



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES**

TESIS

**Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico con
Mención en Telecomunicaciones**

Sistema de detección de somnolencia del conductor de
vehículo mediante el procesamiento de imágenes usando
Matlab

PRESENTADO POR

Yauri Machaca, Melissa Rosemery

ASESOR

Vargas Cuentas, Natalia Indira

Los Olivos, 2021

Dedicatoria

A mi familia porque me brindaron su apoyo y motivación para que cada día me esforzaré en concluir el desarrollo de mi proyecto de investigación.

Agradecimiento

Le agradezco a mi asesora Natalia Vargas Cuentas, quien durante todo este tiempo me ha ayudado con sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de este proyecto de investigación.

Resumen

Los accidentes de tránsito pueden ser causados por diferentes factores siendo el principal partícipe el conductor de vehículo. El conductor de vehículo cuando no tiene un descanso adecuado tiende a quedarse dormido, éste estado es llamado somnolencia, la cual se presenta mediante diversos síntomas como: bostezo, parpadeos, inclinación de la cabeza, etc.; siendo perjudiciales en un momento de alerta que es la conducción de vehículo.

Debido a esto, esta tesis presenta la implementación de un sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo, para así reducir los accidentes de tránsito producidos por estos casos. El sistema está conformado por una cámara web que estará enfocando el rostro del conductor de vehículo y se conecta a una computadora en donde se ejecuta un algoritmo creado en MATLAB, el cual estará recepcionando las imágenes en tiempo real y mediante procesamiento de imágenes sectorizará el ojo del conductor de vehículo, haciendo un conteo del número de parpadeos por periodos de tiempo durante el trayecto detectando la somnolencia del conductor de vehículo, por consiguiente enviará una alerta sonora al conductor de vehículo cuando se detecte un estado de somnolencia.

Se identificó el seguimiento del iris del conductor de vehículo para el conteo de parpadeos dentro de un período de tiempo para detectar la somnolencia. Y se logró obtener el momento exacto en donde el conductor de vehículo presenta somnolencia y ser alertado por el sistema, además de la frecuencia de parpadeo siendo estos más duraderos y lentos.

Palabras claves: Accidentes de Tránsito, Somnolencia, Procesamiento de Imágenes, Patrones de Somnolencia, Cambios Faciales, Detección de Somnolencia.

Abstract

Traffic accidents can be caused by different factors, being the vehicular driver the main person. A vehicular driver when it does not have adequate rest, tends to fall asleep, this state is called drowsiness which is presented by various factors such as: yawning, blinking, tilting the head, etc.; being harmful in a moment of alert that is the driving of vehicle.

Due to this, in this thesis the implementation of a vehicle driver's sleepiness detection system is presented, to reduce traffic accidents caused by these cases. The system consists of a camera that will be focusing on the face of the vehicular driver, which will be connected to a computer with an algorithm created in MATLAB that will be receiving the images in real time and through image processing will sector the eye of the vehicle driver, making a counting the number of blinking during the journey detecting the drowsiness of the vehicle driver, finally sending an audible alert to the vehicle driver.

The vehicle driver's iris tracking was identified for the blink count within a period of time to detect drowsiness. It was possible to obtain the concrete moment where the vehicular driver has drowsiness and be alerted by the system, in addition to the frequency of blinking being these more durable and slower.

Keywords: Traffic Accidents, Drowsiness, Image Processing, Drowsiness Patterns, Facial Changes, Drowsiness Detection.

Contenido

Resumen	3
Abstract	4
Lista de figuras	9
Lista de tablas.....	11
Introducción.....	12
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1.1. Planteamiento y descripción del problema	15
1.1.2. Formulación del problema general	16
1.1.3. Formulación de los problemas específicos.....	16
1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.3.1. Justificación Técnica.....	17
1.3.2. Justificación Social	18
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. Alcances	19
1.4.2. Limitaciones	19
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	20
2.1. ANTECEDENTES.....	21
2.1.1. Internacionales.....	21
2.1.2. Nacionales	23
2.2. MARCO TEÓRICO	26
2.2.1. Cansancio.....	26
2.2.2. Somnolencia.....	27

2.2.3.	Parpadeo	31
2.2.4.	PERCLOS.....	32
2.2.5.	Encuesta.....	33
2.2.6.	Población.....	34
2.2.7.	Muestra	35
2.2.8.	Licencias de conducir	36
2.2.9.	Sistema	38
2.2.10.	MATLAB	40
2.2.11.	Cámara Web.....	40
2.2.12.	Técnicas de detección de rostros.....	41
2.2.13.	Técnicas para la detección de bordes.....	43
2.3.	MARCO METODOLÓGICO	45
2.3.1.	Tipo de investigación	45
2.3.2.	Metodología de la investigación.....	46
2.4.	MARCO LEGAL	47
CAPÍTULO III: DESARROLLO		49
3.1.	Identificar las características de la somnolencia en el conductor vehicular	50
3.1.1.	Análisis del parpadeo.....	55
3.2.	Diseñar las etapas para la elaboración del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo.....	59
3.2.1.	Adquisición de la imagen.....	60
3.2.2.	Preprocesamiento.....	61
3.2.3.	Procesamiento	63
3.2.4.	Extracción de las características	64
3.2.5.	Análisis	64
3.2.6.	Toma de decisiones.....	65

3.3. Identificar los requerimientos técnicos para la implementación del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo	66
3.3.1. Etapa de alimentación	66
3.3.2. Etapa de arranque de equipos.....	67
3.3.3. Etapa de procesamiento	74
3.4. Desarrollar un algoritmo de procesamiento de imágenes para identificar los patrones de somnolencia del conductor de vehículo	77
3.4.1. Diagrama de flujo.....	77
3.4.2. Adquisición de datos.....	80
3.4.3. Procesamiento de datos	82
3.5. Validar el funcionamiento del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo	93
3.5.1. Población de estudio.....	93
3.5.2. Funcionalidad.....	93
3.5.3. Análisis de funcionalidad.....	96
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIO	107
4.1. BENEFICIOS COSTOS	108
4.1.1. Beneficio técnico	108
4.1.2. Beneficio social.....	108
4.2. ANÁLISIS DE COSTOS	109
4.2.1. Recursos humanos.....	109
4.2.2. Recursos de hardware	109
4.2.3. Recursos de software.....	110
4.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	111
4.3.1. Desarrollo del flujo de caja	111
4.3.2. Análisis del VAN	113
4.3.3. Análisis del TIR	113

4.3.4. Análisis del ROI.....	113
CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES	117
REFERENCIAS.....	118
GLOSARIO	127
ANEXOS	128
Anexo A: Diagrama de Gantt	125
Anexo B: Matriz de Consistencia	126

Lista de figuras

<i>Figura 1:</i> Cansancio	27
<i>Figura 2:</i> Somnolencia.....	28
<i>Figura 3:</i> Estímulo de Luz.....	29
<i>Figura 4:</i> Parpadeo	31
<i>Figura 5:</i> Proceso de cierre del parpadeo	32
<i>Figura 6:</i> Sistema	39
<i>Figura 7:</i> Sistema de procesamiento de imágenes.....	39
<i>Figura 8:</i> Cámara Web	41
<i>Figura 9:</i> Viola Jones.....	42
<i>Figura 10:</i> Patrón binario local.....	42
<i>Figura 11:</i> Enfoque basado en características elásticas	42
<i>Figura 12:</i> Transformada de Hough con radio conocido.....	45
<i>Figura 13:</i> Frecuencia de la somnolencia.....	54
<i>Figura 14:</i> Signos de somnolencia	55
<i>Figura 15:</i> Etapas del sistema de somnolencia	59
<i>Figura 16:</i> Adquisición de la imagen del conductor de vehículo	60
<i>Figura 17:</i> Representación de un pixel de la matriz.....	61
<i>Figura 18:</i> Representación de la matriz de una imagen RGB.....	62
<i>Figura 19:</i> Matriz de una imagen en escala de grises	63
<i>Figura 20:</i> Segmentación en la zona de interés	64
<i>Figura 21:</i> Proceso del parpadeo	65
<i>Figura 22:</i> Etapas del sistema de detección de somnolencia.....	66
<i>Figura 23:</i> Posicionamiento de la cámara web.....	69
<i>Figura 24:</i> Cámara web desde la parte superior.....	70
<i>Figura 25:</i> Distancia de la cámara web hacia el conductor de vehículo	71
<i>Figura 26:</i> Caballete de ajuste de la cámara web.....	71
<i>Figura 27:</i> Ángulo de la cámara web	72
<i>Figura 28:</i> Luces led de la cámara web.....	73
<i>Figura 29:</i> Adhesivo de la cámara web	73
<i>Figura 30:</i> Paquete de soporte de la cámara web.....	75
<i>Figura 31:</i> Diagrama de flujo	78
<i>Figura 32:</i> Posiciones de la ventana de graficación	79

<i>Figura 33:</i> Adquisición de la imagen.....	82
<i>Figura 34:</i> Conversión a escala de grises	83
<i>Figura 35:</i> Sectorización de la zona de interés.....	85
<i>Figura 36:</i> Recorte de la zona de interés.....	86
<i>Figura 37:</i> Detección del iris	90
<i>Figura 38:</i> Detección del parpadeo.....	91
<i>Figura 39:</i> Número de parpadeos.....	92
<i>Figura 40:</i> Aviso de somnolencia.....	94
<i>Figura 41:</i> Somnolencia leve	95
<i>Figura 42:</i> Somnolencia grave.....	96
<i>Figura 43:</i> Grado de somnolencia en turno diurno	98
<i>Figura 44:</i> Conductor de vehículo con somnolencia leve	99
<i>Figura 45:</i> Grado de somnolencia en turno nocturno	101
<i>Figura 46:</i> Conductor de vehículo con somnolencia grave.....	101
<i>Figura 47:</i> Grado de somnolencia en turno diurno	103
<i>Figura 48:</i> Conductor de vehículo sin somnolencia.....	104
<i>Figura 49:</i> Grado de somnolencia en turno nocturno	105
<i>Figura 50:</i> Análisis de funcionalidad en casos.....	105
<i>Figura 51:</i> Análisis de funcionalidad en controles.....	106

Lista de tablas

<i>Tabla 1:</i> Nivel de confianza	36
<i>Tabla 2:</i> Licencia de conducir clase A	37
<i>Tabla 3:</i> Licencia de conducir clase B	38
<i>Tabla 4:</i> Comparación de los signos de somnolencia	50
<i>Tabla 5:</i> Escala de preguntas	53
<i>Tabla 6:</i> Frecuencia de parpadeo según el autor	57
<i>Tabla 7:</i> Características eléctricas.....	67
<i>Tabla 8:</i> Cuadro comparativo de cámaras web	68
<i>Tabla 9:</i> Característica del computador portátil	74
<i>Tabla 10:</i> Funciones de Matlab	76
<i>Tabla 11:</i> Factor de sensibilidad.....	89
<i>Tabla 12:</i> Estadística de somnolencia en turno diurno	97
<i>Tabla 13:</i> Estadística de somnolencia en turno nocturno	100
<i>Tabla 14:</i> Estadística de somnolencia en turno diurno	102
<i>Tabla 15:</i> Estadística de somnolencia en turno nocturno	103
<i>Tabla 16:</i> Presupuesto de recursos humanos	109
<i>Tabla 17:</i> Presupuesto de hardware.....	110
<i>Tabla 18:</i> Presupuesto de software	110
<i>Tabla 19:</i> Sumatoria de presupuesto.....	111
<i>Tabla 20:</i> Flujo de caja del Proyecto	112

Introducción

El ser humano tiene una necesidad primordial llamada dormir, que se logra con un descanso adecuado y ayuda a mantener un buen funcionamiento de las capacidades que realiza una persona. Sin embargo, cuando esta actividad es interrumpida por diversos factores, especialmente en un conductor de vehículo, se deteriora las funciones que ejerce la persona como el tiempo de reacción, la capacidad de vigilancia, juicio y atención. Actualmente, los accidentes de tránsito son considerados como un problema de salud pública por la Organización Mundial de la Salud puesto que, el 1.35 millones de personas que mueren cada año son por accidentes de tránsito (OMS, 2018). Como consecuencia produce muertes, traumatismos mortales y no mortales siendo perjudicial para la sociedad. Asimismo, los accidentes de tránsito cuestan entre el 1.5 y el 2% del Producto Bruto Interno (PBI) de los países de ingresos medios y bajos.

En el Perú, los accidentes de tránsito se encuentran considerados entre las tres principales causas de carga de enfermedad, los traumatismos ocasionados por los accidentes de tránsito generan un promedio de 3190 muertes y 48558 lesionados en promedio en los últimos 13 años, siendo la población de entre 15 a 29 años la más afectada (Ministerio de Salud, 2018). Según la Mutuality de la Agrupación de Propietarios de Fincas Rústicas de España, las 7 principales causas de los accidentes de tránsito son: las fallas mecánicas, conducir ebrio, fatiga, uso del teléfono móvil, exceso de velocidad, distracciones y no respetar el semáforo en rojo (MAPFRE, 2018).

Una de las causas de los accidentes de tránsito es la fatiga, el cual deriva a que el conductor se encuentre en estado somnoliento, por esa razón el ser humano tiene una necesidad primordial llamada dormir, se logra con un descanso adecuado para así mantener un buen funcionamiento de las capacidades físicas e intelectuales de una persona. Sin embargo, cuando esta actividad es interrumpida por diversos factores, se deteriora las funciones que ejerce la persona como el tiempo de reacción, la capacidad de vigilancia, juicio y atención.

Cuando el conductor de vehículo no tiene un descanso adecuado, conllevará a dormirse en las horas que está conduciendo, siendo perjudicial para su entorno

y del mismo, a esta acción se le asocia la somnolencia. Muchos de los conductores vehiculares no prestan atención al principal signo mencionado, que luego es acompañado de bostezos y el intento de cerrar los ojos a cada momento. Cuando ocurre esto, se tiene como consecuencia los accidentes de tránsito, el cual trae consigo muertes, lesiones graves en las personas y daños materiales, ante esto ocurre una gran interrogante de cómo poder disminuir los accidentes de tránsito producidos por somnolencia de conductores vehiculares.

En esta tesis, se presentará la implementación de un sistema que constará de una cámara que estará enfocando al rostro de conductor de vehículo y un ordenador con un algoritmo mediante el procesamiento de imágenes que sea capaz de detectar la somnolencia del conductor de vehículo con el fin de alertarlo para así disminuir los accidentes de tránsitos.

En el capítulo I de la presente tesis, se presentará la problemática comprendiendo las preguntas sobre el tema de investigación, así como también los objetivos que se formularon para esta investigación, finalmente los alcances y limitaciones.

En el capítulo II de la presente tesis, se mostrará los antecedentes de la investigación, así también el marco teórico que comprende todos los temas enfocados a la investigación, además el marco metodológico dando a conocer el tipo y la metodología de la investigación, finalmente el marco legal de la tesis exponiendo las regulación y leyes correspondientes.

En el capítulo III de la presente tesis, se explicarán a detalle el desarrollo de los objetivos específicos, que son los que conforman el desarrollo de la tesis, así como también el proceso de construcción del sistema de detección de somnolencia y algunas definiciones complementarias.

En el capítulo IV de la presente tesis, se expondrán los análisis de costos, beneficios y de sensibilidad; mostrando así, una visión amplia de la economía que se manejó para la implementación del sistema.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. Planteamiento y descripción del problema

Según el Ministerio de Salud en el año 2018 se registró 90056 casos de accidentes de tránsito en todo el país. De los cuales, 49336 de los accidentes de tránsito suceden en Lima, esto conlleva a un incremento del 0.26% con respecto al año anterior. Las causas de los accidentes de tránsito han sido: la imprudencia del conductor con el 28.71%, exceso de velocidad con el 27.81%, ebriedad del conductor con el 7.33%, imprudencia del peatón con el 5.94%, imprudencia del pasajero con el 1.17% y finalmente otros con el 29.03% (MINSAL, 2018). El más relevante es la causa originada por imprudencia del conductor, en el cual los factores que lo originan son: el desconocimiento de las reglas de tránsito y conducir por muchas horas sin el descanso apropiado, lo cual deriva que el conductor maneje en estado somnoliento.

Asimismo, en las encuestas realizadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el V Censo de Comisarías del Perú en el año 2016, afirman que el 0.5% de las causas por accidentes de tránsito son por fatiga del conductor y en el año 2017, se muestra un porcentaje de manera creciente debido a que los resultados por esta misma causa son del 1%. Siguiendo las estadísticas mencionadas, los accidentes de tránsito ocasionados por la fatiga del conductor muestran un aumento, de tal manera que una aproximación para el año 2019 sería que el 2% de los accidentes de tránsito son ocasionados por la fatiga del conductor, lo cual origina la probabilidad de errores al conducir. La fatiga es un síntoma muy frecuente en un conductor que lleva a la persona a tener signos de somnolencia. Este factor es el que afecta al conductor de vehículo debido a que cuando una persona no ha tenido un descanso adecuado se siente fatigado y como consecuencia pierde la capacidad de concentración para conducir un vehículo.

Cuando el conductor de vehículo tiene somnolencia, tiende a realizar un parpadeo constante y tiene la visión borrosa. Luego, el

conductor piensa en descansar unos segundos, cerrando los ojos y por esta acción pierde el control del vehículo, así que como consecuencia los principales efectos son: los daños a la salud porque ocasiona que las personas tengan lesiones que pueden ser leves o graves y pérdidas humanas. Asimismo, las pérdidas económicas ocasionadas por estos accidentes, por concepto de: atención médica, pago de seguros, daños materiales que producen a los vehículos involucrados o alguna estructura con la que colisionan.

Es por ello que la detección de la somnolencia es de vital importancia para así alertar al conductor debido a que el sistema estará en constante verificación de los patrones de somnolencia del conductor de vehículo para reducir los accidentes de tránsito.

1.1.2. Formulación del problema general

¿Cómo detectar la somnolencia del conductor de vehículo mediante el procesamiento de imágenes?

1.1.3. Formulación de los problemas específicos

- ¿Cuáles son las características de la somnolencia que presenta el conductor de vehículo?
- ¿Cuáles son las etapas que tendrá el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo?
- ¿Qué requerimientos técnicos debe cumplir el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo?
- ¿Cómo identificar los patrones de somnolencia del conductor del vehículo mediante el procesamiento de imágenes?
- ¿Cómo es el desempeño del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo?

1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Implementar un sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo mediante el procesamiento de imágenes para ayudar a reducir los accidentes de tránsito.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar las características de la somnolencia del conductor de vehículo.
- Diseñar el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo.
- Identificar los requerimientos técnicos para la implementación del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo.
- Desarrollar un algoritmo de procesamiento de imágenes para identificar los patrones de somnolencia del conductor de vehículo.
- Validar el funcionamiento del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación Técnica

De los sistemas existentes en la actualidad, algunos de ellos son intrusivos, otros están en periodo de prueba y/o investigación, y su uso está limitado solo a ediciones de autos de fabricación reciente o vehículos para trabajos especializados, por lo cual no podrían usarse en gran parte del parque automotor disponible en nuestro país. Por esa razón, esta tesis implementará un sistema que no sea intrusivo pues se utilizará la técnica de análisis de los ojos para evaluar el estado de la somnolencia. Asimismo, en los sistemas de detección de somnolencia, se encuentran con algoritmos para la detección de objetos, el cual influye en la

velocidad y precisión del procesamiento de imágenes debido a que muchos de ellos sectorizan todo el rostro y esto gasta muchos recursos digitales. Por esta razón, en esta tesis se utiliza el algoritmo Viola Jones debido a que solo procesa una imagen en escala de grises y no utiliza directamente la imagen sino una imagen integral de manera que ahorra recursos para luego determinar el objeto que se busca. Además, se realiza una serie de clasificadores en cascada que ahorran el tiempo porque solo utilizan subregiones que contengan los ojos y solo se usan recursos para esa sección. Luego de sectorizar, se requiere otra técnica para identificar el iris debido a que el algoritmo sea capaz de contabilizar el número de parpadeos del conductor, para ello se utiliza la transformada de Hough debido que permite configurar un umbral para determinar si el círculo del iris es cubierto dando como resultado la detección del parpadeo. En base al parpadeo, el sistema será capaz de identificar el estado de somnolencia; esto servirá para como base para futuras investigaciones para la detección de somnolencia.

1.3.2. Justificación Social

La tesis contribuye a la sociedad en la reducción de los accidentes de tránsito, siendo éste un generador de pérdidas humanas y la posibilidad de que una persona tenga que sufrir alguna discapacidad o incluso el fallecimiento debido a que cuando un conductor está somnoliento pone en peligro a las personas de su entorno y la misma del conductor de vehículo.

Por otro lado, el proyecto ayuda a la sociedad a reducir gastos de rehabilitación y medicamentos porque cuando la persona está herida por el accidente de tránsito tiene traumatismos que requieren de una atención hospitalaria. También en caso se presente un fallecimiento, se genera un gasto para realizar los trámites para un sepelio. Asimismo, se deben incluir todos los gastos para cubrir los daños materiales que originó el accidente de tránsito.

El sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo brinda un gran beneficio para que sea incorporado en futuros vehículos, además recalcar que tiene una mejora para el procesamiento de los patrones de somnolencia con ayuda de *Matlab* y de esta manera contribuye a la mejora de la seguridad vial juntamente con la reducción de los daños al mobiliario urbano y propiedades privadas.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Alcances

- El sistema detecta la somnolencia y alerta al conductor de vehículo.
- El sistema detector de somnolencia se implementará y es adaptable a cualquier vehículo.
- Las pruebas del sistema se realizarán a conductores de vehículos que trabajen en el transporte público y privado.
- El sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo analizará a conductores de vehículo pertenecientes a Lima metropolitana.

1.4.2. Limitaciones

- En el Perú, existe información no tan precisa sobre las diferencias entre los términos somnolencia y cansancio para el uso correcto de estos en la investigación.
- La variación de características faciales que dificultan el análisis de los patrones para reconocer la somnolencia.
- El período de tiempo para la realización del proyecto es alrededor de un año y medio.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacionales

En el trabajo realizado por Brayan Torres & Brayan Baquero (2019) en su tesis de grado llamado *“Aplicación para teléfono móvil con sistema operativo Android que permita detectar la somnolencia y emitir una alarma sonora a conductores de automóvil mediante procesamiento de imágenes”* de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia expone lo siguiente:

En este trabajo, se plantea el desarrollo de un aplicativo móvil que mediante el procesamiento digital de imágenes logre detectar la somnolencia a través del análisis de los ojos. Además, el sistema que describe consta con varias etapas, el cual, comienza con la detección del rostro, luego la detección de los ojos y finalmente la detección de la somnolencia. Para la detección del rostro y los ojos utiliza el método de Viola Jones, el cual, el autor indica que es una técnica potente porque en sus resultados de las pruebas de su sistema demuestra que realizó 50 pruebas a diferentes individuos, donde logró detectar la somnolencia en un 94% siendo el margen de error sólo el 6% y en un tiempo de respuesta muy corto que oscila entre 1,28 segundos a 3 segundos.

En la presente tesis, se utilizará la técnica de Viola Jones así cómo lo menciona el antecedente previamente citado, para identificar el rostro del conductor de vehículo y luego sectorizar los ojos, sabiendo que este tiene un margen de error mínimo, además de ser fundamental tal técnica para la detección de la somnolencia del conductor de vehículo.

En el trabajo realizado por Miguel Antúnez (2019) en su tesis de grado llamada *“Algoritmos de detección de objetos para el rastreo de ojos”* de la Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, España se concluye lo siguiente:

Este trabajo de investigación presenta un software capaz de detectar la somnolencia en el conductor de vehículo mediante el análisis de imágenes. En el cual hace uso de dos algoritmos, los cuales son Viola Jones y la transformada de Hough para la detección de los ojos, entonces el software es utilizado en aplicaciones de seguridad en conducción. Para las pruebas el autor utilizó 397 imágenes de caras de diferentes individuos implementando los algoritmos mencionados en el software Matlab, el resultado que obtuvo fue que el algoritmo falló en el 0.88% de los casos, así demuestra que los dos algoritmos conjuntamente usados formen un algoritmo mucho más robusto, esto se debe a que el algoritmo de Viola Jones solo se utiliza para la ubicación del rostro y la transformada de Hough se utiliza para la detección del parpadeo porque solo utiliza un margen de radios en donde se debe de actuar para la detección, y así beneficia en el rendimiento de la implementación del software. Sabiendo que la implementación de la técnica de Viola Jones con la transformada de Hough brinda una mayor efectividad en el análisis del parpadeo.

Según el antecedente mencionado, es fundamental para la presente tesis la aplicación del conjunto de técnicas como Viola Jones y la transformada de Hough para identificar la somnolencia mediante el parpadeo del conductor de vehículo para detectar la somnolencia de conductores vehiculares.

También se consultó el trabajo de Geovanni Brito & Wilfrido López (2016) en su tesis para obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones llamada "*Sistema de control del estado de somnolencia en conductores de vehículos*" de la Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador; expone lo siguiente:

El sistema realiza un control sobre el estado de somnolencia de un conductor usando técnicas de visión artificial, en el cual utilizó

la detección de los ojos cerrados y distracción. A ello le agrego la oximetría del pulso que permite calcular la oxigenación de la sangre y el ritmo cardiaco. Asimismo, el sistema consta con la primera etapa, que se encarga de realizar el seguimiento a la persona con el fin de que se detecte la somnolencia y para ello se usa la cámara web, para lo cual previamente realiza una comparación con otras cámaras web y llega a la conclusión que la más efectiva para la detección de la somnolencia es aquella que presenta una resolución de 1024 x 768, 30fps y exposición automática de balance de blancos y control del color para que sea utilizado en tiempo real. Asimismo, demuestra que en sus resultados de la detección de la somnolencia obtuvo un porcentaje de acierto del 98.41% durante la clasificación de los ojos cerrados y detectó la distracción en un 99.03%.

Gracias al antecedente revisado se puede denotar que es necesario hacer uso de una cámara web con las características mencionadas anteriormente para que la detección se realice de manera óptima,

En la presente tesis, citando al antecedente mencionado, se utilizará una cámara web con características superiores a la cámara web presentada en el antecedente. De esta forma se logrará realizar una óptima focalización al rostro del conductor de vehículo y lograr la detección de la somnolencia.

2.1.2. Nacionales

Asimismo, existe otro trabajo de investigación realizado por Emerson Mayon & Raúl Limaquispe (2018) llamado "*Sistema de detección de somnolencia mediante inteligencia artificial en conductores de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito*" de la Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú expone lo siguiente:

En este trabajo de investigación, se presenta un prototipo de un sistema que detecta el estado de somnolencia a través de los ojos

abiertos y cerrados juntamente con la oximetría del pulso. Para la detección de la somnolencia el autor establece 3 estados, los cuales son no fatiga, alerta y crítico, para luego generar una alarma temprana. Siendo este un zumbador anclado al conductor debido a que ellos agregan un oxímetro de pulso. Asimismo, el autor hace un análisis del estado del arte de la somnolencia, en donde verifica que el síntoma más frecuente es el parpadeo, por esa razón se basa en el análisis de los ojos. En este trabajo de investigación utilizan el procesamiento de imágenes teniendo como objetivo el iris del conductor de vehículo, en el cual se detecta el estado de los ojos cerrados, teniendo como resultado 98,52% de aciertos en el estado de los ojos cerrados, quiere decir que el sistema es efectivo en la detección de somnolencia. Además, los autores mencionan que el sistema implementado detecta el estado de somnolencia para así alertar obteniendo una precisión del 98,48%. Se concluye que el patrón más relevante para la detección de la somnolencia del conductor de vehículo es el parpadeo, así como lo menciona el autor.

En la presente tesis, según el antecedente previamente citado se tomará en cuenta el patrón del parpadeo para la detección de somnolencia del conductor de vehículo debido a que el análisis del parpadeo de los ojos es de mayor relevancia en la detección de la somnolencia en conductores de vehículo, tal análisis se realizará mediante el procesamiento de imágenes en MATLAB, además cuando se detecte que el conductor está con somnolencia, activar una alarma para alertar al mismo.

El proyecto de investigación realizado por Rigoberto Carlos Villan (2019) en su tesis para obtener título profesional de Ingeniero Electrónico llamado "*Ventajas del sistema antifatiga GuardVant en la operación de camiones de acarreo en una mina superficial*" de la Universidad Continental, Arequipa, Perú expone lo siguiente:

El proyecto de investigación plantea un sistema de monitoreo de fatiga automático en tiempo real. El sistema funciona con advertencias inmediatas según unos parámetros, el primero se basa en los micro sueños, el cual no debe de ser mayor a 2 segundos y la velocidad del camión no sobrepase los 5 kph. El autor considera que, en este caso, el sistema arroja una advertencia moderada, en el cual se emite una alarma sonora para advertir al operario. El segundo parámetro se basa en la apertura ocular de los operadores de los camiones. Para ello el sistema hace uso de Perclos, el cual calcula el porcentaje de la apertura del ojo dentro de un minuto, si el porcentaje es mayor igual al 80%, el sistema reporta una advertencia crítica, en el cual se reporta al supervisor para que el operario tome un descanso y así evitar un accidente. Los resultados que obtuvo del sistema antifatiga demuestran que hay una disminución de los accidentes puesto que en el año 2014 hubo un 34% de accidentes por fatiga, luego en el año 2015 presenta solo el 17% de accidentes y así de manera descendente hasta el año 2018 teniendo un resultado de solo el 12% de accidentes de fatiga.

