



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
DETECCIÓN VISUAL PARA EL CONTROL DE SOMNOLENCIA Y
ESTIMULACIÓN SENSORIAL DEL CONDUCTOR A TRAVÉS DE UNA
CÁMARA DIGITAL EN VEHÍCULOS TIPO TAXI**

AUTORES: ROMÁN ZAVALA, ERICK BENITO

SANGOVALIN CHILUISA, JHONATAN ALEXANDER

DIRECTOR: ING. CASTRO CLAVIJO, JUAN TRAJANO

LATACUNGA

2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN VISUAL PARA EL CONTROL DE SOMNOLENCIA Y ESTIMULACIÓN SENSORIAL DEL CONDUCTOR A TRAVÉS DE UNA CÁMARA DIGITAL EN VEHÍCULOS TIPO TAXI**” fue realizado por los señores **Román Zavala, Erick Benito y Sangovalín Chiluisa, Jhonatan Alexander** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 14 de enero de 2020

Firma:

Ing. Castro Clavijo, Juan Trajano

C.C.:1801625862



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Román Zavala, Erick Benito y Sangovalín Chiluisa, Jhonatan Alexander**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN VISUAL PARA EL CONTROL DE SOMNOLENCIA Y ESTIMULACIÓN SENSORIAL DEL CONDUCTOR A TRAVÉS DE UNA CÁMARA DIGITAL EN VEHÍCULOS TIPO TAXI”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 14 de enero de 2020

Román Zavala, Erick Benito

C.C.:1726805862

Sangovalín Chiluisa, Jhonatan Alexander

C.C.:1724235054



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Román Zavala, Erick Benito y Sangovalín Chiluisa, Jhonatan Alexander** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN VISUAL PARA EL CONTROL DE SOMNOLENCIA Y ESTIMULACIÓN SENSORIAL DEL CONDUCTOR A TRAVÉS DE UNA CÁMARA DIGITAL EN VEHÍCULOS TIPO TAXI”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 14 de enero de 2020

Román Zavala, Erick Benito
C.C.:1726805862

Sangovalín Chiluisa, Jhonatan Alexander
C.C.:1724235054

DEDICATORIA

Dedico esta presente investigación a mis padres Benito Román y Angelita Zavala quienes han sido parte de mi formación profesional y mi apoyo incondicional para afrontar cada una de las dificultades que se presentaban en mi trayecto estudiantil, ellos han sabido guiarme para tomar las mejores decisiones y seguir adelante y no decaer ante las dificultades que se iban presentando, han sido la razón por la que cada día me esfuerce para conseguir esta meta, me han brindado de su sabiduría y consejos para ser un buen profesional con valores y ética, mis padres y mi hermana son mi vida.

Román Zavala, Erick Benito

DEDICATORIA

A mis padres Darwin Sangovalin y Rosa Chiluisa que con sus sabios consejos siempre me han impulsado a seguir adelante y no rendirme jamás, por creer firmemente en mí, por ayudarme a cumplir esta meta a pesar de todas las circunstancias que pasaron en este tiempo y sobre todo por brindarme su infinito amor, por ser mi ejemplo de vida.

A Isaac y Sebastián para que nunca desmayen en la búsqueda de sus sueños y que a pesar de las pruebas que les ponga la vida, luchen y nunca se rindan.

Sangovalin Chiluisa, Jhonatan Alexander

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres por haberme inculcado valores que me han servido para cada día esforzarme por alcanzar cada uno de mis objetivos, han sido mis pilares fundamentales durante toda mi etapa de formación profesional, agradezco todo el sacrificio que han hecho para que pueda tener lo necesario, ya que a pesar de sus limitaciones siempre hicieron todo el esfuerzo posible para que nada me faltara y pudiera culminar con éxito esta etapa de mi vida como profesional, ellos siempre han estado para ayudarme y apoyarme en todo momento y todo lo que he conseguido es gracias a ellos, a mi hermana Zaydi por estar siempre alentándome y llenándome de alegría para no desmayar en situaciones difíciles que se me presentaban, ellos han sido la razón por la que he continuado para lograr esta meta. Gracias Familia.

Román Zavala, Erick Benito

AGRADECIMIENTO

A mi padre Darwin Sangovalin por inculcarme valores y principios, para que sea un excelente profesional, gracias por apoyarme cuando más lo necesitaba, porque ahora entiendo que todos los esfuerzos que hizo por mí, hoy rinden frutos, por ser mi ejemplo a seguir como persona y padre. A mi madre Rosa Chiluisa, por ser mi amiga, mi confidente, por luchar por mi desde siempre, por darme el amor más sincero y mantenerme los pies sobre la tierra, por hacerme sentir orgulloso de dónde vengo y hacia dónde voy.

A mi hermano Sebastián por siempre estar pendiente de mí, por siempre encontrar la manera de hacerme sonreír, por darme la felicidad de tener un hermano cariñoso, ocurrido y que siempre estará conmigo en las buenas y en las malas.

A mi Hijo Isaac por ser mi fuente de inspiración y la fuerza que me impulsa a ser una mejor persona, por hacerme ver la vida de una manera diferente por hacer que todas mis preocupaciones desaparezcan cuando me da esa hermosa sonrisa que ilumina hasta mis días más grises porque eres y serás el mejor regalo que me ha dado la vida.

A mi enamorada Mónica, por brindarme su apoyo incondicional, por creer en mi incluso cuando ni yo lo hacía, por darme su amor por todos estos años y compartir la dicha de ser padres.

A mis Abuelos paternos Domirio y Mercedes por brindarme un segundo hogar cuando estaba lejos de casa, a mis Abuelos maternos Arcesio y María por darme su amor durante toda mi vida, y toda mi familia que siempre creyó en mí.

Sangovalin Chiluisa, Jhonatan Alexander

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación e importancia	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
1.6 Metas	5

1.7	Hipótesis	5
1.8	Variables de investigación.....	6
1.8.1	Variable independiente	6
1.8.2	Variables dependientes	7
1.9	Metodología del desarrollo del proyecto.....	7
1.9.1	Método inductivo.....	11
1.9.2	Método deductivo.....	11
1.9.3	Método analítico.....	12
1.9.4	Método de medición	12
1.9.5	Método experimental.....	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Fatiga	14
2.2	Somnolencia	14
2.2.1	Definición.....	14
2.2.1	Principales factores.....	14
2.2.2	Factores fisiológicos	15
2.2	Incidencia de la somnolencia en accidentes de tránsito en el Ecuador	20
2.3	Siniestros Según Día Y Hora De Ocurrencia A Nivel Nacional- diciembre 2019.....	21

2.4	Visión Artificial.....	22
2.5	Visión Nocturna.....	23
2.5.1	Detección infrarroja.....	23
2.5.2	Sensores de infrarrojos	24
2.6	Procesamiento digital de imágenes	25
2.6.1	Librería de visión por computador Opencv.....	25
2.6.2	Instalación de Open CV en Raspberry Pi 3	26
2.7	Métodos de detección de rostro	31
2.7.1	Haar Cascade Face Detector en OpenCV	31
2.7.2	Detector de rostro HOG en Dlib.....	33
2.8	Librería Dlib	35
2.9	Componentes del módulo electrónico	36
2.9.1	Raspberry Pi4	36
2.9.2	Módulo de cámara Raspberry Pi SC15	37
2.9.3	Módulos infrarrojos	37
2.9.4	Características tira led SMD.....	38

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1	Descripción de detección visual, fatiga y somnolencia.....	40
-----	--	----

3.1.1	Asentamiento de cabeza (cabeceo).....	41
3.1.2	Distracción.....	42
3.1.3	Ángulo de Inclinación	45
3.1.4	Parpadeo	48
3.1.5	Bostezo	52
3.1.6	Modulo electrónico principal	55
3.1.7	Descripción del módulo electrónico secundario.....	56
3.1.8	Ubicación de los motores de vibración en el asiento del conductor.....	56
3.1.9	Selección de iluminación para alerta de distracción.....	59
3.1.10	Diseño del circuito electrónico para el control de luces LED	60
3.1.11	Circuito de fase de control de activación de control de luces	61
3.1.12	Diseño de placas electrónicas.....	62
3.1.13	Placa electrónica de control de la caja vibratoria	63
3.1.14	Implementación de alerta sonora.....	64

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1	Ubicación cámara	65
4.1.2	Ubicación Óptima.....	65
4.1.2	Ubicación media.....	67

4.2	Pruebas del sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor.....	69
4.2.1	Detección de bostezo.....	69
a.	Detección de bostezo en el día.....	69
b.	Detección de bostezo en la noche.....	71
c.	Análisis de detección de bostezo.....	73
4.2.2	Detección de somnolencia.....	74
a.	Detección de somnolencia en el día.....	75
b.	Detección de somnolencia nocturna.....	76
c.	Análisis detección de somnolencia.....	78
4.2.3	Detección de parpadeo.....	78
a.	Análisis detección de parpadeo.....	80
4.2.4	Detección de cabeceo.....	80
a.	Análisis detección de cabeceo.....	82
4.2.5	Detección de distracción.....	83
a.	Análisis detección de distracción.....	84
4.3	Análisis del sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi.....	85

CAPÍTULO V**MARCO ADMINISTRATIVO**

5.1. Recursos	86
5.2. Recursos humanos	86
5.3. Recursos materiales	86
5.4. Recursos tecnológicos	89
5.5. Costo neto del proyecto	89
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Variables independientes</i>	6
Tabla 2	<i>Variables dependientes</i>	7
Tabla 3	<i>Condiciones de respuesta estimuladora</i>	8
Tabla 4	<i>Condiciones de activación del efecto luminoso</i>	8
Tabla 5	<i>Diferencias en las estimaciones de la distracción en incidentes de tránsito</i>	19
Tabla 6	<i>Características Raspberry Pi B+</i>	36
Tabla 7	<i>Características cámara Raspberry Pi SC15</i>	37
Tabla 8	<i>Características de los módulos infrarrojos</i>	38
Tabla 9	<i>Características de los tipos de LED</i>	39
Tabla 10	<i>Prueba 1 para ubicación de cámara</i>	65
Tabla 11	<i>Detección de rostro optima</i>	66
Tabla 12	<i>Prueba 2 para ubicación de cámara</i>	67
Tabla 13	<i>Prueba 1 detección de rostro media</i>	67
Tabla 14	<i>Prueba 2 para ubicación de cámara</i>	68
Tabla 15	<i>Prueba 2 detección de rostro media</i>	68
Tabla 16	<i>Detección de bostezo en el día</i>	70
Tabla 17	<i>Detección de bostezo en la noche</i>	72
Tabla 18	<i>Detección de bostezo en la noche</i>	74

Tabla 19	<i>Detección de somnolencia en el día</i>	75
Tabla 20	<i>Detección de somnolencia nocturna</i>	77
Tabla 21	<i>Análisis detección de somnolencia</i>	78
Tabla 22	<i>Detección de parpadeo</i>	79
Tabla 23	<i>Detección de cabeceo</i>	81
Tabla 24	<i>Detección de distracción</i>	84
Tabla 25	<i>Análisis de efectividad del sistema</i>	85
Tabla 26	<i>Recursos Humanos</i>	86
Tabla 27	<i>Detalles de gastos realizados para el desarrollo de la investigación</i>	87
Tabla 28	<i>Recursos tecnológicos para la investigación</i>	89
Tabla 29	<i>Gastos totales para el desarrollo de la investigación</i>	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Árbol de problemas (causa-efecto) del sistema de control de somnolencia.....	3
Figura 2.	Representación de un parpadeo	15
Figura 3.	Parpadeo prolongado dentro del entorno virtual.....	16
Figura 4.	Alerta de somnolencia dentro del entorno virtual.....	16
Figura 5.	Detección de Bostezo en el entorno virtual	17
Figura 6.	Detección inclinación de cabeza dentro del entorno virtual	18
Figura 7.	Detección de distracción derecha en el entorno virtual.....	19
Figura 8.	Estadística por siniestros causados por conducir en estado de somnolencia.....	20
Figura 9.	Estadística por lesiones causadas por conducir en estado de somnolencia	21
Figura 10.	Estadística por muertes causadas por conducir en estado de somnolencia	21
Figura 11.	Estadísticas de siniestros según día y hora de ocurrencia	22
Figura 12.	Detección de puntos para detección del rostro dentro del entorno virtual	23
Figura 13.	Visión nocturna de la cámara No Ir dentro del entorno virtual	24
Figura 14.	Funciones de librería OpenCV	25
Figura 15.	Código para la expansión de archivos de memoria de raspberry	26
Figura 16.	Menú de la configuración de la raspberry	26
Figura 17.	Expansión de memoria de la tarjeta micro sd.....	27
Figura 18.	Código para reiniciar la raspberry	27

Figura 19.	Verificación de la expansión de la memoria de la raspberry	28
Figura 20.	Reconocimiento facial por clasificador Haarcascade	32
Figura 21.	Clasificador de rostro HOG en Dlib	33
Figura 22.	Comparación entre el clasificador Haarcascade y HOG	34
Figura 23.	Puntos preestablecidos para la detección de rostro.....	35
Figura 24.	Detalle de las milis candelas según el tipo de LED y color.....	39
Figura 25.	Entradas, medio de control y salidas del sistema	40
Figura 26.	Diagrama de flujo de detección de cabeceo.....	41
Figura 27.	Diagrama de flujo de distracción	43
Figura 28.	Visualización de pupila y su movimiento dentro del entorno virtual	44
Figura 29.	División de pupila para el movimiento de derecha a izquierda.....	44
Figura 30.	Ángulo de inclinación 0 grados	46
Figura 31.	Ángulo de inclinación de 4. 40 grados	46
Figura 32.	Diagrama de flujo del Angulo de inclinación.....	47
Figura 33.	Puntos de referencia del ojo.....	48
Figura 34.	Valor de umbral para establecer la apertura del ojo	49
Figura 35.	Umbral mayor a 0.18, ojo abierto.....	50
Figura 36.	Umbral menor a 0.18, ojo cerrado	50
Figura 37.	Valores de velocidad de parpadeo	51

Figura 38.	Diagrama de flujo de detección de parpadeo.....	52
Figura 39.	Coordenadas de los puntos de referencia boca interna	53
Figura 40.	Detección de bostezo dentro del entorno virtual	53
Figura 41.	Diagrama de flujo de detección de bostezo	54
Figura 42.	Componentes principales del módulo de control principal	55
Figura 43.	Ubicación de la caja vibratoria en el asiento del conductor	57
Figura 44.	Circuito electrónico de activación de la caja vibratoria del asiento del conductor...58	
Figura 45.	Vida útil de las diferentes bombillas	59
Figura 46.	Ubicación de las luces led en el habitáculo del vehículo.....	60
Figura 47.	Circuito regulador de voltaje de 12V a 5V	61
Figura 48.	Circuito de control de estimulación visual	62
Figura 49.	Placa de control de luces LEDS.....	63
Figura 50.	Placa de control de la caja vibratoria.....	64
Figura 51.	Ubicación del parlante en el habitáculo del vehículo	64
Figura 52.	Activación de luz LED azul al detectar bostezo	70
Figura 53.	Análisis Detección de bostezo en el día.....	71
Figura 54.	Detección de bostezo nocturno	72
Figura 55.	Análisis detección de bostezo nocturno.....	73
Figura 56.	Detección de somnolencia y estimulación visual	75

Figura 57.	Análisis detección de somnolencia y estimulación visual	76
Figura 58.	Detección de somnolencia nocturna	77
Figura 59.	Detección de parpadeo.....	79
Figura 60.	Análisis de detección de parpadeo.....	80

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i>	<i>Ecuación cálculo de muestra.....</i>	10
<i>Ecuación 2.</i>	<i>Ecuación de división de pupila.....</i>	45
<i>Ecuación 3.</i>	<i>Ecuación de detección de movimiento de pupila izquierda</i>	45
<i>Ecuación 4.</i>	<i>Ecuación de detección de movimiento de pupila derecha.....</i>	45
<i>Ecuación 5.</i>	<i>Ecuación de apertura del ojo</i>	49
<i>Ecuación 6.</i>	<i>Cálculo de la potencia de la caja vibratoria.....</i>	57
<i>Ecuación 7.</i>	<i>Cálculo de la corriente de la caja vibratoria</i>	58

RESUMEN

El desarrollo y estudio de nuevas aplicaciones de la tecnología dentro del campo automotriz y el alto índice de accidentes de tránsito provocados por conductores en estado de somnolencia propone investigar, diseñar e implementar un sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi en la ciudad de Quito. Para lo cual se realizó una extensa investigación bibliográfica que respalde el desarrollo de la investigación en relación al uso de programación y electrónica aplicada al automóvil para usar los parámetros que se enfocan en detectar los factores fisiológicos del conductor en estado de fatiga o somnolencia en tiempo real durante la conducción. Mediante la obtención de los factores fisiológicos, el software analizó las diferentes condiciones de somnolencia y fatiga enviando hacia un circuito electrónico la activación de los sistemas de estimulación sensorial tales como el sistema de estimulación visual con tiras led alrededor del habitáculo del vehículo, estimulación auditiva a través de sonido y una estimulación de vibración por medio de una caja vibratoria compuesta de engranajes ubicada en el asiento que estimuló la zona lumbar del conductor, ya que la vibración producida genera ondas que viajan a través del cuerpo del conductor.

PALABRAS CLAVE:

- **SOMNOLENCIA**
- **FATIGA**
- **ESTIMULACIÓN SENSORIAL**
- **ACCIDENTES DE TRANSITO**

ABSTRACT

The development and study of new applications of technology within the automotive field and the high rate of traffic accidents caused by drowsy drivers proposes to investigate, design and implement a visual detection system to control drowsiness and sensorial stimulation of the driver through a digital camera in taxi vehicles in the city of Quito. For which an extensive bibliographic research was carried out to support the development of the research in relation to the use of programming and electronics applied to the automobile to use the parameters that focus on detecting the physiological factors of the driver in a state of fatigue or drowsiness in real time. while driving. By obtaining the physiological factors, the software analyzed the different drowsiness and fatigue conditions by sending the activation of sensory stimulation systems to an electronic circuit such as the visual stimulation system with LED strips around the vehicle interior, auditory stimulation to through sound and a vibration stimulation by means of a vibrating box composed of gears located in the seat that stimulated the driver's lumbar area, since the vibration produced generates waves that travel through the body of the driver.

KEYWORDS:

• **DROWSINESS**

• **FATIGUE**

• **SENSORY STIMULATION**

• **TRANSIT ACCIDENTS**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1 Antecedentes

(Cordova & Benavides, 2012) afirman que “En Ecuador y específicamente en la provincia de Cotopaxi, una de las principales causas de accidentes de tránsito es a causa de conductores que se encuentran en estado de somnolencia, ocasionando accidentes que provocan lesiones y hasta la muerte. Es por esto que se procedió a implementar un sistema de alarma que regule el voltaje y corriente del sistema de frenos del vehículo para ser accionado automáticamente cuando se detecte una condición de somnolencia”.

(López Romero, 2016) afirma que “Cuando un accidente ocurre a causa de somnolencia del conductor, existen señales como: El vehículo sale de su carril y no existe evidencia en la que el conductor realizó una maniobra para que no ocurra un accidente, por tal motivo se desarrolló un sistema de control de estado de somnolencia analizando las características faciales, frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno”.

(Flores, Armingol, & De la Escalera, 2011) en su artículo científico afirman que “El estado de somnolencia perturba la capacidad de vigilia y como resultado se obtiene la afectación de los sentidos, los individuos que presentan este estado denotan características que se evidencian en la cabeza o rostro de una persona tales como: parpadeo, asentamiento de cabeza, bostezo, movimiento ocular por tanto haciendo uso de la tecnología de visión por computador se puede abordar esta problemática y darles solución”.

