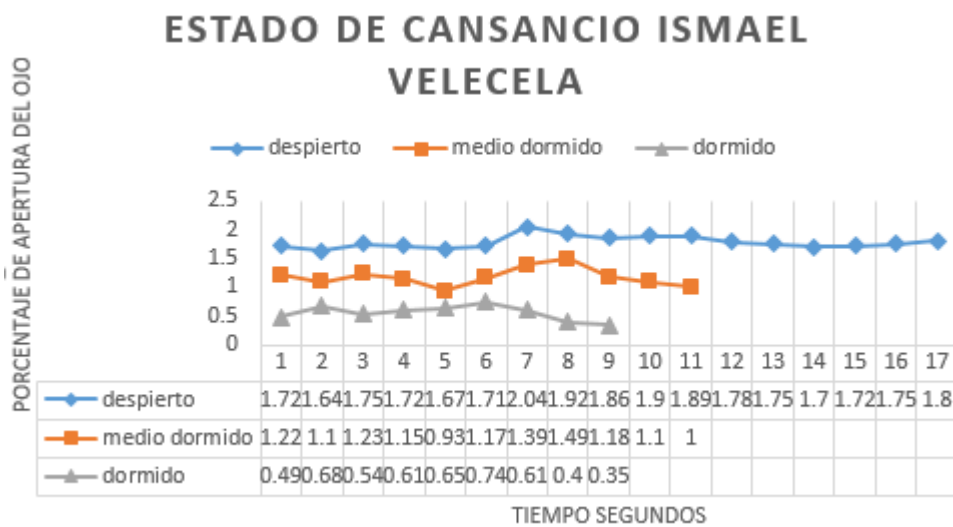
**Ecuación 3.** Área de los ojos.

$$Area_{ojos} = Area_{ojo\ izquierdo} + Area_{ojo\ derecho}$$

**Ecuación 4.** Porcentaje del área de los ojos.

$$ojos(\%) = \frac{Area\ ojos}{Area\ Rostro}$$

Por su parte, la Figura 13 presenta la gráfica de porcentajes en 3 estados, enfatizando que, la distancia calculada varía conforme cambian los rostros, en virtud de que cada individuo tiene áreas y características morfológicas diferentes. En este apartado se consideraron varios factores, para que el sistema sea altamente confiable, los datos deben ser entrenados y analizados por la contextura de cada rostro, para esta muestra ejemplo, la distancia entre la webcam y el conductor se estableció en 50cm.

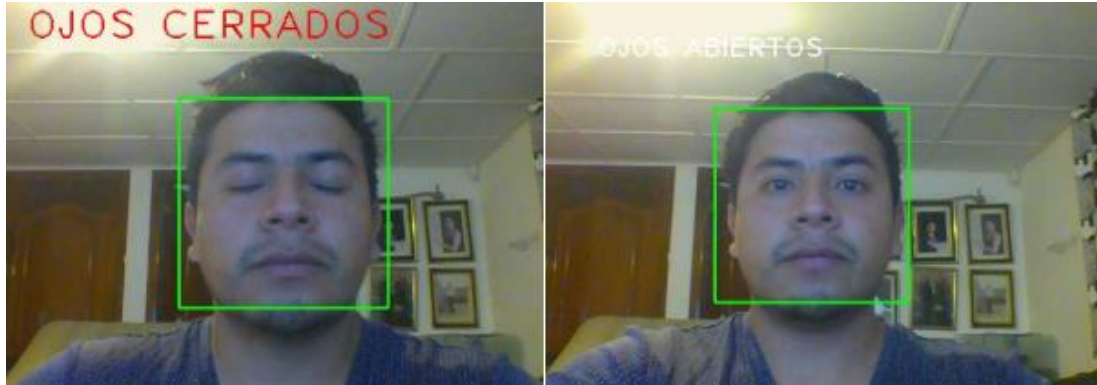


**Figura 13.** Grafica de valores de porcentaje en tres estados.  
**Fuente.** El Autor.

Para las pruebas y obtención de datos del parpadeo, se consideró que, un individuo, bajo situaciones normales, pestañea de 17 a 20 veces en un minuto. Frente a diferentes escenarios esta frecuencia puede disminuir, como por ejemplo cuando una persona lee o está sentada mucho tiempo frente a un computador. Para que el algoritmo funcione correctamente se estableció que una persona se encuentra dormida o tiene sus ojos completamente cerrados cuando los valores oscilan entre 0.35 y 0.74. Bajo estos parámetros se diseñó el sistema, identificando de esta forma los signos que permitirían de igual manera activar las alarmas.