Así como lo indica el autor, el análisis del Perclos ayudó a identificar el porcentaje de apertura del ojo y así tomar acción para la disminución de accidentes por fatiga, es por ello que en esta tesis se analizará el Perclos, pero en este caso en los conductores de vehículo para que el algoritmo sea capaz de detectar la somnolencia.

El proyecto de investigación realizado por Jesús Miranda & Oscar Changa (2017) en su tesis para obtener título profesional de Ingeniero de Seguridad Industrial y Minera llamado *“Implementación de un Sistema Monitoreo para medir la Somnolencia DSS “Drive State Sensor” en camiones de acarreo en la empresa de gran minería de la Arequipa 2016”* de la Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú expone lo siguiente:

En el presente trabajo de investigación, se utiliza un equipo completo llamado DSS "Drive State Sensor" capaz de detectar la somnolencia, alertar al conductor de vehículo y ser monitoreado vía GPS para identificar su ruta y el tiempo en donde se detectó la somnolencia. Además, los autores realizaron un análisis entre los patrones de somnolencia siendo el parpadeo, el cabeceo y el bostezo los analizados, llegando a la conclusión que el equipo detecta la somnolencia con mayor precisión en el patrón de somnolencia del parpadeo siendo su efectividad de 97%, 64% y 56%, respectivamente. También mediante la utilización del equipo detector de somnolencia, se identificó que en septiembre con 24 conductores se obtuvo un índice de somnolencia de 11.2, en noviembre con 71 conductores, un índice de 8.8; 7% menos que el mes anterior analizado, además, el rango de parpadeos que se utilizó para la detección de somnolencia es de 24 parpadeos.

En la presente tesis, de acuerdo con el antecedente previamente mencionado se obtiene que la detección de somnolencia mediante el patrón del parpadeo tiene un alto índice de efectividad, por ello en la presente tesis se presentará el procesamiento de imágenes focalizado en los ojos para así detectar la somnolencia del conductor de vehículo.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Cansancio

El cansancio aparece cuando el ser humano realiza una acción por un tiempo prolongado que lo conlleva a tener debilitamiento de manera física o mental y afecta al rendimiento de la persona; pero desaparece luego de un descanso adecuado (Arthritis Foundation, 2019).

La primera causa que origina el cansancio es cuando una persona tiene un esfuerzo físico excesivo. Sin embargo, este tipo de cansancio se contrarresta cuando una persona tiene una adecuada preparación física. La segunda causa es ocasionada por diversas infecciones virales que solo producen cansancio por

alrededor de dos días. La tercera causa surge a partir de un trabajo muy agitado que va juntamente con el estrés, falta de sueño, depresión y tener un tiempo limitado para descansar. Y por último, se encuentran las enfermedades como el hipotiroidismo, insuficiencia cardíaca, anemia, etc. (Pedraz-Petrozzi, 2018).

Lo recomendable es que una persona tenga un descanso para que no se produzca una afección en la salud o se pierda el interés en laborar considerando algún cambio de humor que demuestre a una persona hostil en su trabajo (Sotelo et al., 2019).



Figura 1: Cansancio

Fuente: Levante-EMV, 2019

2.2.2. Somnolencia

La somnolencia es la sensación de pesadez de los sentidos que surgen a partir del sueño de tal modo que produce en una persona la disminución de la capacidad de vigilia, percepción y control del auto como se muestra en la Figura 2 y tiene la probabilidad de que la persona sufra un accidente de tránsito (Crespin & Julián, 2019).



Figura 2: Somnolencia

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la somnolencia es considerada como un trastorno del sueño debido a que se origina por enfermedades que la persona posee, dentro de ellas se encuentra la diabetes y los trastornos de sueño como la apnea obstructiva del sueño, insomnio, hipersomnia y la narcolepsia (MedlinePlus, 2019).

A. Causas de la somnolencia

La somnolencia tiene diversas causas que pueden ocurrir en una persona, las cuales son:

- Alteraciones en el ritmo circadiano

Se denomina al ritmo circadiano como el cambio de las funciones fisiológicas del ser humano tal como el metabolismo, respiración, contracción muscular, ciclos del sueño, temperatura del cuerpo, etc.; todo ello ocurre cada 24 horas y es controlado por unas neuronas que tiene por nombre Núcleo Supraquiasmático (NSQ).

El ritmo circadiano está coordinado según los estímulos que recibe especialmente la luz, el cual puede influir en el período de sueño y se presenta en la Figura 3. Tal es el caso que cuando el NSQ recibe menos luz en la noche, este envía una señal para que se elabore más hormonas de melatonina y se produzca más sueño. (NICHD, 2018)

Sin embargo, el ritmo circadiano no se cumple ya que hay trabajos que se realizan por la noche y no se cumple el rol de dormir las horas adecuadas por la noche lo que significa un desajuste en el proceso (NIH, 2018).

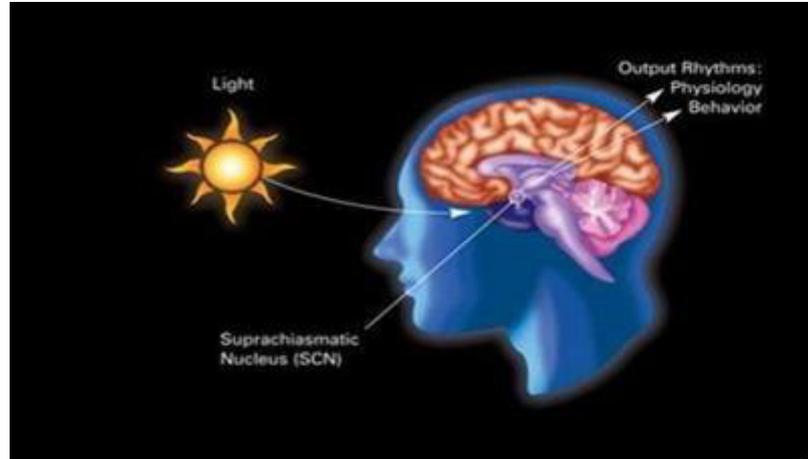


Figura 3: Estímulo de Luz

Fuente: NIH, 2018

- Enfermedades

La somnolencia también es producida por alguna enfermedad como:

Depresión: Esta enfermedad se le conoce como un trastorno mental que se caracteriza por un decaimiento anímico y disminución de la función psíquicas, además los medicamentos que se recomiendan para tratarlo tienen efectos secundarios como la somnolencia (Mayo Clinic, 2020).

Hipotiroidismo: Se caracteriza por la disminución de la actividad funcional de la glándula tiroides que conlleva a una desaceleración del metabolismo, el cual produce somnolencia (Vidal, 2020).

Acromegalia: Enfermedad crónica causada por una lesión en la glándula pituitaria, el cual causa apnea del sueño y esta ocasiona la somnolencia (The Pituitary Society, 2019).

Narcolepsia: Es un trastorno crónico del sueño, en el cual el paciente tiene dificultad por mantenerse despierto en

períodos largos presentando apnea del sueño que esta conlleva a tener somnolencia (Mayo Clinic, 2020).

Las cuales afectan física y mentalmente a la persona causando somnolencia (Jurado et al., 2018).

B. Micro sueño en la somnolencia

Se caracteriza por durar entre 2 y 4 segundos de manera que el conductor de vehículo no se da cuenta y ocasiona un accidente de tránsito. La principal causa de los micros sueño es la privación del sueño y también existen otras como la falta de un descanso adecuado. Las consecuencias del micro sueño pueden variar desde una salida involuntaria de la carretera o hasta tener un accidente de tránsito. (Fundación CEA, 2020)

C. Síntomas de la somnolencia

Los síntomas de la somnolencia son los siguientes:

- Bostezo
Se manifiesta cuando la persona abre la boca de manera involuntaria expulsando aire. El bostezo se encuentra dentro del proceso de los micro sueños. (España & Oña, 2018)
- Cabeceo
Ocurre cuando la persona tiene la dificultad de mantener la cabeza erguida, de manera que ejerce movimiento de un lado al otro. (Crespin & Julián, 2019)
- Parpadeo
Es la acción de abrir y cerrar los ojos, una forma de determinar la somnolencia es a través de la duración del parpadeo y el rastreo de los ojos. (Loor & Zambrano, 2019)
- Pérdida de atención
Se refiere a los niveles de distracción y cuando un conductor de vehículo tiene somnolencia estos niveles aumentan y afecta de manera directa a la vigilia. (España & Oña, 2018)

2.2.3. Parpadeo

El parpadeo es una acción de reflejo que se realiza de manera voluntaria o involuntaria (Instituto Oftalmológico Tres Torres, 2020). El parpadeo consta de dos funciones principales, las cuales son las siguientes:

- Lubrica los ojos evitando la resequedad y elimina las partículas extrañas (Garrity, 2019).
- Proteger al ojo de agentes externos como polvo, tierra, etc. (Quiroz, 2020)

El parpadeo conocido también como pestañeo al ser una acción voluntaria consta de cerrar y abrir los párpados de manera consistente, pero al ser una acción involuntaria cumple las funciones mencionadas anteriormente (España & Oña, 2018).



Figura 4: Parpadeo

Fuente: Grupo Franja, 2017

A. Frecuencia de parpadeo

Corresponde al número de veces que se parpadea en un determinado período de tiempo, tal y como se presenta en la Ecuación 1.

$$frecuencia = \frac{n^{\circ} \text{ de parpadeos}}{tiempo} \quad (1)$$

Donde:

- Frecuencia: Número de veces de los parpadeos en un período (parpadeos/segundos).
- N° de parpadeos: Cantidad de parpadeos (parpadeos).

- Tiempo: Duración del parpadeo en un período (segundos).

Una persona parpadea aproximadamente entre 15 y 20 veces por minutos en condiciones normales (España & Oña, 2018).

B. Apertura palpebral

Se considera la apertura palpebral a la amplitud que se da entre los dos párpados al momento de realizar el parpadeo en la etapa del cierre, tal y como lo muestra la Figura 6. El proceso comienza cuando las pupilas de los ojos son tapados por los párpados hasta unirse el párpado superior e inferior (Cajamarca et al., 2018).

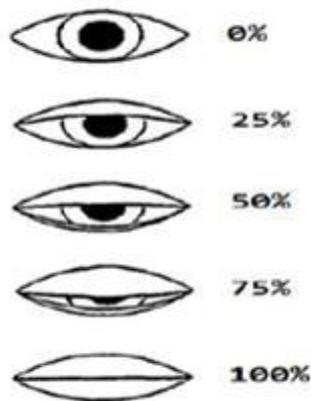


Figura 5: Proceso de cierre del parpadeo

Fuente: GPSTEC, 2018

El parpadeo en la conducción se denomina un mecanismo de aviso de una posible pérdida de concentración del conductor. Y dentro de ello se encuentra como buen indicador de la somnolencia la apertura palpebral debido que en ausencia de la somnolencia la apertura palpebral es grande sin embargo cuando aparece la somnolencia la apertura palpebral disminuye (Rincón et al., 2018).

2.2.4. PERCLOS

Uno de los índices más usados para calcular el nivel de somnolencia es PERCLOS (Percentage of the time eyelids are closed), el cual mide el estado de la somnolencia según el estado de los ojos, sea el caso que sea abiertos o cerrados (Herrera & Hernández, 2018).

El método calcula el porcentaje del cierre de los ojos en un determinado tiempo, se calcula el número de fotogramas con los ojos cerrados sobre los números de fotogramas restantes que corresponden a los ojos abiertos, se calcula el índice PERCLOS a través de la ecuación 2 (Torres & Baquero, 2019).

$$PERCLOS = \frac{\text{Cantidad de fotogramas "cerrados"}}{\text{Cantidad de fotogramas evaluados}} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

- Cantidad de fotogramas “cerrados”: Número de fotogramas con los ojos cerrados.
- Cantidad de fotogramas evaluados: Número de fotogramas de los fotogramas con ojos abiertos. Frecuencia: Número de veces de los parpadeos en un período (parpadeos/segundos).

El método PERCLOS indica que si el valor sobrepasa el 80% existe somnolencia (Baiza, 2020).

2.2.5. Encuesta

La encuesta es una técnica que utiliza un conjunto de procedimientos para obtener y analizar una muestra determinada de una población o un universo amplio, el cual se escoge según en función a los objetivos determinados. Esta técnica ayuda a estudiar situaciones concretas o incluso a realizar predicciones futuras (QuestionPro, 2020). Existen tipos de encuesta según diferentes criterios, los cuales se detallan a continuación:

A. Según sus objetivos

- Descriptivas: El objetivo es crear un registro sobre las actitudes o condiciones sobre una población en un momento determinado. (Universidad de Córdoba, 2019)
- Analíticas: Describe conductas o actitudes bajo varias hipótesis con el fin de probar las hipótesis. (Rodríguez, 2019)

B. Según el tipo de respuesta

- Respuesta cerrada: La encuesta solo consta de marcar respuestas sin la necesidad de explicar. (Rodríguez, 2019)
- Respuesta abierta: Este tipo de encuesta brinda una mayor libertad para que el encuestado brinde más detalles sobre su explicación de manera que se profundiza en la pregunta. (Universidad de Córdoba, 2019)

C. Según el método de obtención de datos

- Personal: Encuesta que se realiza como una entrevista y la ventaja que brinda es más información puesto que la persona puede brindar una mayor explicación. (Universidad De Champagnat, 2020)
- Telefónica: Encuesta que se realiza por la vía telefónica con el objetivo de disminuir costos y economizar tiempo. (Vincent, 2020)
- Postales: Encuesta que no es tan utilizada actualmente y se realiza a potenciales clientes. La mayor ventaja es la sinceridad de las personas encuestadas al no sentirse presionadas por una persona. (Universidad De Champagnat, 2020)
- Vía Internet: La encuesta tiene varias opciones de ser enviada a través del correo, por una web, etc. La ventaja es el ahorro del tiempo y el bajo costo que genera este tipo de encuesta. (Vincent, 2020)

2.2.6. Población

Según Lugo (2020), suele denominarse universo y se refiere a todos los elementos como personas, objetos, organismos, etc.; que participan en el estudio. Asimismo, la población debe limitarse en torno a sus características, lugar y tiempo. Existen tipos de poblaciones, las cuales son las siguientes:

- Población infinita: Solo se toma en cuenta una porción de la población debido a que es muy inmensa y no se puede contabilizar.
- Población finita: Permite estudiarla con mayor facilidad porque se puede contabilizar.
- Población real: Es aquello tangible
- Población hipotética: Se define como una posible población en determinados casos.

Los elementos de una población lo conforman individuos que comparten una característica en común.

2.2.7. Muestra

Denominada un subgrupo de la población y debe ser representativa para realizar el estudio. El cálculo del tamaño de la muestra determina la credibilidad que se dará en los resultados obtenidos (D'Angelo, 2018). El cálculo se da a través de la ecuación 3.

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q} \quad (3)$$

Donde:

- N: Es el tamaño de la población o universo.
- k: Es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados en el estudio. Los valores k y sus niveles de confianza se muestran en la Tabla 1.
- e: Es el error deseado.
- p: Es la proporción de individuos que tienen la característica de estudio dentro de la población o en otras palabras la probabilidad de éxito. Este dato suele ser 0.5 para maximizar la muestra. (Ochoa et al., 2020)
- q: Es la probabilidad de fracaso o proporción de respuestas en la otra categoría. Se suele considerar que el valor sea 0.5. (SurveyMonkey, 2020)
- n: Es el tamaño de la muestra.

Tabla 1: Nivel de confianza

K	NIVEL DE CONFIANZA
1.15	75%
1.28	80%
1.44	85%
1.65	90%
1.96	95%
2	95.5%
2.58	99%

Fuente: Elaboración Propia

El tamaño de la muestra depende de lo que se desee estudiar. Otra característica de la muestra es contar con casos que posean y brinden la información requerida. Lo que se quiere es captar información rica, abundante y de profundidad de cada caso seleccionado. (SurveyMonkey, 2020)

2.2.8. Licencias de conducir

La licencia de conducir es el documento que es otorgado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), el cual autoriza a una persona conducir un vehículo en nuestro país.

Las licencias de conducir se dividen en lo siguiente:

A. Licencia tipo A

El cual permite conducir carros y vehículos motorizados que sean para el uso personal o comercial en el cual trasladan a pasajeros. Dentro de las licencias tipo A se encuentra clasificado según la Tabla 2.

Tabla 2: Licencia de conducir clase A

TIPO DE LICENCIA	DESCRIPCIÓN
Clase A-I	Te permite conducir autos tipo sedane, coupé, hatchback, convertibles, station wagon, Areneros, Pickup y furgones.
Clase A-IIA	Te permite conducir los mismos vehículos tipo A-I y también carros oficiales de transporte de pasajeros como taxis, buses, ambulancias y transporte Interprovincial.
Clase A-IIb	Te permite conducir los mismos vehículos que la A-I y también microbuses de hasta 16 asientos y 4 toneladas de peso bruto; así como minibuses hasta 33 asientos y 7 toneladas de peso bruto.
Clase A-IIIa	Te permite conducir los vehículos antes mencionados y también puede manejar vehículos con más de 6 toneladas.
Clase A-IIIb	Te permite conducir vehículos de chasis cabinado, remolques, grúas y volquetes.
Clase A-IIIC	Te permite conducir vehículos desde A-I hasta A-IIIb, pero se requiere tener mínimo 4 años con las licencias A-IIB

Fuente: Elaboración Propia

B. Licencia tipo B

Esta licencia te permite conducir bicimotos, motos, mototaxis y trimotos para uso personal o comercial que trasladen pasajeros. Se dividen en 4 tipos tal y como lo muestra la Tabla 3.

Tabla 3: Licencia de conducir clase B

TIPO DE LICENCIA	DESCRIPCIÓN
Clase B-I	Vehículos no motorizados de 3 ruedas (tricyclos) para transporte público especial de pasajeros.
Clase B-IIA	Bicimotos para transportar pasajeros o mercancías.
Clase B-IIb	Los mismos que B-IIA y también Motocicletas (2 ruedas) para transportar pasajeros o mercancías.
Clase B-IIC	Los mismos que B-IIA y B-IIb y también Mototaxis para el transporte de pasajeros.

Fuente: Elaboración Propia

En caso de transportar residuos peligrosos, se necesita hacer una solicitud para tramitar el permiso especial para el transporte por carretera. (Perú21, 2018)

2.2.9. Sistema

Es un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. El sistema está compuesto por entradas donde se recibe datos o información y las salidas por donde se provee la información, así como se muestra en la Figura 6. (Universidad de Córdoba, 2019)

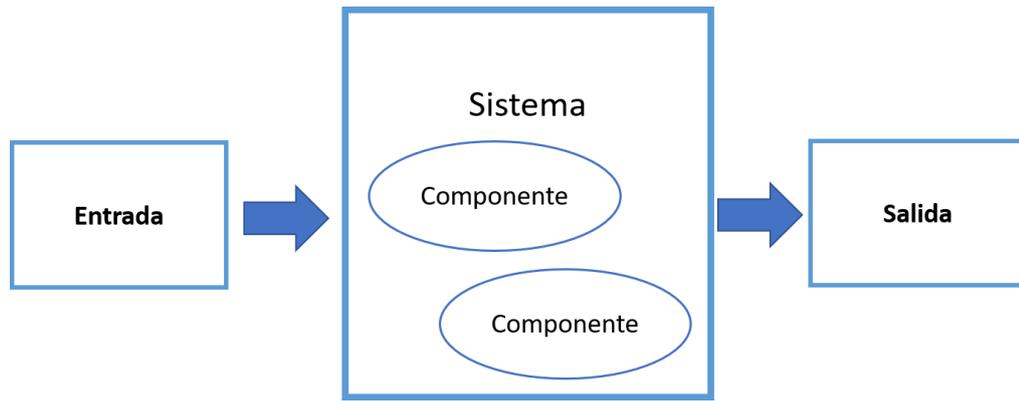


Figura 6: Sistema

Fuente: Elaboración Propia

A. Sistema de procesamiento de imágenes

Este sistema se define como los procesos de obtención e interpretación de las imágenes, los procesos constan de la adquisición, preprocesado, segmentación, representación y descripción y reconocimiento e interpretación, tal y como lo muestra la Figura 7 (Arévalo, 2019).

El primer proceso llamado adquisición, se obtiene la imagen, en el cual se aplicarán técnicas como la reducción de ruido y realce de detalles a este proceso se le llama preprocesado (Mayon & Limaquispe, 2018).

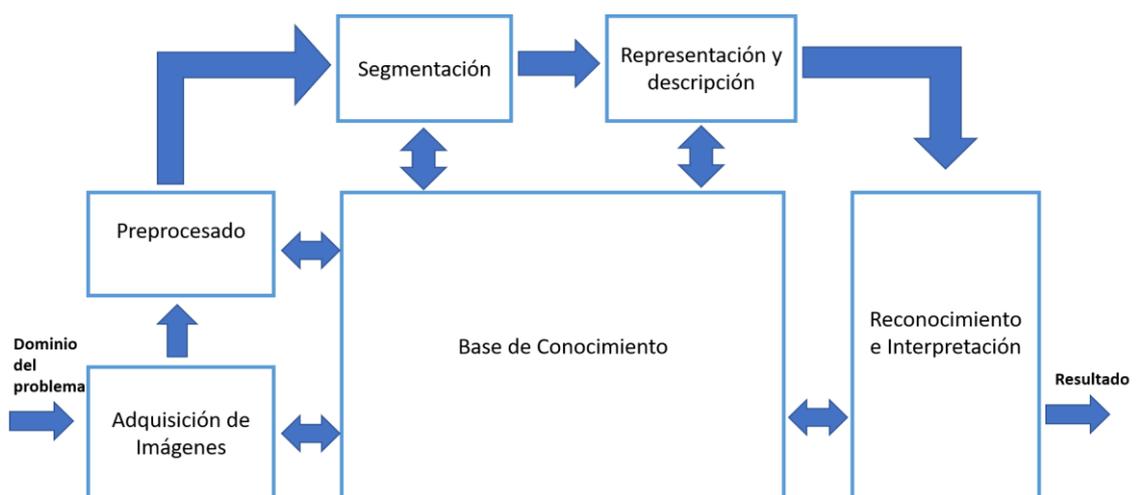


Figura 7: Sistema de procesamiento de imágenes

Fuente: Elaboración Propia

Luego focalizando los puntos de interés se da en el proceso de la segmentación. El proceso de representación y descripción es donde se obtienen las características relevantes de la imagen segmentada, quiere decir que, dependiendo del estudio realizado, las características serán diferentes (Crespin & Julián, 2019). Finalmente, el proceso de reconocimiento e interpretación es en el cual se le genera un valor a la imagen final (Espinoza, 2019).

2.2.10. MATLAB

Es un programa que se usa para resolver problemas de la ingeniería, las cuales están dirigidos al procesamiento de señales e imágenes, diseño de sistemas de control, redes neuronales, etc. Una característica fundamental de Matlab es que tiene como unidad de procesamiento una matriz lo que permite ser un gran elemento en su lenguaje facilitando la reducción del código (MathWorks, 2019).

Además, los requerimientos mínimos para utilizar el software son los siguientes:

- Se considera el sistema operativo Windows 10, Windows 7 y Windows Server.
- El procesador que se debe utilizar debe ser Intel o AMDx86-64
- Se recomienda que la memoria RAM debe tener 8GB.
- El espacio del disco debe tener de 5 a 8 GB, se recomienda utilizar una unidad de estado sólido.

2.2.11. Cámara Web

Es aquel dispositivo que permite la adquisición de imágenes a través de los fotogramas y se conectan a la computadora a través de un puerto serial o USB. Dicho elemento se presenta en la Figura 8. La cámara web tiene características como la frecuencia de la imagen, la resolución del video, la resolución de imagen fija. Cabe resaltar que la velocidad de internet afecta el rendimiento de la cámara web con las características mencionadas (Hernandez, 2018).



Figura 8: Cámara Web

Fuente: Elaboración Propia

2.2.12. Técnicas de detección de rostros

La detección de rostros con ayuda de los mecanismos computacionales verifica si hay un rostro en una imagen. La detección se realiza a través de la categorización binaria mediante la categorización binaria, para el cual es necesario utilizar los clasificadores que permiten reducir los errores. Es necesario que el algoritmo utilizado reduzca los falsos positivos y negativos para tener un buen rendimiento en el cual será implementado (Revelo, 2019). Dentro de las técnicas de detección de somnolencia se encuentra lo siguiente:

A. Viola Jones

Es un método de detección de objetos que se usa para la detección de caras en imágenes y videos mostrado en la Figura 9, el cual destaca por su bajo costo computacional y tiene una probabilidad de detección del 99.9% referente a los verdaderos positivos.

El algoritmo utiliza sólo información procesada en una imagen en escala de grises, de manera que tan solo utiliza una imagen integral, el cual es una representación de la suma de valor de los pixeles. Luego divide la imagen integral en subregiones de diversos tamaños y utiliza diversos clasificadores denominados Haar-like para determinar si en esta imagen se encuentra el objeto buscado. Estos clasificadores trabajan con un algoritmo

de aprendizaje basado en AdaBoost para tener un alto rendimiento en la respectiva detección (Antúnez, 2019).

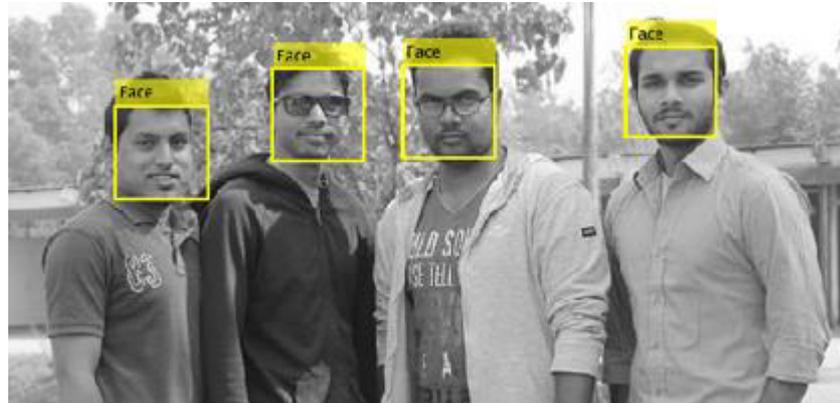


Figura 9: Viola Jones

Fuente: MathWorks, 2019

B. Patrón binario local

Es una técnica enfocada al análisis de texturas, que escoge las estructuras locales de la imagen que se va a procesar, el cual compara cada píxel con los píxeles adyacentes mediante ciertas consideraciones y obtiene el valor binario representativo. La técnica se debe de trabajar en escala de grises tal y como lo muestra la Figura 10. Asimismo, las ventajas son su tolerancia a la iluminación y su simplicidad computacional (Gonzalez & Velásquez, 2019).

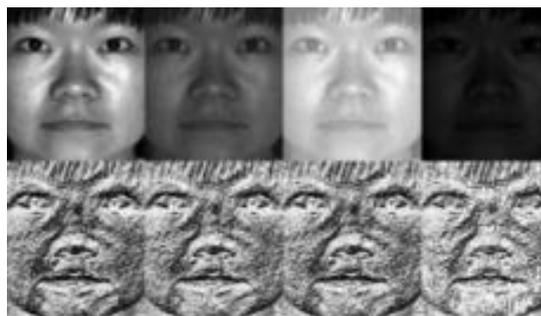


Figura 10: Patrón binario local

Fuente: Revelo, 2019

C. Enfoque basado en características elásticas

Es una técnica que utiliza algunos puntos de interés del rostro, debido a que usa la estructura topología del rostro. Para la extracción de características se realiza con la ayuda de una estructura grafo sobre el rostro, cuyos nodos son los puntos de

interés del rostro, luego se utiliza los filtros pasa banda para obtener una resolución de información máxima en espacios bidimensionales, para que de esa forma cada nodo tenga una respuesta del filtro tal y como muestra la Figura 11. (Chacua, 2019)

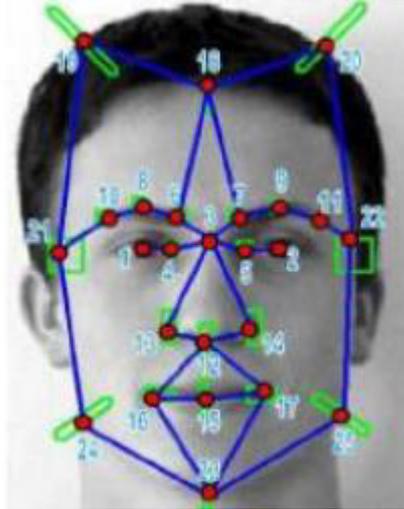


Figura 12: Enfoque basado en características elásticas
Fuente: Chacua, 2019

2.2.13. Técnicas para la detección de bordes

Un borde es un conjunto conectado de píxeles que tienen el mismo nivel de intensidad. Los contornos se clasifican en dos grupos, el primero es clasificado por la intensidad de los píxeles y el segundo definido por la textura de los contornos. Para la detección se hace una búsqueda de las discontinuidades en los niveles de escala de grises (UKEssays, 2018).