(Sobrado Malpartida, 2003) Afirma que “La extensa aplicación que ofrece la visión artificial, es debido a que permite extraer información para que dentro de un proceso lógico pueda ser analizada, esta información se divide en tres tipos: Información espectral que se fundamenta en el color e intensidad de la escala de grises. La información temporal engloba aspectos de presencia y/o ausencia de variables dependientes del tiempo ya sea por situaciones, movimientos o procesos. La información espacial que analiza aspectos como la forma y posición de un objeto”.

(Moradela Moreno, 2018) Afirma que “Actualmente utilizando métodos de visión artificial se obtiene información del movimiento ocular que son analizados en tiempo real, debido a que la localización y el seguimiento de los ojos brindan información trascendente para utilizarla con diferentes áreas de estudio como psicología, lingüística cognitiva y diseño de productos”.

1.2 Planteamiento del problema

En la Figura 1, se observa el árbol de problemas (causa- efecto) que explica los motivo por los cuales surgió la investigación del “Diseño e implementación de un sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi”.

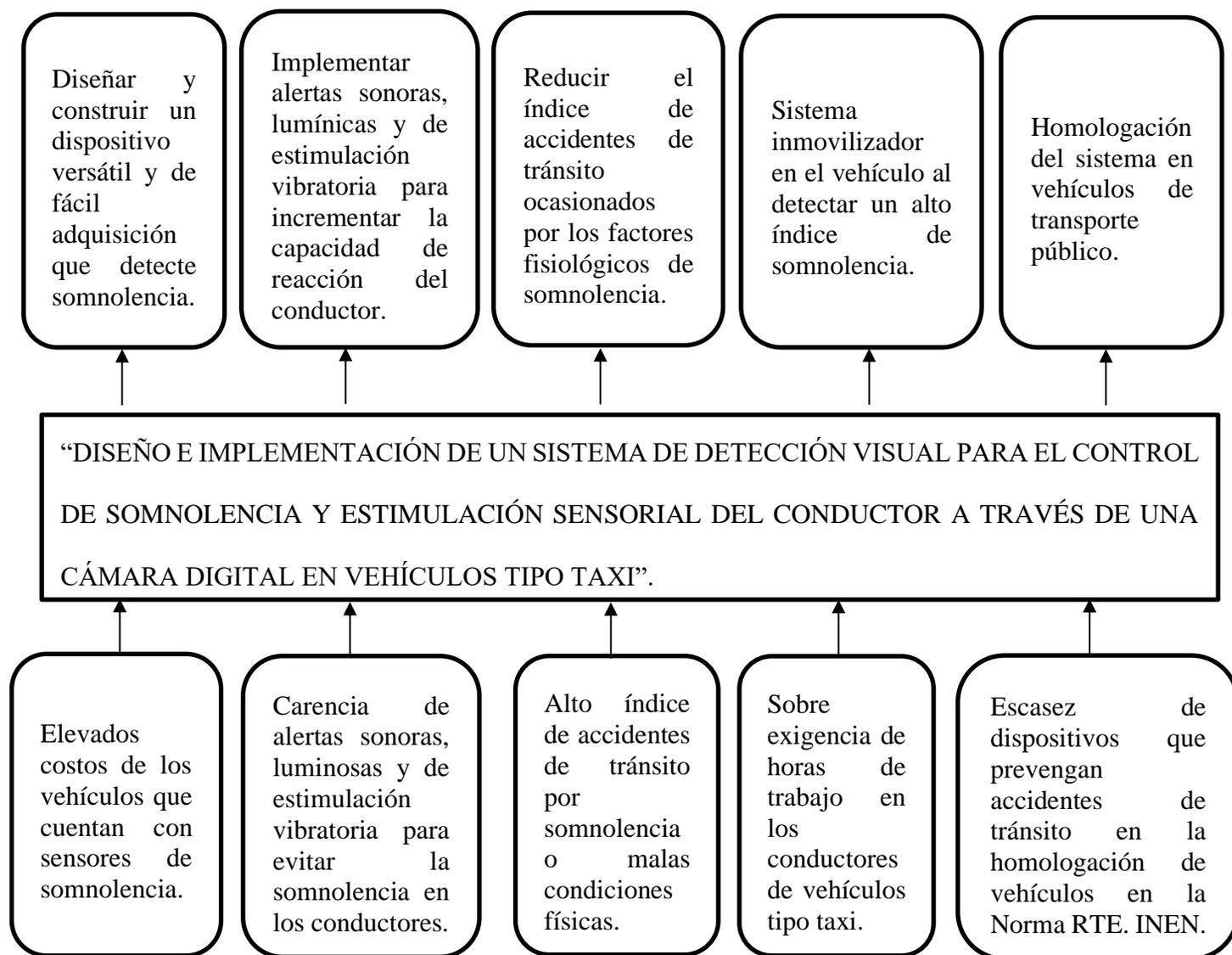


Figura 1. Árbol de problemas (causa-efecto) del sistema de control de somnolencia

1.3 Justificación e importancia

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE promueve en sus estudiantes la investigación de problemáticas que afecten a la sociedad dentro de su ámbito profesional donde involucra el desarrollo, descubrimiento y estudio de nuevas aplicaciones de la tecnología que puedan ser útiles para el desarrollo de nuestra sociedad.

La Cooperativa de Transporte de Automóviles La Floresta N° 16 en busca del constante mejoramiento de la calidad de servicio y seguridad que brinda a sus usuarios, tomó en consideración la necesidad de implementar en una de sus unidades que brinda el servicio de taxi en la ciudad de Quito, un sistema de detección de estado de somnolencia. Debido a que el número de accidentes de tránsito en los últimos dos años según estadísticas de la agencia nacional de tránsito en el año 2018 ocurrieron 353 accidentes de tránsito por conducir en estado de somnolencia o malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga), lesionados con un total de 171 y fallecidos 66. En 2019 hasta el mes de noviembre se registraron 221 accidentes ,5 lesionados y 0 fallecidos.

De esta forma el proyecto aumenta la prevención de accidentes de tránsito y fallecidos debido a que los conductores de vehículos tipo taxi en la ciudad de Quito conduzcan en estado de somnolencia o malas condiciones físicas, aprovechando oportunamente las ventajas que hoy en día ofrece la tecnología.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi.

1.5.2 Objetivos específicos

- Obtener la información teórica sobre sistemas controlados, programables y sistemas de detección visual para el desarrollo y ejecución del proyecto de investigación.
- Investigar las estadísticas en accidentes de tránsito producidas por el cansancio, fatiga y distracción del conductor en los horarios de trabajo de los conductores de vehículos tipo taxi.

- Realizar un análisis facial utilizando los movimientos lineales, horizontales y axiales que se producen en el rostro del conductor para la detección de somnolencia, fatiga y distracción.
- Implementar un sistema electrónico en tiempo real que detecte los movimientos faciales y oculares de los conductores en los diferentes horarios de trabajo en un vehículo tipo taxi.
- Diseñar un módulo electrónico automatizado de estimulación: visual, auditiva y vibratoria.
- Realizar pruebas de ruta y analizar la reacción de los conductores a la estimulación sensorial en los diferentes horarios de trabajo de un vehículo tipo taxi.

1.6 Metas

- Determinar el impacto que tiene conducir en estado de somnolencia o malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga) en el país, en los horarios de trabajo de los conductores tipo taxi.
- Desarrollar una investigación en la que ayudados de la tecnología se reduzca el índice de accidentes de tránsito y muerte por conducir en estado de somnolencia o malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga) en el país, en los horarios de trabajo de los conductores tipo taxi.
- Implementar un sistema de detección de somnolencia y malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga) mediante estimulación sensorial en los conductores de una unidad de taxi de la Cooperativa de Transporte de automóviles “La Floresta” N. °16 en la ciudad de Quito.

1.7 Hipótesis

El sistema de detección visual y estimulación sensorial a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi, funcionará las 24 horas del día independientemente del conductor a bordo.

1.8 Variables de investigación

1.8.1 Variable independiente

En la Tabla 1 se detallan las variables independientes para la detección de los factores fisiológicos característicos del estado de somnolencia y fatiga.

Tabla 1
Variables independientes

Variables independientes					
Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumento
Horario de conducción	Diurno	Conducción en el horario de 06:00 – 14:00	Horas GMT 5	Hora del Día	Raspbery Pi
	Vespertino	Conducción en el horario de 14:00 – 22:00			
	Nocturno	Conducción en el horario de 22:00 – 06:00			
Características de detección visual aplicadas a la distracción y sueño del conductor en tiempo real	Velocidad de parpadeo	22 parpadeos por minuto	Porcentaje de tiempo en que los ojos se encuentran cerrados	Medición	cámara infrarroja NoIR V2
	Detección del rostro	Movimiento de los ojos	Distancia entre ojos	Medición y cálculos	cámara infrarroja NoIR V2
	Dirección de Asentamiento o vertical y horizontal de cabeza	Posición relativa de la línea de los ojos	Distancia	Medición y cálculos	Protocolo de pruebas
	Dirección de Rotación horizontal	(izquierda menor a dos grados derecha mayor a diez grados)	Angulo de giro (grados)	Medición	Protocolo de pruebas

CONTINÚA →

Boca abierta	Bostezo	Distancia de apertura de la boca	Medición y cálculos	Protocolo de pruebas
--------------	---------	----------------------------------	---------------------	----------------------

1.8.2 Variables dependientes

En la Tabla 2 se detallan las variables dependientes para la activación de tecnologías anti somnolencia de estimulación sensorial mediante actuadores.

Tabla 2
Variables dependientes

Variables Dependientes					
Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Activación de Tecnologías anti-somnolencia	Estimulación visual	Tiras Led RGB	Intensidad de luz	Medición	Multímetro
	Estimulación auditiva	Alertas sonoras	Intensidad de sonido	Medición	Multímetro
	Estimulación vibratoria	Caja vibratoria	Intensidad vibratoria	Medición	Multímetro

1.9 Metodología del desarrollo del proyecto

El sistema de detección visual para el control de somnolencia con su propuesta de diseño e implementación, pretendió establecer los parámetros de somnolencia que detectará el sistema, los mismos que contribuyeron al control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital, para lo cual se utilizaron métodos de investigación científica.

En la Tabla 3 se detallan las condiciones de estimulación sensorial, el sistema detecta el estado de fatiga cuando el conductor bosteza tres veces o un parpadeo prolongado o si supera los

22 parpadeos por minuto, somnolencia cuando detecta cabeceo y detecta distracción cuando el conductor no centra su mirada hacia la carretera, activando las salidas correspondientes en cada condición.

Tabla 3
Condiciones de respuesta estimuladora

Condiciones de respuesta estimuladora		
Fatiga	Somnolencia	Distracción
Estimulación auditiva	Estimulación auditiva	Alarma visual
Alarma visual	Alarma visual	
	Estimulación vibratoria	

En la Tabla 4 se detallan los efectos luminosos de activación según las condiciones de respuesta estimuladora, el efecto luminoso de color lila se activa cuando el conductor presenta distracción, efecto luminoso de color rojo bajo la condición de somnolencia y efecto luminoso de color azul en estado de fatiga.

Tabla 4
Condiciones de activación del efecto luminoso

Condiciones de activación del efecto luminoso			
Apagado	Lila	Rojo	Azul
Sin distracción	Distracción	Somnolencia detectada	Fatiga

El sistema de detección visual a través de una cámara infrarroja NoIR V2 para la detección de los factores fisiológicos de somnolencia del conductor, realizó un proceso de seguimiento facial,

que fue implementado en un vehículo tipo taxi de la cooperativa de Taxis “La Floresta” con sede ubicada en la ciudad de Quito. La cámara fue ubicada encima del tablero mediante un soporte móvil en el que se puede ajustar la altura de la cámara para mejorar la detección del conductor y evitar falsas detecciones de fatiga o somnolencia, además cuenta con características tales como: sensor de imagen Sony IMX 219 PQ CMOS en un módulo de foco fijo que detecta y captura la información que compone la imagen, una resolución de 8 megapíxeles, una calidad de imagen de 3280 x 2464 píxeles y un lente 1/4"; Unas dimensiones de 23,86 x 25 x 9 mm y un peso de 3 g; la velocidad de transferencia de imágenes a 1080p es de 30 fps (Cuadros por segundo) y la velocidad de transferencia a 720p es de 60 fps, de igual manera el bus de comunicación CSI se ubicó en los alrededores del tablero.

El sistema tiene como controlador electrónico la tarjeta Raspberry Pi que es un micro ordenador capaz de trabajar a frecuencias muy elevadas, manteniendo un procesamiento de datos a alta velocidad y actuando como unidad de control donde todos los dispositivos se conectaron a través de él, dicha tarjeta utilizará un lenguaje de programación en Python y en C++ junto a la biblioteca Open CV que se encargará del procesamiento de la imagen facial y ocular.

La estimulación visual es a través de una tira de leds RGB de 24-28 lúmenes de intensidad regulable que abarcara toda el área del habitáculo que es visible para el conductor y sus acompañantes para alertar cuando se distraiga, tendrá diferentes efectos de iluminación según las condiciones detalladas en la Tabla 4, además cuenta con una estimulación auditiva que según la OMS el ser humano puede soportar hasta 55 decibeles sin causar daño a su salud, es por esto que se utilizaron bocinas de 8 ohm y 4 watts de potencia que emiten sonidos de alerta según las condiciones detalladas en la Tabla 3.

La estimulación vibratoria que se genera en el asiento del conductor por condiciones de somnolencia utiliza una caja vibratoria que a través de un conjunto de engranajes aumenta el número de oscilaciones y la magnitud de la fuerza vibratoria generando ondas que se transmiten hacia el conductor que generó una respuesta haciendo que el conductor fije su atención en el camino nuevamente. Tanto el módulo electrónico de control de actuadores de luces, audio, vibración, y el módulo raspberry se colocaron por debajo de la columna de dirección.

La Cooperativa de taxis La Floresta realiza turnos en grupos de 10 conductores rotativos cada día de la semana con el fin de garantizar unidades de taxis para sus usuarios en la parada asignada para sus labores ubicadas en las calles Madrid y 12 de octubre.

Las pruebas fueron realizadas con un tamaño de población de 10 conductores que se encontraban en turno ya que esto les obliga a estar constantemente en la parada de trabajo, donde consideramos sus opiniones y reacciones al sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi con el objetivo de garantizar un nivel de confianza del 99% y un margen de error del 5%.

Cálculo de la muestra para realizar las pruebas.

$$n = \frac{Z^2 * N * P * Q}{E^2(N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

Ecuación 1. Ecuación cálculo de muestra

Donde:

n= Tamaño de la muestra

Z= Margen de seguridad (99) %

N= Numero de población (6)

P= Probabilidad pertinente del hecho que se investiga (0.9)

Q= Probabilidad no pertinente del hecho que se investiga (0.1)

E²= 5% margen de error

$$n = \frac{2.58^2 * 10 * 0.9 * 0.5}{0.05^2(10 - 1) + 2.58^2 * 0.9 * 0.5}$$

$$n=10$$

∴ *Se deben realizar 10 pruebas*

1.9.1 Método inductivo

(Moran Delgado & Alvarado Cervantes , 2010) Afirman que en el “*Método inductivo*. Se utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general.”

Mediante este método se determinarán los síntomas y frecuencia de somnolencia que presentan los conductores y así evaluarlos para posteriormente activar el protocolo de activación de los actuadores.

1.9.2 Método deductivo

(Moran Delgado & Alvarado Cervantes , 2010) Mencionan que el “*Método deductivo*. Es un método de razonamiento que consiste en tomar conclusiones generales para obtener explicaciones particulares.”

Mediante este método se determinará el comportamiento de los conductores en estado de somnolencia en base a la estimulación sensorial y las pruebas a las que fue sometido al utilizar el sistema de detección visual para el control de somnolencia.

1.9.3 Método analítico

(Moran Delgado & Alvarado Cervantes , 2010) Afirman que el “*Método analítico*. Proceso cognoscitivo que consiste en descomponer un objeto de estudio mediante la separación de cada una de las partes del todo para estudiarlas en forma individual.”

Mediante este método se obtendrán datos de las pruebas realizadas al conductor en diferentes condiciones horarias de conducción utilizando el sistema de control de somnolencia y estimulación sensorial, haciendo registro los resultados y determinar la eficiencia del sistema.

1.9.4 Método de medición

Para (Gómez Rodríguez & Valdeoriola Roquet, 2012) “su finalidad es conocer y explicar la realidad para controlarla y efectuar predicciones.”

Este método permite detectar los valores permitidos declarados en la programación del sistema de control de somnolencia y estimulación sensorial, en tiempo real y compararlas para actuar según corresponda dotando la seguridad para la que fue creado.

1.9.5 Método experimental

(Moran Delgado & Alvarado Cervantes , 2010) Afirman que el método experimental “Se propicia la realización de un fenómeno mediante el estímulo deliberado de la combinación de

algunos elementos. El investigador manipula ciertas variables para observar sus efectos en el fenómeno estudiado.”

Mediante este método el sistema de control de somnolencia y estimulación sensorial se analizará las diferentes variables dependientes e independientes y establecer un protocolo de activación de actuadores bajo ciertas condiciones establecidas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fatiga

“Se define como fatiga a la disminución de la eficiencia a responder estímulos, después de haber sido sometido a un periodo de esfuerzo físico o mental que refleja un evidente deterioro en la capacidad de realizar un trabajo”. (Guerrón Chávez, 2015)

“La somnolencia en los conductores es producto de fatiga o cansancio, debido a largas jornadas de conducción y la monotonía del camino son unos de los factores que inciden el alto índice de accidentes de tránsito estos índices van desde 20% a 30% en países desarrollados y un 54% en conductores de transporte pesado en países que se están desarrollando”. (Guerrón Chávez, 2015)

2.2 Somnolencia

2.2.1 Definición

Es la posibilidad de que un individuo se quede dormido en un determinado momento, los cuatro factores principales que inciden en la somnolencia son:

2.2.1 Principales factores

- “Momento del día: Son horas del día en los que la somnolencia en el conductor aparece con facilidad indistintamente del tiempo de descanso que haya tenido, es por eso que no es factible conducir por varias horas sin descanso”. (CEA, 2015)
- “La estimulación ambiental y el nivel de actividad del conductor: Se refiere a la incidencia que tiene el entorno vial, ya que si estos son monótonos ayuda a que la somnolencia del

conductor sea elevada debido a que el conductor no se encuentra en un estado de alerta activo”. (CEA, 2015)

- “Las diferencias individuales de los conductores: Debido a que algunas personas presentan alto rendimiento sea en horarios matutinos, vespertinos y nocturnos, la identificación de esto favorece a que el conductor sepa en qué horario es más eficiente”. (CEA, 2015)
- Las horas de vigilia continuada: Cuanto más tiempo se esté despierto, más difícil será resistirse al sueño. Además, si el descanso nocturno no ha sido totalmente reparador, la recuperación de horas de sueño no habrá sido completa. En estos casos la conducción puede ser peligrosa. (CEA, 2015)

2.2.2 Factores fisiológicos

(Egas Cunalata, 2017) Afirma que “La mayoría de personas que presentan somnolencia presentan los siguientes signos”:

a. Parpadeo frecuente

Según (Cabezas, 2017) afirma que “El parpadear ayuda a barrer y lubricar los ojos, logrando así evitar el enrojecimiento y dar sensación de cansancio. Mediante su estudio realizado concluye que una persona parpadea un promedio de 15 a 20 veces por minuto”.

En la Figura 2 se aprecia una persona con el ojo cerrado, dando a entender lo que sucede en un parpadeo.