En la Figura 14 se presentan las imágenes del entrenamiento ya con el sistema desarrollado, dichas gráficas fueron captadas en tiempo real, con la webcam ubicada a la distancia especificada en el párrafo anterior y muestreando los diferentes factores

que sirven de alimento para la base de datos y perfeccionamiento del entrenamiento del proyecto.



**Figura 14.** Análisis de imágenes con el equipo desarrollado.  
**Fuente.** El Autor.

El algoritmo ( $K_{NN}$ ) se utilizó para realizar el almacenamiento de las diferentes capturas del entrenamiento en la memoria, esto desembocó en la predicción de respuestas ante las siguientes muestras. Esto es conocido como análisis de los vecinos más cercanos, con diferentes secuencias de aprendizaje.

### **3.9. Implementación del sistema de detección de cansancio**

El proyecto se planteó para implementarse en el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca, demostrando la funcionalidad del mismo, sin embargo, por efectos de la pandemia, no se pudo tener acceso todo el tiempo a este, pudiendo únicamente realizar las diversas pruebas de funcionamiento para que luego se proceda con su implementación, demostrando su operatividad.

Para la implementación en el vehículo, se realizaron ciertas consideraciones, tales como:

- Alimentación de voltaje DC independiente del sistema.
- Distancia entre el usuario y la cámara del equipo.
- Incidencia lumínica.
- Ángulo de inclinación de la cabeza.

- Estado del operador.

El momento que se inició la marcha del vehículo y se encendió el dispositivo, se pudo notar que el equipo se colgaba, o no realizaba el reconocimiento facial, puesto que la incidencia lumínica era elevada, lo que dificultó la adquisición de datos por parte del sistema de video, lo que conllevó a realizar una calibración en el filtro ( $K_{NN}$ ).

Al ajustar el filtro, se estableció un nuevo flujo de datos, para lo cual se modificó el análisis de pixeles, código de reconocimiento facial, segmentación y detección de los ojos.

### **3.10. Alarmas**

La alarma propuesta para ser activada, a través de un actuador, cuando el sistema detecta síntomas de cansancio, fatiga o somnolencia, es una de efecto sonoro, la misma que al ser detonada emite sus zumbidos a través de un buser o parlante, ubicado en un punto cercano al oído del conductor. La intención de su ubicación y el sonido es prevenir accidentes de tránsito al poner al conductor en alerta o en el peor de los escenarios despertarlo.

Además, se acopló un sistema de envío de mensajes al conductor y un ocupante del vehículo que les indique también que están entrando en estado de fatiga, cansancio o somnolencia, esto se logró anexando este proyecto a otro ya diseñado para el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca (ver Anexo 10).

### **3.11. Presupuesto y análisis financiero**

La factibilidad de ejecución del proyecto se conoce a partir de una integración de factores internos y externos de la institución, todos estos, relacionados con los objetivos planteados en esta investigación. Dichos factores deben ser apreciables, por ejemplo: dinero, equipos, implementos, etc., o en su defecto, no observables, como la tecnología y software de despliegue.

Para esto, es importante realizar un análisis FODA que permita mostrar los beneficios de la implementación del proyecto y las desventajas también en su desarrollo, para que, mediante su contribución, comprender si el proyecto es viable o no, desde el punto de vista organizativo y financiero. Para esto, se establece el orden de fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades, de la implementación de esta tesis, detallados a continuación:

### **Fortalezas:**

- Personal capacitado, estudiantes y docentes inmersos en proyectos de investigación en la Universidad, relacionados al vehículo eléctrico.
- El impacto social que genera esta implementación, ayudaría a la ciudadanía en general, en un tema tan complicado como la reducción de accidentes de tránsito.
- Según las cifras de problemas en las vías del país, se observa que el proyecto es altamente aplicable, tanto desde el punto de vista del conductor como del peatón.
- No existe resistencia por parte de la Universidad para su desarrollo, de hecho, el proyecto es parte de una rama de un programa de investigación aprobado.
- Trabajo en conjunto con diferentes facultades, para que de manera multidisciplinaria se pueda implementar el proyecto, e incluso mejorarlo.
- Profesionales con experiencia en tecnología, control y automatización.

### **Debilidades:**

- Falta de conocimiento de la ciudadanía en general sobre aplicaciones de este tipo.
- Vehículos de gama baja en los que es difícil el acceso a la implementación de nuevos dispositivos.
- La falta de acceso al vehículo por motivos de la pandemia.
- Desconocimiento sobre ciertos lenguajes y sistemas propios de cada equipo.