Existen técnicas para la detección de bordes que se detallan a continuación:

A. Sobel

Técnicamente es un operador que calcula la gradiente de la intensidad en cada píxel. Para cada píxel, el vector de la gradiente apunta en dirección al incremento máximo de la intensidad y la magnitud del vector corresponde a la cantidad del cambio de la intensidad. De esa forma se añade un pequeño suavizado a la imagen y ayuda a eliminar el ruido minimizando la aparición de falsos bordes. (Shihab, 2018)

B. Canny

Es un operador basado en la derivada de una gaussiana con el propósito de calcular la intensidad de los gradientes, de esa forma se suaviza la imagen la imagen y se elimina el ruido. Luego se aplica a la imagen una supresión no máxima, que quiere decir en encontrar las ubicaciones con el cambio más brusco de valor de la intensidad para eliminar respuestas falsas en la detección de borde y finalmente se aplica un doble umbral para determinar los posibles bordes. (Maitra, 2019)

La ventaja que ofrece la detección de bordes Canny es su gran adaptabilidad para ser aplicado en diversos tipos de imagen sin embargo presenta una desventaja se encuentra en el suavizamiento de la imagen porque cuando se logra reducir el ruido también se difumina los bordes y se pierde la calidad para detectar los bordes (Wu et al., 2019).

C. Transformada de Hough

Es un algoritmo que permite detectar formas geométricas siempre que se pueda representar matemáticamente como en ecuaciones tal como rectas, parábolas, círculos (Revelo, 2019). La transformada de Hough para realizar la búsqueda de los círculos se determina bajo diversos estándares que se detallará a continuación:

- Puntos en el perímetro

Se determina los parámetros de un círculo cuando se conocen diversos puntos del perímetro mediante la Ecuación 4 y Ecuación 5. (Canul et al., 2018)

$$x = a + R \cos \theta \quad (4)$$

$$y = b + R \sin \theta \quad (5)$$

Donde:

- x, y: Coordenadas en el eje x y eje y
- a, b: Puntos de intersección
- R: Radio del círculo
- θ : Ángulo formado por los puntos de intersección

En este caso si la imagen contiene muchos puntos que son trazados por los puntos x, y , los cuales determinan el perímetro del círculo, lo que el algoritmo va a realizar es encontrar los parámetros restantes como a, b y R para determinar el círculo (Chacua, 2019)

- Radio conocido

Si se conoce el radio determinado por la variable R descrita en la Ecuación 4, el algoritmo se encargará de hallar las variables a y b , las cuales son las coordenadas del centro de un círculo. Con ello la ubicación de los puntos x, y da como resultado el espacio de puntos del perímetro del círculo que se busca, sobre los nuevos círculos que se construyen a medida que el tamaño del ángulo se incrementa y finalmente la intersección de todos los círculos son los puntos a y b , como se muestra en la Figura 12 (Antúnez, 2019).

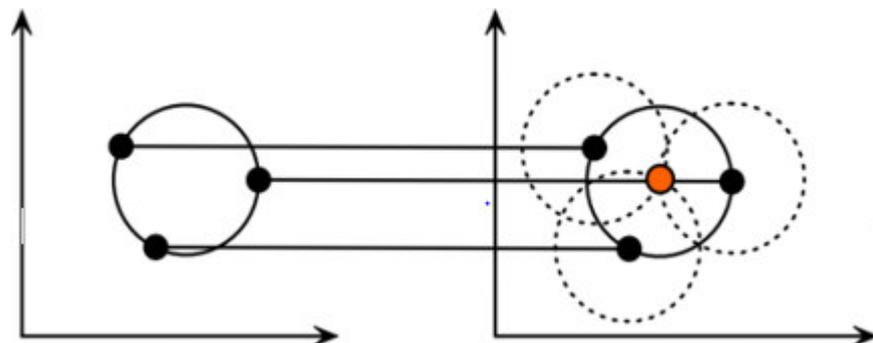


Figura 13: Transformada de Hough con radio conocido

Fuente: Antúnez, 2019

2.3. MARCO METODOLÓGICO

2.3.1. Tipo de investigación

En la presente tesis, se plantea que el tipo de investigación es aplicada a la tecnología porque se realiza el diseño e implementación de un sistema capaz de detectar la somnolencia en un conductor de vehículo, el cual es una innovación en el ámbito tecnológico y con ello se dará una solución a un problema que afecta a la sociedad.

2.3.2. Metodología de la investigación

La metodología que se realiza en la tesis a presentar se fundamenta en primer lugar con las indagaciones de información como artículos de investigación, proyectos de tesis, revistas de investigación, etc.; se encuentran enlazados con el tema que se va a tratar en la tesis. La información encontrada sirve para reconocer cuáles son los patrones por el cual se reconoce a un conductor de vehículo con somnolencia y la realización del diseño del sistema.

Luego de la información obtenida y con un conocimiento consolidado sobre los patrones a reconocer, sabiendo que en análisis se enfocará en conductores de vehículo se identificó la muestra requerida para la implementación del sistema de detección de somnolencia, la población se halló en base al número de licencias de conducir en Lima, para luego aplicar una fórmula de muestreo, en donde se obtuvo una muestra de 384, sabiendo que el método de muestreo es aleatorio simple debido a que se esperó que el número de encuestas sea similar a la muestra para realizar el análisis, cabe resaltar que de la muestra, el 85% son hombres y el 15% son mujeres; además se encontraban entre las edades de 20 a 57 años.

Después de identificar la muestra, se procede a la aplicación del sistema de detección de somnolencia comenzando con una cámara infrarroja para la adquisición de las imágenes del conductor de vehículo, obteniendo en tiempo real la imagen del rostro del conductor de vehículo. Los datos fueron recolectados dentro del vehículo del conductor entre los horarios nocturno y diurno por el periodo de una hora a la muestra mencionada anteriormente.

Después, se desarrolla un algoritmo para detectar la somnolencia del conductor de vehículo, para ello se utiliza el software MATLAB debido a que es una plataforma por el cual se podrá hacer uso del procesamiento de imágenes, tales como el algoritmo de Viola Jones que sirve para la detección del rostro y la Transformada de

Hough, para la detección del iris. Y con ello se logra la recolección de datos por medio del número de parpadeos del conductor de vehículo, debido a que se identificó que el parpadeo es el patrón de somnolencia más frecuente y latente en la muestra analizada. Cabe resaltar que el algoritmo está preparado para recolectar datos por periodo de minuto, en donde si el conductor sobrepasa el número de parpadeos establecido, dará como resultante que el conductor de vehículo tenga somnolencia, caso contrario el algoritmo reiniciará el conteo.

Finalmente, se aplicó el método denominado matriz de confusión para identificar el porcentaje de precisión y error del algoritmo, esto se da debido a que el algoritmo analiza si el conductor de vehículo tiene o no somnolencia. Concluyendo que el algoritmo creado en MATLAB es capaz de detectar la somnolencia del conductor de vehículo.

2.4. MARCO LEGAL

- **DECRETO SUPREMO N.º 016-2009-MTC:** En el artículo 89 se prohíbe que el conductor de vehículo conduzca en estado de somnolencia o cuando tiene cansancio. (*DECRETO SUPREMO N.º 016-2009-MTC, 2009*)
- **DECRETO SUPREMO N.º 017-2009-MTC:** En el artículo 20, se determina que los vehículos que tengan dos conductores de vehículo deben de poseer una litera para su respectivo descanso. El lugar debe de tener 1.80 m de largo y 75 cm de ancho con ventilación y un sistema de comunicación para comunicarse con el conductor de vehículo que está manejando. (Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, 2019). En el artículo 30, se establece que las jornadas máximas de conducción para un conductor de vehículo que ofrece el servicio de transporte público, durante el día no puede conducir por más de 5 horas y en el turno noche no se debe de exceder por más de 4 horas. Asimismo, menciona que las jornadas de conducción durante el periodo de 24 horas no debe ser mayor a 10 horas y que el conductor de

vehículo tiene un tiempo de descanso no menor a una hora.
(*DECRETO SUPREMO N° 017-2009-MTC, 2009*)

- **DECRETO SUPREMO N.º 004-2014-TR:** En el artículo 8 establece que el conductor de vehículo tiene que disfrutar de un descanso continuo de 12 horas en un periodo de 24 horas.
(*DECRETO SUPREMO N° 004-2014-TR, 2014*)

CAPÍTULO III: DESARROLLO

3.1. Identificar las características de la somnolencia en el conductor de vehículo

En el Perú, millones de personas están constantemente conduciendo sus vehículos, pero lamentablemente conducen en diversos estados como en estado de ebriedad y en estado de somnolencia. En el caso de estado de somnolencia se ha demostrado que estar conduciendo en ese estado puede conllevar a que se produzca un accidente de tránsito teniendo como consecuencia pérdidas humanas, lesiones físicas y psicológicas en los involucrados, daños patrimoniales como la reparación del vehículo, etc. debido a que el conductor pierde el control al manejar.

Para identificar la somnolencia se hace uso del análisis de las características observables que presenta un conductor de vehículo. El conductor de vehículo presenta varios signos de somnolencia como se muestra en la Tabla 4, cada una de ellas presenta características para detectarlo.

Tabla 4: Comparación de los signos de somnolencia

Signos de la somnolencia	Características	Detectable con procesamiento de imágenes	Tiempo de respuesta
Pestañeo	Número de parpadeos.	Si	Ocurre al inicio del micro sueño
	Tamaño de la apertura palpebral.	Si	Ocurre al inicio del micro sueño
Bostezo	Apertura de la boca	Si	Ocurre en el proceso del micro sueño
Cabeceo	Movimiento de la cabeza	Si	Ocurre después del micro sueño

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 4, todos los signos presentados son detectables por procesamiento de imágenes para detectar la somnolencia. Asimismo, los signos mencionados ocurren dentro de un periodo de tiempo de 2 a 5 segundos a esto se le llama los micro sueños, los cabeceos ocurren cuando el conductor de vehículo se duerme (Villán et al., 2017) siendo muy tarde para evitar un accidente de tránsito debido a que ocurre después de tener un parpadeo constante es por eso que se procede a descartar este signo. Además, sabiendo que el bostezo se calcula en base al método de Lammarks que indica el cálculo de la apertura de la boca con un valor máximo de 0.62 durante 0.6 segundos (Alcántara, 2018), también se indica que los bostezos ocurren generalmente después de que el conductor de vehículo presente somnolencia (Villán et al., 2017), es por ello que, es descartado debido a que el objetivo de esta tesis es detectar la somnolencia desde los primeros signos siendo el pestañeo la focalización de estudio, para así evitar accidentes de tránsito desde el primer momento.

Por ello, se presentará el procesamiento de imágenes tomando como referencia los ojos del conductor para así detectar la somnolencia. En el pestañeo se tomó en cuenta una frecuencia de 21 parpadeos por minuto en estado de somnolencia, lo mencionado se basó por el promedio de las frecuencias de parpadeo de los trabajos de investigación mencionados en la Tabla 6.

Asimismo, en la presente tesis se realizó una encuesta descriptiva con preguntas cerradas a los conductores de vehículo, que trabajan en el transporte público y transporte privado. En el Perú, los conductores de vehículo están clasificados según el tipo de licencia, así como lo muestra en la Tabla 2 y Tabla 3.

Para la encuesta realizada, se tomó en cuenta una muestra según el tipo de licencia, en este caso se eligieron las licencias IA y IIA que pertenecen a licencias de conductores de vehículo de transporte público y privado. Según el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática en el 2018, se registran 478 213 licencias de conducir de tipo IA y 69 581 licencias de conducir de tipo IIA, sumando así un total de 547794 licencias a nivel nacional emitidas el año 2018 (INEI, 2018).

La muestra se obtuvo a partir de la ecuación 1, con un margen de error de 5% y un nivel de confianza del 90%, obteniendo el valor de la muestra de 384 personas con licencias de conducir para la realización de la encuesta.

El instrumento que se utilizó es la encuesta, el cual consta de 10 preguntas. La encuesta se realizó a través de la herramienta Google Forms con las siguientes 10 preguntas:

1. ¿Cuántos días trabaja?
2. ¿Cómo es su horario de trabajo?
3. ¿Cuál es la razón por la que conduce?
4. ¿Usted tiene un día de descanso durante la semana?
5. ¿En qué horario conduce?
6. ¿Cuánto tiempo está conduciendo?
7. ¿Cuándo está manejando su vehículo, ha tenido somnolencia?
8. ¿Con qué frecuencia tiene somnolencia?
9. ¿En qué horario presenta mayor somnolencia?
10. ¿Cuál es el síntoma más frecuente de somnolencia al conducir?

Cada pregunta es de índole cerrada debido a que son de opción múltiple. Y cada una recolecta datos cualitativos mostrando escalas descriptivas que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Escala de preguntas

Preguntas	Escala
1	<5 días, 5 días, 6 días, todos los días
4	4-5 horas, 6-8 horas y >9 horas
2	transporte privado, transporte público
3, 7	Siempre, a veces, nunca
5, 8	Turno diurno, turno nocturno, ambos
6	<5 horas, 5-7 horas, 8 horas y >9 horas
9	Sí, no
10	Pestañeo, bostezo, cabeceo

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados que se obtuvieron en la respectiva encuesta se detallan a continuación:

- Los conductores de vehículo indicaron que 41% de ellos trabaja todos los días, el 38% solo seis días, el 20% trabaja cinco días y el 1% trabaja menos de cinco días.
- La razón por la cual conducen los conductores de vehículo tiene como resultado que el 86% de ellos lo hacen porque trabajan en transporte público y el 14% conduce porque hace uso de transporte privado.
- El 57% de los conductores de vehículo siempre tienen un día de descanso durante la semana, el 33% solo lo tiene a veces el descanso y 10% nunca tiene un descanso a la semana.
- El 61% indicaron que duermen entre cuatro a cinco horas, el 37% de ellos entre seis a ocho horas y el 2% de ellos duermen mayor a nueve horas.
- El 72% de los conductores de vehículo trabajan en ambos horarios tanto en turno diurno y turno nocturno, el 18% trabaja solo en el turno diurno y el 10% en turno nocturno.
- El 55% de los conductores indicaron que conducen mayor a nueve horas, el 35% de ellos solo ocho horas, solo el 8% de los

conductores de vehículo trabajan en el rango de cinco a siete horas y tan solo el 2% solo trabaja menos de cinco horas.

- El 61% de los conductores indicaron que siempre tienen somnolencia, el 27% lo tienen a veces y el 12% nunca.
- El horario en el cual los conductores de vehículo presentan mayor somnolencia da como resultado que el 79% de ellos presentan somnolencia en ambos turnos, el 8% de ellos lo presenta más en turno diurno y el 13% de los conductores de vehículo lo tienen en el turno nocturno.
- El 87% de los conductores de vehículo indicaron que cuando manejaron su vehículo si tuvieron somnolencia y el 13% no lo presentan.
- Asimismo, los conductores de vehículo indicaron que el síntoma más frecuente de la somnolencia es el pestañeo teniendo como resultado el 82%, luego el 13% tienen el síntoma del bostezo y el 5% presentan el cabeceo.

El primer resultado que se obtuvo de la encuesta se muestra en la Figura 13, en el cual el 61% de los conductores de vehículo de la muestra siempre presentan somnolencia, el 27% a veces presentan somnolencia y el 12% no tienen somnolencia.

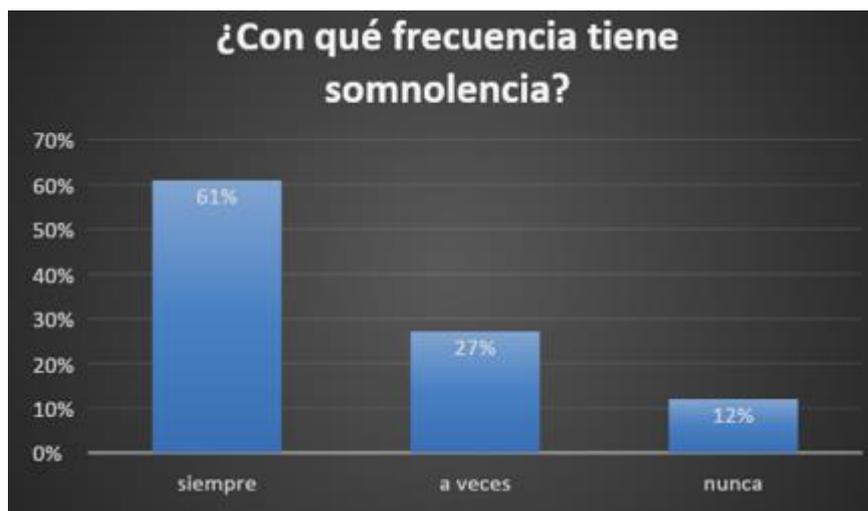


Figura 14: Frecuencia de la somnolencia
Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, se realizó una factorización de tan solo los conductores de vehículo que tienen somnolencia y a partir de ello validar cuáles son los síntomas de somnolencia que predominan en los conductores de vehículo. Este resultado se muestra en la Figura 14, en el cual se aprecia que el 59% de los conductores de vehículo que siempre tienen somnolencia tiene el síntoma del constante pestañeo y los conductores de vehículo que a veces tienen somnolencia, de igual forma predomina el constante pestañeo con un 22% de tal forma que se concluye que el síntoma predominante es el constante pestañeo.

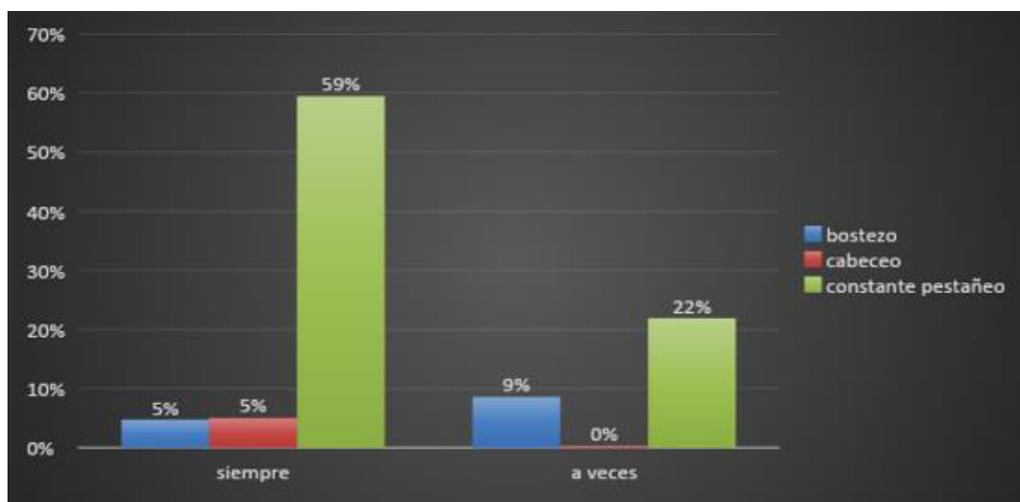


Figura 15: Signos de somnolencia

Fuente: Elaboración Propia

Siendo la vista un factor muy importante ya que casi toda la información es recibida por ese medio y a ello se encuentra unido el parpadeo que cumple un papel primordial en la conducción de un vehículo porque es un mecanismo de aviso ante una posible pérdida de concentración que posiblemente puede originar los accidentes de tránsito. Por esta razón se deduce que el patrón que tomará en cuenta para la detección de somnolencia por ser el más relevante es el pestañeo o parpadeo.

3.1.1. Análisis del parpadeo

La importancia del parpadeo recae en que se tenga una buena visión debido a que cuando un conductor de vehículo tiene somnolencia presenta la visión borrosa. Y en estado somnoliento, el parpadeo es con más frecuencia con lo que se puede entender que al parpadear más el ojo presentaría una mejor limpieza que por

ende tendría una buena visión, sin embargo, este parpadeo para que funcione de una manera efectiva debe de realizarse de manera completa lo que no ocurre en un conductor de vehículo con somnolencia debido a que en ello el parpadeo suele ser rápido y no ocurre el cierre por completo.

Por otro lado, cuando el conductor de vehículo no se encuentra en estado de somnolencia, él parpadea y mueve los ojos de manera rápida y constante con el fin de mantener la apertura palpebral grande pero cuando el conductor está en estado de somnolencia sucede lo inverso porque la velocidad del parpadeo y la apertura palpebral disminuyen.

Con lo mencionado se concluye que para el análisis del parpadeo de un conductor en estado de somnolencia existen dos indicadores de mucha importancia como la frecuencia del parpadeo y la apertura del ojo.

A. Frecuencia de parpadeo

Para determinar el número de parpadeos, la presente tesis se basó en los siguientes autores:

- Según Chaccere & Sara (2015), mencionan que la frecuencia de parpadeo en una persona somnolienta es aproximadamente en 21 parpadeos por minuto y en estado normal la persona presenta 15 parpadeos por minuto.
- Según Egas (2017), manifiesta que, en sus pruebas de detección de somnolencia a través del análisis del parpadeo del ojo, la frecuencia es de 23 parpadeos por minuto.
- Asimismo, el autor Alcántara (2018), el número de parpadeos para que el conductor de vehículo presente signos de somnolencia es de 21 parpadeos por minuto.
- Los autores España & Oña (2018), indican que en la detección de su sistema de somnolencia descubrieron que un conductor de vehículo presenta somnolencia cuando hay 21 parpadeos por minuto.

- El autor Revelo (2019), expresa que su sistema realiza la detección de los ojos tomando en cuenta 24 parpadeos por minuto en la detección de la somnolencia.

En base a lo mencionado por los autores, se muestra una tabla comparativa donde se menciona la frecuencia de parpadeos tomada para el análisis del parpadeo, el cual se refleja en la Tabla 6.

Tabla 6: Frecuencia de parpadeo según el autor

Autor	Frecuencia de parpadeo
Chaccere y Sara (2015)	21 parpadeos/minuto
Egas (2017)	23 parpadeos/minuto
Alcántara (2018)	21 parpadeos/minuto
España y Oña (2018)	21 parpadeos/minuto
Revelo (2019)	21 parpadeos/minuto

Fuente: Elaboración Propia

Según los datos que se obtiene de la Tabla 6, se realizó el cálculo de la media para obtener un promedio de la frecuencia de la somnolencia que se tomará en cuenta para la realización del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo, el resultado es de 21.4 parpadeos/minuto en el análisis del parpadeo.

B. Apertura Palpebral

Cuando un conductor de vehículo presenta somnolencia lo que tiende a realizar a cada momento es cerrar los ojos, pero con cierto esfuerzo de mantener abiertos, sin embargo, si logra cerrar los ojos por dos segundos surgen los micro sueños que causan desorientación cuando se está conduciendo y como consecuencia se presentan los accidentes de tránsito.

Es por ello que se pretende analizar la apertura palpebral para detectar la somnolencia y alertar al conductor de vehículo, para ello se utiliza un cálculo práctico denominado PERCLOS el cual determina el porcentaje que los ojos del conductor de vehículo se encuentran cerrados.

En base al índice PERCLOS se logra definir estados de somnolencia, los cuales son los siguientes:

- Estado despierto: Cuando el índice de PERCLOS es menor al 35%.
- Estado de somnolencia leve: El índice de PERCLOS supera el 35% pero no sobrepasa el 80%.
- Estado de somnolencia grave: Ocurre cuando el índice de PERCLOS sobrepasa el 80%.

Finalmente, tomando en cuenta lo descrito anteriormente, la presente tesis se basará en el análisis del signo somnolencia más relevante siendo este el parpadeo, dentro de ello se analizará la frecuencia del parpadeo y la apertura palpebral para detectar la somnolencia del conductor de vehículo.

3.2. Diseñar las etapas para la elaboración del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo

En el presente objetivo se explica cada parte que tiene el sistema detector de somnolencia del conductor de vehículo, el cual se aprecia en la Figura 15.

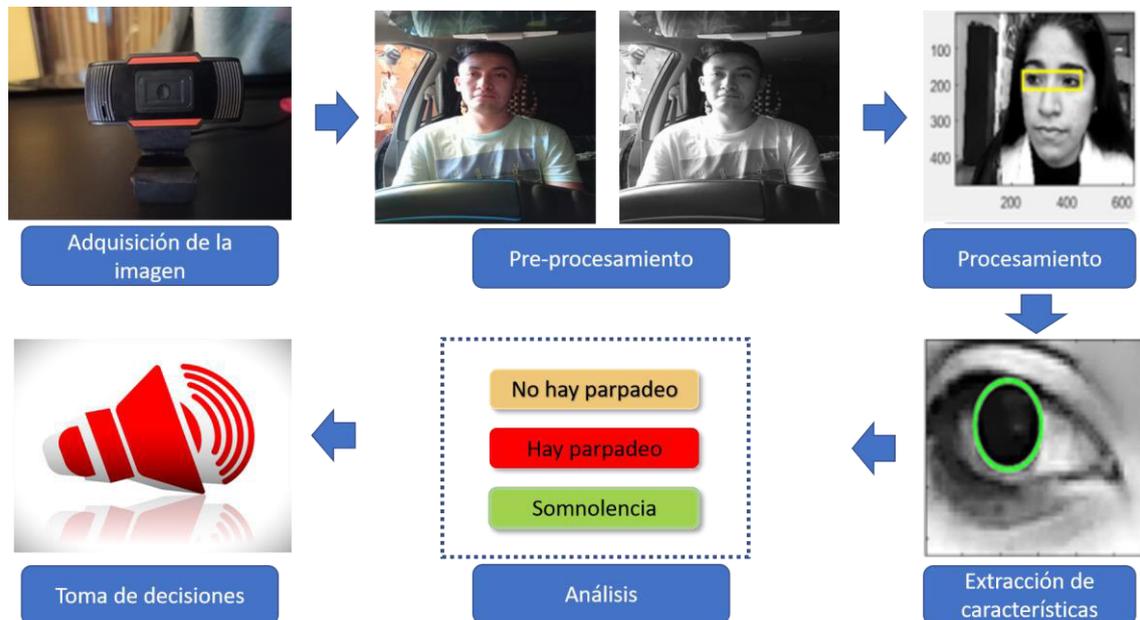


Figura 16: Etapas del sistema de somnolencia
Fuente: Elaboración Propia

La primera etapa es la adquisición de la imagen en donde mediante una cámara web, se grabará en tiempo real el rostro del conductor de vehículo, esta grabación se encontrará en formato de colores en 3 dimensiones (Red Green Blue – RGB); luego, sabiendo que éste formato de imagen requerirá de muchos recursos para su procesamiento, el sistema pasará por la etapa de preprocesamiento, en la cual se realiza la conversión del formato RGB a escala de grises en 2 dimensiones. Luego continúa la etapa del procesamiento, en el cual el sistema reconocerá los ojos del conductor de vehículo, ubicando un rectángulo en el área de la unión de los ojos, cabe resaltar que dicha área varía dependiendo de los ojos de cada conductor vehículo; además en la etapa de extracción de características, el algoritmo sectoriza el ojo del conductor de vehículo para hallar el iris de este, para así determinar el conteo de parpadeos.

Seguidamente en la etapa del análisis, se identificará 3 estados: parpadeo, no parpadeo y somnolencia, éste último se da basado al número de parpadeos permitidos en un periodo determinado, en ésta tesis se tomará 21 parpadeos, el cual se identificó en primer objetivo, para determinar que un conductor de vehículo se encuentre en estado somnolencia y finalmente la última etapa denominada toma de decisiones, en donde el sistema detecte a un conductor de vehículo con somnolencia, emitirá un sonido de alerta. De lo contrario, el sistema reanudará el conteo del parpadeo del conductor de vehículo.

3.2.1. Adquisición de la imagen

Es la primera etapa que tiene el sistema de detección de somnolencia, en el cual se hará uso de una cámara web que posee 31 Fotogramas por Segundo (FPS) con una resolución de 1280x720 FHD para que se adquiera la imagen del conductor de vehículo como lo muestra la Figura 16. La conexión de la cámara se realiza a través de un cable USB al computador portátil para procesar la imagen.

Además, esta etapa es de suma importancia puesto que con la adquisición de la imagen se obtiene los datos que influyen en la segunda etapa tales como la resolución, iluminación y la posición que tiene el conductor de vehículo.