Figura 2. Representación de un parpadeo

Fuente: (Cabezas, 2017)

b. Tiempo de parpadeo prolongado

Según (Wilkinson & et al., 2013) en su artículo científico, en base a sus estudios determinaron que el tiempo estimado de parpadeo a:

Condiciones normales: Es menor a 200 ms

Indicios de Somnolencia: Es mayor a 500 ms

En la Figura 3 se observa en el lado izquierdo de la figura la representación del conductor en un estado inicial de ojos abiertos, en el lado derecho de la figura se observa el conductor con los ojos cerrados por un largo tiempo.

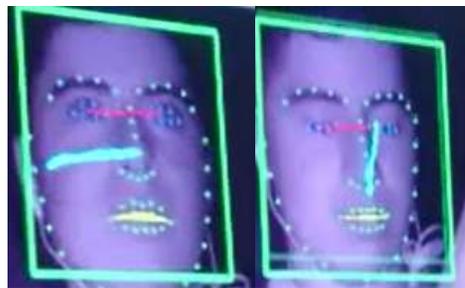


Figura 3. Parpadeo prolongado dentro del entorno virtual

En la Figura 4 observamos la respuesta del sistema dentro del entorno virtual de la raspberry Pi cuando se detecta una alerta de somnolencia.



Figura 4. Alerta de somnolencia dentro del entorno virtual

c. Bostezos excesivos

(medlineplus, 2019) Bostezar es abrir involuntariamente la boca realizando una inhalación profunda y prolongada de aire y se presenta con mayor frecuencia debido al cansancio, sueño o consumo de medicamentos.

En la Figura 5 se observa la detección de las expresiones faciales del conductor y la apertura de su boca, donde el software interpreta esta condición como bostezo si la apertura de boca es mayor a 2 segundos

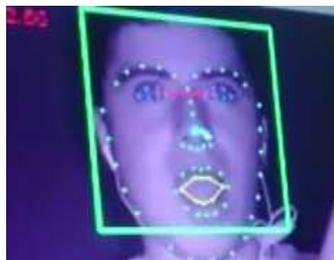


Figura 5. Detección de Bostezo en el entorno virtual

d. Inclinación de cabeza

Según (Egas Cunalata, 2017) “Se define como inclinación de cabeza al movimiento involuntario y abrupto de la cabeza hacia abajo o hacia algún lado, este síntoma se presenta cuando un conductor entra en estado de somnolencia. Para la programación se definirán puntos específicos dados por coordenadas X e Y dentro de los procesos y subprocessos”.

En la Figura 6, se observa la detección facial del conductor bajo la condición de cabeceo, donde se aprecia que la cabeza del conductor se encuentra inclinada y una leyenda en color celeste

con las palabras cabeceo detectado, que muestra la respuesta del sistema a esta condición dentro del entorno virtual.



Figura 6. Detección inclinación de cabeza dentro del entorno virtual

e. **Distracción**

(Montes, Ledesma, & Póo, 2014) Afirman que “Se define como distracción a la inatención o falta de concentración del conductor en la vía y su entorno durante la conducción, las tasas de accidentes de tránsito se han incrementado notoriamente en el transcurso de los años, pero no se la define en un porcentaje en la que participa directamente, si no como un factor principal que incide en los accidentes de tránsito. Es por esto que el estudio del comportamiento de un conductor durante la conducción constituye un amplio campo de investigación”.

En la figura 7, se observa la detección facial del conductor bajo la condición de distracción, donde se aprecia que la cabeza del conductor se encuentra girando hacia la derecha y una leyenda en color celeste con las palabras derecha o izquierda según el movimiento del conductor, si este sobrepasa el umbral de giro tanto a la derecha o izquierda el sistema detecta esta condición como distracción dentro del entorno virtual



Figura 7. Detección de distracción derecha en el entorno virtual

No ha sido posible lograr un acuerdo en el que se establezcan los porcentajes de la incidencia de distracción en accidentes de tránsito, pero debido a que la gravedad del problema es evidente varias investigaciones determinan las siguientes estimaciones:

En la Tabla 5, se detallan 6 investigaciones con diferentes hallazgos que pretenden determinar la incidencia de la distracción en los accidentes de tránsito.

Tabla 5

Diferencias en las estimaciones en cuanto al rol de la distracción en incidentes de tránsito

Autor	Hallazgos
Dingus et al., 2006 ; Klauer et al., 2006	La inatención contribuye en el 80% de los choques y el 65% de los casi choques.
Wang et al., 1996	La inatención es un factor contributivo en el 25-30% de los choques.
NHTSA, 1997	La distracción y la inatención son factores contributivos en el 25-50% o más de los choques de tránsito.
Neale, Dingus, Klauer, Sudweeks & Goodman, 2005	La inatención contribuye en el 78% de los incidentes.
Neale, et al., 2005; Stutts et al., 2001; Wang et al., 1996	La distracción es un factor de riesgo en el 13% y el 50% de los choques.
Stutts et al., 2001; Young et al., 2003	La distracción es un factor contributivo en la mitad de los choques por inatención.

Fuente: (Montes, Ledesma, & Póo, 2014)

2.2 Incidencia de la somnolencia en accidentes de tránsito en el Ecuador

(ANT, 2019) Afirma que según las estadísticas realizadas durante el año 2019 hasta el mes de noviembre entre los siniestros por causas probables a nivel nacional conducir en estado de somnolencia o malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga) presenta los siguientes resultados.

En la Figura 8 se observa el cuadro N°6 de las estadísticas de siniestros de tránsito proporcionadas por la ANT en su sitio web, según causas probables y mes de ocurrencia hasta noviembre del año 2019, en el rectángulo de color verde se encuentran las estadísticas por conducir en estado de somnolencia o malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga).

AGENCIA NACIONAL DE TRÁNSITO

CUADRO N° 06
SINIESTROS DE TRÁNSITO, SEGÚN CAUSAS PROBABLES Y MES DE OCURRENCIA

SINIESTROS, ENERO A NOVIEMBRE 2019

CÓD	CAUSAS PROBABLES	TOTAL	%	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	TOTAL	22.348	100%	1.493	1.926	3.072	2.003	2.018	2.102	2.099	2.151	2.101	1.796	2.089	0
C1	Caso habitual o fuerza mayor (operación de vehículos nuevos, descuido, inundación, caída de peñas, árbol, presencia intemperie o imprevista de pezoneros en la vía, etc.)	141	0,7%	21	15	29	8	12	14	13	14	8	8	22	
C2	Presencia de agentes extraños en la vía (agua, aceite, piedra, barro, escombros, tramos, etc.)	152	0,7%	11	9	10	13	8	17	20	12	18	18	18	
C3	Conducir en estado de somnolencia o malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga)	221	1,0%	30	25	30	31	17	28	22	13	17	8	10	

Figura 8. Estadística del año 2019 por siniestros causados por conducir en estado de somnolencia

Fuente: (ANT, 2019)

En la Figura 9 en el rectángulo de color verde se encuentran las estadísticas de lesiones causadas por conducir en estado de somnolencia o malas condiciones físicas (sueño, cansancio y fatiga) en siniestros de tránsito proporcionadas por la ANT en su sitio web, según causas probables y mes de ocurrencia hasta noviembre del año 2019,

CUADRO N° 09
SINIESTROS, LESIONADOS Y FALLECIDOS EN STIO SEGÚN DÍA Y HORA DE OCURRENCIA A NIVEL NACIONAL,
NOVIEMBRE 2019

SINIESTROS:

RANGO HORA	TOTAL	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	NOICE
TOTAL	2.089	232	204	195	225	380	463	330	
00:00 A 00:59	66	3	4	3	7	5	23	21	
01:00 A 01:59	74	5	5	4	7	15	18	20	
02:00 A 02:59	75	2	0	2	4	7	27	33	
03:00 A 03:59	62	6	2	1	2	11	23	17	
04:00 A 04:59	63	2	4	3	5	14	19	16	
05:00 A 05:59	72	7	3	3	3	18	15	23	
06:00 A 06:59	92	16	13	7	7	19	14	16	
07:00 A 07:59	120	17	14	14	15	20	22	18	
08:00 A 08:59	88	11	17	5	15	18	12	10	
09:00 A 09:59	69	11	6	8	6	11	14	13	
10:00 A 10:59	72	10	8	6	10	14	12	12	
11:00 A 11:59	82	7	8	3	12	13	20	13	
12:00 A 12:59	82	15	4	8	8	17	17	13	
13:00 A 13:59	89	10	3	10	18	14	15	13	
14:00 A 14:59	94	13	13	14	8	11	20	15	
15:00 A 15:59	84	17	14	13	4	15	12	3	
16:00 A 16:59	124	17	20	14	11	18	17	27	
17:00 A 17:59	112	10	14	11	12	24	24	17	
18:00 A 18:59	104	10	11	16	12	17	22	16	
19:00 A 19:59	122	13	12	11	18	24	25	13	
20:00 A 20:59	102	10	7	11	11	17	26	20	
21:00 A 21:59	88	3	5	7	3	20	27	11	
22:00 A 22:59	92	7	8	8	11	21	25	12	
23:00 A 23:59	61	4	3	7	10	17	14	6	

Figura 11. Estadísticas de Siniestros Según Día Y Hora De Ocurrencia A Nivel Nacional-diciembre 2019

Fuente: (ANT, 2019)

2.4 Visión Artificial

Según (Sanabria , John , Archila , & John, 2011) “La visión artificial se asemeja a la visión humana, debido a que, haciendo uso de las nuevas tecnologías, mediante software proporciona la adquisición de datos relevantes usados para varias aplicaciones, una de ellas es mediante una cámara para obtener imágenes. Donde la imagen es procesada dentro de un arreglo o matriz de puntos específicos, a los cuales se les asigna un valor de coordenadas bidimensional. Posterior a la adquisición de la imagen, existen procesos y subprocesos de análisis con el fin de diferenciar las características especificadas en las mismas y poder cumplir con su función”.

En la Figura 12 en el lado izquierdo de la figura se muestra la distribución de coordenadas para la detección facial del conductor, en el lado derecho de la figura se muestra la adquisición de imagen y la detección facial mediante coordenadas dentro del entorno virtual.

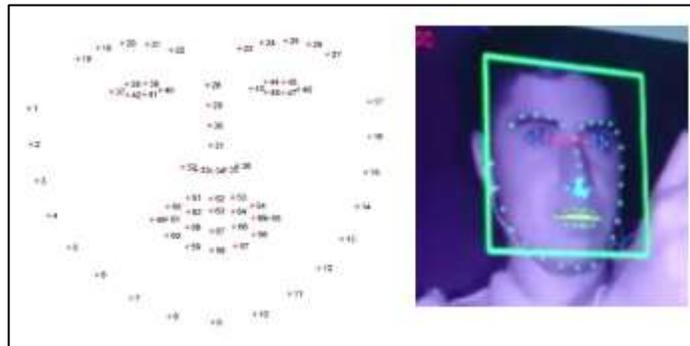


Figura 12. Detección de puntos específicos para detección del rostro dentro del entorno virtual

2.5 Visión Nocturna

Mediante el avance de la tecnología, se han desarrollado sistemas que hacen posible que el hombre pueda ver en condiciones de ausencia de luz.

2.5.1 Detección infrarroja

Según (Cañada & MontesinoEsparteros, 1993) Los sistemas de Visión Nocturna basados en la detección de radiación infrarroja (Forward Looking Infrared Sensors: FLIR) aprovechan que los cuerpos emiten calor para observar el entorno de manera pasiva

2.5.2 Sensores de infrarrojos

a. Sensores infrarrojos térmicos

Producen corriente eléctrica proporcional a los incrementos de temperatura debidos a la energía radiada por los cuerpos observados. Los tiempos de respuesta de estos sensores son altos (del orden de los milisegundos).

b. Sensores cuánticos

Son semiconductores que aprovechan, la energía fotónica para generar electrones y pasar del estado de corte al de conducción, generando así una carga que contiene información y que se trata posteriormente.

En la Figura 13 se observa la adquisición de imagen de la cámara No Ir en condiciones nocturnas o de ausencia de luz, gracias a la conversión de escala de grises.



Figura 13. Visión nocturna de la cámara No Ir dentro del entorno virtual

2.6 Procesamiento digital de imágenes

2.6.1 Librería de visión por computador Opencv

Opencv es una librería de código abierto de visión por computador, implantado con la finalidad de facilitar aplicaciones destinadas al uso de visión por computador, la biblioteca tiene cerca de un conjunto de 2500 algoritmos que han sido mejorados, con el fin de utilizarlos en la detección y reconocimiento de caras y a su vez para la identificación de objetos que se encuentran en nuestro entorno, identificar movimiento de cámaras y lograr la extracción de modelos 3D de diferentes objetos. La librería opencv está destinada a la visión por computador en tiempo real, y en las cuales se destacan funciones de interacción hombre-máquina, reconocimiento de objetos y gestos, y seguimientos de movimientos de objetos (Nacimiento García, Nacimiento García, & Machín Castilla, 2015)

En la Figura 14 se observa las funciones más destacadas de la librería open CV dentro de las más de 500 funciones que ofrece esta librería para ser utilizadas en el entorno virtual.

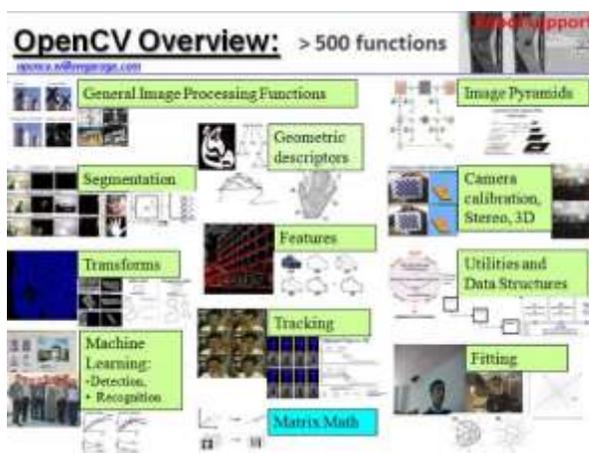


Figura 14. Funciones de librería OpenCV

Fuente: (Nacimiento García, Nacimiento García, & Machín Castilla, 2015)

2.6.2 Instalación de Open CV en Raspberry Pi 3

Se debe expandir el sistema de archivos para poder utilizar todo espacio de memoria de la tarjeta SD.

En la Figura 15 se observa el inicio de la instalación de OpenCV en Raspberry pi, para que se pueda hacer uso de las funciones dentro del entorno virtual.



```
Install OpenCV 4 on your Raspberry Pi
1 $ sudo raspi-config
```

Figura 15. Código para la expansión de archivos de memoria de raspberry

Fuente: (Rosebrock, pyimagesearch, 2019)

En la Figura 16 se observa el menú de opciones avanzadas de la Raspberry pi, para que se pueda avanzar con la instalación de OpenCV.

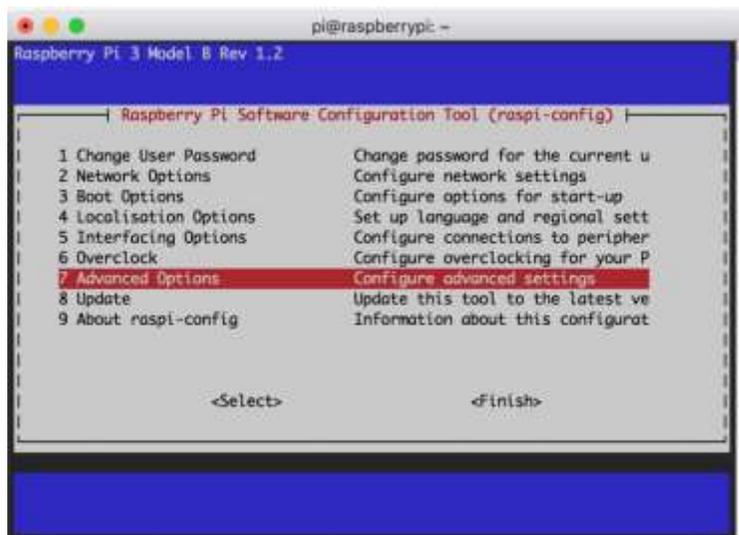


Figura 16. Menú de la configuración de la raspberry

Fuente: (Rosebrock, pyimagesearch, 2019)

En la Figura 17 Seleccionamos expandir sistema de archivos, para poder almacenar los datos dentro de la memoria micro Sd.

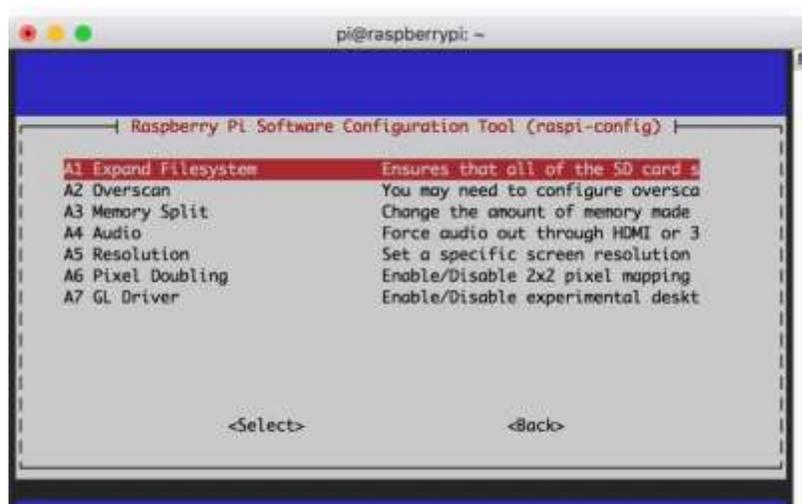


Figura 17. Expansión de memoria de la tarjeta micro sd

Fuente: (Rosebrock, pyimagesearch, 2019)

Una vez expandido los archivos de la tarjeta de memoria debemos reiniciar la raspberry los siguientes comandos son utilizados para instalar paquetes de OpenCV y complementos necesarios, todos los comandos se ingresan a través del terminal de la Raspberry Pi 3.

En la Figura 18 se encuentra escrito el código para reiniciar la raspberry y guardar las configuraciones antes realizadas.

```
Install OpenCV 4 on your Raspberry Pi
1 $ sudo reboot
```

Figura 18. Código para reiniciar la raspberry

Fuente: (Rosebrock, pyimagesearch, 2019)

En la Figura 19 se verifica que la tarjeta micro SD ha sido expandida correctamente mediante el comando `df -h` y se muestran los datos mostrados en la figura.

	Filesystem	Size	Used	Avail	Use%	Mounted on
1	\$ df -h					
2	Filesystem	Size	Used	Avail	Use%	Mounted on
3	/dev/root	30G	4.2G	24G	15%	/
4	devtmpfs	434M	0	434M	0%	/dev
5	tmpfs	438M	0	438M	0%	/dev/shm
6	tmpfs	438M	12M	427M	3%	/run
7	tmpfs	5.0M	4.0K	5.0M	1%	/run/lock
8	tmpfs	438M	0	438M	0%	/sys/fs/cgroup
9	/dev/mmcblk0p1	42M	21M	21M	51%	/boot
10	tmpfs	88M	0	88M	0%	/run/user/1000

Figura 19. Verificación de la expansión de la memoria de la raspberry

Fuente: (Rosebrock, pyimagesearch, 2019)

Empezamos a actualizar nuestro sistema con el siguiente comando:

- `sudo apt - get update && sudo apt - get upgrade`

Instalamos CMake que es la herramienta de desarrollador para visión por computador

- `sudo apt - get install build - essential cmake unzip pkg - config`

Instalamos bibliotecas de imágenes y videos que son utilizadas para interactuar con archivos multimedia.