### **Oportunidades:**

- Replicar el proyecto para su implementación en otros vehículos y mejoras en trabajos a futuro.
- Infraestructura y equipos al alcance, además del apoyo de la Universidad por ser un proyecto dentro de un programa de investigación universitario.
- Sistema escalable, integrable y adaptable.
- Alianzas con otras facultades y carreras para convertirlo en un proyecto multidisciplinario.

### **Amenazas:**

- Fallas en el sistema por el bajo costo de algunos equipos, al ser un proyecto de tesis y no de implementación comercial.
- Crecimiento del parque automotor de las ciudades, sin el control y seguridad sobre el uso de los vehículos.
- Jornadas largas de trabajo en muchas empresas.
- Enfermedades relacionadas a vicios y consumo de sustancias prohibidas, que generan fatiga y somnolencia.
- Aumento en los precios de importación de equipos.

Este análisis permitió identificar, que el proyecto es viable y que se debe aprovechar de las fortalezas y oportunidades, como factores internos de la organización, para atacar sobre las debilidades y amenazas, que se encuentran presentes como factores externos al proyecto.

### **Relación beneficio-costos**

La relación Beneficio Costo se considera una manera práctica de evaluar la conveniencia de proyectos en los que es importante tener una visión de largo alcance y una visión amplia; es decir, implica la enumeración y evaluación de todos los costos y beneficios pertinentes (Ortega Castro & García Abad, 2014).

Un punto de vista práctico, para proyectos académicos, es que los mismos no buscan ningún tipo de remuneración o lucro a cambio de su implementación o desarrollo, esta es una ventaja al momento de analizar costos beneficios de proyectos, en virtud de que la Universidad, en este caso, el vehículo eléctrico no tendría que realizar ningún tipo de egreso por el desarrollo y la implementación.

La evaluación económica y social de proyectos académicos, comprara los beneficios y costos que una determinada inversión pueda tener para la comunidad y su aporte e impacto dentro de la misma.

No siempre un proyecto que es rentable para un particular es también rentable para la comunidad y viceversa (Ortega Castro & García Abad, 2014). Sin embargo, siempre se demostrará que, los proyectos de impactos social pesan mucha al momento de tomar decisiones sobre su implementación o no, en virtud de que su aporte no es para generar réditos económicos, sino más bien, para propulsar y mejorar la calidad de vida de las personas.

Al conocer que para un proyecto de este tipo, el beneficio que interesa es social y no se cuenta con capital de trabajo, cuentas por pagar, cuentas por cobrar, y otros indicadores financieros, que permitan establecer y conocer la realidad de una implementación comercial, se presenta a continuación los valores que se considerarían para el desarrollo de este trabajo y la manera en la cual se observa si es o no rentable, enfatizando que su intención de desarrollo no es con fines de lucro.

### **Indicadores financieros**

Es importante hacer una evaluación financiera del proyecto para concluir si la ejecución en sí del mismo se puede realizar, si es viable o no, y si se recuperará la inversión del mismo, aunque el impacto en realidad de esta tesis en académico y social.

*Tabla 1. Equipos de oficina y sus características.*

<b>EQUIPO</b>	<b>CARACTERISTICA</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
Computadora	Uso del personal de oficina.	\$ 500,00
Impresora	Impresora a láser marca HP.	\$ 131,00
Muebles y encerres	Escritorio, silla, archivador, estante.	\$ 1.200,00
Equipos de oficina	Teléfono, fax, calculadora.	\$ 245,00
Suministros de oficina	Grapadora, perforadora, hojas, esferos, carpetas, agenda, tinta para impresora.	\$ 200,00
<b>TOTAL MUEBLES Y ENCERES</b>		<b>\$ 2.276,00</b>

*Fuente.* El Autor.

*Tabla 2. Equipos de oficina y sus características.*

Descripción	unidades	Precio unitario	Precio total
<b>Raspberry Pi 3b</b>	1	70	70
<b>Webcam</b>	1	25	25
<b>Buser</b>	1	10	10
<b>Placa impresa</b>	1	40	40
<b>Caja de protección</b>	1	60	60
<b>Impresión 3D</b>	1	40	40
<b>Diseño de la placa</b>	1	80	80
<b>Módulo GSM</b>	1	0	0
		Subtotal	325.00
IVA		12%	39.00
		TOTAL	264.00

*Fuente.* El Autor.

Una vez conocidos los valores de la implementación del vehículo, se observa que no son onerosos rubros los que se deben pagar, de manera fundamental porque el desarrollo es de carácter académico, y no se incluye en el costo final de la implementación.

### **3.12. Síntesis de funcionamiento**

En resumen, el sistema utiliza la librería Open CV, que al recibir la información desde la webcam permite establecer parámetros para determinar su ubicación. Punto de partida para la implementación del dispositivo de captura de imágenes.