Figura 17: Adquisición de la imagen del conductor de vehículo

Fuente: Elaboración Propia

Como se aprecia en la Figura 16, se realizó una prueba de adquisición de la imagen del conductor de vehículo, en el cual se muestra el proceso por el cual el conductor de vehículo tiene somnolencia.

3.2.2. Preprocesamiento

Esta etapa ocurre en el software Matlab, donde la imagen para ser procesada se convierte en un matriz bidimensional al momento de almacenarla en el software Matlab, cada elemento de la matriz corresponde a un píxel de la imagen tal y como lo muestra la Figura 17.

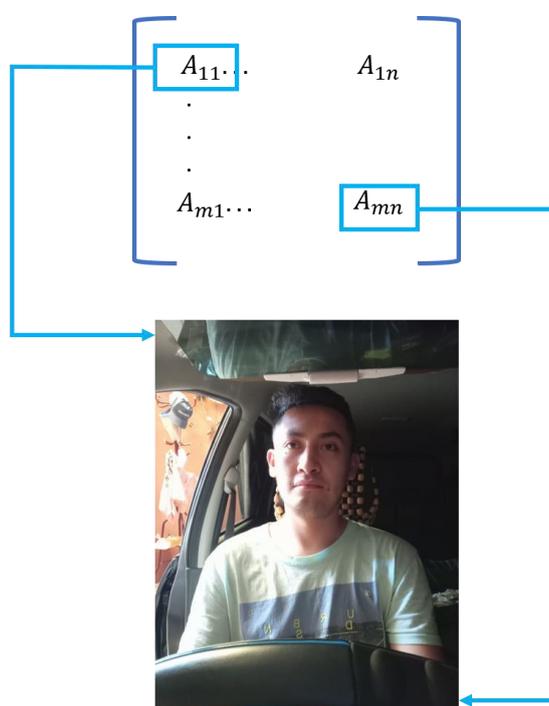


Figura 18: Representación de un píxel de la matriz

Fuente: Elaboración Propia

Lo fundamental en esta etapa es realizar la preparación de la imagen para realizar una efectiva detección. Y para ello, se procede con la modificación de las características de la imagen para conseguir una mejora en la imagen. Dentro de estas características se encuentra el contraste, iluminación y también eliminar el ruido que exista en la imagen con la aplicación de diversos filtros antes de que pase a la etapa de detección.

En esta etapa, se utiliza una técnica de conversión llamada escala de grises, lo que hace esta técnica es convertir una imagen RGB de 3 dimensiones a una imagen en escala de grises en 2 dimensiones. El proceso se realiza cuando la imagen RGB también conocida como imagen verdadera, es procesada en el software Matlab mediante una matriz con sus respectivos vectores y cada elemento de la matriz está compuesto por píxeles. En este caso la imagen RGB posee una matriz tridimensional, que se representa como $I (m, n, N)$, esta imagen posee dos parámetros; el primero son m y n , son los vectores bidimensionales de la imagen y el segundo parámetro N , que corresponde al color y toma los valores: 1 para el color rojo, 2 para el color verde y 3 para el color azul. Con ello, se deduce que cada píxel de la imagen tiene una información adicional RGB y por ende en un inicio cuando se comienza con la adquisición de la imagen, esta presenta un mayor peso informático por la información adicional que contiene cada píxel. El proceso mencionado se muestra en la Figura 18.

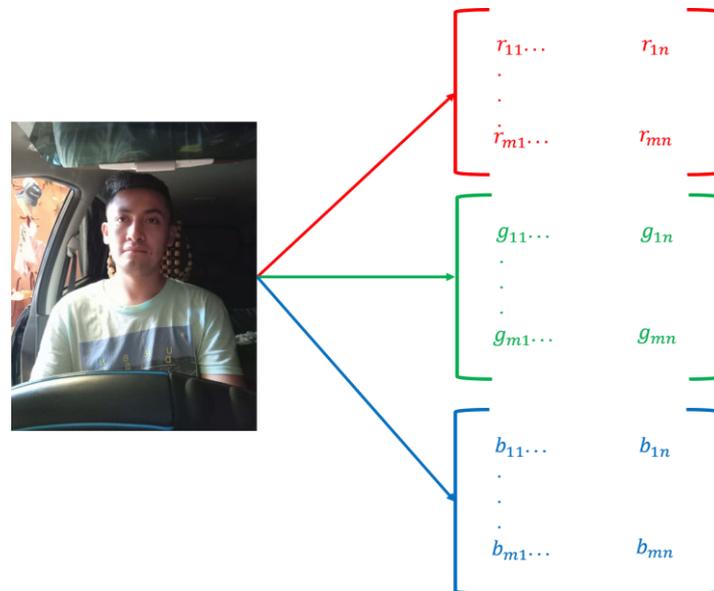


Figura 19: Representación de la matriz de una imagen

Fuente: Elaboración Propia

Luego para mejorar la imagen, que es lo que se quiere lograr con la técnica de escala de grises. Se procede a convertirla con la ayuda de la función de Matlab denominada `rgb2gray`, en este proceso lo que se retira es la información adicional de color y saturación que tiene

cada píxel de la imagen de manera que conserva la luminancia de la imagen. Luego de hacer dicho proceso, el resultado es una imagen que contiene diversos puntos con un valor de luminancia que va desde 0 (negro) hasta el 255 (blanco) con magnitudes que reflejan los niveles del color gris. La conversión se basa en una suma ponderada de los componentes rojo, azul y verde, para así obtener el valor de luminancia. Asimismo, la imagen ahora solo contiene una matriz bidimensional determinada como (x, y) con sus vectores m y n . Dicho proceso se muestra en la Figura 19.

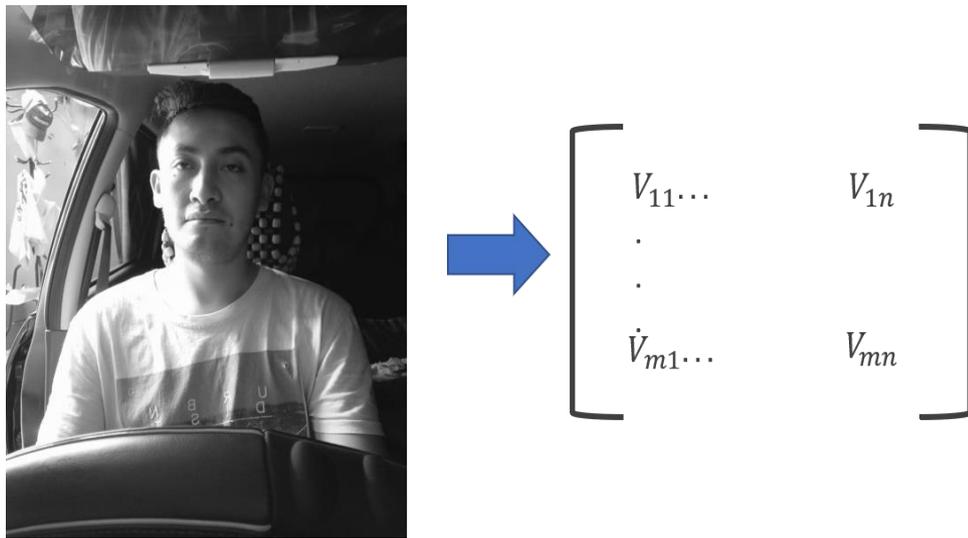


Figura 20: Matriz de una imagen en escala de grises
Fuente: Elaboración Propia

3.2.3. Procesamiento

En la etapa del procesamiento, el algoritmo procede con la ubicación de los ojos del conductor de vehículo, para así identificar el parpadeo, el cual es el patrón de somnolencia. Para obtenerlo se realiza la segmentación de la zona, lo cual delimita la zona de interés. Cabe resaltar que se realiza la segmentación con el fin de tener otra imagen más significativa y relevante para analizar los ojos del conductor de vehículo.

Luego se realiza la ubicación de los ojos mediante un rectángulo para que de esta forma se realice un seguimiento de la zona de interés cuando el conductor de vehículo se encuentre manejando como lo muestra en la Figura 20.



Figura 21: Segmentación en la zona de interés

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. Extracción de las características

En esta etapa, se procederá con la identificación de los indicadores de somnolencia en el parpadeo como la apertura palpebral y la frecuencia del parpadeo. Una vez seleccionada el área de interés se procesa los indicadores y para ello se hace uso de la detección del iris.

Asimismo, en esta etapa se realiza la detección y localización de entidades geométricas como los puntos, líneas o los círculos. En este caso se utiliza el círculo para detectar el iris del conductor de vehículo con la técnica llamada transformada de Hough.

3.2.5. Análisis

En esta etapa se analiza el primer indicador, el cual es la frecuencia de parpadeos durante un determinado tiempo. Este indicador se analiza de la siguiente forma, existen dos opciones, siendo estas “hay parpadeo” y “no hay parpadeo”, cuando el algoritmo no identifica el parpadeo del conductor de vehículo, éste no realiza el conteo y se muestra la imagen indicando la acción, tal y como se muestra en la Figura 21.



Figura 22: Proceso del parpadeo

Fuente: Elaboración Propia

Caso contrario, si el algoritmo identifica un parpadeo del conductor de vehículo, se muestra la imagen de la acción y el número de parpadeos. Cabe resaltar que todo ello es gracias al reconocimiento del iris, debido que, si es detectado, el ojo está abierto y no hay un parpadeo, pero si en caso no se detecta el iris, significa que hay un parpadeo y se procede con el conteo. Asimismo, en esta etapa se establece el nivel de somnolencia con el segundo indicador, el cual es la apertura palpebral y para su detección de igual forma se usa la detección del iris.

3.2.6. Toma de decisiones

Finalmente, en esta etapa, el sistema de detección de somnolencia emitirá una alarma sonora cuando el conteo del parpadeo del conductor de vehículo sobrepase el número establecido por el periodo de tiempo, siendo éste 21 parpadeos por minuto. Adicional a ello, se mostrará la imagen del estado del conductor de vehículo, el cual es somnolencia.

Cabe resaltar que si el número de parpadeos es inferior a lo establecido no se activará la alarma sonora y solo muestra la imagen de la acción "hay parpadeo" o "no hay parpadeo". La alarma sonora se emite para alertar al conductor de vehículo que ya presenta somnolencia.

3.3. Identificar los requerimientos técnicos para la implementación del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo

Para el correcto funcionamiento del sistema de detección de somnolencia, el sistema consta de cuatro etapas desde la alimentación de los dispositivos electrónicos hasta la etapa de resultados en donde se presentará la identificación de la somnolencia del conductor de vehículo. En la Figura 22, la primera etapa es la alimentación eléctrica de los equipos electrónicos, luego continúa con la etapa de arranque de equipos, los cuales son la computadora portátil y la cámara web siendo las únicas que se requieren para el funcionamiento del sistema. Después, la etapa de tratamiento de imágenes es donde se identifica el software Matlab que se encarga de la recepción y procesamiento de imágenes, en el cual se realiza el preprocesamiento, procesamiento y extracción de características, finalmente la etapa de resultados en donde el sistema de detección de somnolencia será capaz de identificar la somnolencia del conductor de vehículo.

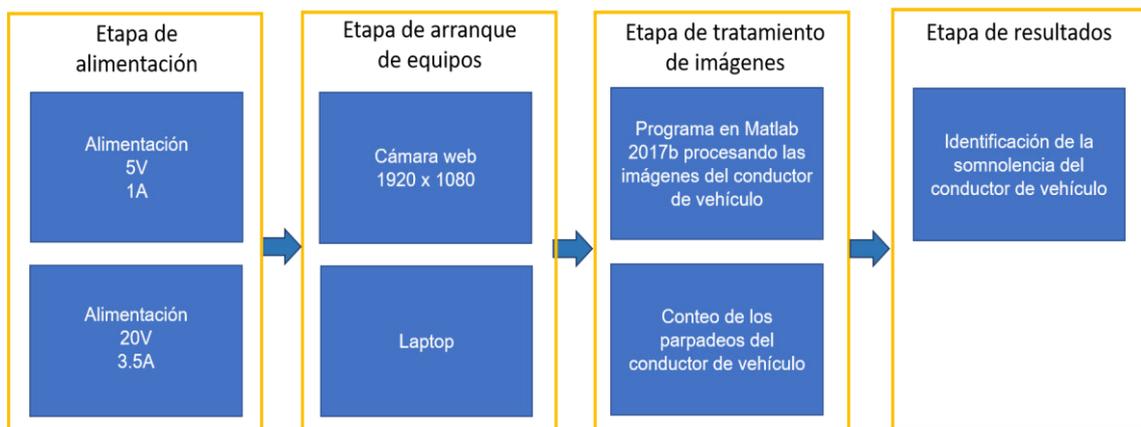


Figura 23: Etapas del sistema de detección de somnolencia

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se detalla cada uno de los lineamientos técnicos que se requiere para el funcionamiento del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo.

3.3.1. Etapa de alimentación

Para la etapa de alimentación es necesario calcular el voltaje, amperaje y potencia que se requiera para el arranque de los equipos, siendo estos la cámara web y el computador portátil. Las características eléctricas de la cámara web y el computador portátil se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Características eléctricas

	Cámara web	Computador portátil
Voltaje (Voltios)	5	20
Amperaje (Amperio)	1	3.25
Potencia (Watts)	5	65

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 7, la cámara web consume 5 Watts y el computador portátil 65 Watts, siendo variables importantes que tomar en cuenta por el conductor de vehículo en la implementación del sistema de detección de somnolencia.

3.3.2. Etapa de arranque de equipos

La etapa de arranque consiste en la inicialización de equipos como la cámara web y el computador portátil. Para ello, es necesario tener en cuenta los siguientes requerimientos técnicos.

A. Cámara Web

La cámara web es importante para la detección de la somnolencia del conductor de vehículo, por ello se realiza una comparación de diversas cámaras web, así como se muestra en la Tabla 8, con el propósito de elegir la que brinde mejores características para el sistema de detección de somnolencia.

Tabla 8: Cuadro comparativo de cámaras web

	Cámara web 1	Cámara web 2	Cámara web 3
Marca	Jetion	Logitech	Genius
Tipo de stream	Video	Video	Video
Estándar de video	FHD (Full High Definition)	HD (High Definition)	HD (High Definition)
Modo imagen	RGB	RGB	RGB
Cuadros por segundo	30 FPS (Frames per second)	23 FPS (Frames per second)	25 FPS (Frames per second)
Megapíxeles	2.07 MP	0.92 MP	0.9 MP
Resolución	1920 x 1080	1280 x 720	1280 x 720
Visión nocturna	si	si	no

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 8, se verifica que la cámara web de marca Jetion transmite en Full High Definition a diferencias de las otras que transmiten a High Definition, lo cual permite tener una imagen más clara y nítida del conductor de vehículo para así tener una buena efectividad en la detección de la somnolencia. Además de la superioridad de cuadros por segundo a diferencias de las otras cámaras web, el cual brinda una secuencia de imágenes más fluida beneficiando al sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo.

También, la resolución que brinda la cámara web de marca Jetion es mejor que las otras de manera que el sistema de detección de somnolencia requiere de una resolución superior para el procesamiento de imágenes. Incluso la cámara web tiene

la capacidad para una visión nocturna, lo cual es beneficioso para la detección de la somnolencia del conductor de vehículo en horario nocturno. Finalmente se concluye, que la cámara más eficiente para el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo es la cámara web de marca Jetion por las características mencionadas.

Por otro lado, la ubicación de la cámara web, tiene que estar enfocada al rostro del conductor de vehículo, es por ello que lo ideal sea al frente del conductor. Como se muestra en la Figura 23.



Figura 24: Posicionamiento de la cámara web
Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, la cámara web se encuentra en la parte superior del tablero de instrumentos apuntando directamente al conductor del vehículo, para no obstaculizar la visión directa y periférica del conductor de vehículo, como la Figura 24.



Figura 25: Cámara web desde la parte superior

Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que la cámara web hacia el conductor existe 50 cm de manera directa y hacia el rostro del conductor existe 55cm, así como se muestra en la Figura 25.



Figura 26: Distancia de la cámara web hacia el conductor de vehículo

Fuente: Elaboración Propia

Además, la cámara web tiene un caballete de ajuste como lo muestra la Figura 26. Esto permite graduar la imagen hasta formar un ángulo correcto para realizar un buen enfoque al rostro del conductor de vehículo.

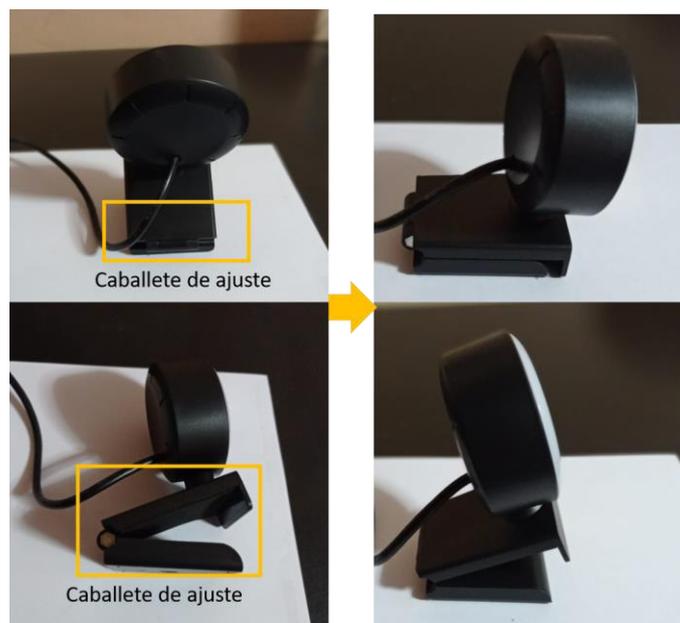


Figura 27: Caballete de ajuste de la cámara web

Fuente: Elaboración Propia

Debido al caballete de ajuste se realiza un ajuste a la cámara web, el cual se acopla hasta tener un ángulo de 45° (grados) para una mayor apreciación del rostro del conductor de vehículo y así lograr la detección de la somnolencia del conductor de vehículo, tal y como se muestra en la Figura 27.

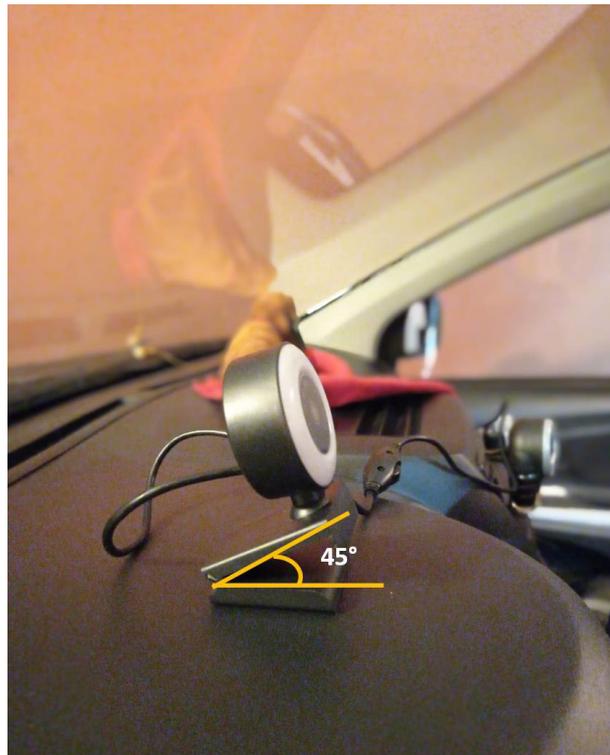


Figura 28: Ángulo de la cámara web

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, la cámara web elegida posee 6 luces led al borde del lente y la intensidad de las luces se ajusta a través del regulador como lo muestra la Figura 28. Con la ayuda de la iluminación de las luces led se hará una efectiva detección de somnolencia del conductor de vehículo en el turno nocturno.

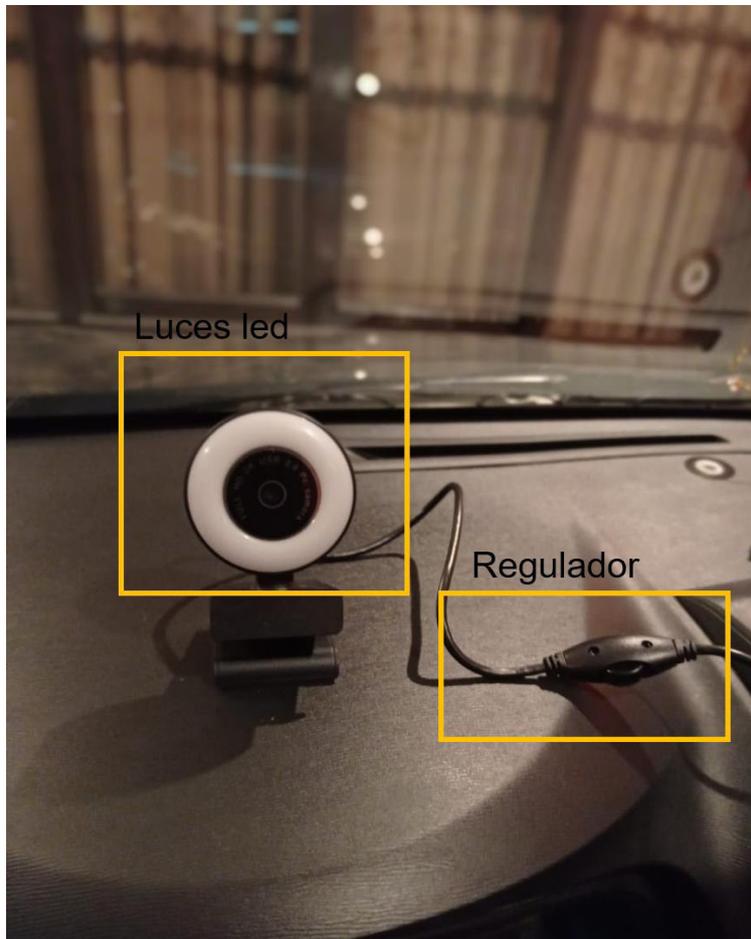


Figura 29: Luces led de la cámara web

Fuente: Elaboración Propia

También la cámara cuenta con un adhesivo especial en la parte inferior como lo muestra Figura 30 dando así un soporte en el enganche y así no se mueva cuando el vehículo este en movimiento.

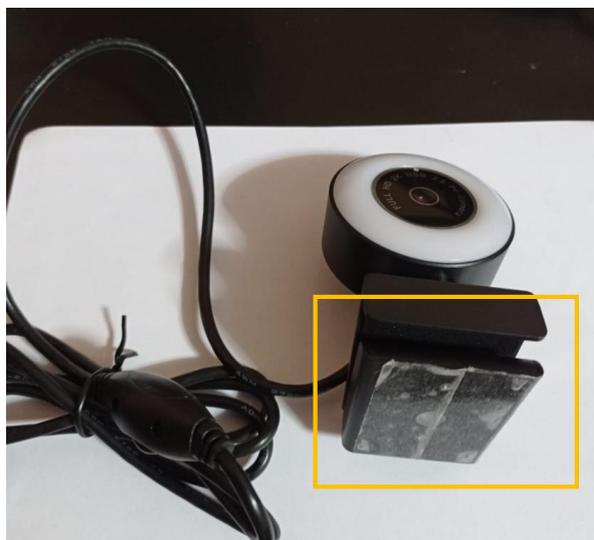


Figura 30: Adhesivo de la cámara web

Fuente: Elaboración Propia

Por conclusión, la cámara web cumple con todos los requerimientos que necesita el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo, además adicionar la ergonomía de esta para adaptarse en cualquier lugar beneficiando en la posición de esta en el vehículo.

B. Computadora portátil

El computador portátil utilizado para la recepción de la imagen y el procesamiento del algoritmo de detección de somnolencia del conductor de vehículo presenta las siguientes características que se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9: Característica del computador portátil

Características	Detalle
Procesador	Core i7 7ma generación
Sistema operativo	Windows 10
Memoria RAM	12 gigabyte
Memoria gráfica	6 gigabyte
Marca del computador portátil	HP Notebook

Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionó en el marco teórico en el numeral 2.2.10 denominado Matlab, el software Matlab necesita de ciertos requerimientos técnicos para funcionar de manera correcta. Los requerimientos técnicos que se muestran en la Tabla 9 superan a los requerimientos técnicos mencionados en el marco teórico que necesita el software, en conclusión, el computador portátil que se utilizará en el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo es óptimo.

3.3.3. Etapa de procesamiento

A. Software MATLAB

El software para el procesamiento de imágenes en tiempo real usado en la presente tesis es la versión 2017b de 64 bits. Cabe

resaltar, que en la primera etapa de la adquisición de la imagen Matlab necesita la conexión de una cámara web, para ello se requiere un instalador llamado Support Package Installer, que se encuentra en la pestaña Add Ones de Matlab, tal y como se muestra en la Figura 30.



Figura 31: Paquete de soporte de la cámara web

Fuente: Elaboración Propia

El instalador mencionado brinda un paquete llamado Image Acquisition Toolbox, el cual sirve para adquirir imágenes y videos para sistemas operativos como Windows, Linux, Mac directamente del software Matlab.

Asimismo, en las etapas adquisición de imagen, preprocesamiento, procesamiento y extracción de características se requiere de funciones propiamente del software Matlab, las cuales son detalladas en la Tabla 10.

Tabla 10: Funciones de Matlab

	Funciones	Descripción
Adquisición de la imagen	webcam	Conexión de la cámara web
	snapshot	Adquiere la imagen desde la cámara web
	rgb2gray	Conversión a escala de grises
Preprocesamiento	imadjust	Ajusta los valores de intensidad
	flip	Invierte el orden de los elementos
Procesamiento	CascadeObjectDetector	Detecta objetos con el algoritmo de Viola Jones
	imcrop	Recorta la imagen
Extracción de características	imfindcircles	Encuentra los círculos de la imagen

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 10, las funciones mencionadas son las que ayudan al diseño del algoritmo en las etapas de detección de somnolencia del conductor de vehículo. Cabe resaltar que para el correcto funcionamiento del algoritmo se requiere la utilización de todas las funciones mencionadas o se generará errores en el sistema.

3.4. Desarrollar un algoritmo de procesamiento de imágenes para identificar los patrones de somnolencia del conductor de vehículo

3.4.1. Diagrama de flujo

La somnolencia tiene que ser detectada a través de los indicadores de somnolencia como el bostezo, cabeceo y parpadeo de los ojos y como se explicó previamente el indicador de somnolencia más relevante es el parpadeo de los ojos. Por esa razón en esta tesis se desarrollará un algoritmo capaz de detectar la somnolencia y esta será detectada a través del parpadeo de los ojos. El diseño del algoritmo se muestra en la Figura 31 a través del diagrama de flujo.

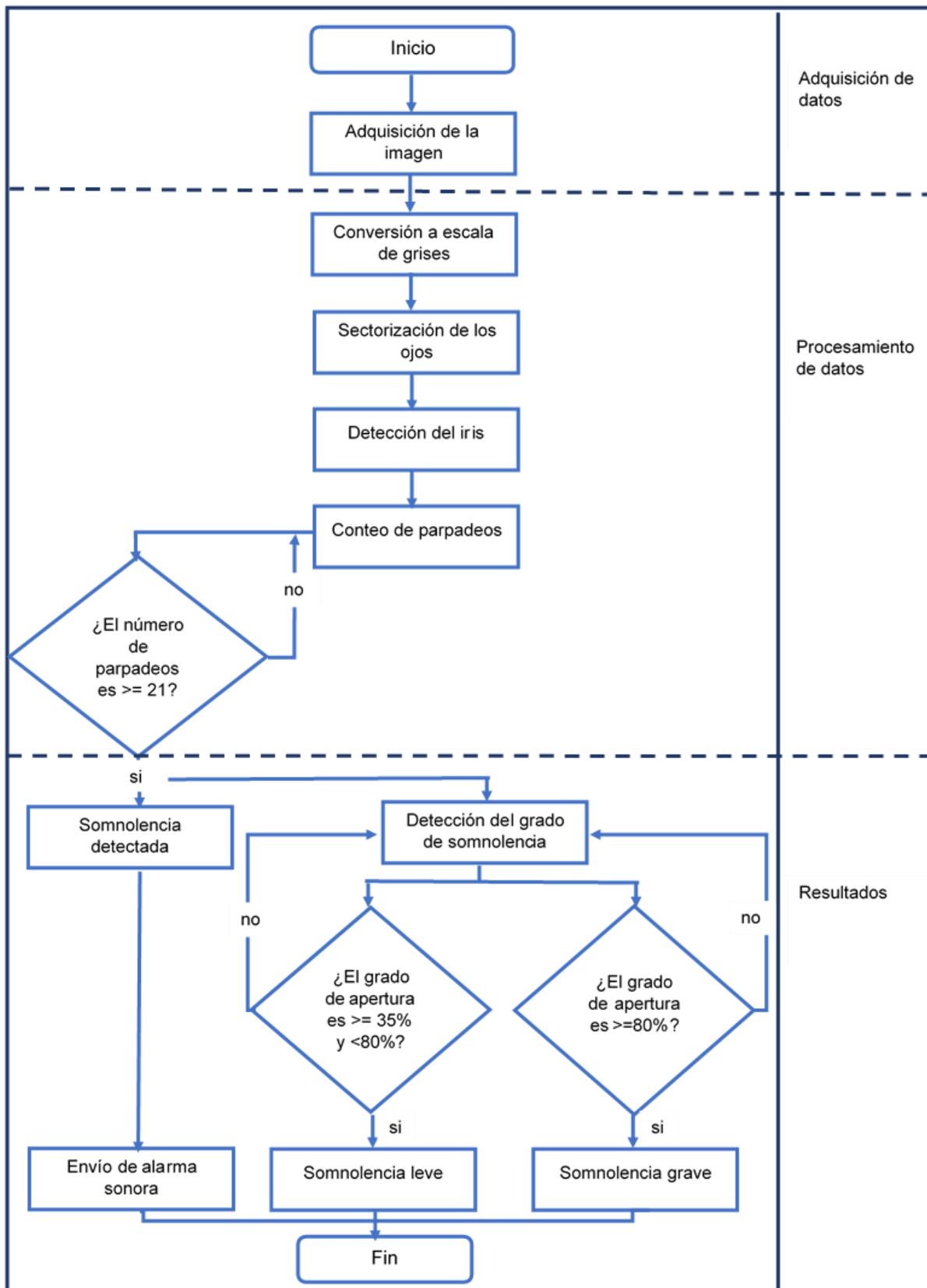


Figura 32: Diagrama de flujo

Fuente: Elaboración Propia

El diagrama de flujo muestra 3 etapas del algoritmo, las cuales son:

- Adquisición de datos: Esta etapa comprende la adquisición de la imagen del conductor de vehículo, que se lleva a cabo por medio de la cámara web.
- Procesamiento de datos: Esta etapa comienza con el preprocesamiento de la imagen del conductor de vehículo aplicando técnicas de conversión, luego se realiza el enfoque del parpadeo a través de la extracción de características y el conteo de este.
- Resultados: En esta etapa el algoritmo realiza la toma de decisiones en base al conteo de parpadeo.