- `sudo apt - get install libjpeg - dev libpng - dev libiff - dev`
- `sudo apt - get install libavcodec - dev libavformat - dev libswscale - dev libv4l - dev`
- `sudo apt - get install libxvidcore - dev libx264 - dev`

Instalamos GTK que es una biblioteca de componentes gráficos multiplataforma para interfaces graficas de usuario

- *sudo apt - get install libgtk - 3 - dev*

Instalamos dos paquetes para las optimizaciones matemáticas de la biblioteca de visión artificial OpenCV

- *sudo apt - get install libatlas - base - dev gfortran*

Instalamos la interfaz de desarrollo de Python 3

- *sudo apt - get install python3 - dev*

Ahora descargaremos OpenCV 4.0.0 y opencv_contrib que contiene módulos y paquetes complementarios para OpenCV

- *cd ~*
- *wget - O opencv.zip https://github.com/opencv/opencv/archive/4.0.0.zip*
- *wget - O opencv_contrib.zip https://github.com/opencv/opencv_contrib/archive/4.0.0.zip*

Descomprimos los archivos descargados

- *unzip opencv.zip*
- *unzip opencv_contrib.zip*

Configuración del entorno virtual Python 3 para la instalación de OpenCV

Un entorno virtual permite instalar diferentes bibliotecas en un espacio independiente para cada uno de los proyectos que deseamos realizar, este entorno virtual permite separar cada uno de

los proyectos de manera que no existan conflictos al instalar diferentes complementos que se necesiten.

Instalamos el administrador de paquetes pip que permite instalar bibliotecas y dependencias adicionales

- *wget https://bootstrap.pypa.io/get – pip.py*
- *sudo python3 get – pip.py*

Creamos e instalamos las herramientas necesarias para la creación de entornos virtuales

- *sudo pip install virtualenv virtualenvwrapper*
- *sudo rm –rf ~/get – pip.py ~/.cache/pip*

Debemos actualizar nuestro archivo de perfil para que la instalación de las herramientas de entornos virtuales sea exitosa

- *echo – e "\n# virtualenv and virtualenvwrapper" >> ~/.profile*
- *echo "export WORKON_HOME = \$HOME/.virtualenvs" >> ~/.profile*
- *echo "export VIRTUALENVWRAPPER_PYTHON =/usr/bin/python3" >> ~/.profile*
- *echo "source /usr/local/bin/virtualenvwrapper.sh" >> ~/.profile*

Ejecutamos el archivo de nuestro perfil

- *source ~/.profile*

Creamos nuestro entorno virtual que lo hemos llamado cv

- *mkvirtualenv cv – p python3*

Debemos verificar que nuestro entorno virtual se ha creado exitosamente

- *workon cv*

Instalamos numpy que es una biblioteca de funciones y operaciones matemáticas de alto nivel, esta biblioteca es fundamental para la correcta instalación de OpenCV

- *pip install numpy*

2.7 Métodos de detección de rostro

2.7.1 Haar Cascade Face Detector en OpenCV

La detección de rostros a través del clasificador haar Cascade fue utilizado durante muchos años, por lo cual se considera un algoritmo de detección de objetos de aprendizaje autónomo propuesto por Paul Viola y Michael Jones. Es un enfoque que empieza con la formación a partir de muchas imágenes positivas, las cuales son imágenes detectadas de rostros, y negativas, las cuales imágenes que no han detectado rostro. (Soto Salcedo, 2016)

En el análisis de una imagen en busca de un rostro, se debe recorrer la imagen completamente, esto se realiza tomando pequeños cuadros de la imagen original. La mayor parte de los cuadros que se analizan corresponden con fragmentos de la imagen donde no se encuentran rostros, por lo tanto, un método rápido y sencillo, es analizar la pequeña ventana de la imagen, si no es un rostro, desecharla y no procesarla de nuevo. De esta manera, se optimiza el tiempo necesario para comprobar una posible región de un rostro en la imagen completa. (Soto Salcedo, 2016)

En la Figura 20 se observa como el clasificador Haarcascade, realiza la detección del rostro fijándose en puntos específicos que faciliten la misma.



Figura 20. Reconocimiento facial por clasificador Haarcascade

Fuente: (Soto Salcedo, 2016)

El código inicial para la utilización de este método es el siguiente:

```
faceCascade = cv2.CascadeClassifier('./haarcascade_frontalface_default.xml')
```

```
faces = faceCascade.detectMultiScale(frameGray)
```

```
for face in faces:
```

```
    x1, y1, w, h = face
```

```
    x2 = x1 + w
```

```
    y2 = y1 + h
```

a. Características principales del método de detección de rostro haarcascade

- Funcionamiento en tiempo real
- Arquitectura simple
- Detección de rostros a diferentes escalas

2.7.2 Detector de rostro HOG en Dlib

Es un modelo ampliamente utilizado para la detección de rostro, el cual está conformado de 5 filtros; frontal, izquierdo, derecho, frontal pero girado hacia la izquierda y frontal pero girado hacia la derecha (Gupta, 2018)

Los creadores de este clasificador formaron un support Vector Machine SVM que es un tipo de algoritmo de aprendizaje autónomo para realizar la clasificación, en la cual usa una ventana de detección deslizante que se mueve alrededor de la imagen. En cada posición de la ventana del detector, se calcula un descriptor HOG para la ventana de detección. Este descriptor se muestra luego al SVM entrenado, que lo clasifica como “rostro” o “no rostro” (Gupta, 2018)

En la Figura 21 se observa como el clasificador de rostro HOG haciendo uso de la librería Dlib, detecta la ubicación del ojo del individuo.



Figura 21. Clasificador de rostro HOG en Dlib

Fuente: (Gupta, 2018)

El código usado en python para la declaración del clasificador HOG es el siguiente:

```
hogFaceDetector = dlib.get_frontal_face_detector()
```

a. Características principales del método de detección de rostro HOG

- Método más rápido en CPU
- Funciona muy bien en caras frontales y ligeramente no frontales
- Es un modelo de bajo consumo de recursos de CPU

b. Comparación entre el método de detección OpenCV Haarcascade y Dlib HOG

En la figura 22 se observa a la izquierda de la figura la detección del rostro usando el clasificador Haarcascade y en la derecha de la figura la detección del rostro mediante el uso del clasificador HOG, denotando la diferencia que existe entre los dos clasificadores en la detección facial.



Figura 22. Comparación entre el clasificador Haarcascade y HOG

Fuente: (Gupta, 2018)

El sistema clasificador de rostro HOG tiene un ligero mayor rango de detección al girar un rostro de una manera muy pronunciada a la izquierda o derecha, pero a su vez los dos métodos de detección funcionan de una manera similar.

2.8 Librería Dlib

Dlib es una herramienta de C++ que contiene algoritmos de aprendizaje de máquina, para el reconocimiento y procesamiento de imágenes, por lo cual esta herramienta permite ubicar las coordenadas (x,y) en los puntos característicos que una persona posee (Rosebrock, pyimagesearch, 2017)

La librería Dlib es utilizada para la obtención de las partes relevantes de la cara, ojos, boca, nariz entre otras, eso quiere decir que cada una de las partes está definida por un conjunto de puntos preestablecidos, la detección de cada una de las regiones de la cara tiene muchas aplicaciones entre las cuales son la realidad aumentada, alineación de rostros y el análisis de expresiones fáciles. (Elkan, 2017)

En la Figura 23 se muestran los puntos obtenidos por la librería Dlib, haciendo un perfil de los rasgos característicos a ser analizados.



Figura 23. Puntos preestablecidos para la detección de rostro

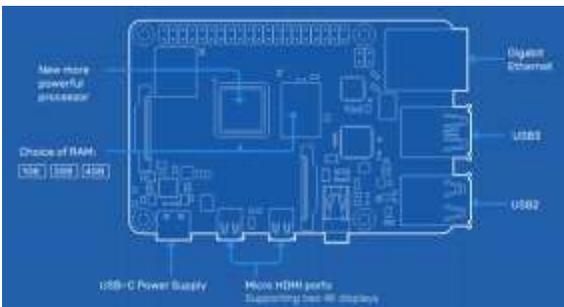
Fuente: (Elkan, 2017)

2.9 Componentes del módulo electrónico

2.9.1 Raspberry Pi4

En la Tabla 6 se indican las características principales de la Raspberry Pi B+ que fueron utilizados para el desarrollo de la investigación.

Tabla 6
Características Raspberry Pi B+

Raspberry Pi B+	
Características	
	
Velocidad del procesador	1,5 GHz
Procesador	Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) SoC de 64 bits
Memoria RAM	1GB
Conectividad de red	Gigabit Ethernet over USB 2.0
Puertos	GPIO 40 pines
	HDMI
	2 x USB 2.0
	2 x USB 3.0
	CSI (cámara Raspberry Pi)
	DSI (pantalla táctil)
	Puerto de audio compuesto y video compuesto de 4 polos
Micro SD	
	Power-over-Ethernet

Fuente: (FUNDACIÓN RASPBERRY PI, 2018)

CONTINÚA 

2.9.2 Módulo de cámara Raspberry Pi SC15

En la tabla 7 se detallan cada una de las características principales en la cámara Raspberry Pi SC15 que fueron utilizados para el desarrollo de la investigación.

Tabla 7

Características cámara Raspberry Pi SC15

Cámara Raspberry Pi SC15	
Características	
	
Resolución del sensor	1080p
Apertura focal	1,8
Fotorreceptor transparente luces	1 W de alta potencia de luz infrarroja 850
Fotoresistor	Detección de la intensidad de la luz ambiental
Angulo diagonal	60 grados
Dimensión	25mm x 24mm
Longitud focal	3,6mm ajustable
Tamaño del CCD	¼ pulgada

Fuente: (FUNDACIÓN RASPBERRY PI, 2018)

2.9.3 Módulos infrarrojos

Los módulos infrarrojos utilizados para la cámara raspberry Pi son el complemento para la visión nocturna el cual posee un led blanco de 1W con una lente instalada y un sensor de luz nocturna para la captación de la luz y así mejorar la detección del rostro del conductor en condiciones de muy baja luminosidad, estos módulos se adaptan a la cámara raspberry mediante 2

tornillos y se utilizan 2 módulos infrarrojos una en cada extremo de la cámara y requieren una alimentación de 3V.

En la tabla 8 se detallan cada una de las características principales de los módulos infrarrojos que fueron utilizados para el desarrollo de la investigación.

Tabla 8

Características de los módulos infrarrojos

Módulos infrarrojos	
Características	
	
Potencia	1W
Voltaje de entrada	5V
Foto resistor	Detección de luz ambiental
La gran distancia de imagen está dentro de los 2m	

Fuente: (FUNDACIÓN RASPBERRY PI, 2018)

2.9.4 Características tira led SMD.

Según (Kohen, 2012) “Por su traducción Light Emitting Diode Surface Mount Device. Es un diodo emisor de luz de montaje superficial. Es un chip muy pequeño envuelto en resina epoxi, que en forma de unidad se fija a una superficie, en nuestro caso una tira para poder utilizarlos”.

En la Tabla 9 se detallan cada una de las características principales de los diferentes tipos de cintas LED que fueron utilizados para el desarrollo de la investigación.

Tabla 9*Características de los tipos de LED*

Tipo de led	SMD 3528	SMD 3528	SMD 5050	SMD 5050
Cantidad por ml	60	120	30	60
Consumo watts/ml	4,8	10	7,5	14,5
Voltaje	12 VCD	12 VCD	12 VCD	12 VCD
Corriente en amper	2	2	6	6
Lúmenes/ml	220/360	440/720	360	720

Fuente: (Kohen, 2012)

En la figura 24 se detallan la luminosidad medida en mili candelas que genera cada color de la tira RGB que fueron utilizadas para el desarrollo de la investigación.

TIPO DE LEDS MD 3528	BRIGHTNESS (MILICANDELAS)	TIPO DE LEDS MD 5050	BRIGHTNESS (MILICANDELAS)
ROJO	1000-1200 MCD/LED	ROJO	3000-4000 MCD/LED
AMARILLO	1000-1200 MCD/LED	AMARILLO	3000-4000 MCD/LED
AZUL	400-600 MCD/LED	AZUL	2500-3500 MCD/LED
VERDE	1500-2000 MCD/LED	VERDE	4000-5000 MCD/LED
BLANCO	1600-2000 MCD/LED	BLANCO	4000-5000 MCD/LED
BCO CÁLIDO	1600-2000 MCD/LED	BCO CÁLIDO	4000-5000 MCD/LED
RGB	NO	RGB	2500-3500 MCD/LED

Figura 24. Detalle de las milis candelas según el tipo de LED y color

Fuente: (Kohen, 2012)

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1 Descripción de detección visual, fatiga y somnolencia

En la Figura 24 y Figura 25 observamos que el módulo electrónico principal (Raspberry PI4) es el encargado de recibir la detección de factores fisiológicos procedentes de la cámara y sus módulos infrarrojos para procesar los datos obtenidos en la detección de los parámetros de somnolencia, distracción y fatiga y según la condición en la que se encuentre el conductor se activaran los diferentes actuadores de estimulación visual, auditiva y vibratoria.

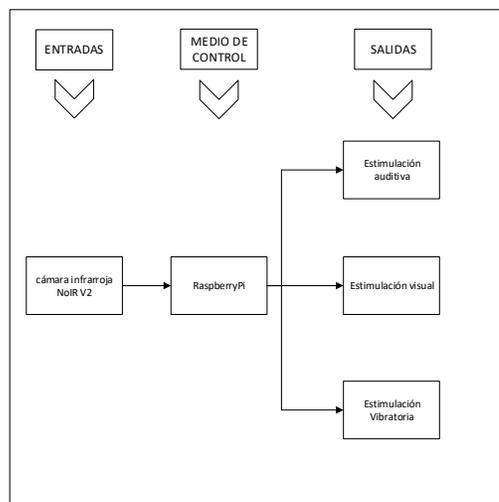


Figura 24. Esquematación de las entradas, medio de control y salidas del sistema

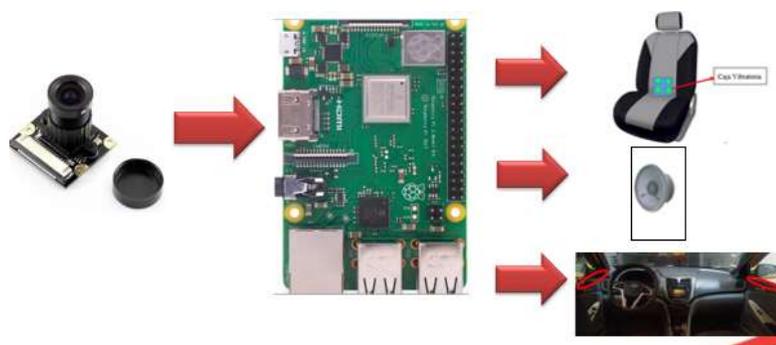


Figura 25. Entradas, medio de control y salidas del sistema

3.1.1 Asentamiento de cabeza (cabeceo)

En la Figura 26 se representa el diagrama de flujo del asentamiento de cabeza (cabeceo), desde la recepción de datos, procesos, subprocesos y decisiones realizadas dentro del software, para detectar la condición en la que se encuentra el conductor y activar los actuadores correspondientes a la somnolencia detalladas en la Tabla 3.

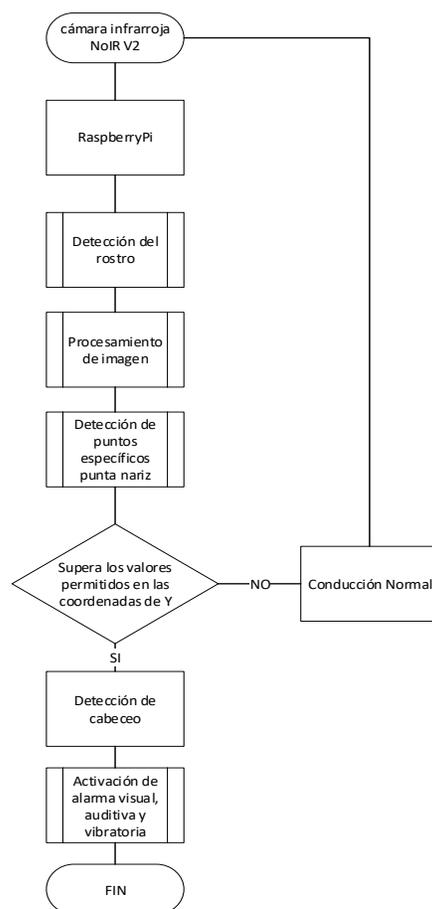


Figura 26. Diagrama de flujo de detección de cabeceo

a. Descripción del asentamiento de cabeza o cabeceo

La cámara infrarroja NoIr V2 envía datos hacia la raspberry Pi donde se realiza el subproceso de detección del rostro, para la detección de puntos específicos se declaró una variable llamada `pts = deque(maxlen=32)` donde la función `deque` almacenara un máximo de 32 puntos definidos para la nariz, para determinar el cabeceo se toma en cuenta las coordenadas obtenidas en Y además de un contador en `que si` es mayor a 10 frames, la variable `i` se inicializa en 1, y si hay un elemento inicia con -1 , de esta manera el programa calcula una diferencia entre las coordenadas de hace 10 frames con las coordenadas actuales y determina el asentamiento de cabeceo para enviar las señales que activan las salidas auditivas y luminosas.

3.1.2 Distracción

En la Figura 27 se representa el diagrama de flujo de distracción, desde la recepción de datos, procesos, subprocesos y decisiones realizadas dentro del software, para detectar la condición en la que se encuentra el conductor y activar los actuadores correspondientes a la distracción detalladas en la Tabla 3.

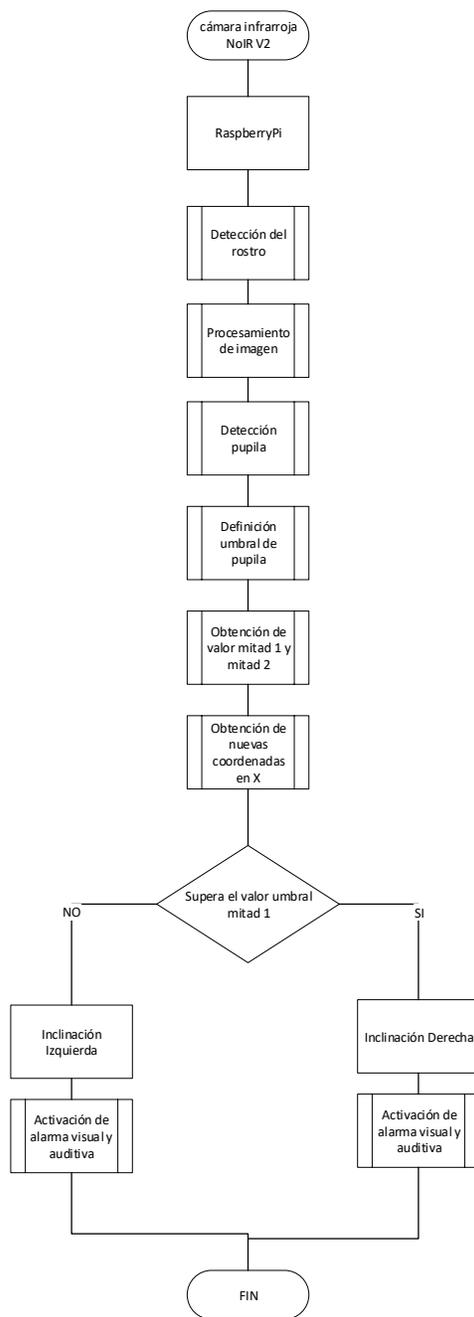


Figura 27. Diagrama de flujo de distracción

a. Descripción del diagrama de flujo de distracción

En la figura 28 la cámara infrarroja NoIr V2 envía datos hacia la raspberry Pi donde se realiza el subproceso de detección del rostro, y adquisición de puntos específicos en escala de grises que los identificamos mediante filas y columnas para la detección de la pupila aquí se tomara únicamente como referencia la pupila del ojo izquierdo con coordenadas (-5, +5), parte del subproceso es la visualización de la pupila.