Luego se realizan las pruebas sobre la detección del rostro, si este es detectado se continúa, caso contrario se ubica nuevamente el dispositivo, la distancia debe oscilar entre 20 y 60 cm. Y el ángulo entre el conductor y la cámara debe ser de 30 grados.

Una vez establecido esto, el sistema, mediante sus algoritmos, detecta la apertura de los ojos, para iniciar con su análisis en base al entrenamiento y determinar si los mismo se encuentran completamente abiertos, o cerrados. Si uno de estos factores no coincide con lo permitido por el sistema, se activa el actuador y la alarma entra a funcionar.

Para el apagado de la alarma, va a existir un botón de reinicio, el mismo que no apaga el sistema, sino que únicamente lo pone nuevamente activo entendiendo que el conductor ya entró nuevamente en una etapa normal de conducción o se detuvo para tomar algún descanso.

Por último, se acopla, a través de un módulo GSM SIM800L, para que se puedan enviar mensajes, a través del puerto serial de la Raspberry, con comandos AT, emitiendo estas alertas cuando las sirenas estén activas, esto gracias a que muchas veces los seres humanos al ser dependientes de los teléfonos móviles, muchas veces prestan más atención a un sonido o vibración emitida en sus celulares, que ha algún otro tipo de notificación externar. Para este proyecto el acople de esta última parte resulta sencillo en virtud de que ya existe una implementación de mensajería en un proyecto realizado sobre el vehículo eléctrico de la Universidad.

## CAPÍTULO IV

### Conclusiones y recomendaciones

#### 4.1. Conclusiones

Una vez culminado el trabajo de titulación denominado: Implementación de un sistema de detección de sueño, en el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca, se concluye:

Varios son los factores que inciden en el cansancio, fatiga o somnolencias. Dichos factores se ven mucho más afectados cuando el tiempo de conducción es prolongado y no ha existido un descanso adecuado. El sistema permitió identificar las características de estos problemas y solventarlos con tecnología actualizada, es decir se utilizaron criterios de inteligencia artificial, electrónica y automatización.

Los objetivos propuestos en el proyecto, se cumplieron a cabalidad, en virtud de que, se logró identificar los elementos de hardware y software necesarios para brindar una solución que mitigue los accidentes de tránsito producidos por conductores en estado de fatiga y agotamiento. La literatura permitió comprender cuáles eran los mecanismos actuales utilizados en estudios semejantes, el estado del arte mostró que el proyecto planteado si es de interés actual en esta área del conocimiento.

La carga de trabajo, sumada a la depresión y el estrés, causan parpadeo constante, pesadez en la cabeza, y, reducen gradualmente la concentración de las actividades, haciendo que el conductor pierda su capacidad de respuesta al conducir, que según la revisión de literatura y estado del arte es una de las causas fundamentales que incurren en la posibilidad de accidentes.

La inteligencia artificial, como método innovador en este estudio, ha revolucionado este tipo de aplicativos, en virtud de que se ha demostrado, que no utiliza métodos ni equipos invasivos, convirtiéndose en la fortaleza de este proyecto. Con la visión artificial se cumplió satisfactoriamente el objetivo principal de la investigación, y se

logró, analizar las imágenes y la data necesaria, para al ser tratada en tiempo real detectar los cambios que pueden producir problemas o riesgos de accidentes, sin embargo, no es una solución definitiva, pues, como trabajos futuros se podrían investigar otros métodos y maneras de utilizar tecnología existente, para mitigar accidentes de tránsito por los problemas abordados en esta investigación.

#### **4.2.Recomendaciones**

Una vez culminado el trabajo de titulación denominado: Implementación de un sistema de detección de sueño, en el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca, se recomienda:

El uso de tecnología, en diversos ambientes de trabajo, para buscar alternativas de solución para varios problemas presentados en la sociedad y en todas las áreas que se puedan imaginar, ya que, tras las pruebas de funcionalidad del sistema, se puede asegurar que mientras más escalable sea un sistema, se pueden acoplar al mismo, diferentes sensores, actuadores y equipos electrónicos, que permitirían alcanzar soluciones óptimas y exactas para todo proyecto.

Nos encontramos en una época de disrupción tecnológica, las tecnologías inmersas en la transformación digital están al alcance de nuestras manos, se recomienda conocerlas, estudiarlas y aprovecharlas, para solucionar y mitigar inconvenientes propios del uso de vehículos, sobre todo en aspectos fundamentales propios de estos, como el caso de accidentes de tránsito por diversos factores. Las comunicaciones vehiculares también coadyuvan a reducir estos inconvenientes y generar poco a poco mejoras en estos aspectos que afectan día a día a nuestra sociedad.