El algoritmo se visualiza a través de la ventana de graficación con el uso del método subplot de Matlab como lo muestra la Figura 32. Dicho método permite subdividir la ventana a través de columnas y filas logrando así visualizar posiciones de la hasta la i, en donde se aprecia las subetapas que tiene el algoritmo.

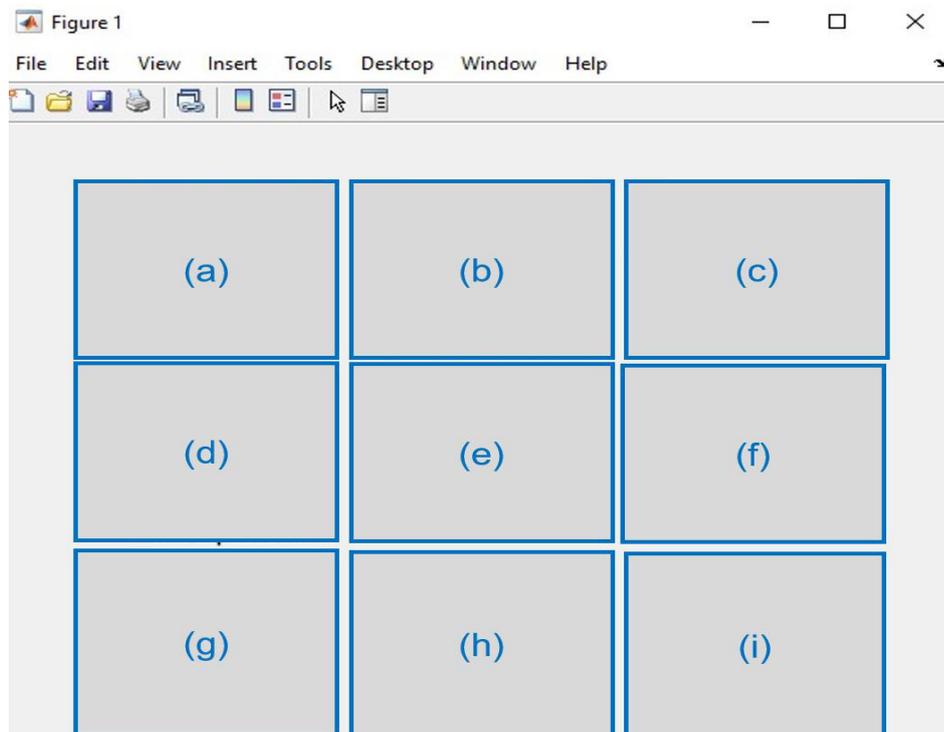


Figura 33: Posiciones de la ventana de graficación

Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que cada subetapa de la Figura 32 está adquirida, preprocesada y procesada en las posiciones indicadas en tiempo real, para así obtener los resultados de la detección de somnolencia del conductor de vehículo.

3.4.2. Adquisición de datos

La adquisición de datos empieza con la adquisición de la imagen, para ello se procede a utilizar la cámara web y como se mencionó anteriormente se debe instalar el respectivo paquete de Matlab para utilizar la cámara web.

Una vez instalado, se procede a definir las variables para la cámara web a través de la función de Matlab denominada webcam, esta función permite establecer la conexión de la cámara web en el sistema de detección de somnolencia para así adquirir las imágenes. Además, otras variables para demostrar si hay somnolencia, parpadeo o no hay parpadeo, las cuales se explicarán más adelante. La declaración de las variables se realiza con el siguiente código.

```
%% Declaración de variables
camera=webcam();
blink=imread('C:\Users\myauri\Desktop\Somnolencia\hay_parpadeo.jpg');
noBlink=imread('C:\Users\myauri\Desktop\Somnolencia\no_parpadeo.jpg');
drowsiness=imread('C:\Users\myauri\Desktop\Somnolencia\somnolencia.jpg');
```

Además, es necesario declarar una variable para la detección de objetos usando el algoritmo de Viola Jones. La variable declarada es a través de la función de Matlab denominada vision.CascadeObjectDetector. La función consiste en detectar caras, narices, ojos, para ello se enmarca una ventana sobre la imagen.

Luego el detector utiliza un clasificador en cascada con el fin de validar si dentro del marco detectado se encuentra el objeto de interés. Además, como se mencionó el detector es capaz de encontrar diversos objetos, pero en el caso de la presente tesis es

necesario detectar el parpadeo de los ojos, por lo cual el objetivo es detectar los ojos.

Para ello la función de Matlab permite crear un detector configurado para detectar un objeto definido. Dentro de esta función existen diversos modelos que se enfocan en los ojos como EyePairBig, EyePairSmall, LeftEye, RightEye; en este caso se busca que el enfoque se de en los dos ojos por ello se hace uso del objeto EyePairBig, el cual se da a través del ingreso de un argumento como lo muestra el siguiente código.

```
eyeDetector = vision.CascadeObjectDetector('EyePairBig');
```

Una vez realizada la declaración de las principales variables, se procede a construir un bucle porque para la detección de la somnolencia es necesario tener una secuencia que se ejecute varias veces. Anteriormente se estableció la conexión de la cámara web, ahora para obtener las imágenes del conductor de vehículo se utiliza el método snapshot, el cual captura las imágenes en formato RGB como lo muestra el siguiente código.

```
while true
    %% Imagen en RGB
    rgbImage=snapshot(camera);
    subplot(3,3,1),subimage(rgbImage);
```

Esta primera captura se muestra en una interfaz gráfica en la Figura 33 en la posición (a), que se encuentra en el lado superior a la izquierda.

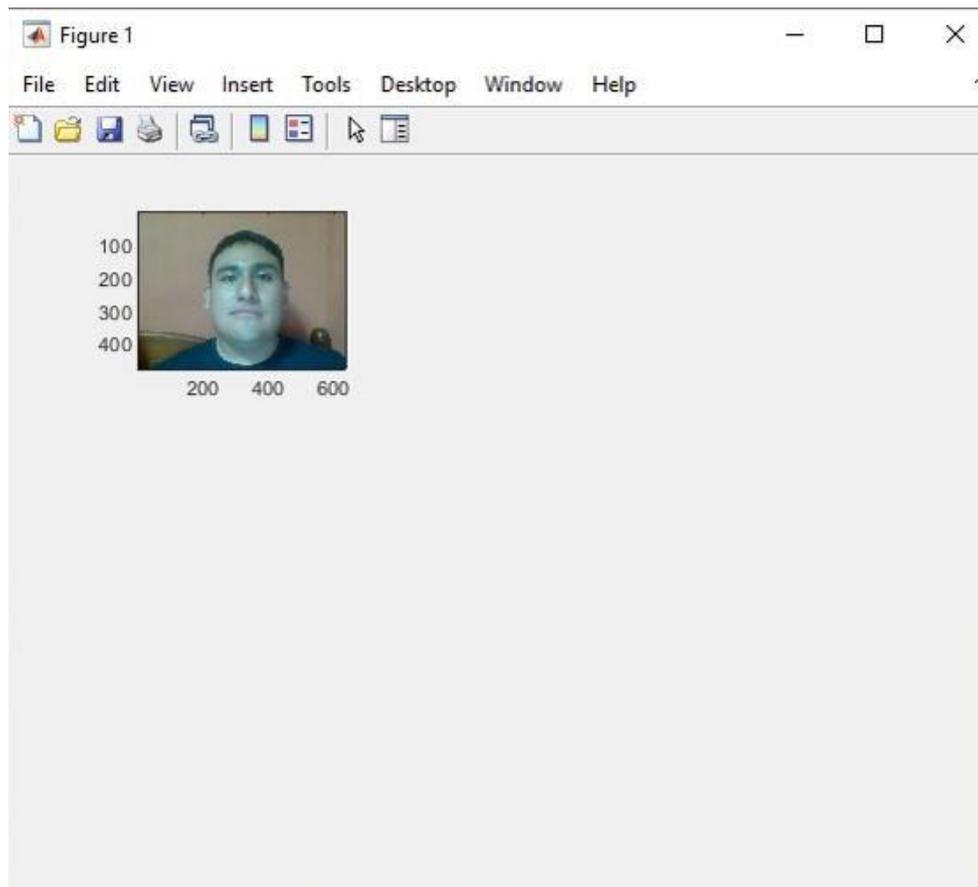


Figura 34: Adquisición de la imagen

Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar, que los métodos subplot y subimage se utilizan a lo largo del algoritmo, siendo el primero indispensable para la creación de los ejes de las posiciones donde se ubica cada representación de las imágenes y el segundo denominado subimage es el método que muestra las imágenes.

3.4.3. Procesamiento de datos

La etapa de procesamiento de datos inicia con la conversión de la imagen RGB a escala de grises, siendo esta importante debido a que se analiza una imagen RGB compuesta por 3 capas superpuestas como la roja, verde y azul. Cada una de ellas almacena un píxel de 8 bits y por ende una imagen RGB 8 bits por cada capa teniendo como resultado una sumatoria de 24 bits por píxel. En cambio, cuando se realiza la conversión solo se almacena 8 bits por píxel debido a que la imagen solo consta de una sola capa y de esta forma reduce la imagen y se obtiene una imagen con 33% de la imagen RGB beneficiando al ahorro del espacio.

Para ello se aplica el método de Matlab denominado `rgb2gray`, el cual realiza la conversión a escala de grises. Asimismo, para que en la interfaz gráfica no se muestre la imagen del conductor de vehículo de forma inversa, es decir cuando el conductor de vehículo realice un movimiento al lado derecho, esta se muestra para el lado izquierdo en la interfaz gráfica. Para ello, se usa el método `flip` logrando invertir la imagen del conductor de vehículo y que no se muestre de forma inversa logrando así una mejor visualización en la interfaz gráfica. Todo lo mencionado anteriormente se muestra a través del siguiente código.

```
%% Imagen en Escala de Grises
video = rgb2gray(rgbImage);
image = flip (video, 2);
subplot(3,3,2), subimage(image);
```

La imagen convertida a escala de grises se muestra en la Figura 34 en la posición (b).

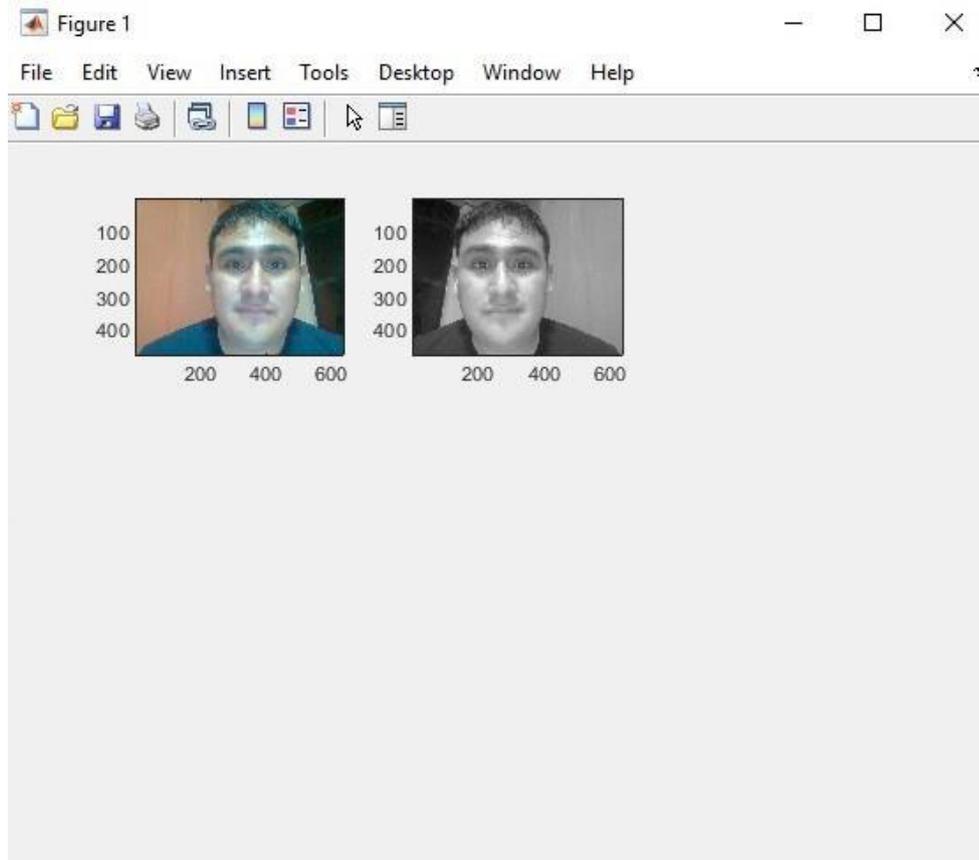


Figura 35: Conversión a escala de grises

Fuente: Elaboración Propia

Luego, sigue la subetapa de sectorización de los ojos y para ello es necesario ejecutar el algoritmo a través del método de Matlab llamado `step`. En este método se introducen dos argumentos, el primero es el objeto que se requiere detectar, en este caso son los ojos debido a que el enfoque es el parpadeo del conductor de vehículo y el segundo argumento es la imagen del conductor de vehículo obtenida del resultado de la aplicación del método `flip`.

Después, el algoritmo valida si existe un rostro e identifica el rostro más grande, en otras palabras, si existen más rostros el algoritmo solo se enfoca en el rostro que se encuentra más enfocado y con una mayor proporción en la imagen a la cámara web, siendo este el rostro del conductor de vehículo. Por lo tanto, se utiliza el siguiente código.

```
faceBox = step(eyeDetector, image);
    if ~ isempty(faceBox)
        biggest_faceBox=1;
        for i=1:rank(faceBox)
            if faceBox(i,3)>faceBox(biggest_faceBox,3)
                biggest_faceBox=i;
            end
        end
    end
```

Seguidamente, como ya detectó el rostro del conductor de vehículo, se procede a enmarcar la zona de interés a través de un recorrido considerando la variable en donde detecta los ojos. Se enmarcan los ojos mediante el método `rectangle` de Matlab, mediante el siguiente código.

```
for i=1:size(faceBox,1)
    rectangle('position', faceBox(i, :), 'lineWidth', 2,
    'edgeColor','y');
end
subplot(3,3,3),subimage(image); hold on;
```

La zona de los ojos se enmarca mediante un recuadro como se muestra con la Figura 35 en la posición (c).

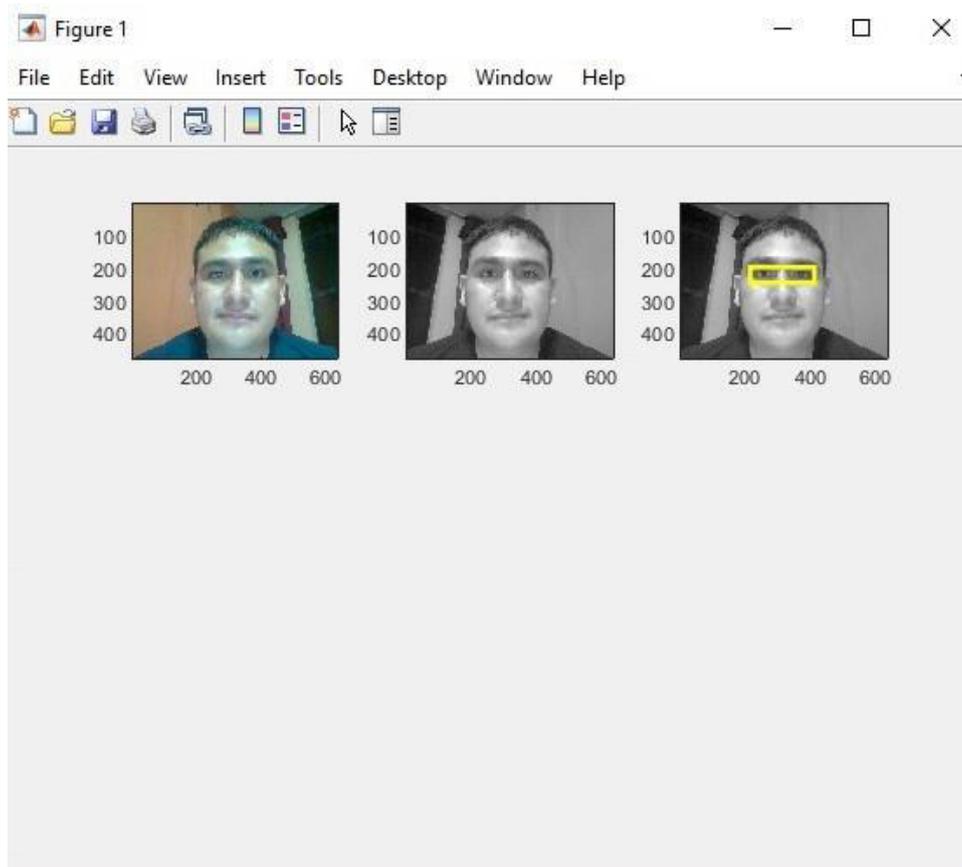


Figura 36: Sectorización de la zona de interés

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, para una mejor visualización en la interfaz gráfica se realiza un recorte en los ojos debido a que es la zona de interés y de estudio por el cual se identificará el parpadeo del conductor de vehículo. El recorte se realiza mediante el método `imcrop` mediante el siguiente código.

```
faceImage = imcrop(image,faceBox(biggest_faceBox,:));
subplot(3,3,4),subimage(faceImage);
```

El recorte de los ojos se muestra en la interfaz gráfica a través de la Figura 36 en la posición (d).

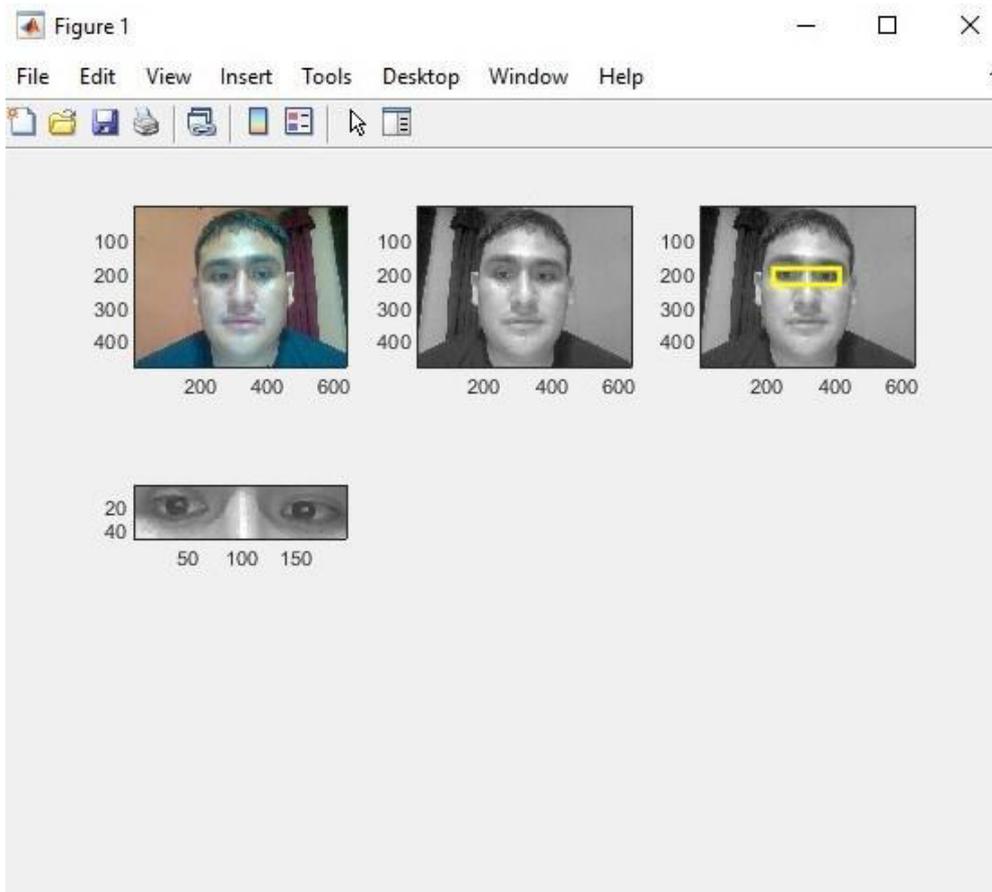


Figura 37: Recorte de la zona de interés

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, el algoritmo empieza con la subetapa denominada detección de iris. Lo primero que se realiza es un recorrido a través del recorte de los ojos, en el cual se valida si existe el par de ojos. Una vez realizado ello, se procede con la identificación del ojo más grande con el fin de no dificultar el procesamiento de imagen. Lo mencionado se realiza con el siguiente código.

```
eyesBox = step(eyeDetector, faceImage);
if ~ isempty(eyesBox)
    biggest_eyesBox=1;
    for i=1:rank(eyesBox) %find the biggest eyepair
        if eyesBox(i,3)>eyesBox(biggest_eyesBox,3)
            biggest_eyesBox=i;
        end
    end
end
```

Cabe resaltar que, si en caso el conductor de vehículo presenta alguna dificultad en cualquiera de los ojos, el algoritmo toma al ojo

más adecuado para el procesamiento como se muestra en el fragmento del código anterior.

Luego, se recorta solo el ojo que cumple con los requerimientos para el procesamiento y se amplía el ancho de la imagen del ojo al mismo ancho del par de ojos con la ayuda del método `resize` de Matlab. A continuación, se realiza el recorte del ojo y conjuntamente se le agrega el método denominado `imadjust` para que asigne los valores de intensidad en la imagen del ojo en escala de grises a los nuevos valores en dicha imagen. De manera que, `imadjust` satura el 1% inferior y el 1% superior de todos los valores de píxeles de manera que dicha operación aumenta el contraste de la imagen. El propósito de aumentar el contraste es para realizar una correcta extracción del iris ya que se necesita una imagen con mejoras y sin ruido para un buen procesamiento. Para ello se utiliza el siguiente código:

```
eyesBox=[eyesBox(biggest_eyesBox,1), eyesBox(biggest_eyesBox,2),  
eyesBox(biggest_eyesBox,3)/3,eyesBox(biggest_eyesBox,4)];  
eyesImage = imcrop(faceImage,eyesBox(1,:));  
eyesImage = imadjust(eyesImage);
```

Seguidamente se aplica la técnica de la transformada de Hough para que se reconozca el círculo del iris del ojo. Para implementar la transformada de Hough en el software Matlab se utiliza la función `imfindcircles` que cumple con buscar círculos mediante la técnica. Para ello se usó la siguiente sintaxis

```
[centers, radii, metric] = imfindcircles (...)
```

El parámetro denominado `centers` es el centro del círculo, luego el parámetro `radii` es el radio del círculo y el último denominado `metric` es la ejecución de la visualización del círculo en la imagen. Para ello se usó el siguiente código.

```
r = eyesBox(1,4)/4;  
[centers, radii, metric] = imfindcircles(eyesImage, [floor(r-r/4)  
floor(r+r/2)], 'ObjectPolarity','dark', 'Sensitivity', 0.93);
```

Para realizar la transformada de Hough se determina como centro la variable `eyesImage`, el cual se mencionó anteriormente y es el que almacena el ojo que se va a procesar. Asimismo, se define un rango para el radio que varía desde 0 hasta la variable `r`, la cual es determinada por un par ordenado (1,4).

Incluso, se le añaden dos opciones más con el fin de tener un mejor procesamiento en cuanto al iris del ojo. La primera opción que se le añade es `ObjectPolarity`, que indica la polaridad del objeto puesto que brinda la opción de elegir si los objetos circulares son más brillantes u oscuros que el fondo. Para ello existen dos valores como `brigth`, el cual viene por defecto y `dark`, que en este caso será usado para detectar los objetos circulares más oscuros que el fondo.

La segunda es la opción denominada `sensitivity`, es el factor de sensibilidad para la matriz de acumuladores de las transformadas Hough. El factor de sensibilidad presenta un valor escalar no negativo en el rango de cero a uno (0-1). A medida que aumenta el factor de sensibilidad, el método `imfindcircles` detecta más objetos circulares en la matriz acumuladora, incluidos círculos débiles y parcialmente oscurecidos. Los valores de sensibilidad más altos también aumentan el riesgo de detección falsa.

Para la presente tesis se realizaron diversas pruebas para determinar el factor de sensibilidad óptimo en la transformada de Hough. Las pruebas se realizan en un periodo de tiempo de 60 segundos, además se sabe que la cámara web brinda 30 frames por segundo dando como resultado 1800 frames en tal periodo. Con ello se determina el porcentaje de efectividad de la sensibilidad tomando en cuenta que el valor de 1800 frames en la detección del iris es el 100% de efectividad. El análisis se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11: Factor de sensibilidad

Factor de sensibilidad	Porcentaje de efectividad		Respuesta
	Frames en la detección de iris	Porcentaje(%)	
0.90	1200	66.67	El círculo delimitador del iris aparece y desaparece por momentos.
0.91	1300	72.22	El círculo delimitador del iris aparece y desaparece por momentos
0.92	1600	88.89	Hay una mejora en cuanto a lo anterior, el círculo delimitador se aprecia por más tiempo
0.93	1750	97.22	El círculo delimitador aparece de manera óptima
0.94	No funciona	No funciona	Aparecen falsos círculos, es decir aparece el círculo delimitador del iris junto con otros más.

Fuente: Elaboración Propia

Con las pruebas realizadas se determinó que el nivel de sensibilidad óptimo es el valor de 0.93 y porcentaje de efectividad es el 97.22% porque con ello el enmarcado del círculo del iris del ojo se presenta sin ningún problema. Y para realizar el enmarcado que se menciona se usa el siguiente código.

```
viscircles (centers, radii, 'EdgeColor', 'g').
```

El método `viscircles` crea el círculo de color verde teniendo como parámetros el centro y el radio y el resultado se muestra en la Figura 37 en la posición (e).

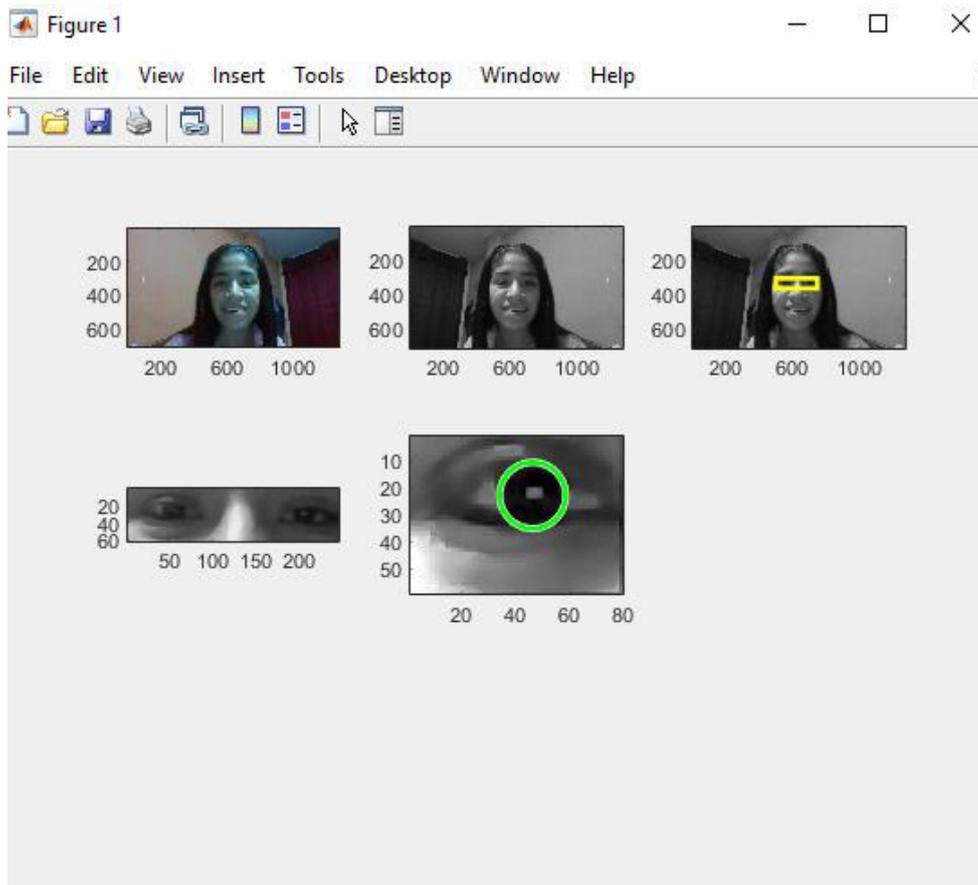


Figura 38: Detección del iris

Fuente: Elaboración Propia

Después, en la quinta subetapa se procede a realizar el análisis del parpadeo. Para detectar el parpadeo se realiza mediante el iris del ojo, de tal manera que cuando no se visualice el círculo, el algoritmo indique si hay parpadeo y cuando lo visualiza la respuesta es que no hay parpadeo. Para ello se implementó el siguiente código.

```
eyesCenter= centers;
cent= numel(eyesCenter);
```

Asimismo, se muestra el indicador si hay parpadeo o no hay parpadeo y dependiendo del indicador se procede con el contador de parpadeos. Para el indicador se hace uso de la función de Matlab llamada `numel`, el cual devuelve el número de elementos del argumento ingresado. Este argumento es el centro del círculo del iris que se encuentra enmarcado de color verde, el valor que devuelve la función se almacena en la variable `cent` siendo esta 0

o 1. Si la variable cent tiene el valor de 1 quiere decir que se detectó el iris y se enmarca el borde de color verde y el contador no se ejecuta porque no se verifica el correspondiente parpadeo y se muestra el indicador de que no hay parpadeo, dicho proceso se muestra en la Figura 38 en la posición (f).

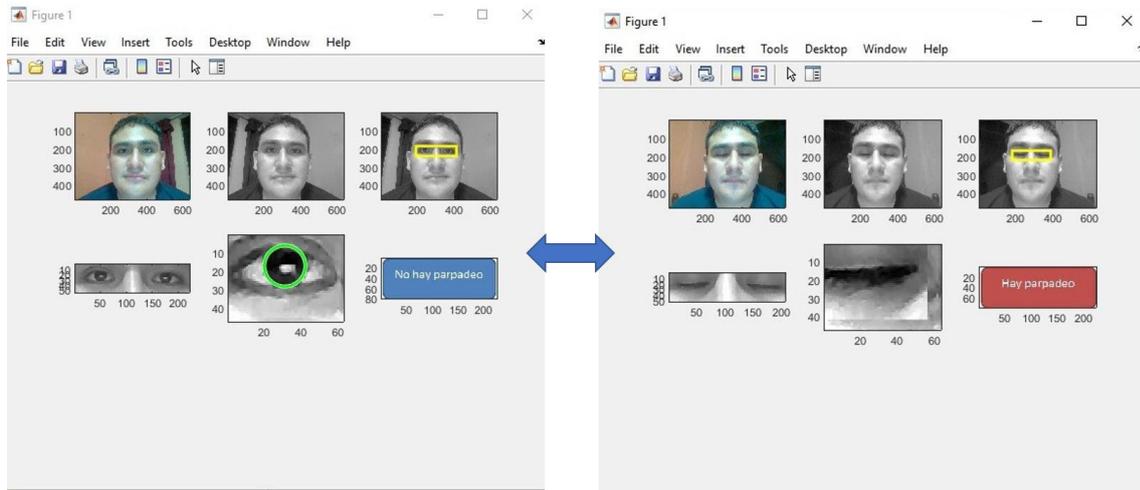


Figura 39: Detección del parpadeo

Fuente: Elaboración Propia

En cambio, cuando la variable cent toma el valor de 0 significa que no se detectó el iris por ende el párpado cubrió la zona del ojo y se realizó el respectivo parpadeo. Con ello el algoritmo procede a ejecutar el conteo de los parpadeos cada vez que no verifica el iris y muestra el indicador de que existe parpadeo. Lo mencionado se muestra en la Figura 39.

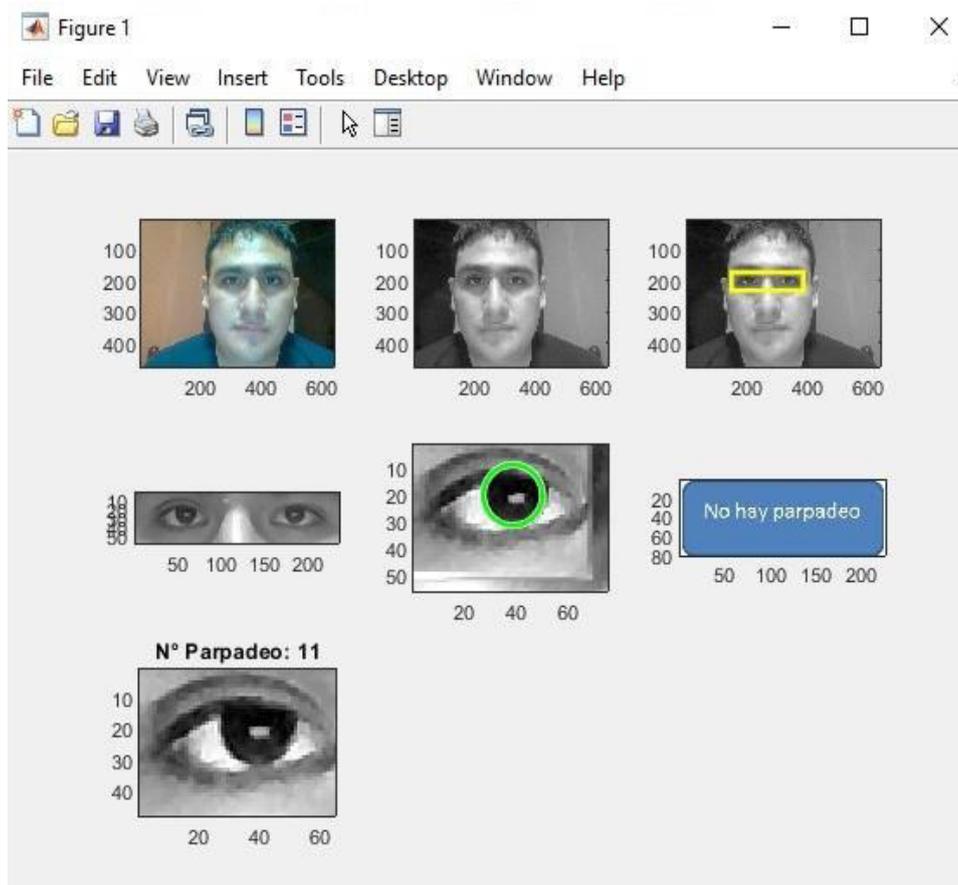


Figura 40: Número de parpadeos

Fuente: Elaboración Propia

La validación si existe parpadeo o no y la ejecución del contador de parpadeos se realiza a través del siguiente código.

```

t=0;

    if cent ==0 ;
        timer= timer+1;
        disp('hay parpadeo')
        subplot(3,3,6);
        subimage(blink);
        t=t+1;

    else cent==1;
        timer=timer;
        disp('no hay parpadeo');
        subplot(3,3,6);
        subimage(noBlink);
        t=t+1;
    end
    subplot(3,3,7), subimage(eyesImage);

```

En base al número de parpadeos el algoritmo realiza la toma de decisiones respecto a cuantos parpadeos se van a considerar para que se tome en cuenta cuando el conductor de vehículo tiene somnolencia. Se implementó el siguiente código:

```
if timer >= 21;
    disp('Tienes somnolencia');
    subplot(3,3,9);
    subimage(drowsiness);
end
```

Para esta sección, se consideró que cuando el conductor de vehículo presenta 21 parpadeos por minuto significa que tiene somnolencia, este factor se validó en la sección 3.1.1 denominado frecuencia del parpadeo.

3.5. Validar el funcionamiento del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo

3.5.1. Población de estudio

La población que se utilizó para la presente tesis consiste en conductores de vehículo. Según la encuesta realizada anteriormente, la muestra utilizada consta de 384 conductores de vehículo, en donde 277 conductores de vehículo trabajan en ambos turnos diurno y nocturno, 69 trabajan en el turno diurno y 38 en el turno nocturno, quiere decir que el sistema de detección de somnolencia analiza en el turno diurno y nocturno.

3.5.2. Funcionalidad

La etapa final denominada resultados prosigue cuando el algoritmo detecte la somnolencia del conductor de vehículo, si este presenta 21 parpadeos por minutos. Si el caso es verdadero, la respuesta del algoritmo es mandar un aviso indicando somnolencia y asimismo un sonido de una alarma. Lo mencionado se muestra en la Figura 40 en la posición (i).

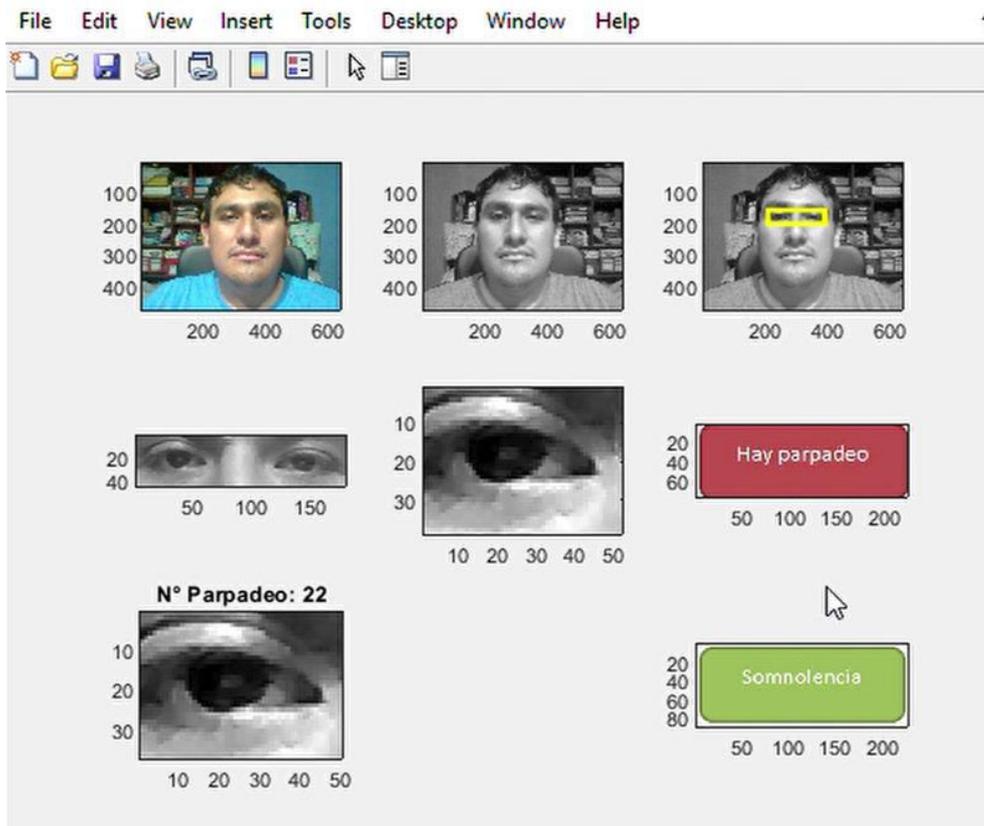


Figura 41: Aviso de somnolencia

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, en ese mismo instante de la detección de somnolencia, el algoritmo detecta el grado de somnolencia con la ayuda de Perclos a través del siguiente código

```
d = d+1;
    if d==125

        perclos = (contador/60)*100;
        title (['% Perclos: ',num2str(perclos)])
            subplot (3,3,8), subimage (eyesImage);
        d=0;
        timer=0;
    end
```

Para ello se determinó un grado de somnolencia leve si en caso el valor de Perclos es mayor al 35% como lo muestra la Figura 41.

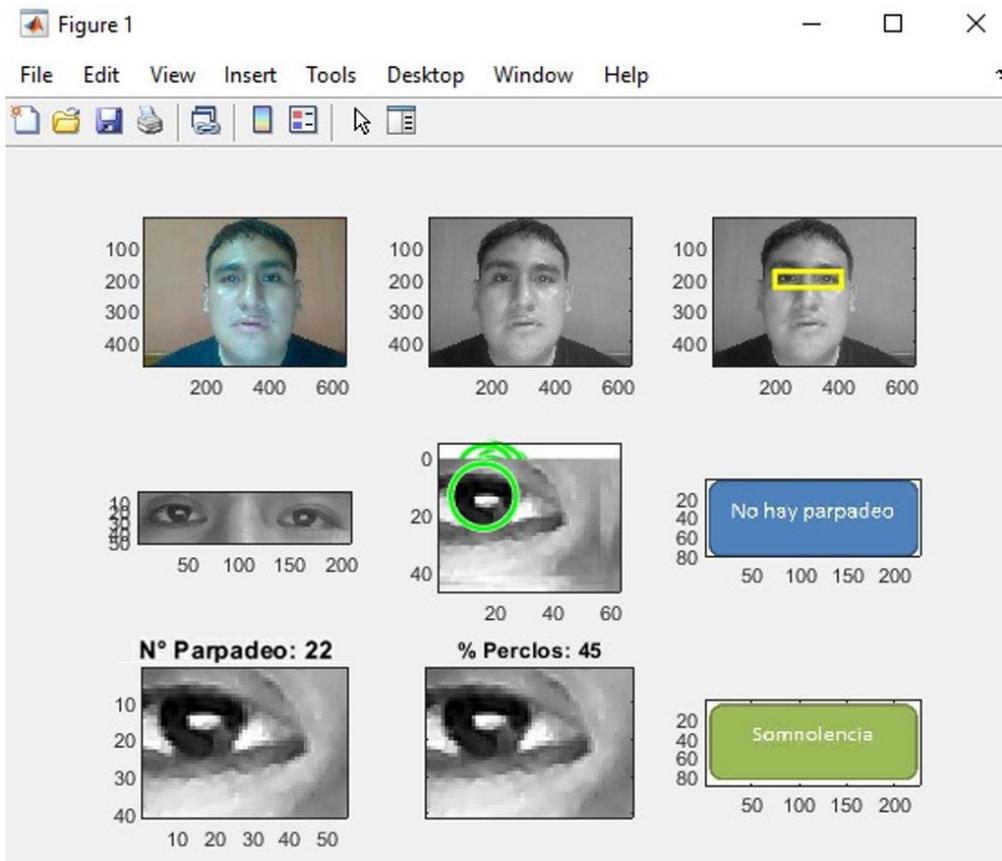


Figura 42: Somnolencia leve

Fuente: Elaboración Propia

O en otro caso si el grado de somnolencia es mayor al 80% se considera un grado de somnolencia grave como lo muestra la Figura 42.

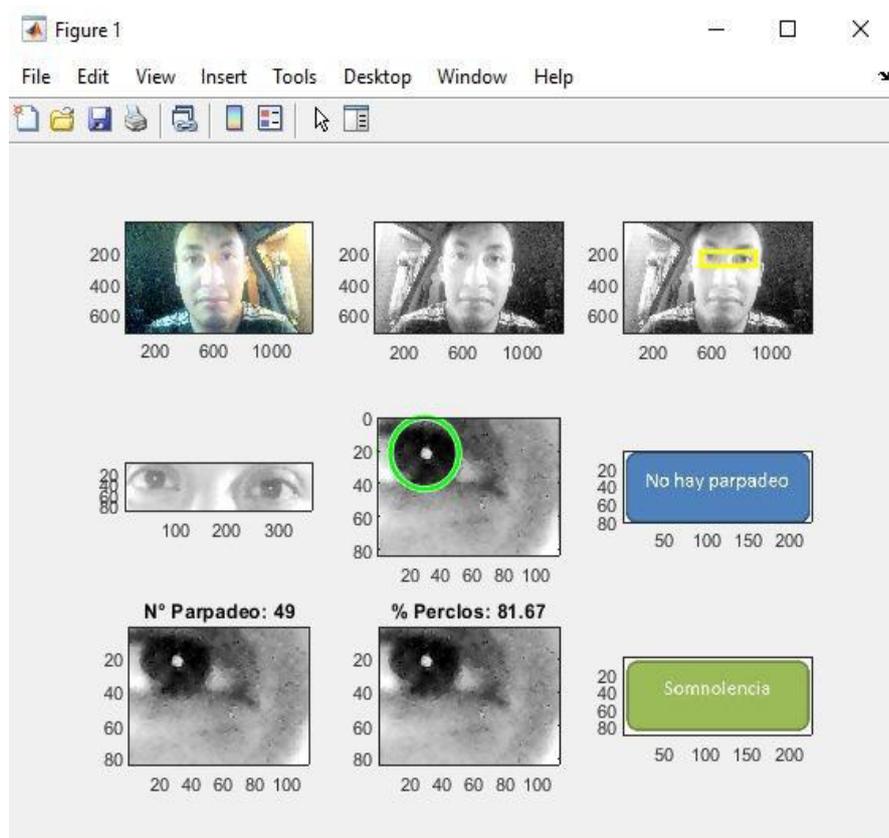


Figura 43: Somnolencia grave

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3. Análisis de funcionalidad

Se hicieron las respectivas pruebas para identificar el porcentaje de funcionalidad del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo. Cabe resaltar que previo al análisis de la somnolencia, el conductor de vehículo que indicó que había dormido entre 4 a 5 horas y se le preguntó si este tiene somnolencia, en caso la respuesta sea afirmativa se le conocerán cómo casos y aquellos que no cumplan con los requisitos mencionados se le conocerán cómo controles. Como se mencionó previamente en la sección de población se dividió en tres bloques, siendo estos 69 conductores de vehículo en turno diurno, 38 turno nocturno y 277 en ambos turnos; para luego proceder con el análisis de funcionalidad para cada bloque, para ello se elabora una matriz de confusión entre el conductor de vehículo y el algoritmo, ambos con las variables somnolencia y no somnolencia para así identificar el número de veces en el que el algoritmo tuvo éxito o fracaso.

Turno Diurno:

Tabla 12: Estadística de somnolencia en turno diurno

		Algoritmo		
		Somnolencia	No somnolencia	Total
Conductor de vehículo	Somnolencia	41	6	47
	No somnolencia	2	20	22
	Total	43	26	69

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 12, el algoritmo identificó que en el grupo de casos que son 47 conductores de vehículo, el algoritmo detectó que 41 tienen somnolencia de forma correcta y 6 los identificó de forma incorrecta como no somnolencia, teniendo así una funcionalidad de 87.23% y 12.77% de error; en el grupo de controles que son 22 conductores de vehículo, el algoritmo detectó 20 como no somnolencia de forma correcta y detectó que 2 tienen somnolencia de forma incorrecta, teniendo así una funcionalidad de 90.91% y 9.09% de error en el turno diurno.

Asimismo, en base a que 41 conductores de vehículo tienen somnolencia se obtuvo resultados sobre el grado de somnolencia en base al índice de Perclos como se muestra en la Figura 43.

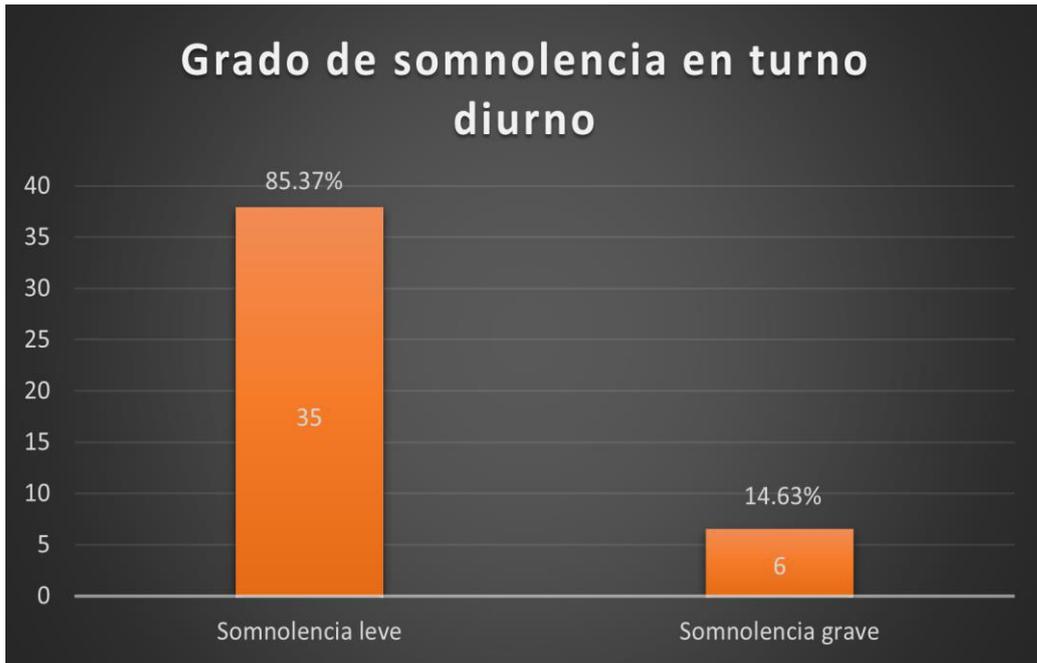


Figura 44: Grado de somnolencia en turno diurno

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 43, se aprecia que el 85.37% de conductores de vehículo tienen somnolencia leve y 14.63% tienen somnolencia grave. Los resultados obtenidos muestran que el grado de somnolencia predominante en el turno diurno es la somnolencia leve.

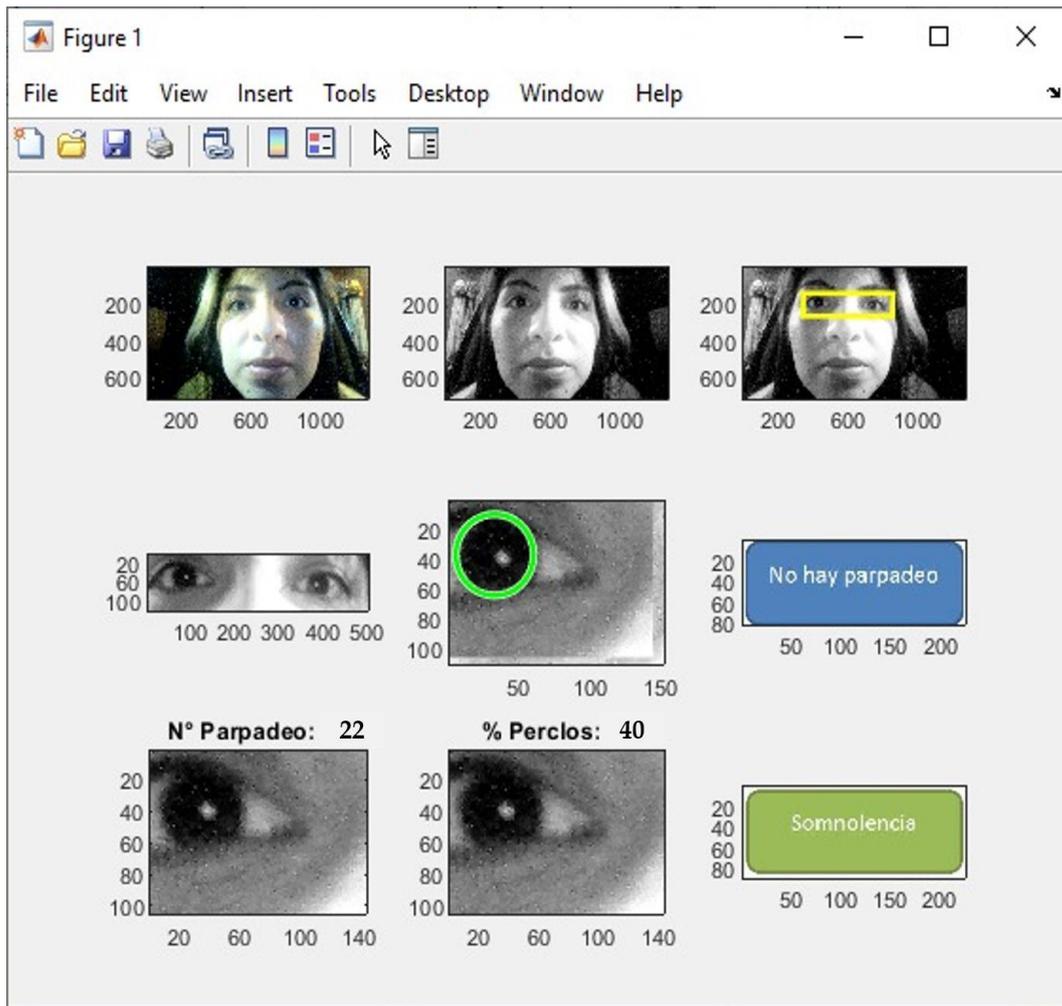


Figura 45: Conductor de vehículo con somnolencia leve

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 44 muestra a un conductor de vehículo con un grado de somnolencia leve, en ello se aprecia que tiene 22 parpadeos y el índice de Perclos es 40%, el cual se encuentra dentro del rango dentro de la somnolencia leve.

Turno Nocturno:

Tabla 13: Estadística de somnolencia en turno nocturno

		Algoritmo		
		Somnolencia	No somnolencia	Total
Conductor de vehículo	Somnolencia	25	3	28
	No somnolencia	1	9	10
Total		26	12	38

Fuente: Elaboración Pronia

Como se muestra en la Tabla 13, el algoritmo identificó que en el grupo de casos que son 28 conductores de vehículo, 25 tienen somnolencia, el cual el algoritmo identificó de forma correcta y 3 no somnolencia de forma incorrecta, teniendo así una funcionalidad de 89.29% y 10.71% de error; en el grupo de controles que son 10 conductores de vehículo, el algoritmo detectó 9 como no somnolencia identificados de forma correcta y detectó que 1 tiene somnolencia de forma incorrecta, teniendo así una funcionalidad de 90% y 10% de error en el turno nocturno.

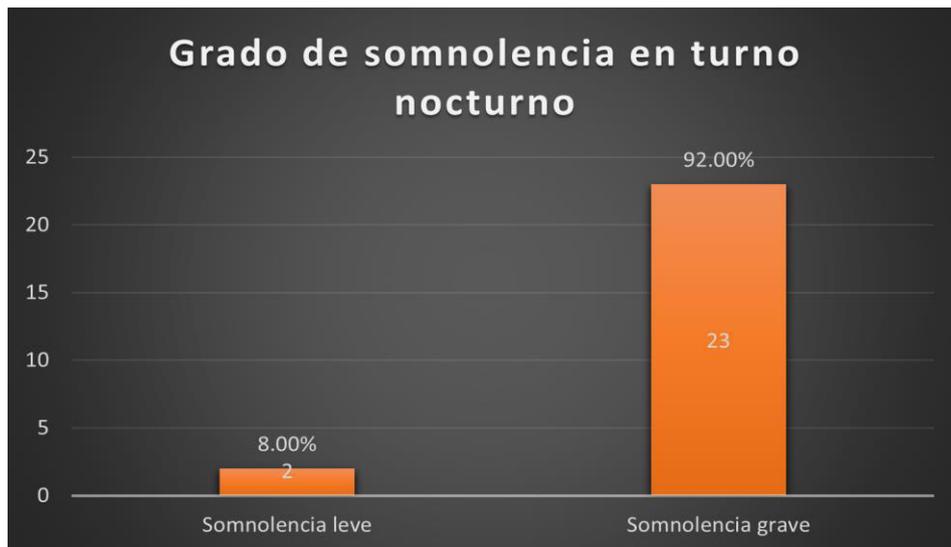


Figura 46: Grado de somnolencia en turno nocturno

Fuente: Elaboración Propia

En el turno nocturno, los resultados del grado de somnolencia de los conductores de vehículo se muestran en la Figura 45, en donde se aprecia que el 92.00% tienen somnolencia grave y el 8.00% de somnolencia leve. Con ello, se evidencia que el grado de somnolencia predominante es el de somnolencia grave.