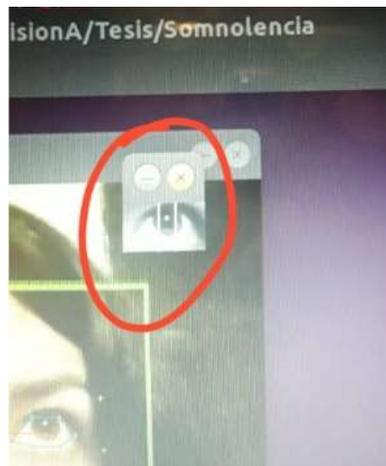


Figura 28. Visualización de pupila y su movimiento dentro del entorno virtual

En la Figura 29 se visualiza que para la detección de la distracción se dividió la imagen adquirida de la pupila en 7 partes.



Figura 29. División de pupila para el movimiento de derecha a izquierda

Ecuaciones usadas:

$$umbral = \frac{ancho}{7}$$

Ecuación 2. Ecuación de división de pupila

$$mitad1 = \left(\frac{ancho}{2}\right) - umbral$$

Ecuación 3. Ecuación de detección de movimiento de pupila izquierda

$$mitad2 = \left(\frac{ancho}{2}\right) + umbral$$

Ecuación 4. Ecuación de detección de movimiento de pupila derecha

Umbral: Tomando en cuenta el ancho de la pupila y las 7 partes en las que dividimos la pupila para la detección de distracción, este valor se sumará para la condición de distracción a la derecha y distracción a la izquierda.

Mitad 1: Detección de distracción izquierda

Mitad 2: Detección de distracción derecha

Luego de analizar todos estos datos, si cumple con alguna de las condiciones establecidas se activan las salidas visuales y auditivas.

3.1.3 Ángulo de Inclinación

En la Figura 30 se observa la detección facial del conductor con sus rasgos característicos, y un texto de color rojo (ángulo de inclinación) en la posición normal de conducción.

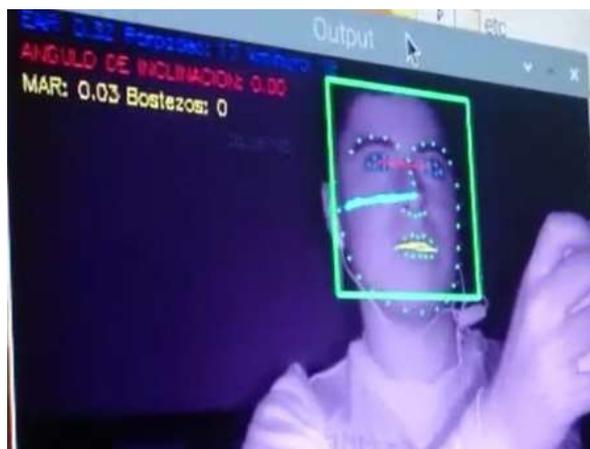


Figura 30. Ángulo de inclinación 0 grados

La distracción está dada por la inclinación de la cabeza sea izquierda o derecha y está definida por el grado de movimiento lateral que se produzca. Ver figura 31.

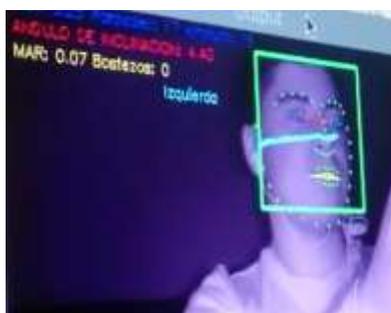


Figura 31. Ángulo de inclinación de 4.40 grados

En la Figura 32 se representa el diagrama de flujo de ángulo de inclinación, desde la recepción de datos, procesos, subprocessos y decisiones realizadas dentro del software, para detectar la condición en la que se encuentra el conductor y activar los actuadores correspondientes a la distracción detalladas en la Tabla 3.

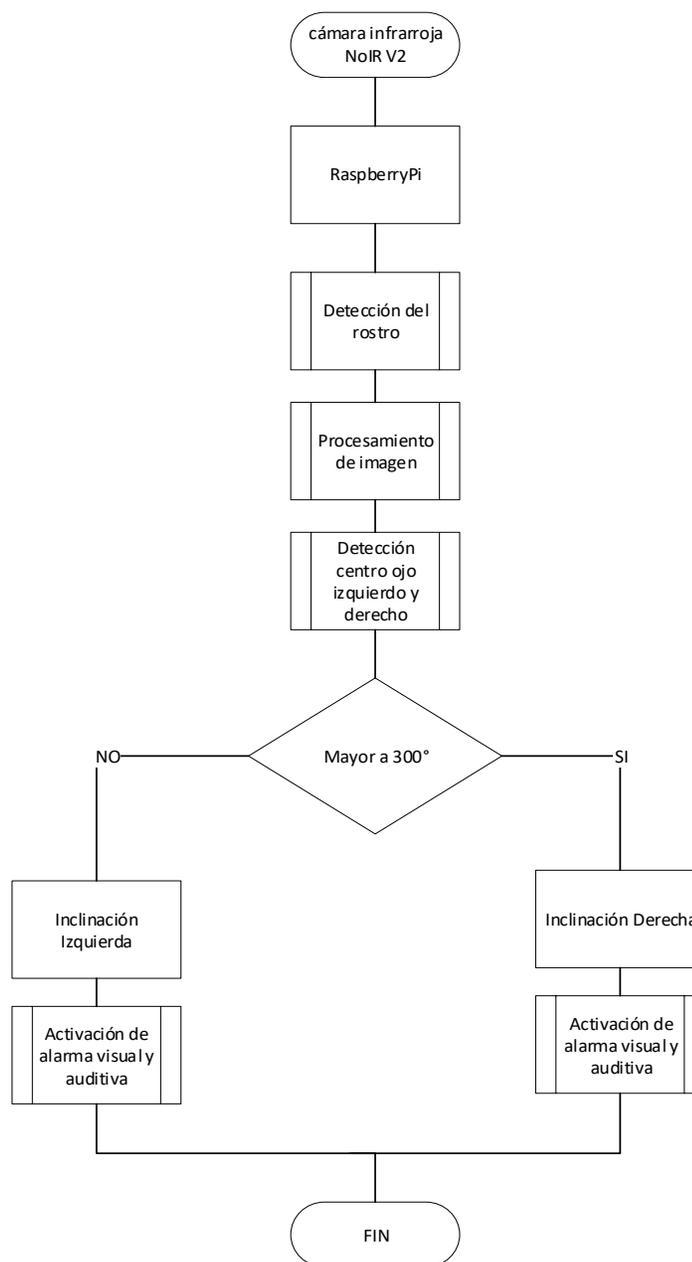


Figura 32. Diagrama de flujo del Angulo de inclinación

a. Descripción del diagrama de flujo de ángulo de inclinación

La cámara infrarroja NoIr V2 envía datos hacia la raspberry Pi donde se realiza el subproceso de detección del rostro, y adquisición de puntos específicos de las coordenadas del

centro del ojo izquierdo y derecho respectivamente que se pueden visualizar mediante una línea que une estos dos puntos, para obtener el ángulo en grados hacemos uso de:

$$dY = \text{centroOjoDerecho}[1] - \text{centroOjoIzquierdo}[1]$$

$$dX = \text{centroOjoDerecho}[0] - \text{centroOjoIzquierdo}[0]$$

$$\text{ángulo} = \text{np.degrees}(\text{np.arctan2}(dY, dX)) + 180$$

Una vez que obtenemos las coordenadas dY y dX hacemos uso de estos datos para calcular el ángulo de inclinación en grados, si este ángulo de inclinación supera el umbral de 300° se detectará un asentamiento lateral hacia la derecha, caso contrario será un asentamiento lateral hacia la izquierda, los cuales se visualizan en pantalla y las salidas sonoras y luminosas serán activadas.

3.1.4 Parpadeo

En la figura 33 se observa la ubicación de los puntos referenciales del ojo para dentro de la programación usarlos como coordenadas de detección y monitorear su actividad en la conducción.

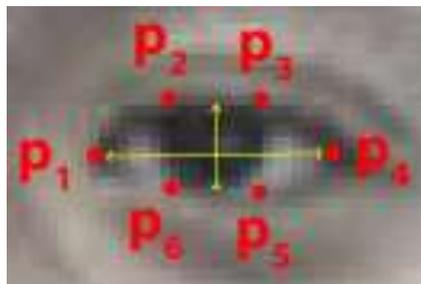


Figura 33. Puntos de referencia del ojo

Fuente: (Soukupova & Cech, 2016)

Los puntos de referencia P1 al P6 son las ubicaciones de los puntos de referencia en dos dimensiones que se pueden observar en la figura 30. Para calcular la distancia de apertura del ojo se utiliza la ecuación 2, que muestra cuando el ojo se está acercando a un cero es decir se encuentra cerrado.

$$EAR = \frac{|p2 - p6| + |p3 - p5|}{2|p1 - p4|}$$

Ecuación 5. Ecuación de apertura del ojo

Una vez obtenido un valor EAR de la ecuación 2 se compara dicho valor con umbral establecido ver imagen 31, que tiene un valor de 0,3 esto se utiliza como valor de comparación al realizar el proceso de comparación si el valor es menor a 0,3 indica que el ojo se está cerrando o está completamente cerrado y si el valor del EAR es mayor a 0,3 indica que el ojo se encuentra abierto, cuando el ojo parpadea la ecuación 2 calcula el valor y lo compara con el umbral y establece que se dio un parpadeo y es donde ahí se van guardando en una variable cada uno de los parpadeos.

En la figura 34 se observa el valor umbral que se utilizó para considerar la apertura o cierre del ojo que fue utilizado dentro de la programación.

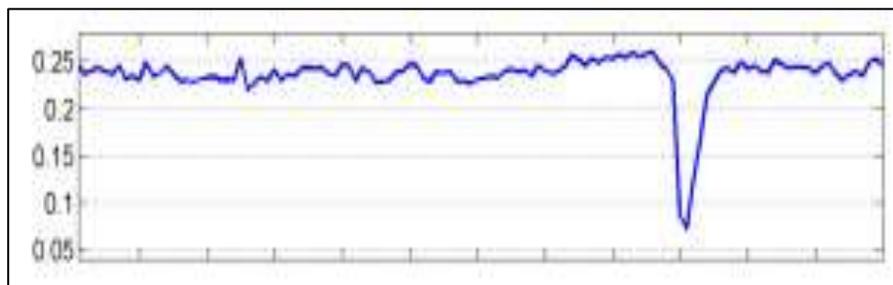


Figura 34. Valor de umbral para establecer la apertura del ojo

Fuente: (Soukupova & Cech, 2016)

En la figura 35 y Figura 36 se observa el valor umbral que se utilizó para considerar la apertura o cierre del ojo dentro de la programación se usó un valor de 0.18.



Figura 35. Umbral mayor a 0.18, ojo abierto

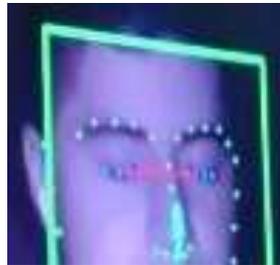


Figura 36. Umbral menor a 0.18, ojo cerrado

El número de parpadeos por minuto se utiliza como una variable que indica el indicio de somnolencia en el conductor, y para establecer la cantidad de parpadeos en la programación se establece una comparación normal de parpadeo de una persona como lo dice (medical óptica, 2011)

El número de parpadeo normal de una persona varía entre 15 a 20 parpadeos por minuto, por esa razón al sobrepasar el número normal de parpadeo se indica en la programación que existe un indicio de cansancio o sueño, dicho valor ingresado en la programación es de 22, de esta manera se da una tolerancia para evitar un error en la detección de cansancio o somnolencia.

En la figura 37 se detallan los valores obtenidos de la relación del aspecto del ojo EAR que se muestran en la consola durante la ejecución del programa, en tiempo real.



Figura 37. Valores de velocidad de parpadeo

En la Figura 38 se representa el diagrama de flujo de parpadeo, desde la recepción de datos, procesos, subprocesos y decisiones realizadas dentro del software, para detectar la condición en la que se encuentra el conductor y activar los actuadores correspondientes a fatiga detalladas en la Tabla 3.

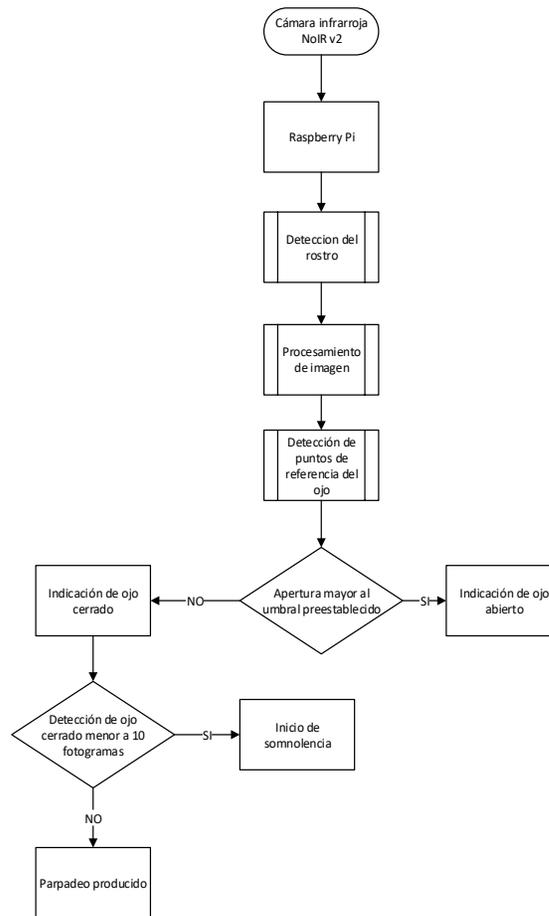


Figura 38. Diagrama de flujo de detección de parpadeo

3.1.5 Bostezo

En la Figura 39 para la detección de bostezo se definen los puntos de referencia tomados para determinar la apertura de la boca o a su vez la detección de la boca cerrada,

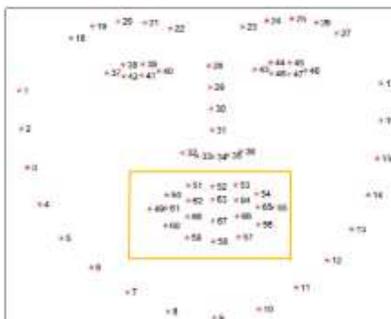


Figura 39. Coordenadas de los puntos de referencia boca interna

Fuente: (Rosebrock, pyimagesearch, 2017)

Los puntos de referencia que van a ser usados son 61, 62, 64, 65, 68 y 66, estos puntos son los que se van a analizar para ver si existe la apertura o cierre de la boca, se calcula la distancia euclidiana mediante la ecuación 2, de esa manera se obtiene un valor que debe ser comparado con un umbral ya definido que en este caso es de 0,5 que va indicar el grado de apertura de la boca del conductor ver figura 22; cuando el valor de la ecuación sea menor a 0,5 quiere decir que la boca se encuentra abierta y caso contrario si el valor de la ecuación es mayor a 0,5 indica que existe un bostezo.

En la Figura 40 se observa en el lado izquierdo de la figura la detección del bostezo del conductor, y en el lado derecho de la figura se observa la respuesta del sistema a la condición de bostezo detectado dentro del entorno virtual.

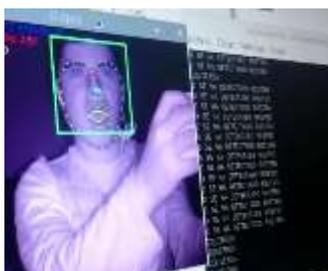


Figura 40. Detección de bostezo dentro del entorno virtual

En la Figura 41 se representa el diagrama de flujo de detección del rostro, desde la recepción de datos, procesos, subprocessos y decisiones realizadas dentro del software, para detectar la condición en la que se encuentra el conductor y activar los actuadores correspondientes a fatiga detalladas en la Tabla 3.

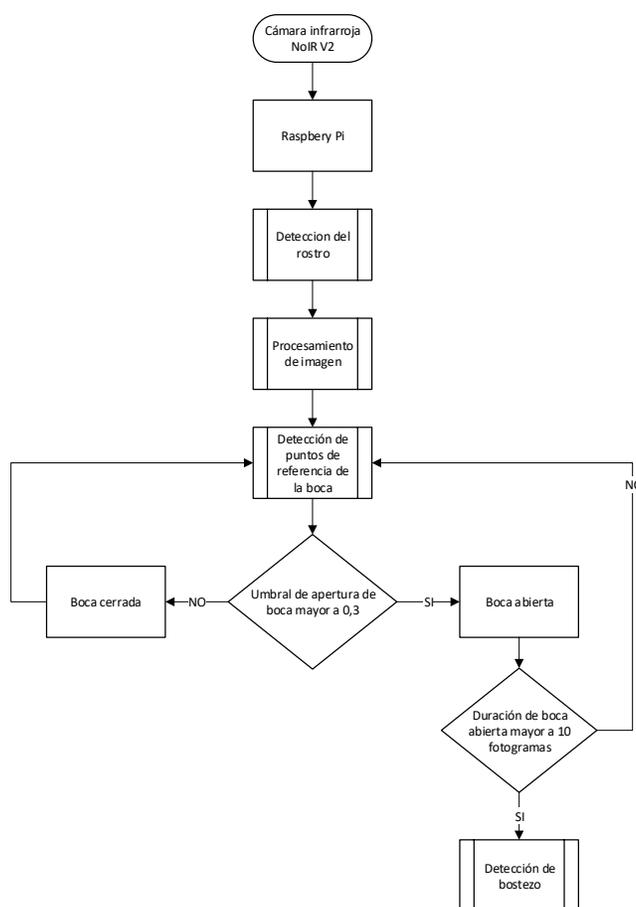


Figura 41. Diagrama de flujo de detección de bostezo

3.1.6 Módulo electrónico principal

En la Figura 42 se muestran los componentes principales del módulo de control electrónico que consta de un módulo principal (Raspberry Pi) quien envía voltajes de señal a los diferentes actuadores y a su vez se conecta la cámara NoIr V2, el bus de transmisión de la cámara hacia la raspberry se lo hace a través del protocolo ICS.

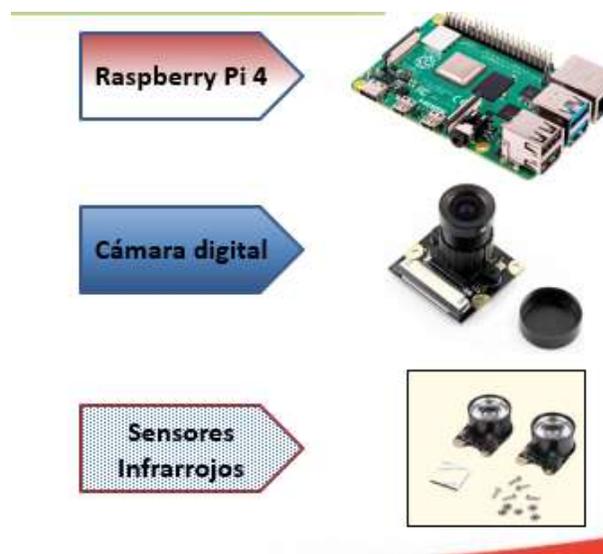


Figura 42. Componentes principales del módulo de control principal

Los voltajes de señal de 3,3V procedentes de las GPIO del módulo principal Raspberry PI4 es enviada al módulo electrónico secundario, que conmuta dichas señales mediante transistores haciendo que el voltaje de entrada a las GPIO del microcontrolador sea de 5V, para así ejecutar los módulos relés y activar los diferentes actuadores.