En base al párrafo anterior, una de estas tecnologías es la inteligencia artificial, donde una de sus aristas es la visión artificial, la misma que integrada a sensores robustos para la adquisición de datos, actuadores fiables y sistemas escalables, permiten incursionar en soluciones como la desarrollada en este proyecto. Recomendando a las instituciones de Educación Superior a inmiscuirse en el estudio de estas tecnologías y

promulgar practicas internas y externas para mejorar las aptitudes de los estudiantes en el uso de estas tecnologías.

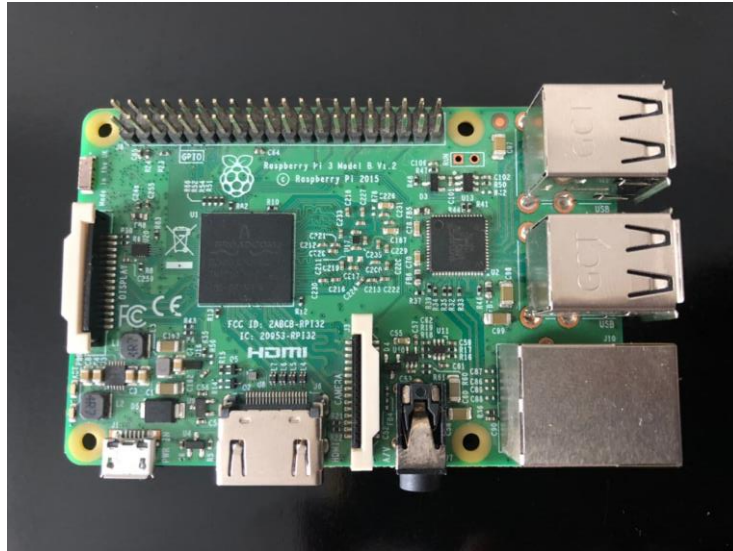
## Bibliografía

- Alexander, M., Clavón, P., Samuel, C., Albarracín, L., Andrés, J., Reyes, C., & Cerón, H. W. (2017). *Sistema de alerta al conductor y disminución de la velocidad automática del vehículo para evitar accidentes por agotamiento Driver alert system and decrease of automatic speed of the vehicle to avoid accidents by exhaustion*. 11, 98–106.
- Bertran Albertí, E. (n.d.). *Procesado digital de señales : fundamentos para comunicaciones y control*. Edicions UPC.
- Cancelas, J. A., González, R. C., Álvarez, I., & Enguita, J. M. (2016). Conceptos y Métodos en Visión por Computador. In *Conceptos y Métodos en Visión Por Computador* (Vol. 1).
- Detector de fatiga al volante Bosch [Laboratorio Tecmovia] | Tecmovia*. (n.d.).
- Flores Calero, M. J. (2009). *Sistema avanzado de asistencia a la conducción mediante visión por computador para la detección de la somnolencia*. 219.
- Guevara Carrillo, F. A., & Valencia Bernal, O. S. (2013). *Análisis del conductor: estimación de la distracción y somnolencia mediante visión por computador e inteligencia artificial usando tecnología TOF*. 178.
- Israel, U. T. (2016). *TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE :*
- López Romero, W. L. (2016). *SISTEMA DE CONTROL DEL ESTADO DE SOMNOLENCIA EN CONDUCTORES DE VEHÍCULOS Trabajo*. Universidad Técnica De Ambato, 122.
- Moreno, R. J. (2011). *SISTEMA DE DETECCION CONDUCTORES MEDIANTE POR TECNICAS DE VISI ON*.
- OpenCV. (2016). *OpenCV*.
- Orosco, J. R., & Pomasunco, R. (2018). Universidad Nacional De Huancavelica Presentado Por. *Repositorio Institucional - UNH*, 89.

- Ortega Castro, J., & García Abad, R. (2014). Medición de los niveles de contaminación de CO y CO<sub>2</sub>, a través de un sistema electrónico basado en PLC's, para el monitoreo de la calidad del aire en la Universidad Católica de Cuenca, Sede Azogues. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo - RIAT*, 10(2), 217–224. <https://doi.org/10.4067/riatvol10iss2pp217-224>
- Paper, C., & Mar, F. S. (2015). *Aportes de la psicología a la investigación de incidentes / accidentes por fatiga : el trabajo de campo en el sector minero . October.*
- Pujiwidodo, D. (2016). *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. III(2), 2016.*
- Reinoso, L., & Ortega, J. (2020). Incremento de la autonomía de un vehículo eléctrico Dayang CHOK-S a través de la utilización de paneles solares. *Novasinerгия Revista Digital De Ciencia, Ingeniería Y Tecnología*, 3(2), 40–46. <https://doi.org/10.37135/ns.01.06.03>
- Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi.* (n.d.).
- Vinueza Veloz, A. F., Aldaz Pachacama, N. R., Mera Segovia, C. M., Pino Vaca, D. P., Tapia Veloz, E. C., & Vinueza Veloz, M. F. (2020). Síndrome de Burnout en médicos/as y enfermeros/as ecuatorianos durante la pandemia de COVID-19. *Revista de La Asociación Española de Especialistas En Medicina Del Trabajo*, 29(4), 330–339. <https://doi.org/10.1590/SCIELOPREPRINTS.708>