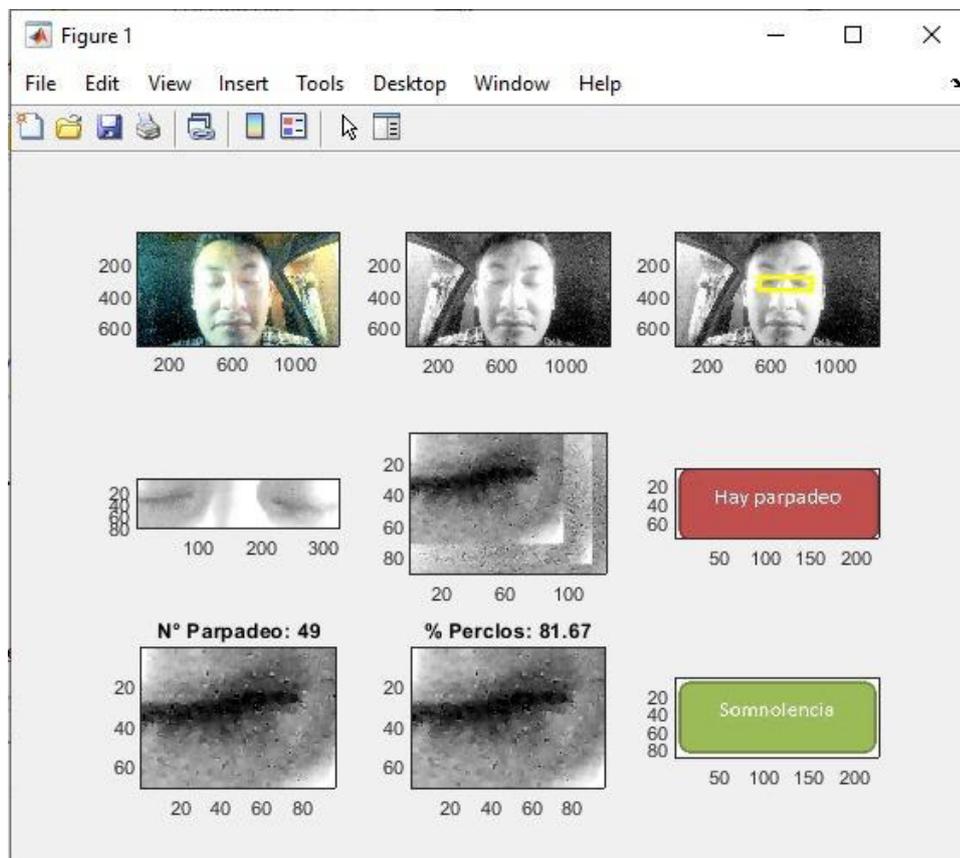


Figura 47: Conductor de vehículo con somnolencia grave

Fuente: Elaboración Propia

En los resultados mostrados lo que predomina es la somnolencia grave en el turno nocturno y a través de la Figura 46 se muestra lo mencionado, en el cual el conductor presenta el índice de Perclos con 81.67% demostrando que se encuentra dentro del rango de somnolencia grave.

Ambos Turnos:

La población de conductores de vehículo en este bloque es de 277, en base a ello se dividió en 128 conductores de vehículo en el turno diurno y 149 conductores de vehículo en el turno nocturno.

Tabla 14: Estadística de somnolencia en turno diurno

		Algoritmo		
		Somnolencia	No somnolencia	Total
Conductor de vehículo	Somnolencia	72	4	76
	No somnolencia	2	50	52
	Total	74	54	128

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 14, el algoritmo identificó que en el grupo de casos que son 76 conductores de vehículo, 72 tienen somnolencia detectados de forma correcta y 4 detectados de forma incorrecta como no somnolencia, teniendo así una funcionalidad de 94.74% y 5.26% de error; en el grupo de controles que son 52 conductores de vehículo, el algoritmo detectó 50 como no somnolencia de forma correcta y detectó que 2 tienen somnolencia forma incorrecta, teniendo así una funcionalidad de 96.15% y 3.85% de error en el turno diurno.

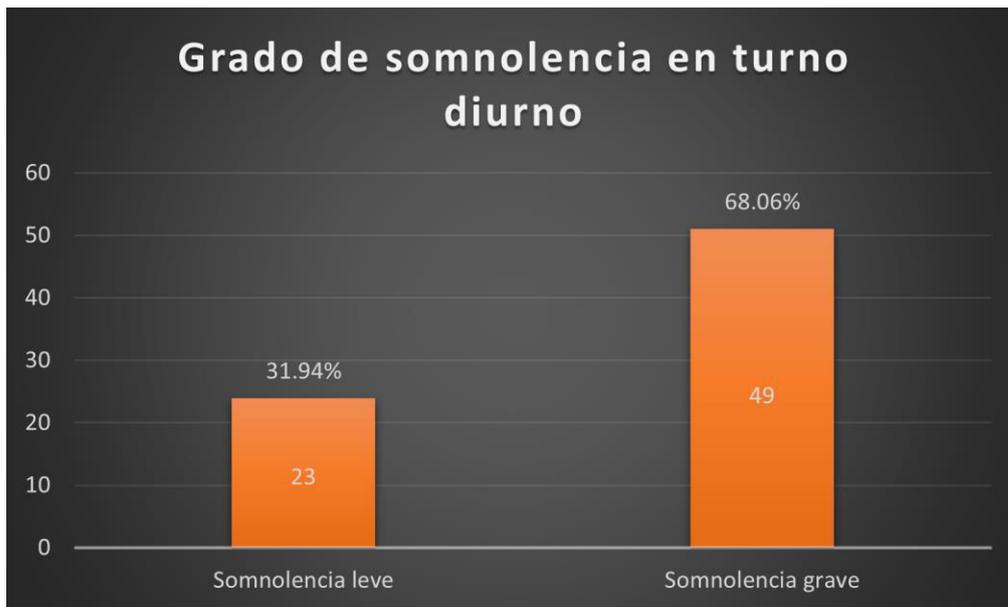


Figura 48: Grado de somnolencia en turno diurno

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 47, en ambos turnos en el análisis del turno diurno se obtuvo que el 68.06% tienen grado de somnolencia grave y el 31.94% somnolencia leve.

- **Turno nocturno**

Tabla 15: Estadística de somnolencia en turno nocturno

		Algoritmo		
		Somnolencia	No somnolencia	Total
Conductor de vehículo	Somnolencia	129	4	133
	No somnolencia	3	13	16
	Total	132	17	149

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la Tabla 15, el algoritmo identificó que en el grupo de casos que son 133 conductores de vehículo, 129 tienen somnolencia de forma correcta y de forma incorrecta identificó a 4

como no somnolencia, teniendo así una funcionalidad de 96.99% y 3.01% de error; en el grupo de controles que son 16 conductores de vehículo, el algoritmo detectó 13 como no somnolencia de forma correcta y detectó que 3 tienen somnolencia de forma incorrecta, teniendo así una funcionalidad de 81.25% y 18.75% de error en el turno nocturno.

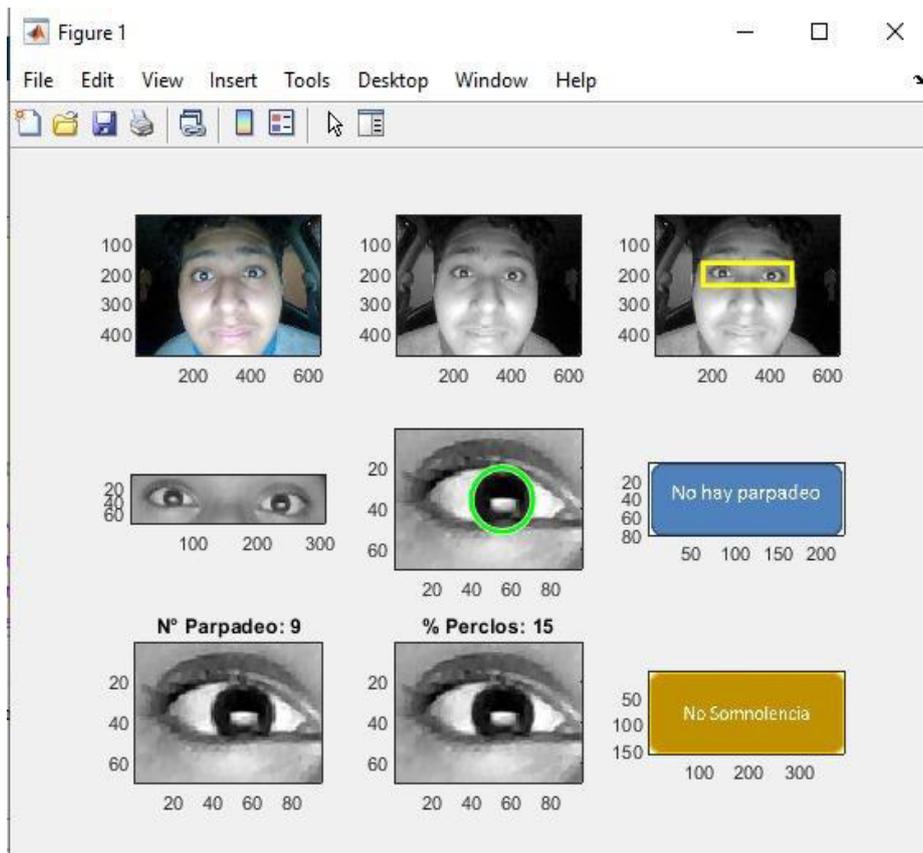


Figura 49: Conductor de vehículo sin somnolencia

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 48 se muestra a un conductor de vehículo sin somnolencia en el turno nocturno y se aprecia que el conductor solo tiene 9 parpadeos, el cual no sobrepasa el límite que se estableció para que un conductor muestre somnolencia.

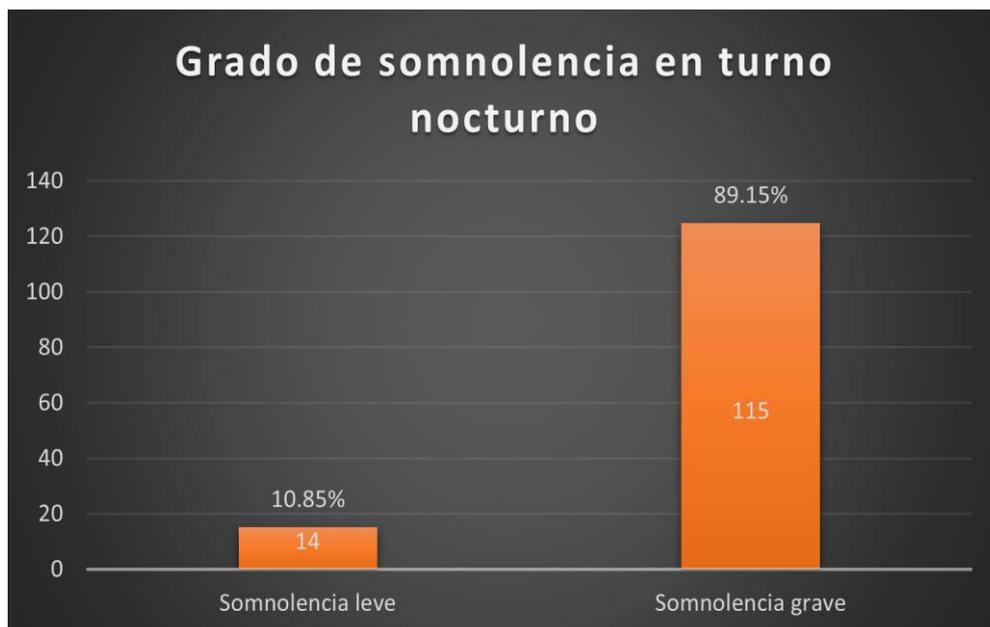


Figura 50: Grado de somnolencia en turno nocturno

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 49, en ambos turnos en el análisis del turno nocturno se obtuvo que el 89.15% tienen grado de somnolencia grave y el 10.85% somnolencia leve. Como se puede apreciar en el turno diurno y nocturno en la sección de ambos turnos predomina la somnolencia grave en los conductores de vehículos.

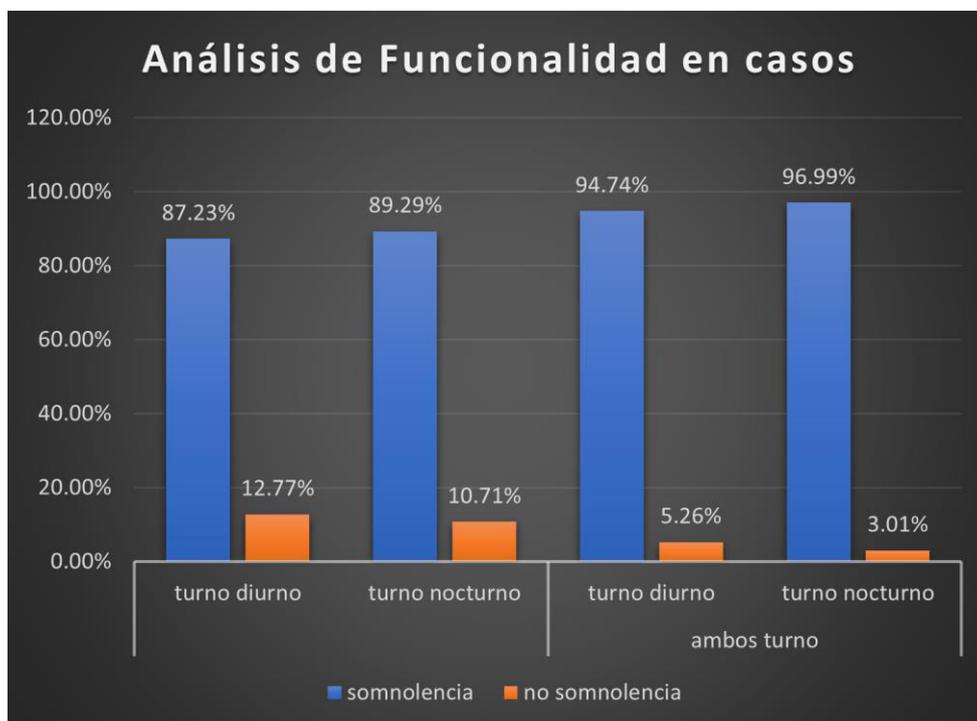


Figura 51: Análisis de funcionalidad en casos

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, obteniendo los porcentajes de cada una de las secciones mencionadas anteriormente se construye la Figura 50 para los conductores de vehículo pertenecientes a los casos, el cual indica si el algoritmo detectó somnolencia o no somnolencia y con ello, se demostró que el algoritmo si es capaz de detectar somnolencia en el conductor de vehículo en cualquier turno.

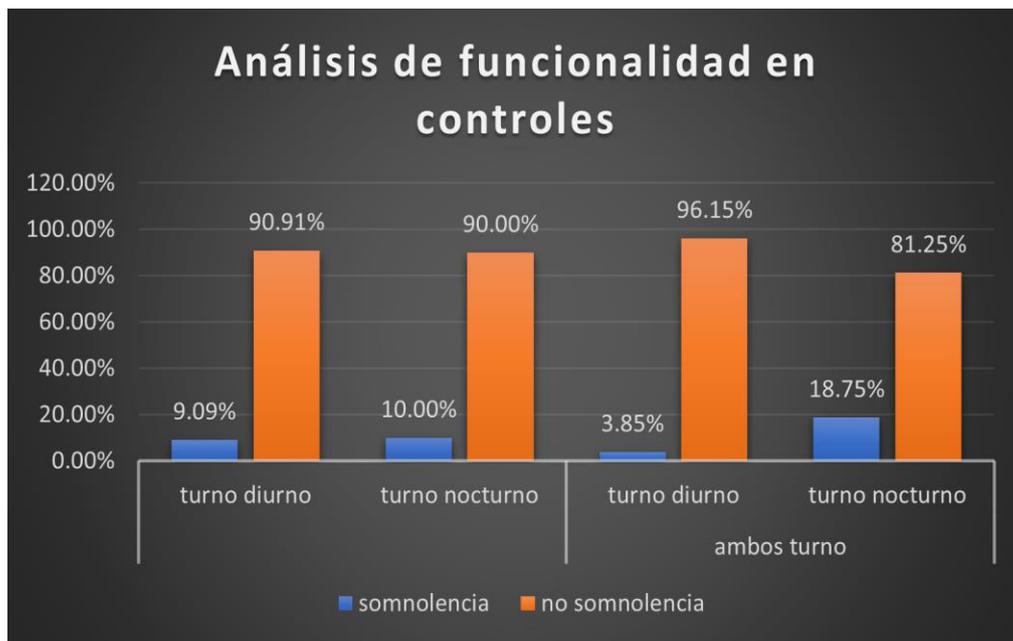


Figura 52: Análisis de funcionalidad en controles

Fuente: Elaboración Propia

Y la Figura 51, así como la figura previa, muestran los porcentajes obtenidos en el análisis a conductores de vehículo pertenecientes a los controles, dando por concluido que el algoritmo si es capaz de diferenciar a un conductor de vehículo con o sin somnolencia en cualquier turno.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIO

4.1. BENEFICIOS COSTOS

4.1.1. Beneficio técnico

El beneficio de implementar el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo, es que no es un sistema intrusivo a comparación de otros sistemas que están periodo de prueba y/o investigación, y su uso está limitado solo a ediciones de autos de fabricación reciente o vehículos para trabajos especializados, debido a que la presente tesis utiliza técnica de análisis de los ojos para evaluar el estado de la somnolencia tales como el algoritmo de Viola Jones debido a que solo procesa una imagen en escala de grises y no utiliza directamente la imagen sino una imagen integral de manera que ahorra recursos, para luego determinar el objeto que se busca, además la transformada de Hough permite configurar un umbral para determinar si el círculo del iris es cubierto dando como resultado la detección del parpadeo y ello ayudará al conteo del mismo; con ello se comprobó el funcionamiento y efectividad cercano y superior al 90 % en todas las pruebas realizadas a los conductores de vehículo.

4.1.2. Beneficio social

El beneficio de la implementación del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo es que contribuirá en la reducción de los accidentes de tránsito, debido a que éstas generan pérdidas humanas y la posibilidad de que una persona sufra alguna discapacidad o incluso el fallecimiento, además ayuda a reducir los gastos de rehabilitación y medicamentos que pueden ser generados por persona que hayan sufrido daños en el accidente de tránsito causado por un conductor somnoliento. También, brinda la posibilidad de que pueda ser incorporado a futuros vehículos y a su vez contribuye a la mejora de la seguridad vial, reduciendo así los daños al mobiliario urbano y propiedades privadas.

4.2. ANÁLISIS DE COSTOS

4.2.1. Recursos humanos

En los recursos humanos se consideraron el desarrollo del algoritmo, las diversas fuentes bibliográficas utilizadas en la presente tesis, la movilidad para la recolección de datos, la mano de obra para la realización de tesis y finalmente un pequeño incentivo a los sujetos de prueba, así como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Presupuesto de recursos humanos

Presupuesto de recursos humanos		
Desarrollo del algoritmo de detección de somnolencia	S/	2100.00
Fuentes bibliográficas	S/	60.00
Movilidad	S/	50.00
Mano de obra	S/	1600.00
Colaboración a conductores de vehículo	S/	960.00
Costo Total 1	S/	4770.00

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Recursos de hardware

En los recursos de hardware se realizó la compra de una laptop Lenovo con las características mencionadas en la Tabla 17, además de la adquisición de una cámara web para la detección de la somnolencia del conductor de vehículo.

Tabla 17: Presupuesto de hardware

Presupuesto de hardware		
Laptop Lenovo (Core i7 10ma Generación)	S/	6000.00
Cámara web full HD	S/	109.00
Costo Total 2	S/	6109.00

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3. Recursos de software

En los recursos de software se realizó la compra de la suscripción anual del software Matlab. En la Tabla 18, se muestra el costo del software.

Tabla 18: Presupuesto de software

Presupuesto de software		
Software Matlab	S/	215.00
Costo Total 3	S/	215.00

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 17 y 18 se consideran los montos totales para el presupuesto de hardware y software para la implementación del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo. Asimismo, en la Tabla 16 se consideró el monto total del presupuesto para recursos humanos. En ese sentido, se realiza la sumatoria de los montos totales de los presupuestos mencionados, así como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19: Sumatoria de presupuesto

Sumatoria de presupuesto		
Costo Total 1	S/	4770.00
Costo Total 2	S/	6109.00
Costo Total 3	S/	215.00
Monto Total	S/	11094.00

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la Tabla 19, se muestra el costo total del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo, el cual se utilizará para el análisis de sensibilidad.

4.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

4.3.1. Desarrollo del flujo de caja

En el desarrollo del flujo de caja primero se identificó el presupuesto total, el costo anual para la implementación del sistema de detección de somnolencia. En la tabla 20, se muestran los montos de ingresos y egresos, el flujo de caja que quiere decir el ingreso neto y el costo beneficio.

Tabla 20: Flujo de caja del Proyecto

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos						
Venta del producto		S/48,813.60	S/48,813.60	S/48,813.60	S/48,813.60	S/48,813.60
Total de ingresos		S/48,813.60	S/48,813.60	S/48,813.60	S/48,813.60	S/48,813.60
Egresos						
Inversión inicial	S/44,376.00					
Gastos por Recursos Humanos	S/4,770.00					
Gastos por Hardware	S/6,109.00					
Gastos por Software	S/215.00	S/215.00	S/215.00	S/215.00	S/215.00	S/215.00
Mantenimiento		S/800.00	S/800.00	S/800.00	S/800.00	S/800.00
Producción			S/44,376.00	S/44,376.00	S/44,376.00	S/44,376.00
Total de Egresos	S/44,376.00	S/1,015.00	S/45,391.00	S/45,391.00	S/45,391.00	S/45,391.00
Flujo de Caja (Ingreso Neto)	-S/44,376.00	S/47,798.60	S/3,422.60	S/3,422.60	S/3,422.60	S/3,422.60
Costo Beneficio	-S/44,376.00	S/3,422.60	S/6,845.20	S/10,267.80	S/13,690.40	S/17,113.00

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Análisis del VAN

En el análisis del Valor Actual Neto, se toma en cuenta el primer factor llamado la inversión inicial que es de S/14,792.00, en este caso se considera la venta de 3 sistemas por año siendo el valor final de la inversión total S/44,376.00. Luego se considera el segundo factor llamado la tasa de interés exigido a la inversión, el cual para el proyecto se considera el 10% en un periodo de 5 años después de la implementación del sistema. Y el tercer factor son los valores del flujo de caja que se muestra en la Tabla 20.

En la ecuación 6 se muestra cómo hallar el VAN:

$$VAN = \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} \dots \dots \dots \frac{Fn}{(1+i)^n} - I_0 \quad (6)$$

Donde:

F1, F2 y Fn: Flujos de dinero en cada periodo.

i: Tasa de descuento o de interés exigido a la inversión

n: Número de periodos de tiempo.

En base a la ecuación 6, se obtuvo el valor del VAN siendo este S/8,940.16, por tanto, el VAN es positivo siendo mayor a 0 y con ello se demuestra que el proyecto es rentable, es decir que la inversión se logra recuperar, aun después de ajustarlo con la tasa de interés.

4.3.3. Análisis del TIR

Para hallar el porcentaje de la viabilidad del proyecto, se utiliza la Tasa Interna de Rentabilidad mediante la ecuación 7.

$$\frac{F1}{(1+TIR)^1} + \frac{F2}{(1+TIR)^2} \dots \dots \dots \frac{Fn}{(1+TIR)^n} - I_0 = 0 \quad (7)$$

El TIR se realiza con el mismo cálculo de la ecuación del VAN igualando a cero dando un valor en porcentaje y a través de la ecuación 7 se obtuvo el 26%, siendo este un valor óptimo debido que este valor es superior a la tasa de interés del VAN.

4.3.4. Análisis del ROI

Conocido como inglés Return On Investment, el cual es el valor que mide el rendimiento de la inversión. Se calcula a través de la ecuación 8.

$$ROI = \frac{(Beneficio - Inversión)}{Inversión} \quad (8)$$

Con la ecuación 8 se obtuvo un valor de 10%, este valor es positivo por lo cual el proyecto es rentable debido a que los ingresos superan a la inversión.

CONCLUSIONES

- Se concluye que, la característica más relevante de la somnolencia es el parpadeo, esto se obtuvo en base a la encuesta realizada a los conductores de vehículo, además mediante la revisión de los antecedentes se identificó que el número de parpadeos óptimo para el indicativo de somnolencia es 21 por minuto.
- Se determina que, el sistema de detección de somnolencia cumple una jerarquía de cuatro etapas siendo estas: adquisición de la imagen, preprocesamiento, procesamiento, extracción de características, análisis y toma de decisiones; cada etapa comprende una parte importante y son consecuentes para así conseguir una adecuada detección de la somnolencia del conductor de vehículo.
- Se concluye que, los dispositivos electrónicos utilizados en el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo tienen que seguir parámetros relevantes como la resolución de la cámara web debe ser de 1920 x 1080 píxeles, el ángulo de 45 grados de la cámara web, la distancia de 50 cm entre la cámara web y el conductor de vehículo, 55 cm de distancia entre la cámara web y los ojos del conductor de vehículo, posicionamiento de la cámara web al frente del conductor de vehículo y la iluminación de la cámara web que se gradúa con su propio regulador.
- Se determina que, el elemento más influyente en el conteo de los parpadeos es a través del análisis del iris del conductor de vehículo debido a que el algoritmo detecta el iris cuando el ojo está abierto, identificando que no hay un parpadeo, caso contrario cuando no detecta el iris, significa que hay parpadeo del conductor de vehículo.
- Se concluye que, el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo es eficiente debido a que en el grupo de casos muestran altos porcentajes de efectividad siendo estos 87.23% en la sección del turno diurno, 94.64% en la sección del turno nocturno y en la sección de ambos turnos se encuentra el 94.74% en turno diurno y 96.99% en turno nocturno. Asimismo, en el grupo de controles se tiene el 90.91% en la sección del turno diurno, 90% en la sección del turno nocturno y en la

sección de ambos turnos se encuentra el 96.15% en turno diurno y el 81.25% en turno nocturno.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda aumentar la muestra superior a 384 conductores de vehículo para la utilización de la encuesta teniendo en cuenta el índice de accidentes de tránsito de somnolencia por zona para así identificar las características de somnolencia más frecuente de los conductores de vehículo.
- Se sugiere identificar y utilizar otras técnicas de procesamiento de imágenes como estiramiento de histograma a escala completa y ecualización de histograma con el fin de obtener imágenes del conductor de vehículo superiores al full HD para así detectar otras características de la somnolencia como el bostezo y cabeceo.
- Se recomienda comparar tres a más cámaras web para saber cuál de ellas se acopla mejor al sistema, además de un mayor análisis respecto a una alarma no intrusiva para alarmar al conductor de vehículo debido a que este tipo de alarma es importante porque no afecta al conductor.
- Se sugiere establecer el factor de sensibilidad de imágenes con resolución superiores al full HD con el fin de mejorar la detección de objetos circulares en el procesamiento de imágenes, en la presente tesis el factor fue de 0.93.
- Se recomienda aumentar la cantidad de pruebas a los conductores de vehículo de casos y controles para identificar la funcionalidad más exacta del sistema de detección de somnolencia debido a que en la presente tesis se le realizó sólo una prueba por conductor de vehículo.

REFERENCIAS

- Alcántara, C. (2018). *Sistema embebido de bajo costo para la asistencia al conductor mediante procesamiento de expresiones faciales* [tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1254>
- Antúnez, M. (2019). *Algoritmos de detección de objetos para el rastreo de ojos*. [tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio de UPC. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/129222/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arévalo, B. (2019). *Implementación de un prototipo de sistema de alerta para conductores distraídos y somnolientos de vehículos basado en visión artificial*. [tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio de ESPOCH. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13667>
- Arthritis Foundation. (03 de enero de 2019). *Fatiga*. <http://espanol.arthritis.org/espanol/salud-y-vida/cuerpo-fatiga/>
- Baiza, C. (2020). *Sistema de Detección y Alerta del Estado de Somnolencia de Conductores Mediante Visión Artificial* [tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica Israel]. Repositorio Digital Universidad Israel. <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2441/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2020-026.pdf>
- Brito Moncayo, G. D., & López Romero, W. L. (2016). *Sistema de control del estado de somnolencia en conductores de vehículos* [tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/19363>
- Cajamarca, H., Londoño, E. y López, A. M. (2018). *Diseño de un mecanismo de control para la fatiga y cansancio en las jornadas de conducción como factor de accidentalidad para la empresa Rh Group S.A.S.* [tesis de licenciatura,

Corporación Universitaria Minuto de Dios]. Repositorio Institucional UNIMINUTO.

<https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/8266/1/proyecto%20final.pdf>

Canul, L., López, J. y Narváez, L. (2018). Algoritmo rápido de la transformada de Hough para detección de líneas rectas en una imagen. *Programación Matemática y Software*, 7(2), 1–6. [http://40.71.171.92/bitstream/handle/123456789/711/Algoritmo rápido de la transformada de Hough para detección de líneas rectas en una imagen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://40.71.171.92/bitstream/handle/123456789/711/Algoritmo%20r%C3%A1pido%20de%20la%20transformada%20de%20Hough%20para%20detecci%C3%B3n%20de%20l%C3%ADneas%20rectas%20en%20una%20imagen.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Carlos Villan, R. (2019). *Ventajas del sistema antifatiga GuardVant en la operación de camiones de acarreo en una mina superficial* [tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7188/3/IV_FIN_TI_110_Carlos_Villan_2019.pdf

Chaccere, C. y Sara, F. (2015). *Diseño y simulación de un sistema de detección de somnolencia y alerta basado en el procesamiento digital de imágenes con algoritmos de correlación en tiempo real* [tesis de licenciatura, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio USMP. <http://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/1257>

Chacua, E. (2019). *Diseño de un sistema prototipo de reconocimiento facial para la identificación de personas en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte utilizando técnicas de Inteligencia Artificial* [tesis de licenciatura, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9572>

Crespin, J. C. y Julián, R. (2019). *Sistema detector de somnolencia en secuencias de video de conductores manejando usando visión computacional*. [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Universidad Nacional de Trujillo <https://silo.tips/download/sistema-detector-de-somnolencia-en-secuencias->

de-video-de-conductores-manejando

D'Angelo, S. (05 de diciembre de 2018). *Población y muestra*. Medicina Unida. [https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/aps/P OBLACIÓN Y MUESTRA \(Lic DAngelo\).pdf](https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/aps/P OBLACIÓN Y MUESTRA (Lic DAngelo).pdf)

Egas Cunalata, F. D. (2017). *Sistema de Vigilancia al conductor vehicular basado en técnicas de visión artificial e implementado de un Smartphone para la detección y alerta de somnolencia* [tesis de licenciatura, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13442/1/T-ESPEL-ENI-0401.pdf>

España, L. y Oña, E. (2018). *Implementación de un prototipo para la detección de signos de fatiga del conductor aplicando visión artificial en un vehículo liviano en la noche* [tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15181/1/UPS%20-%20ST003421.pdf>

Espinoza, N. (2019). *Diagnóstico automatizado para la clasificación de café trillado con broca mediante procesamiento de imágenes con Deep Learning* [tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de tesis Universidad Peruana Unión. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1961>

Fundación CEA. (04 de marzo de 2020). *Estudio Fundación CEA: Estudio somnolencia en la conducción*. <https://www.fundacioncea.es/actualidad/estudios-fundacion/66-estudio-fundacion-cea-estudio-somnolencia-en-la-conduccion>

Garrity, J. (05 de octubre de 2019). *Características protectoras de los ojos*. Mayo Clinic College of Medicine. <https://www.msdmanuals.com/es-pe/hogar/trastornos-oftálmicos/biología-de-los-ojos/características-protectoras-de-los-ojos>

Gonzalez, H. y Velásquez, S. (2019). Facial Recognition Using Viola-Jones and

Binary Patterns. *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología*, 23(92), 57–63.
<https://www.uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/126/182>

GPSTEC. (12 de mayo de 2018). *Sensor de fatiga del conductor*. Argentina.
<http://www.gpstec.com.ar/sensor-de-fatiga-del-conductor/>

Grupo Franja. (16 de mayo de 2017). *Parpadeo ¿estabilizador del movimiento?*.
<https://www.grupofranja2.com/index.php/oftalmologia/item/1797-parpadeo-estabilizador-del-movimiento>

Hernandez, J. (02 de mayo de 2018). Qué son y cómo funcionan las cámaras web. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1285331>

Herrera, J., & Hernández, S. (2018). *Sistema de asistencia para el monitoreo de somnolencia* [tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ.
<https://conferences.eagora.org/index.php/cienciassociales/CS2018/paper/view/6178>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (08 de diciembre de 2015). Perú: IV Censo Nacional de Comisarías 2015.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1308/libro.pdf

Jurado, B., Serrano, J., Jurado, J. C. y Vargas, A. (24 de abril de 2018). *Excesiva somnolencia diurna. Valoración*. Neumosur
<https://www.neumosur.net/files/EB04-25%20somnolencia.pdf>

Levante-EMV. (13 de julio de 2019). *Más del 15% de conductores europeos admite haber sufrido un accidente por la fatiga*. <https://www.levante-emv.com/motor/2019/07/13/15-conductores-europeos-admite-haber-14012436.html>

Loor, E. y Zambrano, I. (2019). *Prototipo de sistema informático de detección de somnolencia en conductores de automotores*. [tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López].

Repositorio

ESPAM.

<http://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/1102/TTC19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lugo, Z. (28 de febrero de 2020). *Diferencia entre población y muestra*. Diferenciador. <https://www.diferenciador.com/poblacion-y-muestra/>

Maitra, S. (24 de febrero de 2019). *What Canny Edge Detection algorithm is all about?*. Medium. <https://medium.com/@ssatyajitmaitra/what-canny-edge-detection-algorithm-is-all-about-103d94553d21>

MAPFRE. (10 de agosto de 2018). *7 principales causas de accidentes de auto*. <https://www.mapfre.com.pe/viviendo-en-confianza/seguridad-vial/7-principales-causas-accidentes-auto/>

MathWorks. (07 de septiembre de 2019). *Descripción del producto MATLAB*. https://es.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html

Mayo Clinic. (17 de agosto de 2020). *Antidepresivos: Recibe consejos para lidiar con los efectos secundarios*. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/depression/in-depth/antidepressants/art-20049305>

Mayon, E. y Limaquispe, R. (2018). *Sistema de detección de somnolencia mediante inteligencia artificial en conductores de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito*. [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2327/TESIS-2018-INGENIERIA%20ELECTRONICA-LIMAQUISPE%20MIGUEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MedlinePlus. (23 de mayo de 2019). *Somnolencia*. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003208.htm>

Ministerio de Salud. (18 de abril de 2018). *Tránsito seguro, compromiso de todos*. Plataforma digital única del estado peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/campañas/372-transito-seguro-compromiso-de-todos>

Ministerio de Salud. (16 de enero de 2018). *Situación de las lesiones causadas por accidentes de tránsito en el Perú*. Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades. https://www.dge.gob.pe/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid

Miranda, J. y Changa, O. (2017). *Implementación de un sistema de monitoreo para medir la fatiga DSS-Drive State Sensor en camiones de acarreo en la empresa de gran minería de la región Arequipa, 2016* [tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/747/Jesus%20Miranda_Oscar%20Changa_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2017.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Decreto supremo N° 016-2009-MTC (22 de abril de 2009). *Código de tránsito*. [https://www.mtc.gob.pe/cnsv/documentos/normas-legales/DECRETO%20SUPREMO%20N%C2%BA%20016-2009-MTC%20\(%20actualizado%2004.01.2017\).pdf](https://www.mtc.gob.pe/cnsv/documentos/normas-legales/DECRETO%20SUPREMO%20N%C2%BA%20016-2009-MTC%20(%20actualizado%2004.01.2017).pdf)

Decreto supremo N° 017-2009-MTC (22 de abril de 2009). *Aprueba el Reglamento Nacional de Administración de Transporte*. [https://www.mtc.gob.pe/cnsv/documentos/normas-legales/DECRETO%20SUPREMO%20N%C2%BA%20017-2009-MTC%20\(actualizado%2004.01.2017\).pdf](https://www.mtc.gob.pe/cnsv/documentos/normas-legales/DECRETO%20SUPREMO%20N%C2%BA%20017-2009-MTC%20(actualizado%2004.01.2017).pdf)

Decreto supremo N° 004-2014-TR (23 de mayo de 2014). *Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo*. <http://www.osterlingfirm.com/Documentos/webma/normas/DS%2004-2014-TR.pdf>

NICHD. (9 de julio de 2018). *¿Qué son los ritmos circadianos?*. Kennedy Shriver National Institute of Child Health and Human Development. <https://espanol.nichd.nih.gov/salud/temas/sleep/informacion/circadianos>

NIH. (12 de enero de 2018). *Los ritmos circadianos*. National Institute of General Medical Sciences. <https://www.nigms.nih.gov/education/fact->

sheets/Pages/circadian-rhythms-spanish.aspx

Organización Mundial de la Salud. (24 de julio de 2018). *10 datos sobre la seguridad vial en el mundo*. Organización Mundial de La Salud; World Health Organization. <http://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/>

Pedraz-Petrozzi, B. (2018). Fatiga: historia, neuroanatomía y características psicopatológicas. Una revisión de la Literatura. *Rev Neuropsiquiatr*, 81(3), 1–9. <https://doi.org/10.20453/rnp.v81i3.3385>

Perú21. (28 de diciembre de 2018). *Brevete: ¿Cuáles son los tipos de licencia de conducir en el Perú?*. <https://peru21.pe/peru/brevetes-tipos-licencia-conducir-vehiculos-peru-nnda-nnlt-443365-noticia/>

QuestionPro. (06 de enero de 2020). *Tipos de encuestas*. <https://www.questionpro.com/es/tipos-de-encuestas.html>

Quiroz, F. (2020). *Fisiología Ocular*. SISBIB UNMSM https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/medicina/cirugia/tomo_iv/fisio_ocu.htm

Revelo, J. (2019). *Implementación de una alarma basada en la detección de somnolencia para conductores de vehículos mediante visión artificial* [tesis de licenciatura, Universidad de las Américas]. Repositorio Digital Universidad de las Américas. <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/11580/1/UDLA-EC-TIRT-2019-17.pdf>

Rincón, L. E. L., Díaz, J. M. J. y Rengifo, M. R. (2018). Estudio térmico de la función lagrimal en la superficie ocular humana utilizando termografía infrarroja. *Scientia et Technica*, 23(4), 553–562. <https://doi.org/10.22517/23447214.16761>

Rodríguez, M. L. (17 de marzo de 2019). *Las encuestas - Qué son, características, cómo hacerlas*. Tu Gimnasia Cerebral. <http://tugimnasiacerebral.com/herramientas-de-estudio/que-es-una-encuesta-caracteristicas-y-como-hacerlas>

- Shihab, A. (2018). Comparative study among sobel, prewitt and canny edge detection operators used in image processing comparative study among sobel,prewitt and canny edge detection operators used in image processing. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 96(19), 1–9. <https://www.researchgate.net/publication/336125919>
- Sotelo, G., Meza, B. del M. y Umiña, J. (2019). *Propuesta para evaluar y controlar la fatiga laboral en conductores de carga pesada en la Empresa de Transportes ACOINSA* [tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/1835/Beatriz%20Meza_Jeison%20Umi%C3%B1a_Tesis_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- SurveyMonkey. (14 de octubre de 2020). *Tamaño de la muestra de la encuesta*. <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size/>
- The Pituitary Society. (28 de agosto de 2019). *ACROMEGALIA*. <https://endocrn.eu/wp-content/uploads/2019/04/Acromegalia-Pit-Society-pacientes.pdf>
- Torres, B. y Baquero, B. (2019). *Aplicación para teléfono móvil con sistema operativo Android que permita detectar somnolencia y emitir una alarma sonora a conductores de automóvil mediante procesamiento de imágenes*. [tesis de licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22359/TorresMalaverBrayanAlexander2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UKEssays. (29 de mayo de 2018). *Edge Detection Methods in Digital Image Processing*. <https://www.ukessays.com/essays/biology/edge-detection-methods-in-digital-image-processing-technology-essay.php>
- Universidad de Champagnat. (15 de junio de 2020). *Encuesta, tipos y procedimiento de uso en investigación de mercados*. Gestipolis. <https://www.gestipolis.com/encuesta-tipos-y-procedimiento-de-uso-en-investigacion-de-mercados/>

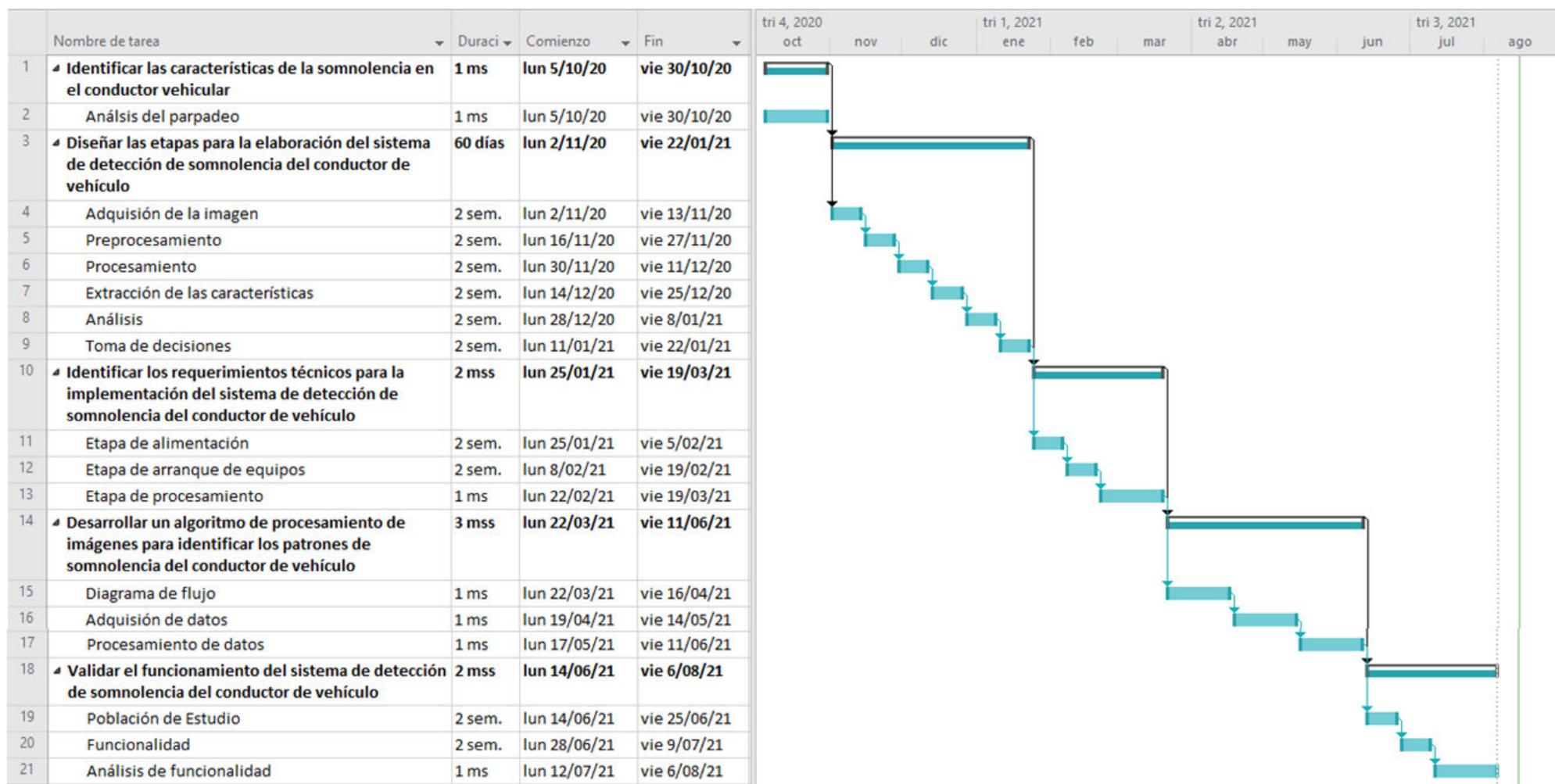
- Universidad de Córdoba. (26 de julio de 2019). *Diseño de encuestas*.
http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/09_13_21_sesion_6.pdf
- Vidal, Ó. (07 de octubre de 2020). *La glándula tiroides y las alteraciones del sueño*. Barnaclinic. <https://www.barnaclinic.com/blog/cirugia-de-tiroides/alteraciones-del-sueno/>
- Villán, A., Fernández, R. y Tejedor, R. (2017). Sistema Automático Para la Detección de Distracción y Somnolencia en Conductores por Medio de Características Visuales Robustas. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 14(3), 307–328.
<https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.05.001>
- Vincent, J. (15 de febrero de 2020). *Tipos de encuestas: ¿Cuál utilizar?*. Encuesta.com. <https://blog.encuesta.com/tipos-de-encuestas-cual-utilizar/>
- Wu, G., Yang, D., Chang, C., Yin, L., Luo, B. y Guo, H. (2019). Optimizations of Canny Edge Detection in Ghost Imaging. *Journal of the Korean Physical Society*, 75(3), 223–228. <https://doi.org/10.3938/jkps.75.223>

GLOSARIO

- ADAS: Sistemas avanzados de asistencia al conductor que brinda seguridad al conductor de vehículo
- Infrarrojo: Tipo de luz que proporciona información de luz que no es visible ante los ojos del ser humano.
- Matlab: Programa que tiene un lenguaje de programación propio en el cual se crean algoritmos.
- Somnolencia: Pesadez y torpeza de los sentidos motivadas por el sueño.
- NSQ: Núcleo supraquiasmático y se encarga de regular el ritmo circadiano.

ANEXOS

Anexo A: Diagrama de Gantt



Anexo B: Matriz de Consistencia

PROBLEMÁTICA	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	PREGS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACCIONES	MARCO TEÓRICO	MARCO PRÁCTICO	EVALUACIÓN	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
<p>Según la Policía Nacional del Perú (PNP) en el año 2018 se registró 90056 casos de accidentes de tránsito en todo el país. De los cuales, 49336 de los accidentes de tránsito suceden en Lima, esto conlleva a un incremento del 0.26% con respecto al año anterior. Las causas de los accidentes de tránsito han sido: la imprudencia del conductor con el 28.71%, exceso de velocidad con el 27.81%, ebriedad del conductor con el 7.33%, imprudencia del peatón con el 5.94%, imprudencia del pasajero con el 1.17% y finalmente otros con el 29.03% (PNP, 2018). El más relevante es la causa originada por imprudencia del conductor, en el cual los factores que lo originan son: el desconocimiento de las reglas de tránsito y conducir por muchas horas sin el descanso apropiado, lo cual deriva que el conductor maneje en estado somnoliento.</p> <p>Asimismo, en las encuestas realizadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el V Censo de Comisarías del Perú en el año 2016, afirman que el 0.5% de las causas por accidentes de tránsito son por fatiga del conductor y en el año 2017, se muestra un porcentaje de</p>	<p>¿Cómo detectar la somnolencia del conductor de vehículo mediante el procesamiento de imágenes ?</p>	<p>Implementar un sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo mediante el procesamiento de imágenes para ayudar a reducir los accidentes de tránsito.</p>	<p>¿Cuáles son las características de la somnolencia que presenta el conductor de vehículo?</p>	<p>Identificar las características de la somnolencia del conductor de vehículo.</p>	<p>*Averiguar sobre las características de la somnolencia. *Realizar encuesta a conductores de vehículo sobre la somnolencia *Sectorizar el síntoma más relevante en la somnolencia. *Investigar sobre los patrones en el síntoma más relevante</p>	<p>*Cansancio * Somnolencia *Micro sueño *Parpadeo *Perclous *Licencia de conducir *Encuesta *Población y Muestra</p>	<p>Análisis del parpadeo. Análisis de la apertura palpebral</p>	<p>De los sistemas existentes en la actualidad, algunos de ellos son intrusivos, otros están en periodo de prueba y/o investigación, y su uso está limitado solo a ediciones de autos de fabricación reciente o vehículos para trabajos especializados, por lo cual no podrían usarse en gran parte del parque automotor disponible en nuestro país. Por esa razón, esta tesis implementará un sistema que no sea intrusivo pues se utilizará la técnica de análisis de los ojos para evaluar el estado de la somnolencia. Asimismo, en los sistemas de detección de somnolencia, se encuentran con algoritmos para la detección de objetos, el cual influye en la velocidad y precisión del procesamiento de imágenes debido a que muchos de ellos sectorizan todo el rostro y esto gasta muchos recursos digitales. Es por eso que en esta tesis se utiliza el algoritmo Viola Jones debido a que solo procesa una imagen en escala de grises y no utiliza directamente la imagen sino una imagen integral de manera que ahorra recursos, para luego determinar el objeto que se busca. Es por eso que se realiza una serie de clasificadores en cascada que ahorran el tiempo porque solo utilizan subregiones que contengan los ojos y solo se usan recursos para esa sección.</p>	<p>Se concluye que, la característica más relevante de la somnolencia es el parpadeo, esto se obtuvo en base a la encuesta realizada a los conductores de vehículo, además mediante la revisión de los antecedentes se identificó que el número de parpadeos óptimo para el indicativo de somnolencia es 21 por minuto.</p>	<p>Se recomienda aumentar la muestra superior a 384 conductores de vehículo para la utilización de la encuesta teniendo en cuenta el índice de accidentes de tránsito de somnolencia por zona para así identificar las características de somnolencia más frecuente de los conductores de vehículo.</p>
			<p>¿Cuáles son las etapas que tendrá el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo?</p>	<p>Diseñar el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo.</p>	<p>*Definir las características básicas para el funcionamiento del sistema. *Identificar los materiales para la implementación.</p>	<p>*Sistema *Sistema de procesamiento de imágenes</p>	<p>*Adquisición de la imagen *Preprocesamiento *Procesamiento *Extracción de características *Análisis *Toma de decisiones</p>	<p>Se determina que, el sistema de detección de somnolencia cumple una jerarquía de cuatro etapas siendo estas: adquisición de la imagen, preprocesamiento, procesamiento, extracción de características, análisis y toma de decisiones; cada etapa comprende una parte importante y son consecuentes para así conseguir una adecuada detección de la somnolencia del conductor de vehículo.</p>	<p>Se sugiere identificar y utilizar otras técnicas de procesamiento de imágenes como estiramiento de histograma a escala completa y eualización de histograma con el fin de obtener imágenes del conductor de vehículo superiores al full HD para así detectar otras características de la somnolencia como el bostezo y cabeceo.</p>	

<p>manera creciente debido a que los resultados por esta misma causa son del 1%. Siguiendo las estadísticas mencionadas, los accidentes de tránsito ocasionados por la fatiga del conductor muestran un aumento, de tal manera que una aproximación para el año 2019 sería que el 2% de los accidentes de tránsito son ocasionados por la fatiga del conductor, lo cual origina la probabilidad de errores al conducir. La fatiga es un síntoma muy frecuente en un conductor que lleva a la persona a tener signos de somnolencia. Este factor es el que afecta al conductor de vehículo debido a que cuando una persona no ha tenido un descanso adecuado se siente fatigado y como consecuencia pierde la capacidad de concentración para conducir un vehículo. Cuando el conductor de vehículo tiene somnolencia, tiende a realizar un parpadeo constante y tiene la visión borrosa. Luego, el conductor piensa en descansar unos segundos, cerrando los ojos y por esta acción pierde el control del vehículo, así que cómo consecuencia los principales efectos son: los daños a la salud porque ocasiona que las personas tengan lesiones que pueden ser leves o graves y pérdidas humanas. Asimismo, las pérdidas económicas ocasionadas por estos accidentes, por concepto de: atención médica, pago de seguros, daños materiales que producen a los vehículos involucrados o alguna estructura con la que colisionan. Es por ello que la detección de la somnolencia es de vital importancia para así alertar al conductor debido a que el sistema estará en constante verificación de los patrones de somnolencia del conductor de vehículo para reducir los accidentes de tránsito.</p>			<p>¿Qué requerimientos técnicos debe cumplir el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo?</p>	<p>Identificar los requerimientos técnicos para la implementación del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo.</p>	<p>*Definir las características técnicas básicas para la implementación del sistema de detección de somnolencia. *Comparar los materiales requeridos para la implementación del sistema de detección de somnolencia *Identificar los materiales para la implementación del sistema.</p>	<p>*Cámara web *Matlab *Ordenador portátil</p>	<p>*Etapa de alimentación *Etapa de arranque de equipos *Etapa de procesamiento</p>	<p>Luego de sectorizar, se requiere otra técnica para identificar el iris debido a que el algoritmo sea capaz de contabilizar el número de parpadeos del conductor, es por eso que se utiliza la transformada de Hough debido que permite configurar un umbral para determinar si el círculo del iris es cubierto dando como resultado la detección del parpadeo. En base este parpadeo, el sistema será capaz de identificar el estado de somnolencia; esto servirá para como base para futuras investigaciones para la detección de somnolencia.</p>	<p>Se concluye que, los dispositivos electrónicos utilizados en el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo tienen que seguir parámetros relevantes como la resolución de la cámara web debe ser de 1920 x 1080 pixeles, el ángulo de 45 grados de la cámara web, la distancia de 50 cm entre la cámara web y el conductor de vehículo, 55 cm de distancia entre la cámara web y los ojos del conductor de vehículo, posicionamiento de la cámara web al frente del conductor de vehículo y la iluminación de la cámara web que se gradúa con su propio regulador.</p>	<p>Se recomienda comparar tres a más cámaras web para saber cuál de ellas se acopla mejor al sistema, además de un mayor análisis respecto a una alarma no intrusiva para alarmar al conductor de vehículo debido a que este tipo de alarma es importante porque no afecta al conductor.</p>
<p>¿Cómo identificar los patrones de somnolencia del conductor del vehículo mediante el procesamiento de imágenes?</p>				<p>Desarrollar un algoritmo de procesamiento de imágenes para identificar los patrones de somnolencia del conductor de vehículo</p>	<p>*Comparar los filtros que se utilizarán para el procesamiento de imágenes. *Elaborar un diagrama de flujo. *Desarrollar un algoritmo para procesar los patrones de somnolencia.</p>	<p>*Algoritmos para Detección de Rostro *Filtro de Detección de Ojos</p>	<p>*Diagrama de flujo * Adquisición de la imagen * Procesamiento de datos</p>	<p>La tesis contribuye a la sociedad en la reducción de los accidentes de tránsito, siendo éste un generador de pérdidas humanas y la posibilidad de que una persona tenga que sufrir alguna discapacidad o incluso el fallecimiento, cuando un conductor está somnoliento puesto que pone en peligro a las personas de su entorno y la misma del conductor de vehículo. Por otro lado, el proyecto ayuda a la sociedad a reducir gastos de rehabilitación y medicamentos porque cuando la persona está herida por el accidente de tránsito tiene traumatismos que requieren de una atención hospitalaria. También en caso se presente un fallecimiento, se genera un gasto para realizar los trámites para un sepelio. Asimismo, se debe de incluir todos los gastos para cubrir los daños materiales que originó el accidente de tránsito. Este diseño de un sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo brinda un gran beneficio para que sea incorporado en futuros vehículos, además recalcar que tiene una mejora para el procesamiento de los patrones de somnolencia con ayuda de Matlab y de esta manera contribuye a la mejora de la seguridad vial conjuntamente</p>	<p>Se determina que, el elemento más influyente en el conteo de los parpadeos es a través del análisis del iris del conductor de vehículo debido a que el algoritmo detecta el iris cuando el ojo está abierto, identificando que no hay un parpadeo, caso contrario cuando no detecta el iris, significa que hay parpadeo del conductor de vehículo.</p>	<p>Se sugiere establecer el factor de sensibilidad de imágenes con resolución superiores al full HD con el fin de mejorar la detección de objetos circulares en el procesamiento de imágenes, en la presente tesis el factor fue de 0.93.</p>
			<p>¿Cómo es el desempeño del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo?</p>	<p>Validar el funcionamiento del sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo.</p>	<p>*Integrar el sistema en su totalidad. *Hacer pruebas del sistema de detección. *Análisis de los resultados de las pruebas del sistema. * Realizar encuesta</p>	<p>*Análisis de Sensibilidad y Especificidad</p>	<p>* Población de estudio * Funcionalidad * Análisis de funcionalidad</p>	<p>Se concluye que, el sistema de detección de somnolencia del conductor de vehículo es eficiente debido a que en el grupo de casos muestran altos porcentajes de efectividad siendo estos 87.23% en la sección del turno diurno, 94.64% en la sección del turno nocturno y en la sección de ambos turnos se encuentra el 94.74% en turno diurno y 96.99% en turno</p>		<p>Se recomienda aumentar la cantidad de pruebas a los conductores de vehículo de casos y controles para identificar la funcionalidad más exacta del sistema de detección de somnolencia debido a que en la presente tesis se le realizó sólo una prueba por conductor de vehículo</p>

								con la reducción de los daños al mobiliario urbano y propiedades privadas.	nocturno. Asimismo, en el grupo de controles se tiene el 90.91% en la sección del turno diurno, 90% en la sección del turno nocturno y en la sección de ambos turnos se encuentra el 96.15% en turno diurno y el 81.25% en turno nocturno.	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--