Los parámetros que detecta el sistema electrónico de detección visual son la fatiga la somnolencia y la distracción del conductor, para lo cual cada parámetro tendrá una respuesta estimuladora ver tabla 5.

Para la fatiga se utiliza la estimulación auditiva y la alarma visual ya que estos dos parámetros ayudan a que los estímulos del conductor se activen y se reduzca el cansancio mientras que para la distracción se utiliza una alarma visual además de una alerta sonora que permiten que el conductor fije su atención nuevamente en el camino y para la somnolencia se utilizan tres condiciones de respuesta ya que el sueño es un estímulo muy fuerte que necesita de mayor estimulación y se ha utilizado estimulación vibratoria, estimulación visual y estimulación auditiva.

Las condiciones de distracción están basadas en diferentes colores para ayudar a distinguir el rango de distracción en la que se encuentra el conductor ver tabla 6.

3.1.7 Descripción del módulo electrónico secundario

El módulo de control electrónico secundario es el encargado de activar los actuadores de luz y vibración, mediante las señales que envía las GPIO de la Raspberry hacia los transistores para la conmutación de 3,3V a 5V hacia los pines de entrada del microcontrolador PIC16F628A que activan los módulos relés y transistores MOSFET para la ejecución de los actuadores de luz y vibración

3.1.8 Ubicación de los motores de vibración en el asiento del conductor

En la figura 43 se observa la ubicación de la caja vibratoria para la estimulación del conductor en la zona lumbar baja de acuerdo a la detección del estado de somnolencia.



Figura 43. Ubicación de la caja vibratoria en el asiento del conductor

a. Diseño del circuito electrónico para la activación de la caja vibratoria en el asiento del conductor

Para la estimulación vibratoria del asiento se ha seleccionado un motor vibratorio de 10000 RPM de 12V, que en conjunto con engranajes conectados entre sí se logra aumentar el número de oscilaciones y la fuerza vibratoria para lo cual ha sido colocado en la parte lumbar del asiento del conductor ver figura 41; ya que la vibración producida genera ondas que viajan a través del cuerpo del conductor produciendo un estímulo que generará una reacción para que el conductor se despierte y su atención se fije en la carretera; las activaciones de la caja vibratoria se lo realiza a través de las salidas de la módulo principal Raspberry hacia el módulo electrónico secundario que envía las señales hacia los módulos relés para activarlos,

Cálculo de corriente y potencia de la caja vibratoria en el asiento del conductor

$$voltaje_{entrada} = 12V$$

$$Potencia = 15 W$$

Corriente consumida por la caja vibratoria

$$P = V * I$$

Ecuación 6. Cálculo de la potencia del motor de vibración

$$I = \frac{P}{V} = \frac{15 \text{ W}}{12 \text{ V}}$$

Ecuación 7. Cálculo de la corriente de la caja vibratoria

$$I_1 = 1,25 \text{ A}$$

En la Figura 44 se indica el circuito electrónico para la activación de los actuadores que reciben la señal 1 y 2 desde la raspberry la cual envía un pulso de activación hacia el relé para que este se enclave durante la condición por la que fue activado.

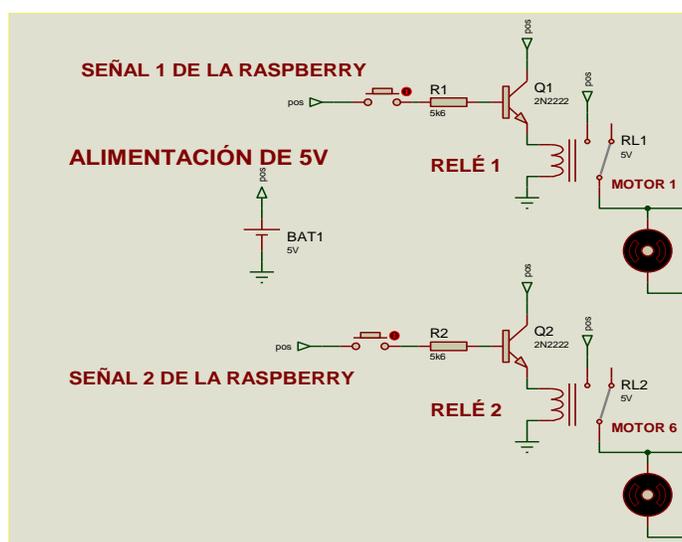


Figura 44. Circuito electrónico para la activación de la caja vibratoria del asiento del conductor

El circuito electrónico para la estimulación vibratoria consta del módulo electrónico principal raspberry PI4 que envía la señal de activación a los transistores para luego activar los relés y de esa manera controlar la vibración de la caja vibratoria generando una estimulación al conductor.

3.1.9 Selección de iluminación para alerta de distracción

(ecoluzled, 2018) Afirma que debido a que la luz led necesita bajo voltaje de alimentación y este es directamente proporcional a la intensidad, existe un menor consumo y una escasa generación de calor es por esto que a comparación de los diferentes tipos de bombillas de iluminación ofrece un tiempo de vida útil prolongado.

En la Figura 45 se observan los datos de tiempo de vida útil de la luz LED en comparación a otros tipos de iluminación, exaltando las ventajas de la luz LED.

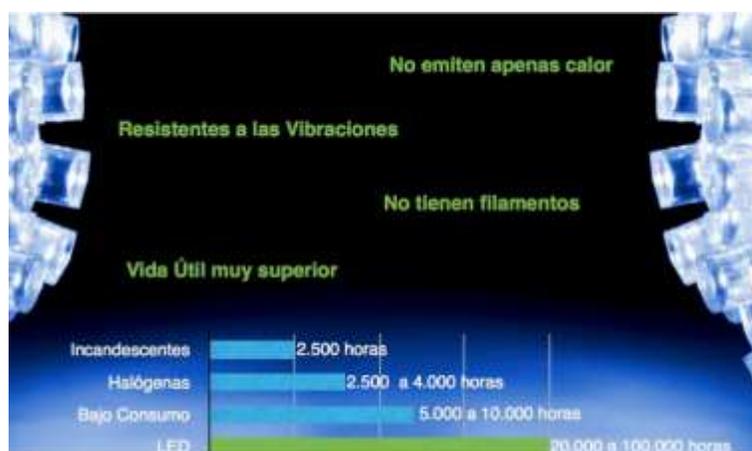


Figura 45. Vida útil de las diferentes bombillas

La estimulación visual será a través de una tira de leds RGB de intensidad regulable que abarcara toda el área del habitáculo que es visible para el conductor y sus acompañantes para alertar cuando se distraiga, tendrá diferentes efectos de iluminación según las condiciones detalladas en la Tabla 4.

En la figura 46 se observa la ubicación de las luces led dentro del habitáculo del vehículo, estas responden acorde al estado de somnolencia, fatiga o distracción del conductor detallados en la Tabla 4.



Figura 46. Ubicación de las luces led en el habitáculo del vehículo

3.1.10 Diseño del circuito electrónico para el control de luces LED

El circuito electrónico para el control de luces se lo realiza a través de las salidas GPIO de la Raspberry, las cuales envían un voltaje máximo de 3.3V, la cual a su vez envían las señales hacia un PIC 16F628A, este procedimiento se lo realiza con el fin de independizar las activaciones del audio, efecto de luces y estimulación vibratoria en el asiento del conductor.

a. Regulador de 12V a 5V para la alimentación del pic 16F628A

En la figura 47 se muestra el regulador de voltaje con un LM7805 que permite recibir un voltaje de 12V de la posición accesorios del Switch de encendido convirtiéndolo a 5V que son usados para la alimentación del PIC 16F628A para permitir la conmutación de los colores LED RGB.

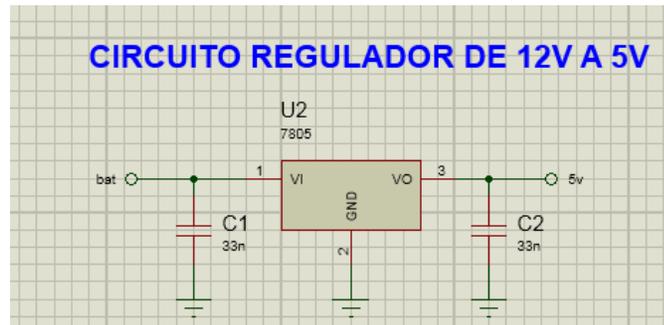


Figura 47. Circuito regulador de voltaje de 12V a 5V

3.1.11 Circuito de fase de control de activación de control de luces

En la Figura 48 se detalla la fase de control que es enviada a través de las señales de la Raspberry hacia el PIC como señales de entrada para que envíe pulsos hacia los transistores los cuales conmutan a tierra cada uno de los colores LED para su activación, los LEDs son componentes electrónicos de ánodo común por esa razón se envían las conmutaciones a tierra para generar la activación de las luces de acuerdo a la señal del microcontrolador.

Los colores realizan un efecto de acuerdo a la señal fisiológica detectada que puede ser somnolencia, distracción o fatiga que se detallan en la Tabla 3 y Tabla 4.

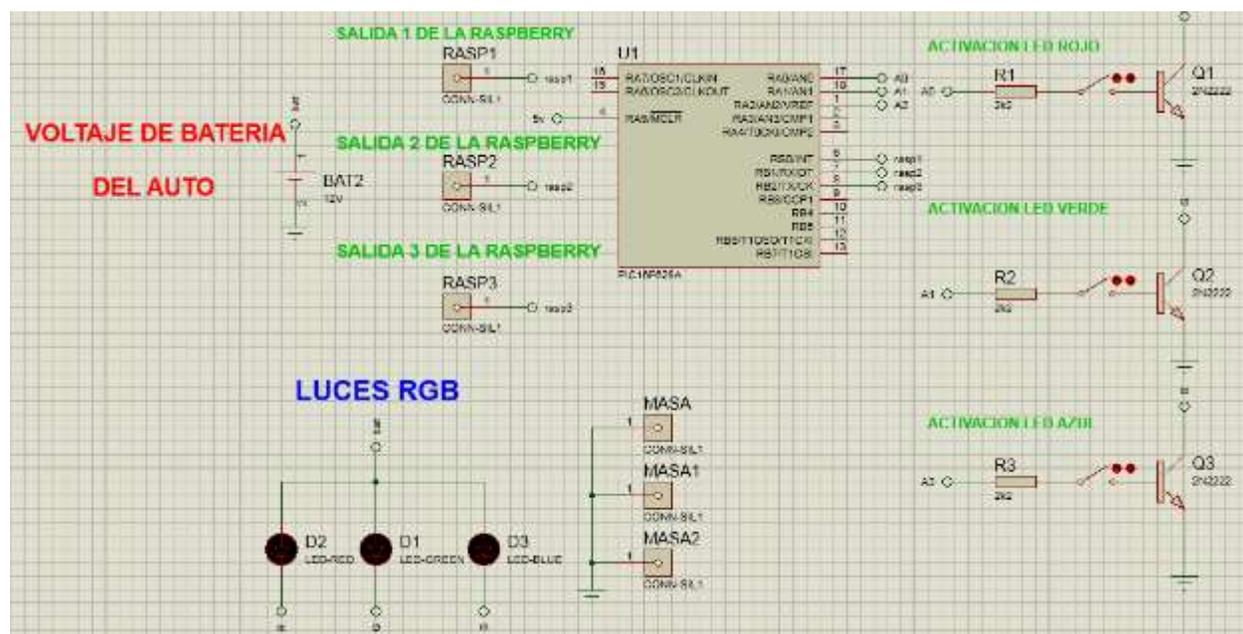


Figura 48. Circuito de control de estimulación visual

3.1.12 Diseño de placas electrónicas

Para el diseño de las placas electrónicas se ha utilizado el programa Proteus (ISIS Y ARES) las cuales son utilizadas para la simulación del circuito y la elaboración de las placas

a. Placa electrónica del control de luces LEDS

En la figura 49 se muestra placa donde se montó el PIC 16F628A, la alimentación de la batería de 12V del automóvil, el circuito regulador de voltaje de 12V a 5V para la alimentación del microcontrolador, los transistores de conmutación, las borneras para las señales de entrada que provienen de la Raspberry Pi y las borneras de conexión de cada una de las líneas LEDS.

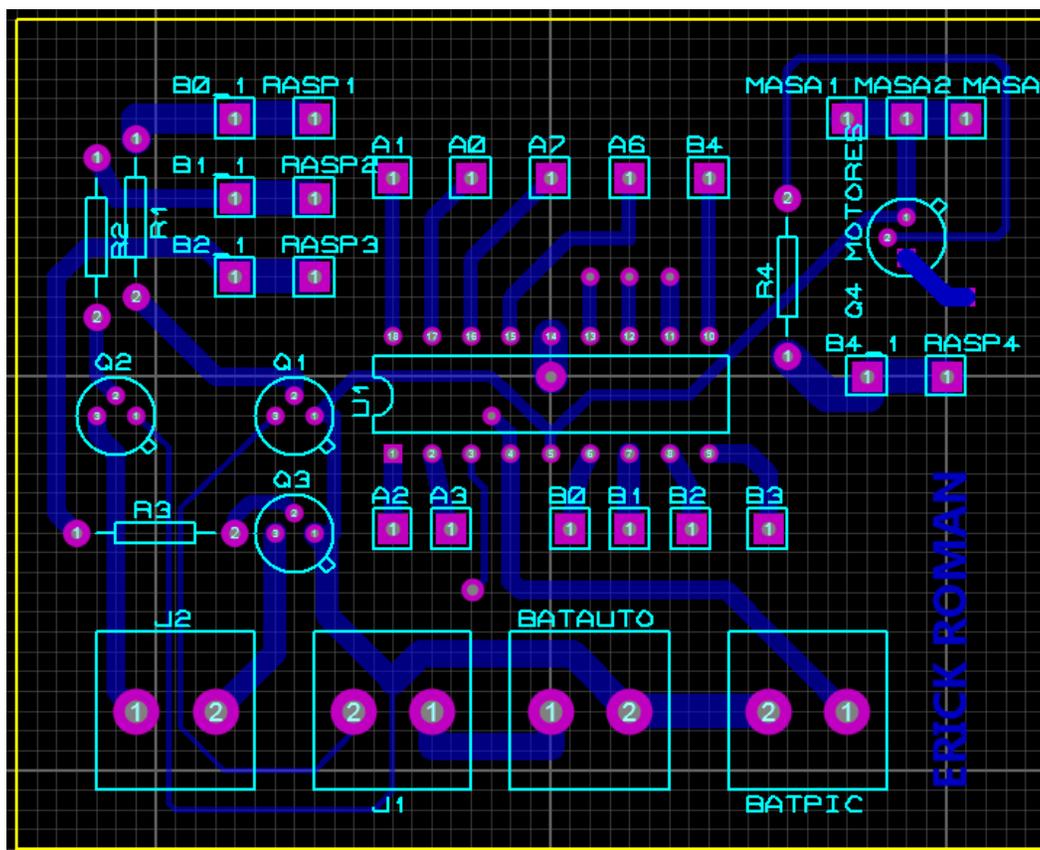


Figura 49. Placa de control de luces LEDS

3.1.13 Placa electrónica de control de la caja vibratoria

En la Figura 50 se observa la placa de control de la caja vibratoria, se encuentran los transistores de potencia usados para la activación y desactivación de la caja de vibración, además cuenta con borneras para la entrada y salida de señales provenientes del PIC 16F628A, borneras de alimentación para la caja de vibración y LEDS indicadores de activación de señal de los motores.

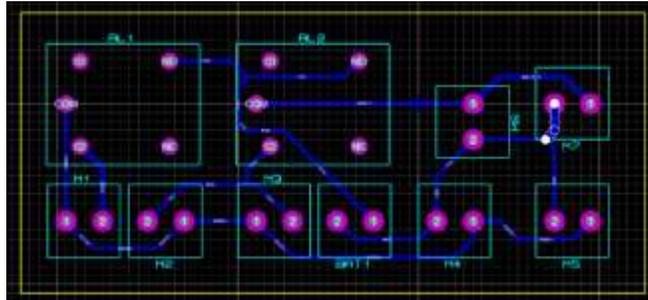


Figura 50. Placa de control de la caja vibratoria

3.1.14 Implementación de alerta sonora

En la figura 51 se observa que para la estimulación auditiva se utilizará bocinas de 8 ohm y 4 watts de potencia que emitirán sonidos de alerta hasta de 55 decibeles que según la OMS el ser humano puede soportar sin que ocasione daño a su salud y fue ubicada debajo de la columna de dirección del vehículo.

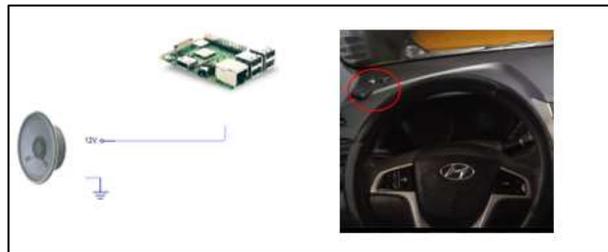


Figura 51. Ubicación del parlante en el habitáculo del vehículo

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se presentan las pruebas y resultados que fueron obtenidas, mediante el diseño e implementación de un sistema de detección visual para el control de somnolencia y

estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi efectuadas en condiciones reales de trabajo diurnas, vespertinas y nocturnas.

4.1 Ubicación cámara

La ubicación de la cámara infrarroja NoIR V2 es muy importante ya que mediante la programación realizada en el módulo de Raspberry Pi es quien proporciona la información de las diferentes variables que fueron tomadas en consideración y estas varían según la distancia y altura a la que se encuentre ubicada.

4.1.2 Ubicación Optima

Con los datos mostrados en la Tabla 10, se obtuvo una detección de rostro óptima para lo cual se tomó en consideración 3 personas con diferentes estaturas, color de piel y genero con el fin de demostrar que la detección no varía. Se opto por esta distancia y altura, ya que la detección frontal y de perfiles izquierdo y derecho son captado en tiempo real, lo cual hace que el sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi funcione correctamente mientras el sistema esté activo.

Tabla 10

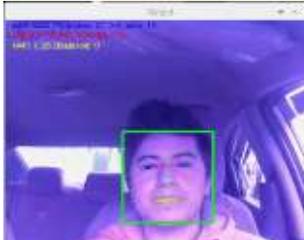
Prueba 1 para ubicación de cámara

Distancia (cm)		
Cámara -Ojos	Tablero – base de la cámara	Altura tablero -cámara
58	8	6

En la Tabla 11 se indican en la parte izquierda la detección facial frontal, en el centro la detección facial derecha y en la parte izquierda la detección facial izquierda que fueron consideradas para definir a esta ubicación como la posición óptima de la cámara para realizar la detección facial.

Tabla 11

Detección de rostro optima

Detección de rostro		
Frontal	Derecha	Izquierda
		
		
		 <p>CONTINÚA →</p>

4.1.2 Ubicación media

Con los datos mostrados en la Tabla 12 y Tabla 13, se obtuvo una detección de rostro media para lo cual se tomó en consideración 3 personas con diferentes estaturas, color de piel y genero con el fin de demostrar que la detección no varía. En estos casos la detección frontal y de perfil izquierdo son detectados independientemente de la distancia o el giro de cabeza hacia la izquierda sin embargo la detección de perfil derecho no es captada luego de cierto ángulo de giro , lo cual hace que el sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi no funcione de manera óptima mientras el sistema esté activo esto se puede observar en las imágenes de las Tablas 14 y 15.