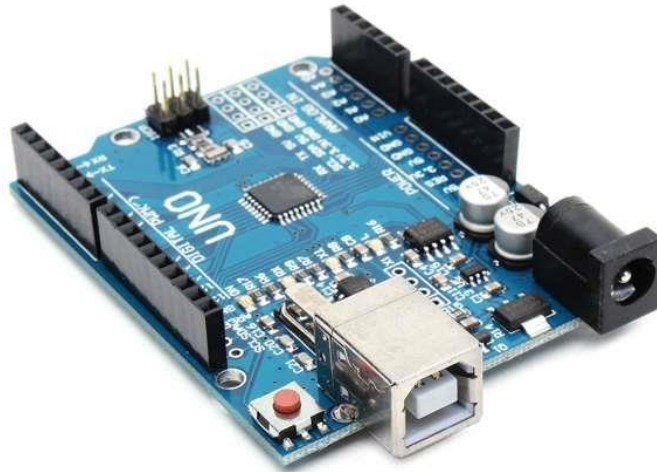
## Anexos

- Anexo 1. RASPBERRY PI 3



- CPU Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits
- 1GB de RAM
- BCM43438 LAN inalámbrica y Bluetooth de baja energía (BLE) a bordo
- 100 Base Ethernet
- GPIO extendido de 40 pines
- 4 puertos USB 2
- Salida estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto
- HDMI de tamaño completo
- Conexión de cámara CSI para conectar una cámara Raspberry Pi
- Puerto de pantalla DSI para conectar una pantalla táctil Raspberry Pi
- Ranura Micro SD para cargar su sistema operativo y almacenar datos

- **Anexo2. ARDUINO UNO R3**



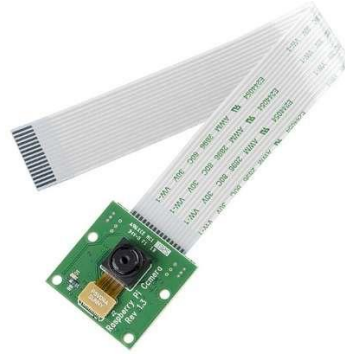
- Microcontrolador: ATmega328 (5V)
- Alimentación recomendada: 7-12V
- Pines digitales I/O: 14
- Pines PWM: 6
- Entradas analógicas: 6
- Corriente máxima por pin: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB (0.5KB para el bootloader)
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB
- Velocidad:16 MHz

- **Anexo 3. LOGITECH WEBCAM**



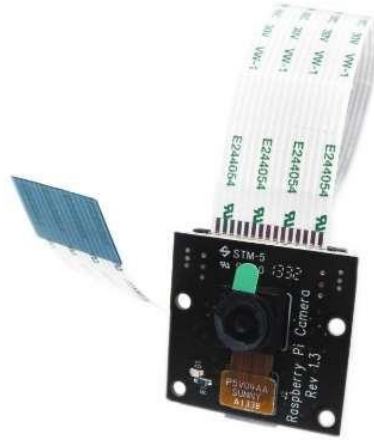
- Marca: Logitech
- Series: C270
- Peso: 340 g
- Dimensiones: 21 x 7,6 x 15,2 cm
- Resolución de pantalla: 3 MP
- Máxima resolución de pantalla: 720p
- Capacidad del disco duro: 200 GB
- Plataforma de Hardware: PC / Mac
- Sistema operativo: Windows XP (SP2), Windows Vista, Windows 7  
(32-bit/64-bit)

- **Anexo 4. CÁMARA RPi**



- **Compatibilidad:** Totalmente compatible con todos los modelos de la Raspberry Pi
- **Resolución de pantalla:** 5MPxOmnivision
- **Resolución de imagen:** 2592x1944
- **Vídeo:** Soporta 1080p a 30fps, 720p a 60fps, 640x480p 60/90 en grabación
- **Conexión:** 15 pines MIPI cámara Interfaz de serie
- **Alimentación:** 3,3V
- **Dimensiones:** 12x8, 2x2, 6cm

- **Anexo 5. CÁMARA Pi Noir**



- La Pi Noir es una cámara Infrarroja para la RPi
- Compatibilidad: Totalmente compatible con todos los modelos de la Raspberry Pi
- Resolución de Pantalla: 5 mega píxeles Sensor OV5647
- Vídeo: Soporta 1080p a 30fps 720p a 60fps 640x480p 60/90 en grabación
- Conexión: 15 pines MIPI cámara Interfaz de serie
- Dimensiones: 25 x 24 x 6mm
- Especificaciones de la cámara:
  - o CCD Tamaño: 1/4 pulgadas
  - o Apertura (F): 2,9
  - o Longitud focal: 3,29mm
  - o Diagonal: 72,4 grados
- Alimentación: 3,3V
- Soporta hasta 2 LED sin infrarrojos y/o flash de relleno.

- **Anexo 6. ILUMINACIÓN INFRARROJA**



- Matriz de LEDs infrarrojos
- Autoprotección integrada contra altos voltajes
- Ángulo:45/60/80
- Cantidad de LEDs: 48LED
- Tensión de trabajo: 12Vcc

- **Anexo 7. LUCES INFRARROJAS PARA CÁMARA Pi**



- Luz LED infrarroja de 1W 850.
- Fotorresistor a bordo, el detector de luz ambiental.
- La gran distancia de imagen está dentro de los 2 m.
- Con resistencia ajustable para controlar la luz ambiental.
- Diseñado para funcionar con la cámara Raspberry Pi.
- Material: ABS
- Potencia: 1W
- Voltaje: 5V
- Actual: 5A
- Tamaño del módulo: 2.8 \* 1.9 \* 1.5cm / 1.10 \* 0.75 \* 0.59in
- Tamaño del paquete: 10 \* 8.6 \* 2 cm / 3.94 \* 3.39 \* 0.79in
- Peso del paquete: 14g / 0.49oz

- Anexo 8. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO

```

>>> import numpy as np
import cv2
import RPi.GPIO as GPIO
from time import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(23, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)#Boton GPIO23
GPIO.setup(24, GPIO.OUT) #Sirena GPIO24

# Inicialización de los clasificadores en cascada de rostros y ojos a partir de archivos xml
face_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_frontalface_default.xml')
eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_eye_tree_eyeglasses.xml')

# Estado de ejecucion de cada variable
first_read = True
GPIO.output(24, False)
# inicio de captura del video
cap = cv2.VideoCapture(0)
ret, img = cap.read()
start_time = time()
while (ret):
    ret, img = cap.read()
    # Conversión de la recopilación de imagen a grayscale
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    # Aplicar un filtro para eliminar impurezas en la imagen
    gray = cv2.bilateralFilter(gray, 5, 1, 1)
    # Detección de la cara para la región de la imagen que se alimentará al clasificador de ojos
    faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.3, 5, minSize=(100, 100))
    if (len(faces) > 0):
        for (x, y, w, h) in faces:
            img = cv2.rectangle(img, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 0), 2)
            # roi_face es la cara que se introduce en el clasificador de ojos
            roi_face = gray[y:y + h, x:x + w]
            roi_face_clr = img[y:y + h, x:x + w]
            eyes = eye_cascade.detectMultiScale(roi_face, 1.3, 5, minSize=(1, 1))

            # Examinar la longitud del objeto de los ojos en busca de ojos
            if (len(eyes) >= 2):
                start_time = time()
                cv2.putText(img,
                    "OJOS ABIERTOS", (70, 70),
                    cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN, 2,
                    (255, 255, 255), 2)
            else:
                print(time() - start_time)
                if (time() - start_time > 5):
                    while((GPIO.input(23))):
                        print("activando alarma")
                        GPIO.output(24, True)
                        GPIO.output(24, False)
                        print("activando alarma")
                        start_time = time()
                cv2.putText(img,
                    "OJOS CERRADOS", (70, 70),
                    cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN, 3,
                    (0, 0, 255), 2)

        else:
            start_time = time()
            cv2.putText(img,
                "NO SE DETECTA CARA", (100, 100),
                cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN, 3,
                (0, 255, 0), 2)

            # Controlando el algoritmo con claves
            cv2.imshow('img', img)
            a = cv2.waitKey(1)
            if (a == ord('q')):
                break
            elif (a == ord('s') and first_read):
                # Esto iniciará la detección
                first_read = False

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

- **Anexo 9. SISTEMA OPERATIVO.**

#### Sistema Operativo

- Raspbian
- Noobs
- Linux
- Windows

#### Entorno de Programación

- Python
- Arduino
- Visión Artificial
- OpenCV (en C++)
- OpenCV (en Python)

#### **Software**

- Raspbian
- Python
- OpenCV

- **Anexo 10. VEHÍCULO ELÉCTRICO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**



Vehículo eléctrico Dayang CHOK-S

## Abstract

ANGEL ISMAEL VELECELA SANTANDER

This thesis aims to develop a sleep detection system for the electric vehicle of the Catholic University of Cuenca, with the use of electronic equipment, artificial vision, and hardware and software devices to mitigate traffic accidents caused by tiredness or drowsiness. In its development, a proposal is presented, using a web camera, which allows monitoring and taking control of the user's face, to achieve this, an image treatment is conducted in real-time, achieved through the analysis of the characteristic features of each user. A key feature is that this design is non-invasive and adapts to changes that may occur in lighting and its environment. The methodology used follows a logical order of elaboration, that means, to begin with, the study of the state of the art and the theoretical foundation, later to achieve strong bases of prior knowledge to the design and to reach the development of the system, then we proceed to carry out the design, with the use of electronic elements and hardware and software tools, so finally results and discussion are presented through conclusions and recommendations, the most important conclusion will be that the workload, added to depression and stress, cause constant blinking, in addition to heaviness in the head, gradually reducing the concentration of activities, causing the driver to lose his ability to respond when driving, causing accidents, which with the application of this project could be considerably reduced.

Keywords: webcam, artificial intelligence, Haar - Cascade method,  
raspberry

Pi 3b, artificial visión

Azogues, 18 de octubre de 2021

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA,  
CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR  
PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO.



**Abg. Liliana Urzilés** rgilés Amoroso, Mgs.  
COORDINADORA CENTRO DE IDIOMAS  
AZOGUES



[www.ucacue.edu.ec](http://www.ucacue.edu.ec)

Cuenca: Av. de las Américas y Tarqui. ☎ Telf: 2830751, 2824365, 2826563 **Azogues:** Campus Universitario "Luis Cordero El Grande", (Frente al Terminal Terrestre).  
retf: 593 (7) 2241 - 613, 2243-444, 2245-205, 2241-587 Cañar: Calle AntonioÁvila Clavijo. relf: 072235268, 072235870 San Pablo de la Troncat:  
Cda. Universitaria km.72 Quinceava Este y Primera sur reif: Av. cap. José Villanueva s/ne Tettf: 2700393, 27W392

## CERTIFICACION DE ANTIPLAGIO (TURNITIN)

Es menester informar además que el presente trabajo de titulación tiene una coincidencia del 9% de índice de similitud en contenidos con otras fuentes, 9% fuentes de internet, 1% publicaciones y 2% trabajos del estudiante, coincidencias excluidas <1%; según reporte del sistema anti plagio (Turnitin) de nuestra Universidad.

Por la atención que dé al presente suscribo de Ud. agradecido.

Atentamente:



**Ing. Juan Carlos Ortega  
Castro. Mg Universidad  
Católica de Cuenca UAIC**



## TESIS\_POROTO\_1

### INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	2%
4	<a href="http://tienda.bricogeek.com">tienda.bricogeek.com</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
7	<a href="http://repositorio.unicordoba.edu.co">repositorio.unicordoba.edu.co</a> Fuente de Internet	1%



El Bibliotecario de la Sede Azogues

## CERTIFICA:

Que, **Ángel Ismael Velecela Santander** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0920813755** de la Carrera de **Ingeniería Electrónica**, Sede Azogues, Modalidad de estudios presencial no adeuda libros, a esta fecha.

Azogues, 06 de octubre del 2021

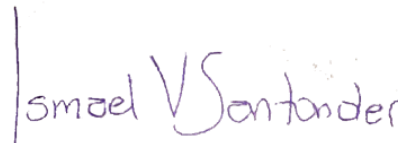
  
Byrón Alonso Torres Romo  
Bibliotecario

  
Universidad  
Católica  
de Cuenca  
**SEDE AZOGUES**  
**BIBLIOTECA**

 <p>Universidad Católica de Cuenca</p>	<p><b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b></p>	<p>CÓDIGO: F – DB – 30          VERSION: 01          FECHA: 2021-04-15          Página 65 de 78</p>
--	---	---

**Ángel Ismael Velecela Santander** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0920813755**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Implementación de un sistema de detección de sueño, en el vehículo eléctrico de la Universidad Católica de Cuenca”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **06 de octubre del 2021**



F: .....

**Ángel Ismael Velecela Santander**

C.I. **0920813755**



Byron Alonso Torres Romo  
Bibliotecario