Tabla 12

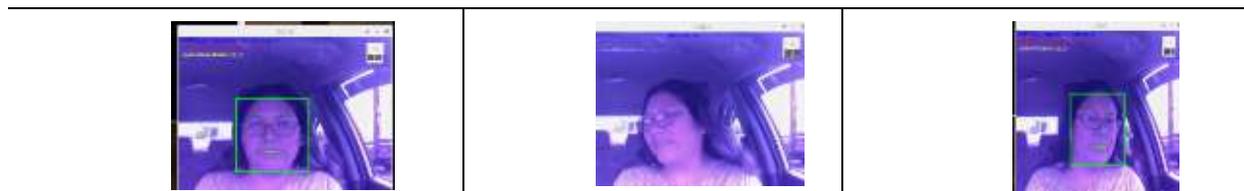
Prueba 2 para ubicación de cámara

Distancia (cm)		
Cámara -Ojos	Tablero – base de la cámara	Altura tablero -cámara
58	10	6

Tabla 13

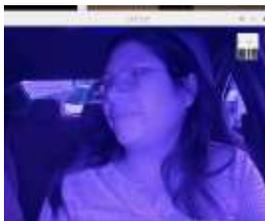
Prueba 1 detección de rostro media

Detección de rostro		
Frontal	Derecha	Izquierda

**Tabla 14***Prueba 2 para ubicación de cámara*

Distancia (cm)		
Cámara -Ojos	Tablero – base de la cámara	Altura tablero -cámara
58	4	6

Tabla 15*Prueba 2 detección de rostro media*

Detección de rostro		
Frontal	Derecha	Izquierda
		

4.2 Pruebas del sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor.

Por tanto Para las pruebas que se realizaron y los resultados obtenidos en el presente capitulo se contó con la intervención de 10 conductores de diferentes estaturas, tez de piel y genero con el propósito de demostrar que el sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi puede usarse por cualquier persona las 24 horas del día, para lo cual realizamos pruebas de ruta en condiciones reales de trabajo tomando las debidas seguridades pertinentes.

4.2.1 Detección de bostezo

Para la detección de bostezo se establecieron condiciones de estimulación visual (luces) y de sonido (alarma), ya que según (medlineplus, 2019) afirma que el bostezo se presenta con mayor frecuencia debido al cansancio, sueño o consumo de medicamentos. Con estas estimulaciones sensoriales logramos que el conductor concientice sobre su estado fisiológico al conducir es decir estaría presentando fatiga que es un estado previo a la somnolencia, el sistema cuando detecte tres bostezos activara una secuencia de luces led de alerta en color azul acompañado de una alarma sonora posteriormente dentro de la programación una vez cumplida esta condición el conteo de bostezos comienza nuevamente.

a. Detección de bostezo en el día

En la figura 52 se muestra la activación de la tira LED de color azul en respuesta a que el sistema detecta dos bostezos prolongados en menos de un minuto, estando en estado de fatiga.



Figura 52. Activación de luz LED azul al detectar bostezo

En la tabla 16 se muestran los resultados de la prueba de detección de bostezo en el día, para los cuales se tomaron los datos del número de intentos y la detección que realizó el sistema además del porcentaje de reconocimiento durante la prueba de fatiga realizada.

Tabla 16

Detección de bostezo en el día

N°	Conductor	Intentos	Detección	% de reconocimiento
1	Karina Salcedo	10	9	90%
2	Erick Román	10	10	100%
3	Jhonatan Sangovalin	10	9	90%
4	Fernando Revelo	10	8	80%
5	Eddy Chuqui	10	8	80%
6	David Salgado	10	10	100%
7	Rosa Chiluisa	10	9	90%
8	Raúl Casco	10	9	90%
9	Oliverio Cifuentes	10	9	90%
10	Marco Guanoquiza	10	7	70%
Total		100	88	88%

En la Figura 53 se muestran mediante un gráfico de barras, de color celeste el número de intentos realizados y de color naranja el número de intentos detectados, la línea de color rojo indica el porcentaje de reconocimiento realizado en cada conductor durante la prueba de bostezo.

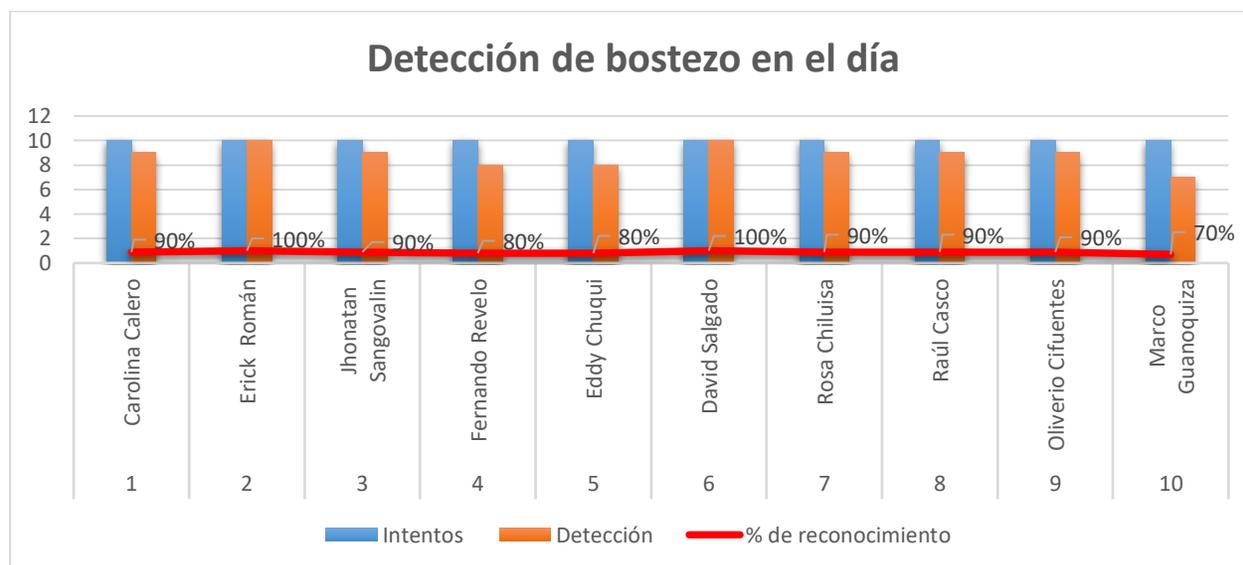


Figura 53. Análisis Detección de bostezo en el día

b. Detección de bostezo en la noche

En la figura 54 en el lado izquierdo se muestra la detección del bostezo en la noche y en la derecha se visualiza la respuesta del sistema con una leyenda de bostezo detectado y fatiga dentro del entorno virtual.

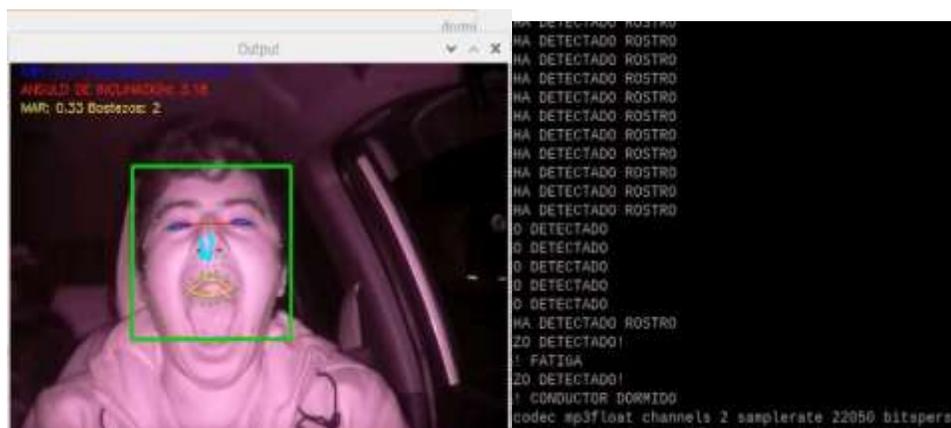


Figura 54. Detección de bostezo nocturno

En la tabla 17 se muestran los resultados de la prueba de detección de bostezo en la noche, para los cuales se tomaron los datos del número de intentos y la detección que realizó el sistema durante la prueba de fatiga realizada además del porcentaje de reconocimiento.

Tabla 17

Detección de bostezo en la noche

N°	Conductor	Intentos	Detección	% de reconocimiento
1	Karina Salcedo	10	9	90%
2	Erick Román	10	7	70%
3	Jhonatan Sangovalin	10	8	80%
4	Fernando Revelo	10	9	90%
5	Eddy Chuqui	10	9	90%
6	David Salgado	10	8	80%
7	Rosa Chiluisa	10	8	80%
8	Raúl Casco	10	9	90%
9	Oliverio Cifuentes	10	9	90%
10	Marco Guanoquiza	10	7	70%
	Total	100	83	83%

En la Figura 55 se muestran mediante un gráfico de barras, de color celeste el número de intentos realizados y de color naranja el número de intentos detectados, la línea de color rojo indica el porcentaje de reconocimiento realizado en cada conductor durante la prueba de bostezo.

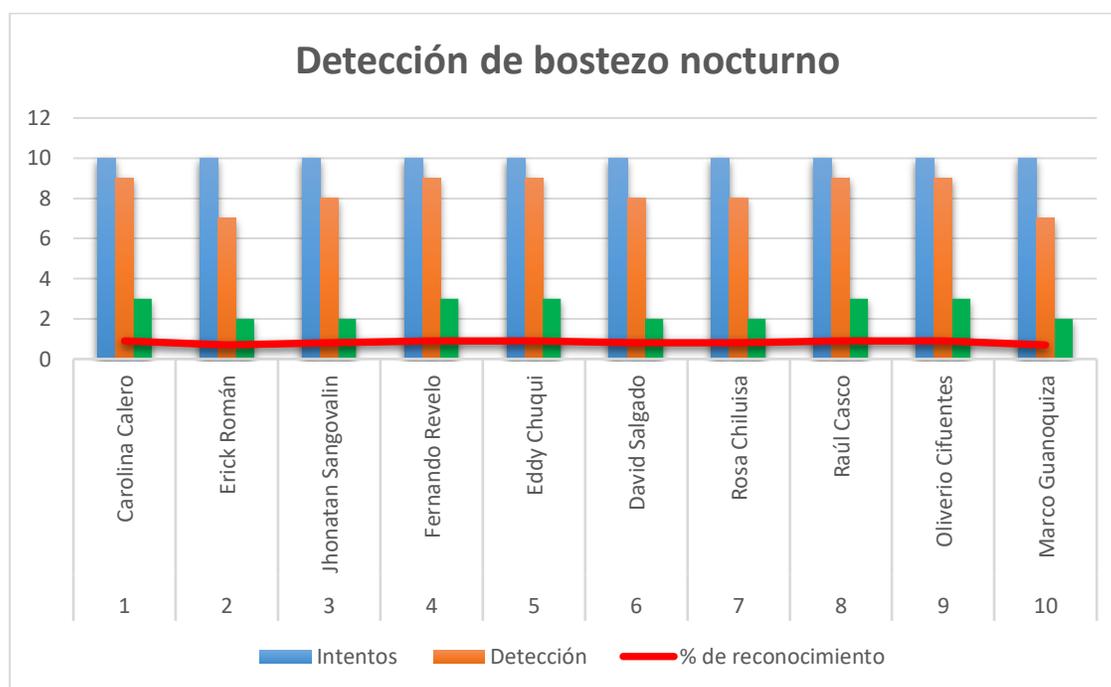


Figura 55. Análisis detección de bostezo nocturno

c. Análisis de detección de bostezo

En la tabla 18 se detalla el análisis de la detección de bostezo tanto en el día y noche, realizando un promedio para obtener la efectividad del sistema en base al porcentaje de reconocimiento de bostezo en el estado de fatiga.

Tabla 18*Detección de bostezo en la noche*

Horario	% de reconocimiento
Día	88%
Noche	83%
Efectividad del sistema	86%

Según los resultados obtenidos el sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi tiene una efectividad del 86 % en detección de bostezo y un 100% de efectividad de la estimulación sensorial establecida ya que cuando el sistema contabilizaba tres bostezos estos fueron activados.

4.2.2 Detección de somnolencia

La somnolencia es la posibilidad de que un individuo se quede dormido en un determinado momento, es por esto que para la detección de somnolencia se establecieron condiciones de detección centrados en el comportamiento ocular y tiempo de parpadeo, una vez tomados los datos solicitados el software interpretará la condición de somnolencia y activará la estimulación sensorial mediante los actuadores de luz led de color rojo, alerta sonora con un audio y vibración que será activada por 3 segundos a una intensidad alta, lo que provocaría en el conductor una reacción inmediata .

a. Detección de somnolencia en el día

En la figura 56 se muestra la activación de la tira LED de color rojo en respuesta a que el sistema detecta cabeceo o un tiempo de parpadeo superior a 500 ms, estando en estado de somnolencia.



Figura 56. Detección de somnolencia y estimulación visual

En la tabla 19 se muestran los resultados de la prueba de somnolencia en el día, para los cuales se tomaron los datos del número de intentos y la detección que realizó el sistema durante la prueba de somnolencia realizada además del porcentaje de reconocimiento.

Tabla 19

Detección de somnolencia en el día

N°	Conductor	Intentos	Detección	% de reconocimiento
1	Karina Salcedo	3	3	100%
2	Erick Román	3	3	100%
3	Jhonatan Sangovalin	3	3	100%
4	Fernando Revelo	3	3	100%

5	Eddy Chuqui	3	3	100%
6	David Salgado	3	3	100%
7	Rosa Chiluisa	3	3	100%
8	Raúl Casco	3	3	100%
9	Oliverio Cifuentes	3	3	100%
10	Marco Guanoquiza	3	3	100%

En la Figura 57 se muestran mediante un gráfico de barras, de color celeste el número de intentos realizados y de color naranja el número de intentos detectados, de reconocimiento realizado en cada conductor durante la prueba de somnolencia en el día.

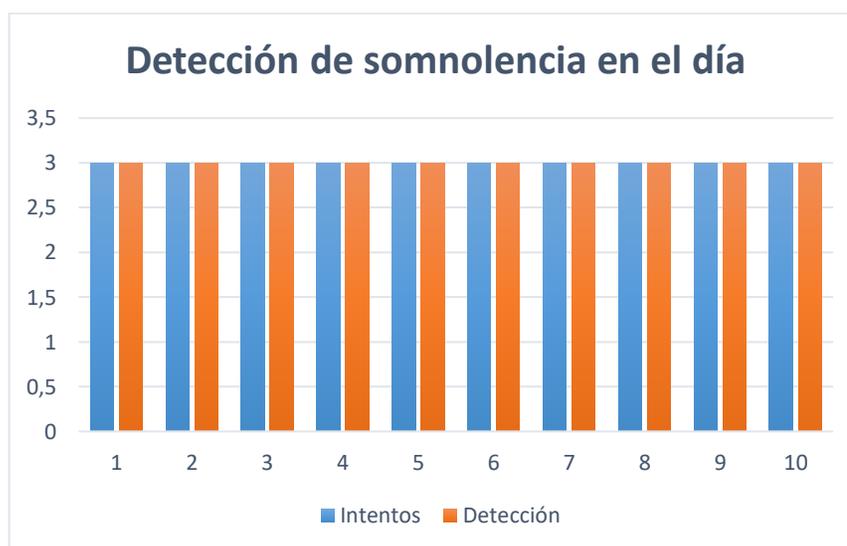


Figura 57. Análisis detección de somnolencia y estimulación visual

b. Detección de somnolencia nocturna

En la figura 58 en el lado izquierdo se muestra la detección de somnolencia en la noche y en la derecha se visualiza la respuesta del sistema con una leyenda de alerta conductor dormido al detectar cabeceo o un parpadeo mayor a 500 ms.



Figura 58. Detección de somnolencia nocturna

En la tabla 20 se muestran los resultados de la prueba de somnolencia en la noche, para los cuales se tomaron los datos del número de intentos y la detección que realizó el sistema durante la prueba de somnolencia realizada además del porcentaje de reconocimiento.

Tabla 20

Detección de somnolencia nocturna

N°	Conductor	Intentos	Detección	% de reconocimiento
1	Karina Salcedo	3	3	100%
2	Erick Román	3	3	100%
3	Jhonatan Sangovalin	3	3	100%
4	Fernando Revelo	3	3	100%
5	Eddy Chuqui	3	3	100%
6	David Salgado	3	3	100%
7	Rosa Chiluisa	3	3	100%
8	Raúl Casco	3	3	100%
9	Oliverio Cifuentes	3	3	100%
10	Marco Guanoquiza	3	3	100%

c. Análisis detección de somnolencia

En la tabla 21 se detalla el análisis de la detección de somnolencia tanto en el día y noche, realizando un promedio para obtener la efectividad del sistema en base al porcentaje de reconocimiento de bostezo en el estado de somnolencia.

Tabla 21

Análisis detección de somnolencia

Horario	% de reconocimiento
Día	100%
Noche	100%
Efectividad del sistema	100%

Según los resultados obtenidos el sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi tiene una efectividad del 100 % en detección de somnolencia y un 100% de efectividad de la estimulación sensorial.

4.2.3 Detección de parpadeo

En la figura 59 se muestra la detección de parpadeo en la noche, para lo cual dentro de la programación se establece la condición de que cuando el número de parpadeos es mayor a 22 en menos de un minuto se considera como fatiga activando la estimulación de luz led color azul.



Figura 59. Detección de parpadeo

En la tabla 22 se muestran los resultados de la prueba de detección de parpadeo, para los cuales se tomaron los datos del número de intentos y la detección que realizó el sistema durante la prueba de fatiga realizada además del porcentaje de reconocimiento.

Tabla 22

Detección de parpadeo

N°	Conductor	Intentos	Detección	Activación luz	% de reconocimiento
1	Karina Salcedo	20	20	20	100%
2	Erick Román	20	20	20	100%
3	Jhonatan Sangovalin	20	20	20	100%
4	Fernando Revelo	20	20	20	100%
5	Eddy Chuqui	20	20	20	100%
6	David Salgado	20	20	20	100%
7	Rosa Chiluisa	20	20	20	100%
8	Raúl Casco	20	20	20	100%
9	Oliverio Cifuentes	20	20	20	100%
10	Marco Guanoquiza	20	20	20	100%
	Total	200	200	200	100%

En la Figura 60 se muestran mediante un gráfico de barras, de color celeste el número de intentos realizados y de color naranja el número de intentos detectados, de reconocimiento realizado en cada conductor durante la prueba de somnolencia en el día.

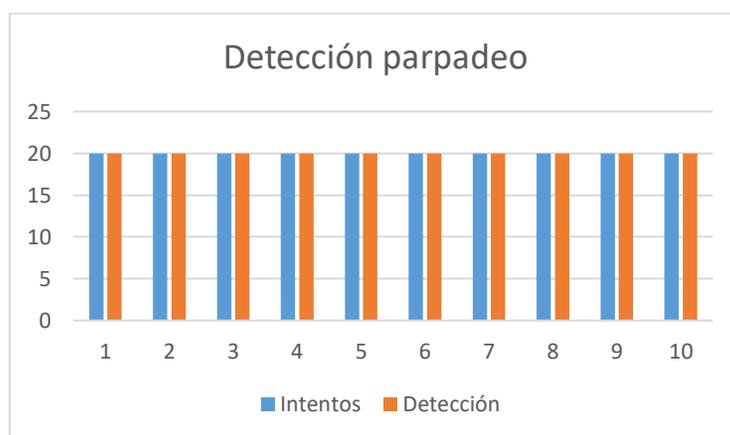


Figura 60. Análisis de detección de parpadeo

a. Análisis detección de parpadeo

En las pruebas realizadas durante el día y noche los conductores parpadearon durante la prueba de ruta en condiciones normales de trabajo con varios factores externos como el clima, iluminación tráfico lento y tráfico fluido. El sistema detecta con una efectividad del 100% incluso cuando el conductor usa lentes.

4.2.4 Detección de cabeceo

Según (Egas Cunalata, 2017) “el cabeceo por efecto de somnolencia se define como un movimiento involuntario y abrupto de la cabeza hacia abajo o hacia algún lado, para las pruebas de detección de este factor se hizo una simulación con el vehículo detenido, para precautelar la seguridad de los conductores. La estimulación sensorial se la realizó a través del accionamiento de

una luz led de color violeta y una alerta sonora que alertan al conductor una anomalía dentro de su conducción.

En la figura 61 se muestra la detección de cabeceo en la noche acompañada de una leyenda de cabeceo detectado en color celeste, siendo este uno de los factores fisiológicos por los cuales se detecta el estado de somnolencia.

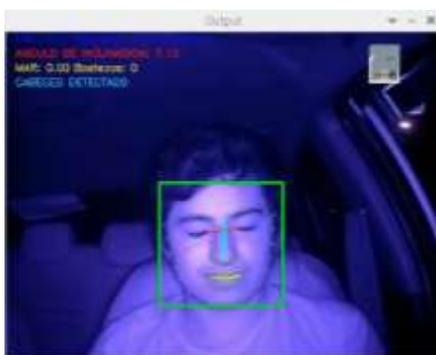


Figura 61. Detección de cabeceo

En la tabla 23 se muestran los resultados de la prueba de detección de cabeceo, para los cuales se tomaron los datos del número de intentos y la detección que realizó el sistema durante la prueba de somnolencia realizada además del porcentaje de reconocimiento.

Tabla 23

Detección de cabeceo

N°	Conductor	Intentos	Detección	% de reconocimiento
1	Karina Salcedo	10	10	100%
2	Erick Román	10	10	100%
3	Jhonatan Sangovalin	10	10	100%
4	Fernando Revelo	10	10	100%
5	Eddy Chuqui	10	10	100%

CONTINÚA →

6	David Salgado	10	10	100%
7	Rosa Chiluisa	10	10	100%
8	Raúl Casco	10	10	100%
9	Oliverio Cifuentes	10	10	100%
10	Marco Guanoquiza	10	10	100%
	Total	100	100	100%

En la Figura 62 se muestran mediante un gráfico de barras, de color celeste el número de intentos realizados y de color naranja el número de intentos detectados, de reconocimiento realizado en cada conductor durante la prueba de cabeceo.

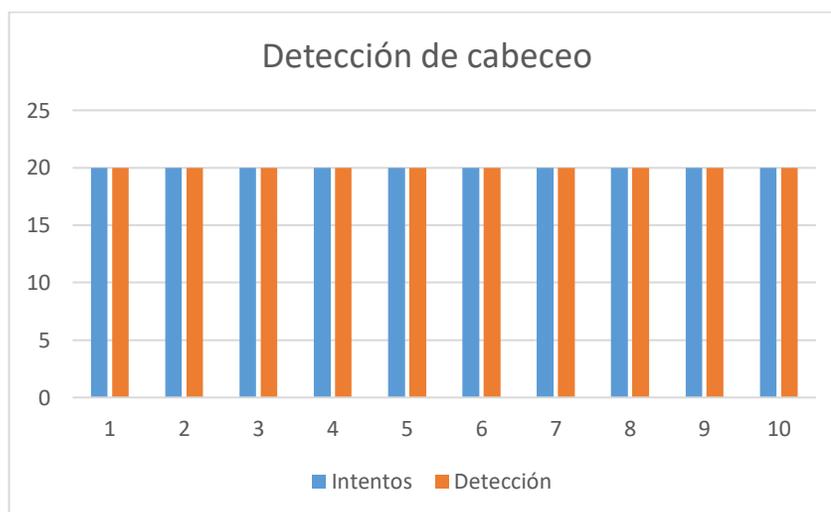


Figura 62. Análisis de detección de cabeceo

a. Análisis detección de cabeceo

Las pruebas fueron realizadas durante el día y noche donde los conductores simularon el cabeceo durante la realización de esta prueba, esto se lo hizo por seguridad de los conductores y de los demás conductores que se encontraban en las calles. El sistema alcanzo un porcentaje

de 100% de detección, los actuadores de luz led y alerta sonora obtuvieron 100% de efectividad.

4.2.5 Detección de distracción

(Montes, Ledesma, & Póo, 2014) Afirman que definen como distracción a la inatención o falta de concentración del conductor en la vía y su entorno durante la conducción, las tasas de accidentes de tránsito se han incrementado notoriamente en el transcurso de los años, pero no se la define en un porcentaje en la que participa directamente, si no como un factor principal que incide en los accidentes de tránsito. Es por esto que el estudio del comportamiento de un conductor durante la conducción constituye un amplio campo de investigación. Para las pruebas realizadas consideramos distracción a cualquier movimiento ya sea horizontal o vertical que haga que el conductor no mantenga su concentración visual en la vía, cuando se cumpla alguna de estas distracciones el sistema enviara estimulación sensorial visual mediante una tira de leds que activan el color violeta y una alerta sonora, con la cual se advierte al conductor su falta de atención durante la conducción.

En la figura 63 se muestra la detección de distracción y la activación de la luz de color lila definida para la condición de distracción dentro del entorno virtual.



Figura 63. Activación de estimulación visual con tira de led color violeta por distracción

En la tabla 24 se muestran los resultados de la prueba de detección de distracción, para los cuales se tomaron los datos del número de intentos y la detección que realizó el sistema durante la prueba de distracción realizada además del porcentaje de reconocimiento.

Tabla 24

Detección de distracción

N°	Conductor	Intentos	Detección	Activación luz	% de reconocimiento
1	Karina Salcedo	10	10	10	100%
2	Erick Román	10	10	10	100%
3	Jhonatan Sangovalin	10	10	10	100%
4	Fernando Revelo	10	10	10	100%
5	Eddy Chuqui	10	10	10	100%
6	David Salgado	10	10	10	100%
7	Rosa Chiluisa	10	10	10	100%
8	Raúl Casco	10	10	10	100%
9	Oliverio Cifuentes	10	10	10	100%
10	Marco Guanoquiza	10	10	10	100%
	Total	100	100	100	100%

a. Análisis detección de distracción

Según los resultados obtenidos el sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi tiene una efectividad del 100 % en detección de distracción y estimulación sensorial.

4.3 Análisis del sistema de detección visual para el control de somnolencia y estimulación sensorial del conductor a través de una cámara digital en vehículos tipo taxi

En la tabla 25 se detalla el análisis de la efectividad del sistema tanto en el día y noche, realizando un promedio para obtener la efectividad total del sistema en base al porcentaje de reconocimiento realizadas en cada una de las condiciones.

Tabla 25

Análisis de efectividad del sistema

Detección	% de detección
Bostezo	86%
Somnolencia	100%
Parpadeo	100%
Cabeceo	100%
Distracción	100%
Efectividad del sistema	97%

Concluidas cada una de las pruebas obtuvimos los resultados mostrados anteriormente y exaltando que el sistema proporciona una efectividad del 97% en la detección de expresiones faciales de cada uno de los conductores para que el sistema funcione óptimamente por lo cual en la estimulación sensorial en cada una de las diferentes condiciones se obtuvo un 100% de efectividad de actuación de la estimulación sensorial

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

Para realizar la presente investigación de manera organizada y que el proyecto sea factible, se detalla a continuación el análisis y optimización de los recursos humanos, materiales y tecnológicos.

5.2. Recursos humanos

El recurso humano que tendrá intervención en la ejecución del proyecto de investigación se detalla en la tabla 26.

Tabla 26

Recursos Humanos

Ord.	Descripción	Cantidad	Función
1.	Erick Román	1	Investigador
2.	Jhonatan Sangovalín	1	Investigador
3.	Ing. Juan Castro	1	Colaborador Científico

5.3. Recursos materiales

Para el desarrollo del proyecto en la tabla 27 se detalla los elementos y componentes necesarios para la ejecución de la investigación.

Tabla 27*Detalles de gastos realizados para el desarrollo de la investigación*

Orden	Cantidad	Descripción	Valor Unitario	Valor Total	Características
1.	1	Raspberry PI4	\$110	\$110	
2.	1	Cámara NoIR	\$60	\$60	
3.	1	Módulo relé 1 canal	\$3,5	\$3,5	Control de potencia de 12V
4.	2	Bus de datos ISC	\$10	\$20	Transferencia de datos para cámara
5.	2	Módulos infrarrojos	\$8	\$16	Modulo para visión nocturna
6.	1	Case cámara NoIR	\$20	\$20	Protector Cámara
7.	1	Case Raspberry PI4	\$20	\$20	Protector de placa Raspberry
8.	3	Disipadores de calor para Raspberry PI4	\$5	\$15	Disipadores de aluminio y cobre
9.	1	Fuente de voltaje regulada	\$20	\$20	Fuente de 12V a 5V
10.	1	Caja vibratoria de engranajes	\$25	\$25	Motor vibratorio de 10W
11.	1	Fuente de alimentación Raspberry	\$18	\$18	Fuente de 5V a 3A
12.	1	Cable micro HDMI a HDMI	\$12	\$12	Transferencia de video y audio
13.	1	Tarjeta microSD 32 GB	\$16	\$16	Memoria extraíble
14.	1	Conector de audio	\$3	\$3	Conector para la transferencia de audio
15.	1	Bocina 3W	\$10	\$10	Altavoz para la emisión de sonido

CONTINÚA 

16.	3	Placa baquelita	\$1,80	\$3,60	Fibra de vidrio de capa simple de cobre
17.	1	PIC 16f628A	\$10	\$10	Circuito integrado para el control de señales
18.	1	Programador	\$50	\$50	Programador de PIC eléctricamente
19.	1	Material electrónico	\$70	\$70	Componentes electrónicos para el control de potencia y de señal
20.	3	Impresión de placas	\$60	\$60	7 cm x 7cm
21.	10	Borneras	\$0,40	\$4	Conector para cables de corriente de 10 A
22.	8	Cable eléctrico	\$0,30	\$2,40	AWG 18 para conexiones y señales de control
23.	40	Cable protoboard	\$0,15	\$6	AWG 20 para control de señales
24.	3	Case placas baquelitas	\$7	\$21	Protector y aislante de placas electrónicas
25.	3	1 transistor de potencia	\$3	\$9	Transistor MOSFET
26.	1	Estano	\$5	\$5	Metal para soldaduras electronicas
27.	5	Conectores de pines de 6	\$1,25	\$6,25	Conectores de cables
28.	60	Espadines	\$0,05	\$3	Conectores para cables de senal
29.	1	Cinta flexible	\$4	\$4	Aislante para cables
30.	1	Luces LED	\$25	\$25	Leds smd RGB
31.	1	LM7805	\$1,50	\$1,50	Regulador de voltaje a 5V 800 Ma

32.	20	Resistencias	\$0,05	\$1,00	Componente de ¼ W y 10% de tolerancia
33.	1	Impresiones	\$0,05	\$40	Impresiones
TOTAL				\$650,25	

5.4. Recursos tecnológicos

Para la realización del proyecto de investigación es necesario contar con equipos tecnológicos que se detallan en la tabla 28 los cuales han sido utilizados para la ejecución de la investigación.

Tabla 28

Recursos tecnológicos para la investigación

Ord.	Detalle	Cantidad	Costo
1.	Computador personal	1	\$500
2.	Multímetro	1	\$350
3.	Osciloscopio	1	\$100
Total			\$950

5.5. Costo neto del proyecto

El costo total del proyecto titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN VISUAL PARA EL CONTROL DE SOMNOLENCIA Y ESTIMULACIÓN SENSORIAL DEL CONDUCTOR A TRAVÉS DE UNA CÁMARA DIGITAL EN VEHÍCULOS TIPO TAXI**” se detalla en la tabla 29.

Tabla 29

Gastos totales para el desarrollo de la investigación

Ord.	Detalle	Cantidad	Costo
1.	Recursos Materiales	1	\$650,25
2.	Recursos tecnológicos	1	\$950
3.	Movilidad	1	\$200
TOTAL			\$1800,25

CONCLUSIONES

- Se investigó fuentes confiables y artículos relacionados con nuevas tecnologías para reducir el índice de accidentes de tránsito por somnolencia en los conductores.
- Se investigó las estadísticas de accidentes de tránsito, lesiones y fallecimientos causados por conducir en estado de somnolencia o fatiga siendo los días viernes, sábado y domingo en horas de la madrugada los de mayor número.
- Se determinó que el clasificador de rostros HAARCASCADE tiene limitaciones en la detección de bostezo debido a que en las pruebas realizadas se obtuvo un 86% de efectividad.
- Se determinó que el módulo electrónico para la detección de somnolencia tiene una efectividad del 100% ya que todas las pruebas realizadas fueron exitosas.
- Se estableció que la detección nocturna en la detección de rostro y somnolencia tiene una efectividad del 100% ya que no influye la cantidad de luz en el habitáculo del conductor.
- Se determinó que el uso de accesorios como anteojos, gorras, sujetadores de cabello que use el conductor no influye en la detección y en el accionamiento del sistema de detección de somnolencia y fatiga.
- Se determino que haciendo uso de gafas de sol el sistema no es capaz de detectar efectivamente el comportamiento de los ojos.
- Se concluye que debido al 97% de efectividad total del sistema y a las estadísticas de accidentes de tránsito por somnolencia o fatiga, es factible la aplicación del sistema en todo tipo de vehículo.

- Se concluye que el procesamiento del módulo raspberry PI3 es inferior para lograr la ejecución del programa de detección de somnolencia, por lo que se utilizó la Raspberry PI4 que tiene la velocidad de procesamiento necesaria para ejecutar de manera adecuada el programa de detección de somnolencia.

RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se recomienda utilizar el módulo Raspberry pi4 con memoria RAM de 2Gb, ya que la velocidad de procesamiento es mayor que en versiones anteriores, por lo que mejora la detección en tiempo real del sistema.
- Recomendamos realizar la instalación de luces led de tipo fibra óptica ya que mejoraría la estética y la iluminación del habitáculo.
- Se recomienda el uso de diagramas eléctricos automotrices del vehículo donde se va a instalar el sistema, para poder realizar la conexión de alimentación del sistema a una línea de contacto y evitar crear un consumidor constante.
- Implementar un sistema de control e indicadores de temperatura para evitar daños prematuros en el procesador del módulo raspberry PI4.
- Se recomienda implementar el sistema de detección de somnolencia y fatiga en vehículos de transporte de pasajeros y de carga debido a que el sistema presenta una efectividad del 97%, pudiendo así disminuir accidentes ocasionados por somnolencia y fatiga.
- Para futuras investigaciones se recomienda que cuando el sistema detecte el estado de somnolencia inmediatamente se proceda mediante el uso de algún dispositivo la inmovilización del vehículo de forma gradual hasta detener el vehículo, obligando al conductor a tomar un descanso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANT, A. N. (Diciembre de 2019). *Estadísticas sobre siniestros de tránsito*. Recuperado el 29 de Marzo de 2019, de <https://www.ant.gob.ec/index.php/descargable/file/6096-siniestros-diciembre-2018>
- Brooke, L. (2012). *Cadillac's 2013 safety seat buzzes drivers with crash warning*. *Automotive Engineering International*, 120(4).
- Cabezas, C. L. (2017). *Steemit*. Recuperado el 29 de 10 de 2019, de <https://steemit.com/spanish/@jfernandez/una-persona-parpadea-aproximadamente-25-mil-veces-por-semana>
- Cañada, A., & MontesinoEsparteros, J. (30 de 10 de 1993). *Repositorio Universitat Politècnica de Catalunya*. Recuperado el 30 de 10 de 2019, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/9658/Article026.pdf>
- CEA, F. (08 de Julio de 2015). *Fundación CEA*. Recuperado el 27 de 03 de 2019, de <https://www.fundacioncea.es/np/pdf/estudio-somnolencia-al-volante.pdf>
- Cordova, F., & Benavides, P. (Febrero de 2012). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 27 de Febrero de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5468/1/T-ESPEL-0921.pdf>
- ecoluzled. (30 de Agosto de 2018). *ecoluzled*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2019, de <https://www.ecoluzled.com/blog/caracteristic>
- Egas Cunalata, F. D. (2017). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 27 de Marzo de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13442>
- Elkan, M. (09 de 11 de 2017). *Tutor de Programación*. Recuperado el 10 de Agosto de 2019, de <http://acodigo.blogspot.com/2017/11/face-landmarks-detector-con-dlib-y.html>
- Flores, M., Armingol, J., & De la Escalera, A. (Agosto de 2011). *ScienceDirect*. Recuperado el 07 de Marzo de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791211000100>
- FUNDACIÓN RASPBERRY PI. (23 de Febrero de 2018). *Raspberry Pi*. Recuperado el 15 de Junio de 2019, de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- Gómez Rodríguez, D., & Valldeoriola Roquet, J. (2012). *Metodología de la investigación*.

- Guerrón Chávez, J. (Marzo de 2015). *Repositorio institucional Universidad San Francisco de Quito*. Recuperado el 29 de Marzo de 2019, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4857>
- Gupta, V. (22 de Octubre de 2018). *LearnOpenCV*. Recuperado el 05 de Julio de 2019, de <https://www.learnopencv.com/face-detection-opencv-dlib-and-deep-learning-c-python/>
- Kohen, . (05 de Enero de 2012). *www.iluminet.com*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2019, de <https://www.iluminet.com/tiras-led/>
- López Romero, W. L. (Enero de 2016). *Repositorio Institucional Universidad Técnica de Ambato*. Recuperado el 28 de Febrero de 2019, de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/19363>
- medlineplus. (30 de 10 de 2019). Recuperado el 20 de Agosto de 2019, de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003096.htm>
- Montes, S. A., Ledesma, R. D., & Póo, F. M. (2014). Estudio y prevención de la distracción. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 115-129.
- Moradela Moreno, S. M. (2018). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Madrid*. Recuperado el 07 de Marzo de 2019, de http://oa.upm.es/51633/1/TFM_SARA_MORALEDA_MORENO.pdf
- Moran Delgado, G., & Alvarado Cervantes , D. (2010). *Métodos de investigación*. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.
- Nacimiento García, E., Nacimiento García, A., & Machín Castilla, R. (15 de Agosto de 2015). *Oficina de Software Libre Universidad de la Laguna*. Recuperado el 25 de Mayo de 2019, de <https://osl.ull.es/software-libre/opencv-libreria-vision-computador/>
- Rosebrock, A. (08 de mayo de 2017). *pyimagesearch*. Recuperado el 03 de Abril de 2019, de <https://www.pyimagesearch.com/2017/05/08/drowsiness-detection-opencv/>
- Rosebrock, A. (16 de Septiembre de 2019). *pyimagesearch*. Recuperado el 12 de Mayo de 2019, de <https://www.pyimagesearch.com/2019/09/16/install-opencv-4-on-raspberry-pi-4-and-raspbian-buster/>
- Sanabria , S., John , J., Archila , D., & John, F. (2011). Detección y análisis de movimiento usando visión artificial. *Scientia Et Technica*, 180-188.
- Sobrado Malpartida, E. A. (2003). *Repositorio Institucional De La Pontificia Universidad Católica del Perú*. Recuperado el 07 de Marzo de 2019, de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/68>
- Soto Salcedo, J. E. (2016). *Detección y reconocimiento de rostros en imágenes infrarrojas sobre hardware digital dedicado*. Universidad de Concepción (Chile). Facultad de Ingeniería.

Soukupova, T., & Cech, J. (2016). *Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks*. Rimske Toplice, Slovenia: Center for Machine Perception, Department of Cybernetics.

Wilkinson, V., & et al. (2013). The Accuracy of Eyelid Movement Parameters for Drowsiness. *Journal of clinical sleep medicine*.

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores ROMÁN ZAVALA, ERICK BENITO Y SANGOVALIN CHILUISA JHONATAN ALEXANDER.

En la ciudad de Latacunga a los 22 días del mes de enero del 2020.

Aprobado por:

