

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creado por Ley N° 25265)



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

SISTEMA DE DETECCIÓN DE SOMNOLENCIA MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN CONDUCTORES DE VEHÍCULOS PARA ALERTAR LA OCURRENCIA DE ACCIDENTES DE TRANSITO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

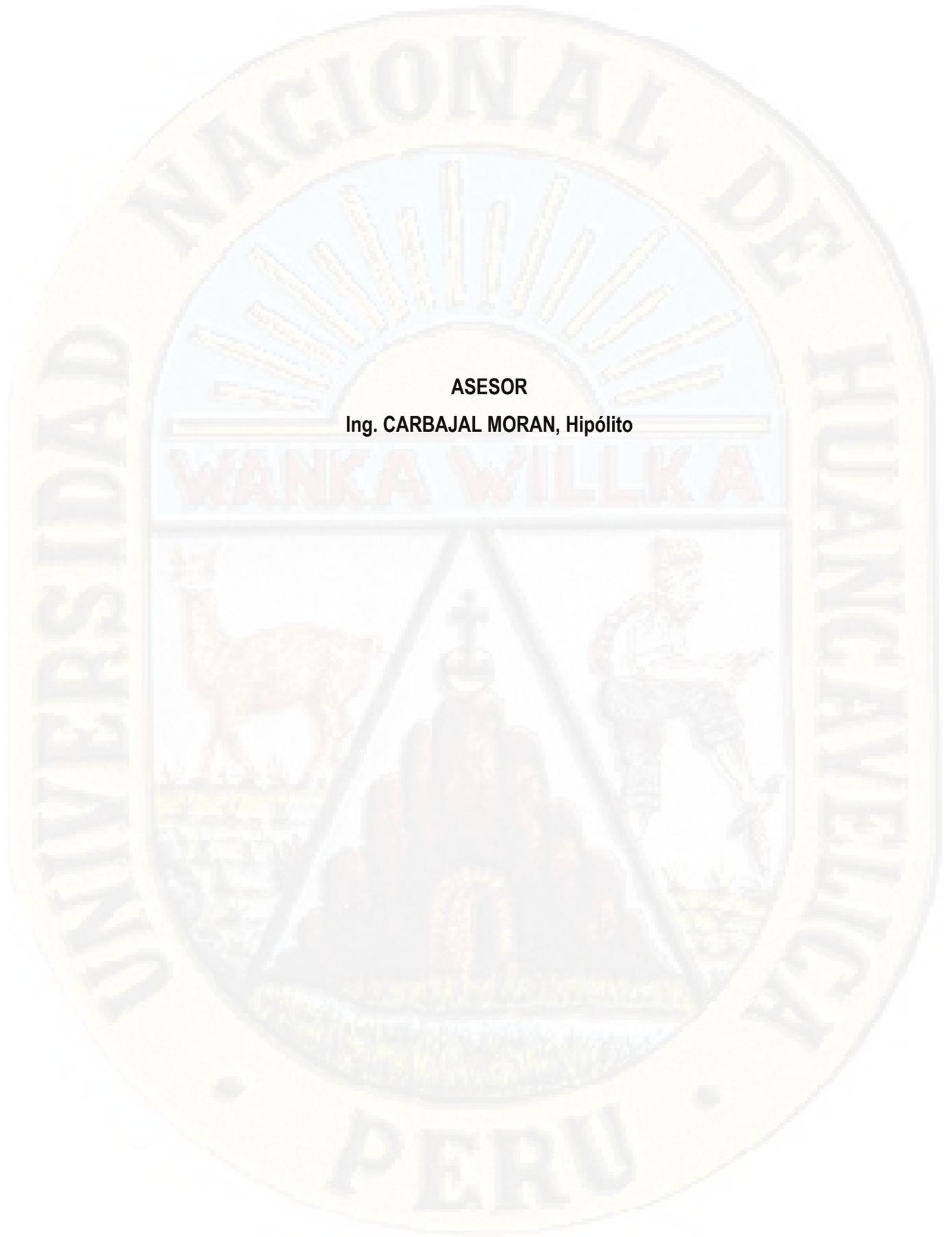
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

BACH. ING. EMERSON MAYON SANCHEZ

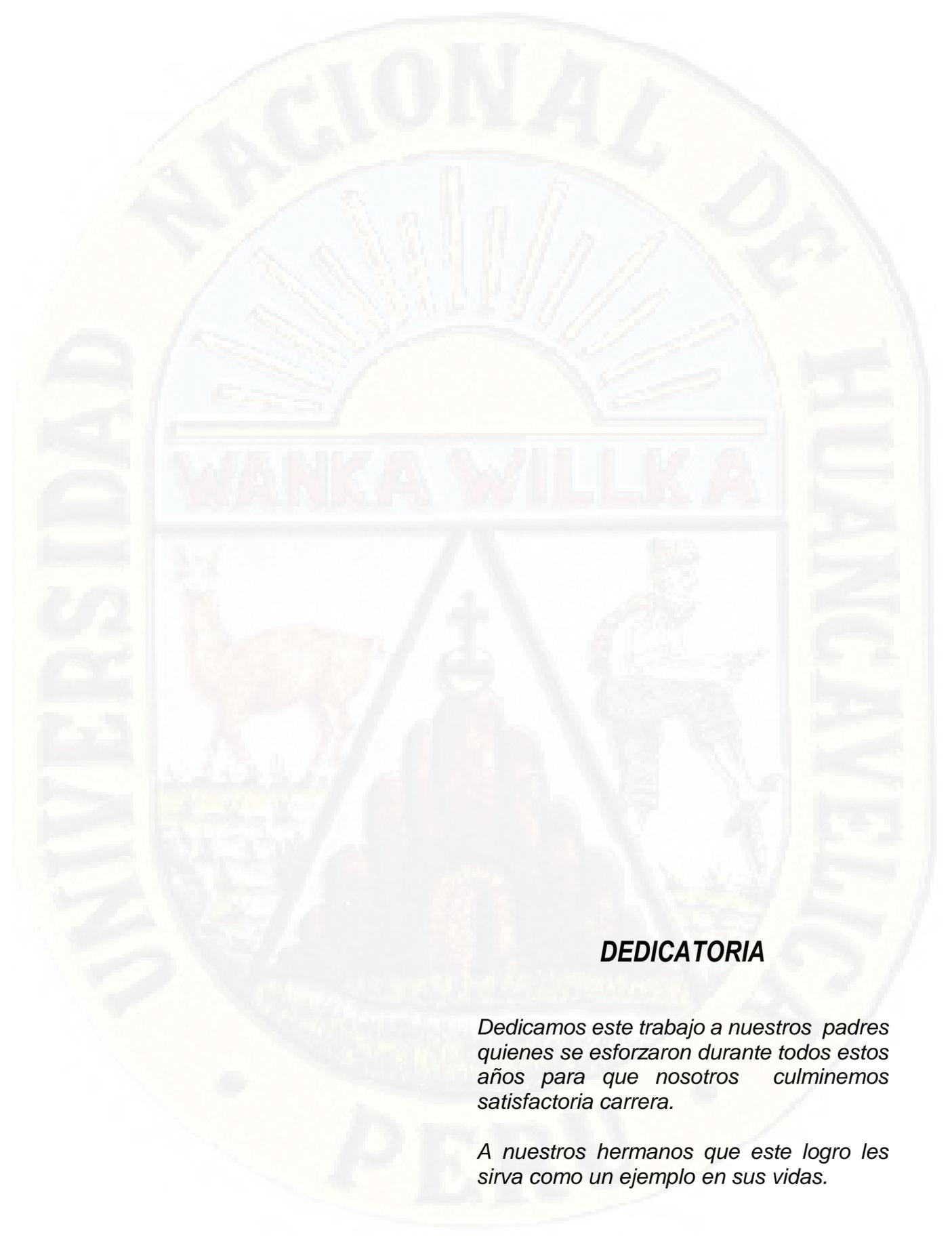
BACH. ING. RAÚL LIMAQUISPE MIGUEL

HUANCABELICA, JUNIO DEL 2018



ASESOR

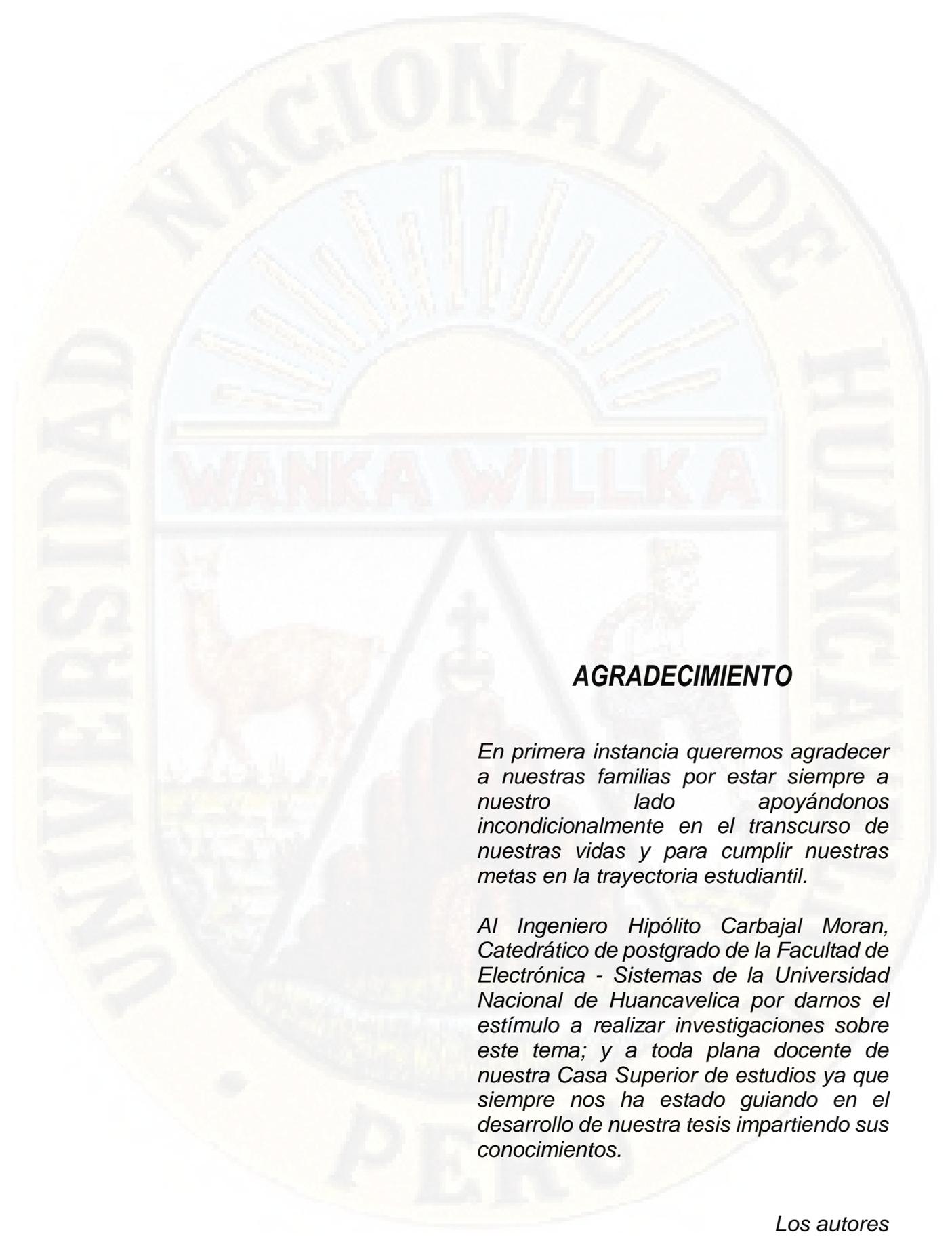
Ing. CARBAJAL MORAN, Hipólito

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica is a circular emblem. It features a sun with rays at the top, a banner with the text 'WANKA WILLKA' in the middle, and a central shield. The shield is divided into three sections: a llama on the left, a central figure holding a staff, and a person on the right. The text 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA' is written around the top and sides of the circle, and 'PERU' is at the bottom.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros padres quienes se esforzaron durante todos estos años para que nosotros culminemos satisfactoria carrera.

A nuestros hermanos que este logro les sirva como un ejemplo en sus vidas.



AGRADECIMIENTO

En primera instancia queremos agradecer a nuestras familias por estar siempre a nuestro lado apoyándonos incondicionalmente en el transcurso de nuestras vidas y para cumplir nuestras metas en la trayectoria estudiantil.

Al Ingeniero Hipólito Carbajal Moran, Catedrático de postgrado de la Facultad de Electrónica - Sistemas de la Universidad Nacional de Huancavelica por darnos el estímulo a realizar investigaciones sobre este tema; y a toda plana docente de nuestra Casa Superior de estudios ya que siempre nos ha estado guiando en el desarrollo de nuestra tesis impartiendo sus conocimientos.

Los autores

RESUMEN

La investigación realizada consiste en llevar a cabo la detección de la somnolencia y la distracción durante la conducción han sido descritas como causantes de accidentes de tránsito dejando alta siniestralidad en término de pasajeros muertos, heridos y pérdidas materiales. Las condiciones que hacen sospechar que un accidente de tránsito fue provocado por la somnolencia son: el automóvil sale inadvertidamente de la vía o invade carril contrario y por último el conductor no deja huellas de haber intentado una maniobra evasiva para evitar el accidente. En este trabajo se ha desarrollado un prototipo de un sistema de control del estado de somnolencia en conductores de vehículos, el sistema utiliza la visión por artificial o visión por computador y la oximetría de pulso. El sistema se desarrolló utilizando C# con EmguCV para la detección de ojos abiertos o cerrados, distracción y orientación, esto mediante técnicas de visión artificial, y las redes neuronales artificiales que ayudan a entrenar a eventos de ojos abiertos, cerrados, distracción, etc. sistema de alarma está constituido por un zumbador de 12 V, que recibe la orden del microcontrolador que a su vez la recibe desde el software de implementación de visión artificial y de una red neuronal.

Palabras claves: Somnolencia, distracción, visión artificial, red neuronal.

ABSTRACT

The research carried out consists of conducting the detection of drowsiness and distraction during driving have been described as causing traffic accidents leaving high accident rates in terms of dead passengers, injuries and material losses. The conditions that make you suspect that a traffic accident was caused by drowsiness are: the car inadvertently leaves the road or invades the opposite lane and finally the driver leaves no trace of having attempted an evasive maneuver to avoid the accident. In this work a prototype of a system of control of the state of drowsiness in vehicle drivers has been developed, the system uses artificial vision or computer vision and pulse oximetry. The system was developed using C # with EmguCV for the detection of open or closed eyes, distraction and orientation, this through artificial vision techniques, and artificial neural networks that help to train open, closed, distracted, etc. events. The alarm system consists of a 12V buzzer, which receives the command from the microcontroller which in turn receives it from the artificial vision and neural network implementation software.

Key words: Drowsiness, distraction, artificial vision, neural network.

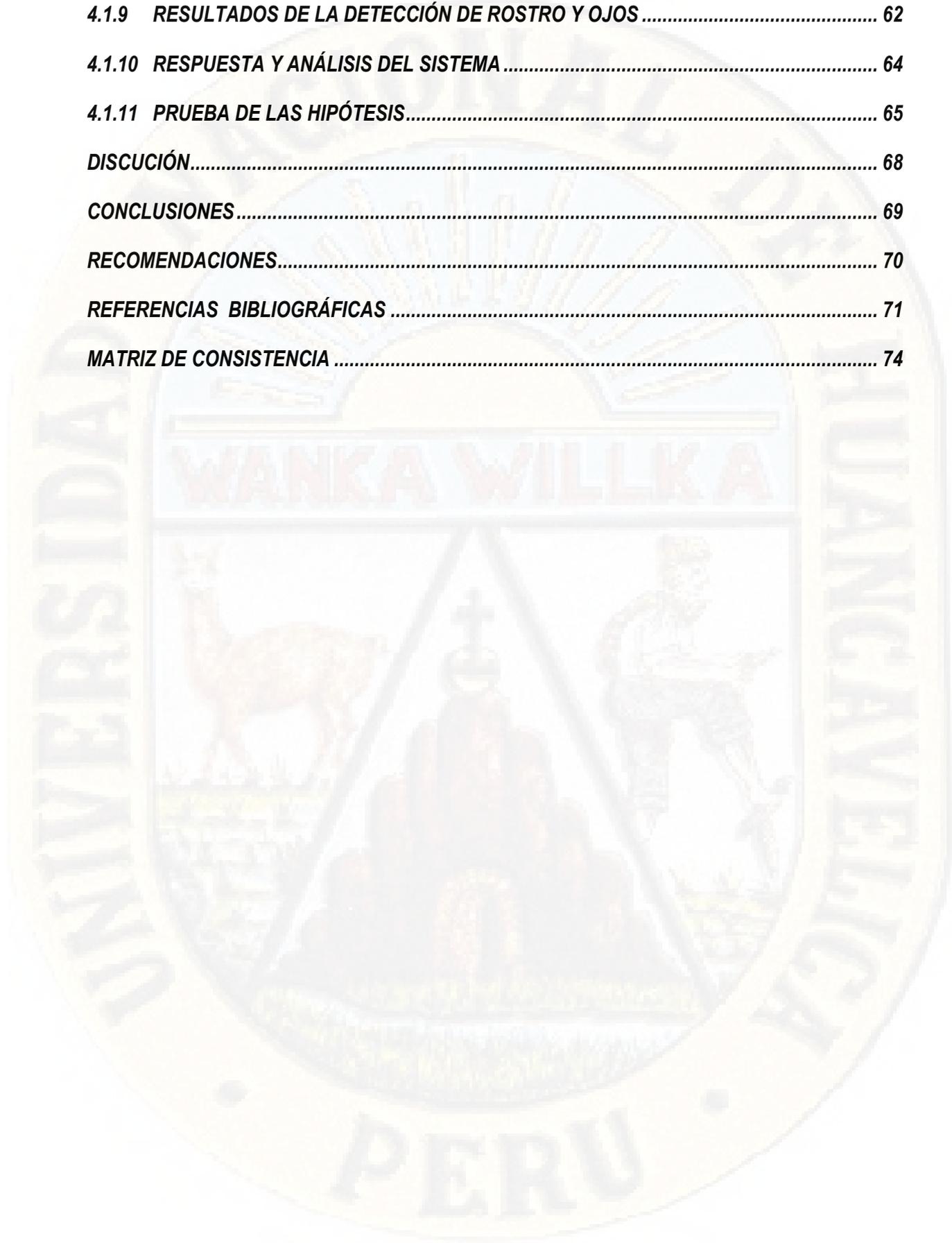
ÍNDICE

| | <i>Pág.</i> |
|--|-------------|
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTO | iv |
| RESUMEN | v |
| ABSTRACT | vi |
| ÍNDICE | vii |
| INTRODUCCIÓN..... | xiv |
| CAPÍTULO I | 15 |
| PROBLEMA | 15 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 15 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 16 |
| 1.2.1. Problema general..... | 16 |
| 1.2.2. Problemas específicos..... | 16 |
| 1.3. OBJETIVOS | 16 |
| 1.3.1. Objetivos generales..... | 16 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 17 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO | 17 |
| 1.4.1. Justificación económica | 17 |
| 1.4.2. Justificación tecnológica | 17 |
| 1.4.3. Justificación social | 17 |
| 1.4.4. Justificación personal | 17 |
| 1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 18 |
| CAPÍTULO II..... | 19 |
| MARCO TEÓRICO..... | 19 |
| 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO..... | 19 |
| 2.2. BASES TEÓRICAS | 20 |
| 2.2.1. Somnolencia..... | 20 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 2.2.2. | El vehículo | 21 |
| 2.2.3. | Síntomas fisiológicos de un conductor | 21 |
| 2.2.4. | Comportamiento del conductor ante la somnolencia..... | 22 |
| 2.2.5. | El sueño..... | 22 |
| 2.2.6. | Inteligencia artificial..... | 22 |
| 2.2.7. | Visión artificial..... | 23 |
| 2.2.7.1. | Dificultades de la visión artificial | 23 |
| 2.2.7.2. | Cambios de iluminación..... | 23 |
| 2.2.7.3. | Cambios de escala | 24 |
| 2.2.7.4. | Deformación..... | 24 |
| 2.2.7.5. | Oclusión..... | 25 |
| 2.2.7.6. | Movimiento..... | 25 |
| 2.2.7.7. | Cámara de video | 25 |
| 2.2.7.8. | Procesamiento de imágenes..... | 26 |
| 2.2.7.9. | Conversión de una imagen RGB a escala de grises..... | 27 |
| 2.2.7.10. | Ecuilización de histograma | 27 |
| 2.2.7.11. | Segmentación | 29 |
| 2.2.7.12. | La textura..... | 29 |
| 2.2.7.13. | El contorno..... | 29 |
| 2.2.7.14. | Algoritmo Viola & Jones..... | 29 |
| 2.2.7.15. | Características tipo Haar o Haar-like features..... | 30 |
| 2.2.8. | Redes neuronales..... | 31 |
| 2.2.8.1. | <i>Redes neuronales artificiales</i> | 31 |
| 2.2.8.2. | <i>Redes neuronales y computadoras digitales</i> | 31 |
| 2.2.8.3. | <i>Elementos básicos que componen una red neuronal</i> | 31 |
| 2.2.8.4. | <i>Aplicaciones de redes neuronales</i> | 32 |
| 2.2.9. | Hart cascade de viola y jones..... | 33 |
| 2.3. | DEFINICIÓN DE TÉRMINOS | 34 |
| 2.4. | HIPÓTESIS | 34 |
| 2.4.1. | Hipótesis general | 34 |
| 2.4.2. | Hipótesis específicas..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5. VARIABLES | 34 |
| 2.5.1. Variable independiente | 34 |
| 2.5.2. Variable dependiente..... | 34 |
| 2.5.3. Operacionalización de la variable | 35 |
| CAPÍTULO III | 36 |
| METODOLOGÍA | 36 |
| 3.1. AMBITO DE ESTUDIO | 36 |
| 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN | 36 |
| 3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN | 36 |
| 3.4. METODO DE INVESTIGACIÓN..... | 36 |
| 3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN..... | 37 |
| 3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO | 38 |
| 3.7. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 38 |
| 3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 39 |
| 3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS | 39 |
| CAPITULO IV | 40 |
| RESULTADOS | 40 |
| 4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS | 40 |
| 4.1.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE | 40 |
| 4.1.2 CAMARA WEB | 40 |
| 4.1.2.1 ACCESO A LA CÁMARA WEB Y VISUALIZACIÓN DE VÍDEO | 41 |
| 4.1.3 DETECTORES HAAR PARA LA DETECCIÓN DE LA CARA Y OJOS | 42 |
| 4.1.4 CONVERSIÓN DE COLOR A ESCALA DE GRISES | 47 |
| 4.1.5 SEGUIMIENTO DE LA CARA Y OJOS | 47 |
| 4.1.6 ESTADO DE LA SOMNOLENCIA | 51 |
| 4.1.7 ALARMAS DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE SOMNOLENCIA | 52 |
| 4.1.8 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE DETECCIÓN DE SOMNOLENCIA | 60 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1.9 RESULTADOS DE LA DETECCIÓN DE ROSTRO Y OJOS | 62 |
| 4.1.10 RESPUESTA Y ANÁLISIS DEL SISTEMA | 64 |
| 4.1.11 PRUEBA DE LAS HIPÓTESIS..... | 65 |
| DISCUSIÓN..... | 68 |
| CONCLUSIONES..... | 69 |
| RECOMENDACIONES..... | 70 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 71 |
| MATRIZ DE CONSISTENCIA | 74 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|-------------|---|
| Figura 2.1 | Persona con somnolencia al volante 20 |
| Figura 2.2 | Vehículo automotor..... 21 |
| Figura 2.3 | Ambigüedad en la definición de conceptos..... 23 |
| Figura 2.4 | Cambio de iluminación 24 |
| Figura 2.5 | Cambio de escala 24 |
| Figura 2.6 | Deformación 24 |
| Figura 2.7 | Oclusión..... 25 |
| Figura 2.8 | Movimiento 25 |
| Figura 2.9 | Técnicas de iluminación..... 26 |
| Figura 2.10 | Tonos en una imagen 27 |
| Figura 2.11 | Histograma de una imagen..... 28 |
| Figura 2.12 | Características tipo Haar 30 |
| Figura 2.13 | Cascada de detectores de Viola & Jones 30 |
| Figura 2.14 | Ejemplo de una red neuronal totalmente conectada..... 31 |
| Figura 2.15 | Esquema de una neurona artificial 32 |
| Figura 2.16 | Clasificadores de Haar cascade 33 |
| Figura 4.1 | Ubicación de cámara web en el tablero del vehículo..... 41 |
| Figura 4.2 | Posicionamiento del conductor 41 |
| Figura 4.3 | Captura de la escena mediante cámara web..... 42 |
| Figura 4.4 | Detección de rostro..... 43 |
| Figura 4.5 | Diagrama de flujo del proceso general de determinación de fatiga 44 |
| Figura 4.6 | Diagrama de flujo del subproceso de detección de cara 45 |
| Figura 4.7 | Diagrama de flujo del subproceso de detección de ojos..... 46 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 4.8 | Conversión de color a escala de gris | 47 |
| Figura 4.9 | Detección de ojos y pupila durante la conducción | 48 |
| Figura 4.10 | Entrenamiento de aprendizaje supervisado | 51 |
| Figura 4.11 | Entrenamiento de aprendizaje supervisado con la red neuronal | 51 |
| Figura 4.12 | Muestras de aprendizaje de ojos abiertos y cerrados..... | 52 |
| Figura 4.13 | Orientación del rostro | 53 |
| Figura 4.14 | Dirección frontal del rostro..... | 53 |
| Figura 4.15 | Esquema de conexión del sistema dentro del vehículo | 53 |
| Figura 4.16 | Generador de señal de alarma con pic 18f4550 | 54 |
| Figura 4.17 | Enumeración del VID&PID..... | 54 |
| Figura 4.18 | Sistema en modo arranque..... | 55 |
| Figura 4.19 | Firmware del sistema de detección de somnolencia..... | 55 |
| Figura 4.20 | Detección de ojos despiertos para el PIC 0X0A | 57 |
| Figura 4.21 | Detección de somnolencia para el PIC 0X20..... | 58 |
| Figura 4.22 | Detección de ojos concentrados para el PIC 0X40..... | 59 |
| Figura 4.23 | Ubicación del zumbador en la cabecera..... | 59 |
| Figura 4.24 | Detección de ojos en distintas escenas durante el día | 60 |
| Figura 4.25 | Detección de ojos durante la noche..... | 60 |
| Figura 4.26 | Detección de ojos durante la somnolencia | 60 |
| Figura 4.27 | Conductor distraído durante el día..... | 61 |
| Figura 4.28 | Conductor distraído durante la noche | 61 |
| Figura 4.29 | Conductor con somnolencia durante el día..... | 61 |
| Figura 4.30 | Conductor con somnolencia durante la noche..... | 61 |
| Figura 4.31 | Cambios bruscos de iluminación | 62 |
| Figura 4.32 | Trayectoria ruta de prueba..... | 62 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1 Operacionalización de variables | 35 |
| Tabla 2 Resultados de detección de rostro y ojos durante el día | 62 |
| Tabla 3 Resultados de detección de ojos cerrados y distracción durante el día | 63 |
| Tabla 4 Resultados de detección de rostro y ojos durante la noche..... | 63 |
| Tabla 5 Resultados de detección de iris de los ojos | 64 |
| Tabla 6 Clasificación del estado de somnolencia | 64 |
| Tabla 7 Monitoreo de ojos detectados con y sin cascada | 65 |

INTRODUCCIÓN

Cuando un conductor se está quedando adormilado, presenta una serie de indicios en su conducción y en sus rasgos faciales, los cuales son causa de posibles accidentes. Los sistemas de detección de la somnolencia y/o distracción reconocen estos indicios y advierten al conductor de la situación de riesgo con una alarma sonora.

Aunque prácticamente puede quedarse en cualquier situación, el mayor riesgo de sufrir un accidente por la pérdida de concentración en la conducción o incluso por quedarse dormido como consecuencia de la fatiga se produce en trayectos normalmente largos. Dichas situaciones de riesgo no son usualmente el riesgo de la noche se presenta, también la monotonía de la tarea de dirigir el vehículo especialmente en rutas nacionales muy riesgosos de nuestro país.

En muchos casos el propio conductor, aunque es consciente de su cansancio, infravalora el riesgo de quedarse dormido al volante, cuando tan solo un segundo de sueño puede derivar en un accidente lamentable con pérdidas irreparables.

Para evitar estos accidentes el sistema de detección de somnolencia para conductor de rutas del Perú reconoce los indicios que muestran la conducción bajo condiciones de cansancio o pérdida de concentración, alertando de que dicha situación se está produciendo y obligándole a que se tome un descanso necesario para poder proseguir con el manejo del vehículo.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Estudios médicos dan cuenta del cansancio y la somnolencia como causas de accidentes durante la conducción¹. Los conductores fatigados o somnolientos disminuyen progresivamente el nivel de atención y concentración durante el manejo y pierden capacidad de respuesta ante condiciones que exigen reacciones inmediatas cuando circulan por la ciudad o las carreteras. La somnolencia durante la conducción refleja un nivel extremo de fatiga y falta de sueño.

Los accidentes de tránsito causados por somnolencia o cansancio de los conductores de ómnibus son frecuentes en nuestro país. Un conductor que se duerme durante la conducción no puede realizar maniobras evasivas para evitar colisiones o despistes, siendo el resultado de este tipo de accidentes, gran número de víctimas y la destrucción de infraestructura [1].

Estudios realizados en el Instituto Ferrero de Neurología y Sueño de Argentina (IFN) concluye que una de las causas más ignoradas y que más muertes y lesiones producen, son los accidentes originados a causa del sueño que presenta el conductor. La repetida frase “el conductor, por razones que se desconocen, perdió el control del vehículo”, suele esconder que la persona se durmió, o debido a la somnolencia generó un accidente evitable [2].

Según el Centro Nacional de Investigación de Trastornos del Sueño/ Administración Nacional de Seguridad Vial (NCSDR/NHTSA) de los Estados Unidos, las condiciones específicas que hacen sospechar si un accidente de tránsito en carretera fue provocado por somnolencia durante la conducción son: privación aguda del sueño, hábitos del conductor durante su trabajo como manejar durante la noche y/o en horario vespertino o jornadas prolongadas sin el descanso requerido, uso de medicación como sedantes. Según el informe de NCSDR/ NHTSA y la Nacional Sleep Foundation (NSF) las características que

¹ Centro de Trastornos Respiratorios del Sueño (CENTRES), Clínica Anglo Americana. Lima, Perú.

rodean al escenario son: el accidente ocurre generalmente entre las 00:00-7:00 horas y en horario vespertino entre las 13:00-15:00 horas, el automóvil sale inadvertidamente de la ruta o invade carril contrario y por último el conductor no deja huellas de haber intentado una maniobra evasiva para evitar la colisión [3] y [4].

En documentos de la Policía Nacional del Perú registra los accidentes de tránsito, tales como: Libro de Ocurrencias, de denuncias directas, Sistema de Denuncias Policiales (SIDPOL), entre otros se contabilizaron 123 mil 786 accidentes de tránsito a nivel nacional. En la provincia de Lima se registra la mayor incidencia de accidentes de tránsito, con 55 mil 699 que representa el 44,9% del total, seguido por el departamento de Arequipa con 8 mil 299 accidentes de tránsito que representa el 6,7% [6].

Analizando los datos estadísticos de la INEI se puede deducir que muchas de las muertes y heridos son causadas por accidentes automovilísticos que tienen origen en factores problema se plantea detectar el estado de somnolencia en conductores humanos, pero en gran cantidad por imprudencia de los conductores. Por lo que, como una alternativa para la solución del de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo detectar el estado de somnolencia en conductores de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué clasificador de imágenes permite detectar el rostro y ojos de conductores en vehículos?
- ¿Cómo alertar el estado de somnolencia en conductores de vehículos?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Implementar un mecanismo para detectar el estado de somnolencia en conductores de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito.

1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar un clasificador de imágenes para detectar los ojos en conductores de vehículos.
- Establecer un mecanismo de umbrado en los ojos para determinar el estado de somnolencia en conductores de vehículos.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

1.4.1. Justificación económica

La justificación económica radica en que el sistema propuesto ayudaría a evitar accidentes automovilísticos, ya sea choques entre vehículos o atropello de peatones con lo cual disminuiría o ya no generaría gastos hospitalarios, gastos en reparaciones de vehículos o de ambientes dañados (vía pública o propiedad privada) y en el mejor de los casos ya no se realizaría indemnizaciones.

1.4.2. Justificación tecnológica

El crear una herramienta que detecte somnolencia en los conductores y generar alertas de accidentes de tránsito, podría en el futuro, ser incluida como tecnología innovadora en el diseño vehicular.

1.4.3. Justificación social

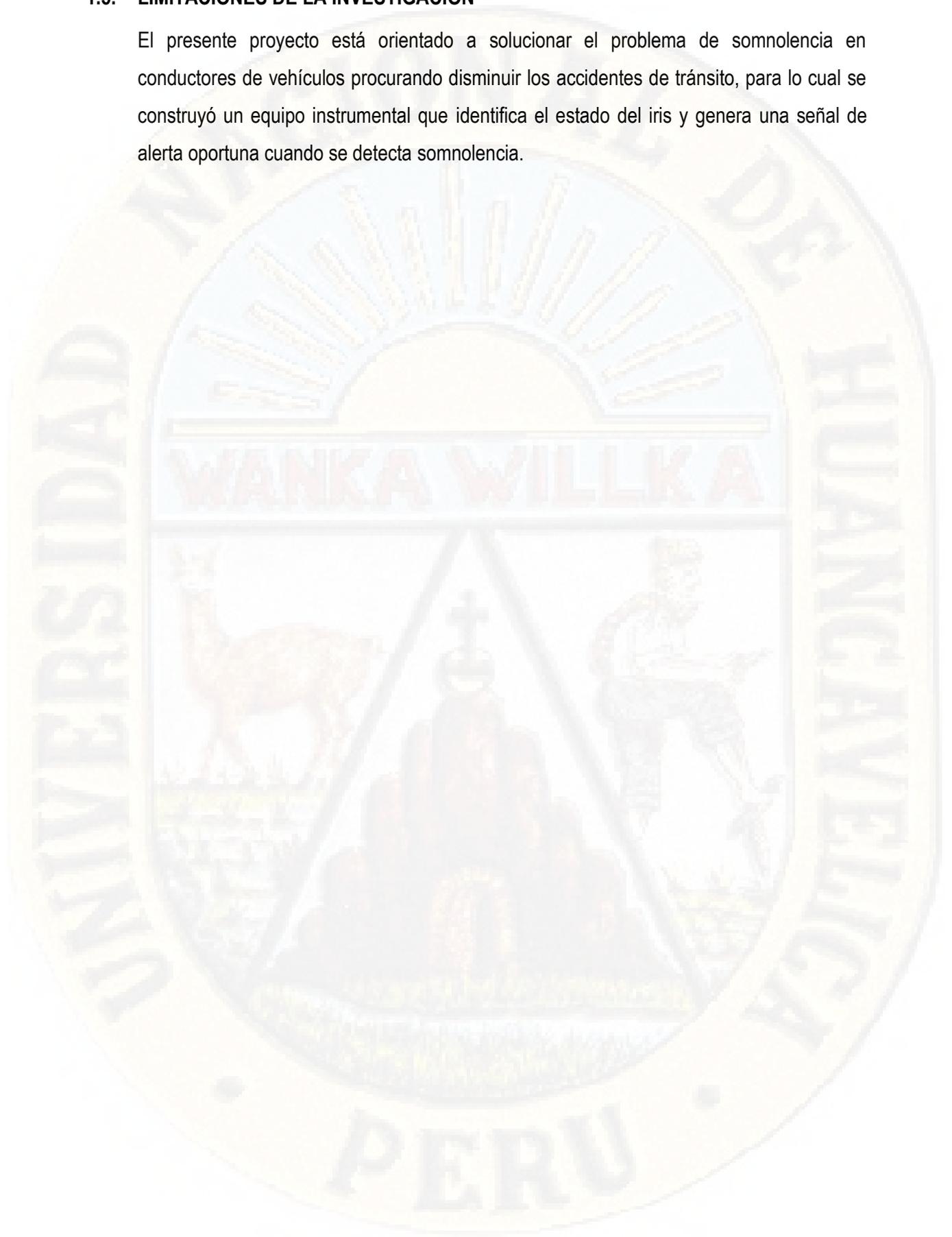
Un accidente automovilístico puede dejar a muchas personas afectadas física o psicológicamente para toda su vida, pudiendo quedar discapacitados hasta el punto de convertirse en dependientes de otras personas para su cuidado. Haciendo de esto una forma inhumana de vivir; y en el peor de los casos puede causar la muerte de seres humanos lo cual siempre genera gran conmoción en las familias; por tanto, ayudar a que los conductores eviten causar accidentes es de gran importancia social.

1.4.4. Justificación personal

En el desarrollo del presente proyecto se emplearon conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria permitiendo ganar experiencia y crecer profesionalmente.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto está orientado a solucionar el problema de somnolencia en conductores de vehículos procurando disminuir los accidentes de tránsito, para lo cual se construyó un equipo instrumental que identifica el estado del iris y genera una señal de alerta oportuna cuando se detecta somnolencia.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

En el trabajo de investigación de Ávila Jiménez y sus colaboradores, de la Universidad de San Buenaventura, Bogotá - Colombia desarrollaron un sistema que se basa en el tiempo de duración de parpadeo del ojo humano. Utilizan sensores infrarrojos ubicados en unas gafas, de manera que al cerrar los ojos las pestañas interrumpen la señal entre los infrarrojos, de esta forma se detecta si los ojos están cerrados o abiertos, mientras la señal esta interrumpida se estima el tiempo que permanecen cerrados los ojos y se toma la decisión, Pero tiene un inconveniente en que las facciones de la cara de cada persona no son iguales, se tiene que presentar un prototipo específico de gafas para cada cliente. Pero existe un mayor problema en el caso de las mujeres, que usan rímel en las pestañas y se las viran lo cual produce interferencia de forma continua marcando estado de sueño todo el tiempo [7].

En el proyecto de Flores Calero, de la Universidad Carlos III de Madrid, Se plantea un sistema de asistencia a la conducción (SAAC) diseñado para detectar automáticamente la somnolencia del conductor, y paralelamente su distracción. El sistema se centra en localizar el rostro y los ojos para analizarlos a través del tiempo y generar un índice de somnolencia y uno de distracción, utilizado técnicas de Visión por Computador e Inteligencia Artificial, sobre imágenes capturadas con un sistema de percepción con iluminación infrarroja. Este sistema ha sido probado con varios conductores sobre un vehículo en condiciones reales de conducción nocturna [8].

En el proyecto de Córdoba Ochoa, de la Escuela Politécnica del Ejercito extensión Latacunga, Se plantea un sistema para la prevención de accidentes mediante el frenado del vehículo al momento que el conductor pierde el control de sí mismo por causa del sueño, En ese instante se activa una alarma sonora cuando se detecta el cabeceo. Esta alarma también activa un módulo de control por medio de una señal eléctrica. El módulo al recibir la señal, automáticamente procesa mediante un programa que regula los voltajes y corrientes del sistema para al final activar un mecanismo de freno. Este mecanismo activa un freno que reduce la velocidad y se desactiva mediante una señal de reinicio dada

por el conductor consciente de su estado o por otro que se encuentre en mejores condiciones [9].

En la publicación de J. L. García, E. Rogado, R. Barea y demás colaboradores, tiene como objetivo determinar el nivel de fatiga del conductor y establecer si se encuentra en condiciones de conducir mediante el análisis de variables biológicas.

Este trabajo se centrará en el estudio del ECG durante la conducción y en concreto en la variabilidad del ritmo cardiaco -HRV- que refleja las interacciones de las dos ramas del sistema nervioso central (simpática y parasimpática). Se ha desarrollado un hardware para la adquisición y el procesamiento de estas variables así como un algoritmo para la detección de latidos y el cálculo del HRV teniendo en cuenta la presión con la que se agarra el volante así como la temperatura en la cabina y el exterior [10].

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Somnolencia

Según la Real Academia Española (RAE), La somnolencia es la sensación de pesadez y torpeza de los sentidos motivadas por el sueño” (Real Academia Española, 2014) esta definición se encuentra, claramente, contraria al estado en el que debe permanecer una persona al momento de conducir, es decir, estar descansado [11] y completamente alerta ante cualquier acontecimiento. Dormir es importante para una buena salud.



Figura 2.1: Persona con somnolencia al volante

La somnolencia excesiva (SE) se define como la incapacidad de llegar a un estado completo de vigilia y alerta (ver figura 2.1), para llevar a cabo las tareas de la vida diaria. El sueño puede aparecer sin querer o en momentos inadecuados, dando como consecuencia una imposibilidad por parte de las personas para llevar a cabo su vida normal. Algunos de los problemas más comunes dentro de este tipo de padecimiento son:

- Fatiga, falta de energía, etc.

- Poca motivación.
- Pérdida del sentido del bienestar.
- Dificultad para concentrarse.
- Baja autoestima.
- Frustración.
- Enfado a causa de no sentirse comprendidos.

2.2.2. El vehículo

Es un medio de transporte de cualquier tipo, forma o época que se utiliza para transportar cargas o personas, con o sin motor, de un lugar a otro.

La Federación Internacional del Automóvil define así el vehículo automotor: "Vehículo terrestre movido por sus propios medios, que se desliza mínimo sobre cuatro ruedas dispuestas en más de una alineación y que están siempre en contacto con el suelo, y de las cuales por lo menos dos son directrices y dos de propulsión"



Figura 2.2: Vehículo automotor

Entre los tipos de vehículos automotores se tienen los vehículos de turismo y vehículos de carga. Los vehículos de turismo presentan una carrocería y órganos mecánicos y de seguridad diseñados y construidos exclusivamente para el transporte de personas. También conocidos como utilitarios, son vehículos destinados básicamente al transporte de bienes materiales o animales, aunque en algunos casos también se utilizan para el transporte de personas.

2.2.3. Síntomas fisiológicos de un conductor

Las variables fisiológicas como la medida de la respuesta galvánica de la piel (GSR) y la conductividad están relacionadas con el estado psicológico de la persona.

Así mismo, la temperatura corporal del mismo, es un parámetro fisiológico importante que está relacionado con el estado del conductor: la temperatura corporal aumenta con

infecciones, fiebre y además permite conocer de forma indirecta el estado del sistema nervioso autónomo. El electroencefalograma (EEG) y el electrocardiograma (ECG) proporciona información psicofisiológica acerca del estado de estrés, somnolencia, o reacciones emocionales.

2.2.4. Comportamiento del conductor ante la somnolencia

Existen patrones muy relacionados con la fatiga del conductor los movimientos de la cabeza son significativamente menos frecuentes; el número de veces que el conductor se toca la barbilla, la cara, la cabeza, la oreja y los ojos se incrementa; se inclina ligeramente la cabeza hacia un lado a consecuencia de la relajación muscular del cuello; la actividad de los ojos se incrementa radicalmente; se producen episodios de cabeceo con más frecuencia y se tiende a adoptar posturas de relajación durante la conducción. En concreto, los patrones de parpadeo y el umbrado, definido como el porcentaje de tiempo que los ojos se encuentran cerrados por debajo del 60 % de su nivel base, son las medidas más aceptadas en la literatura para la detección de fatiga o somnolencia en conductores.

Durante el sueño nocturno se produce la mayor disminución de la temperatura corporal. Los mecanismos de termorregulación son más inestables durante el sueño que durante la vigilia, por lo que la temperatura desciende. Durante el sueño la temperatura corporal se va ajustando a la temperatura ambiente. Las temperaturas ambientales extremas provocan interrupción del sueño, con frecuentes despertares, reduciéndose fundamentalmente la cantidad de sueño.

2.2.5. El sueño

El sueño es un estado fisiológico de autorregulación y reposo uniforme de un organismo. El sueño se caracteriza por los bajos niveles de actividad fisiológica (presión sanguínea, respiración) y por una respuesta menor ante estímulos externos [12].

Cuando el sueño es interrumpido o acortado, puede que no se pase suficiente tiempo en determinadas etapas del sueño. Lo bien que hayas descansado y lo bien que funciones al día siguiente dependerá del tiempo total que se haya dormido y de la calidad que se haya tenido.

2.2.6. Inteligencia artificial

La inteligencia artificial es un campo de la inteligencia basada en computadora, tiene como sub campos: la visión artificial y las redes neuronales.

2.2.7. Visión artificial

También conocida como visión por computador (del inglés computer vision) o visión técnica, es un subcampo de la inteligencia artificial. El propósito de la visión artificial es programar un computador para que entienda una escena o las características de una imagen [13].

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (caras humanas).
- La evaluación de los resultados (segmentación, registro).
- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, es decir, hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes.
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; este modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.

2.2.7.1. Dificultades de la visión artificial

Se tiene variabilidad dentro de una misma clase como se muestra en la siguiente figura que la clase es la silla pero se tiene diferentes modelos y colores (ver figura 2.3) [14].



Figura 2.3: Ambigüedad en la definición de conceptos.

2.2.7.2. Cambios de iluminación

Los cambios de iluminación pueden crear sombras o reflejos, y producir pérdidas importantes de información [15].



Figura 2.4: Cambio de iluminación.

2.2.7.3. Cambios de escala

Los cambios de escala hacen que se pierda el seguimiento de objetos lo que hace que se inicie de nuevo la búsqueda del objeto para posteriormente su seguimiento provocando un mayor uso de recursos de hardware.



Figura 2.5: Cambio de escala.

2.2.7.4. Deformación

La deformación da confusiones al sistema lo que el seguimiento de objetos se pierde.



Figura 2.6: Deformación.

2.2.7.5. Oclusión

Una oclusión es la percepción visual de un objeto estando atrás o en frente de otro objeto, otorgando información sobre el orden de las capas de la textura. Cuando un objeto es ocluido, el sistema visual solo tiene información sobre las partes del objeto que se pueden ver, entonces el resto del procedimiento tiene que ser más profundo [16].



Figura 2.7: Oclusión.

2.2.7.6. Movimiento

Con movimientos rápidos se pierde información del objeto lo que el seguimiento o segmentación de ciertas características son falsos.



Figura 2.8: Movimiento.

2.2.7.7. Cámara de video

La cámara es el dispositivo encargado de transformar las señales luminosas que aparecen en la escena, en señales analógicas. La cámara se divide en dos partes, el sensor, que captura las propiedades del objeto en forma de señales luminosas y lo transforma en señales analógicas, y la óptica que se encarga de proyectar los elementos adecuados de la escena ajustando una distancia focal adecuada [17].

Cámaras IP

Las cámaras IP son sistemas completos que se conectan directamente a Internet y muestran la imagen del lugar donde está colocada. Con una cámara IP puede utilizar su móvil para ver su casa desde cualquier parte del mundo, sin necesidad de otros equipos.

Cámaras analógicas

La cámara de video analógico contiene información de los píxeles con todas las señales de sincronismo en un mismo cable, lo que hace que la conexión sea simple y barata. Si la señal de video es de barrido variable, el cable es algo más complejo y debe llevar algunos hilos pero sigue siendo simple. El cable además puede tener algunas decenas de metros sin perder potencia la señal. Todas las cámaras estándar son analógicas, existen algunas cámaras de alta velocidad y de alta definición [18].

Cámaras Digitales

Las cámaras digitales transmiten la información directamente en digital, lo que supone una mejor calidad frente a ruidos que puedan aparecer en los elementos de transmisión (cables, conectores, etc.) además pueden implementar bits de detección/corrección de errores que permitan verificar y corregir la información recibida, como desventaja el cable necesario es de un espesor considerable (formado por gran cantidad de hilos).

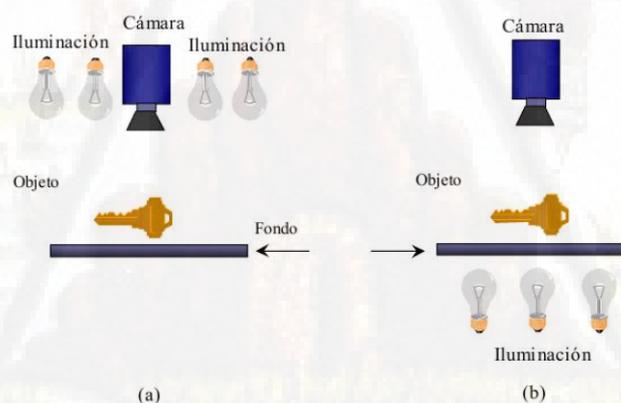


Figura 2.9: Técnicas de iluminación. (a) Iluminación Frontal. (b) Iluminación trasera.

2.2.7.8. Procesamiento de imágenes

Consiste en la transformación de la imagen original en otra imagen en la cual hayan sido eliminados los efectos de degradación (ruido), que afectan a la fidelidad y definición de la imagen [19].

La parte de pre-procesamiento se realiza con el objetivo mejorar o destacar algún elemento de las imágenes, de manera que sea posible realizar las etapas posteriores de segmentación y clasificación.

2.2.7.9. Conversión de una imagen RGB a escala de grises

La conversión de una imagen en color a escala de grises es el equivalente a la luminancia de la imagen. Como sabemos el ojo percibe distintas intensidades de luz en función del color que se observe, esto es debido a la respuesta del ojo al espectro visible, por esa razón el cálculo de la escala de grises o luminancia de la imagen debe realizarse como una media ponderada de las distintas componentes de color de cada pixel.

La ecuación de la luminancia (E_y) es la expresión matemática de ese fenómeno, y los factores de ponderación de cada componente de color nos indican la sensibilidad del ojo humano a las frecuencias del espectro cercanas al rojo, verde y azul [20].

$$E_y = 0.3 * R + 0.5 * G + 0.11 * B \quad (2.1)$$

2.2.7.10. Ecuación de histograma

Esta técnica es la más utilizada para realizar las primeras aproximaciones a la resolución del problema del realce. El histograma es una representación gráfica de la distribución de los distintos tonos de una imagen (ver figura 2.11).



Figura 2.10: Tonos en una imagen.



Figura 2.11: Histograma de una imagen.

La ecualización del histograma trata de repartir los píxeles, de forma que la luminancia de éstos esté más distribuida, consiguiendo, de esta forma, aumentar el contraste y distinguir mejor los distintos objetos que forman la imagen. Como defecto fundamental, la ecualización del histograma tiende a aumentar el ruido. Para exponer el ecualizado del histograma se modifica ligeramente la representación del histograma para asimilarla a la de una función de densidad de probabilidad. Para ello se precisa normalizar el histograma, de manera que los niveles de intensidad pasen a ser una variable aleatoria r que varíe entre 0 y 1, y el área del histograma normalizado sea igual a la unidad. Para conseguir esto, se normaliza el número de intensidades a valores entre 0 y 1 para normalizar se divide cada elemento del histograma por el número de píxeles de la imagen (para que su suma sea 1).

El histograma normalizado se tiene que $PR(r)$, la probabilidad de que un píxel tenga la intensidad r , se expresa como:

$$PR(r) = nr / n \quad (2.2)$$

Donde n es el número total de píxeles en la imagen, y nr el número de píxeles con nivel de intensidad r

La ecualización del histograma tiene como objetivo obtener un histograma uniforme, es decir, que la probabilidad de cualquier nivel de gris en la imagen sea la misma

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k PR(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

La función de transformación cumple la siguiente condición

$$0 \leq T(r) \leq 1 \text{ para } 0 \leq r \leq 1$$

2.2.7.11. Segmentación

Segmentar una imagen digital consiste en dividirla en regiones homogéneas con respecto a una o más características. Es decir, consiste en diferenciar los diferentes objetos y donde se encuentran del fondo, que puede ser tan sencillo como complejo con el fin de facilitar un posterior análisis o reconocimiento automático. Localizar la cara de una persona dentro de la imagen de una fotografía o encontrar los límites de una palabra dentro de una imagen de un texto, constituyen ejemplos de problemas de segmentación. A pesar de que existen diferentes enfoques para realizar la segmentación en la práctica se demuestra que la segmentación no tiene reglas estrictas a seguir, y dependiendo del problema en cuestión, puede ser necesario idear técnicas a medida [21].

El resultado de la segmentación produce otra imagen en la que cada pixel tiene asociada una etiqueta distintiva del objeto al que pertenece.

Los diferentes objetos que aparecen en una imagen pueden ser localizados atendiendo a aspectos como: sus contornos o su textura.

2.2.7.12. La textura

La textura de un objeto dentro de una imagen es el conjunto de formas que se aprecia sobre su superficie y que lo dota de cierto grado de regularidad. Una definición clásica de textura es la siguiente: “uno o más patrones locales que se repiten de manera periódica [21].

2.2.7.13. El contorno

El contorno de un objeto en una imagen digital corresponde al mínimo conjunto de píxeles que separa ese objeto del fondo o background de la imagen. Normalmente estos contornos se corresponden con los puntos donde se producen discontinuidades en los valores de píxeles adyacentes (cambios en el matiz o el brillo) o con los puntos donde cambia un patrón que se repite (cambios de textura).

2.2.7.14. Algoritmo Viola & Jones

Paúl Viola y Michael J. Jones desarrollaron un algoritmo que tiene un coste computacional muy bajo, y consta de dos partes principales: clasificador en cascada, que garantiza una discriminación rápida y un entrenador de clasificadores.

2.2.7.15. Características tipo Haar o Haar-like features

Estas características tipo Haar se definen sobre regiones rectangulares de una imagen en escala de grises. Una característica está formado por un número finito de rectángulos y su valor escalar consistirá la sumar de los píxeles de cada rectángulo sumados aplicando un cierto factor de peso.

$$característica = \sum_{i=1}^N w_i \cdot suma_rectangul(r_i)$$

Donde $\{r_1, \dots, r_N\}$ son los rectángulos que forman la característica y w_i el peso de cada uno.

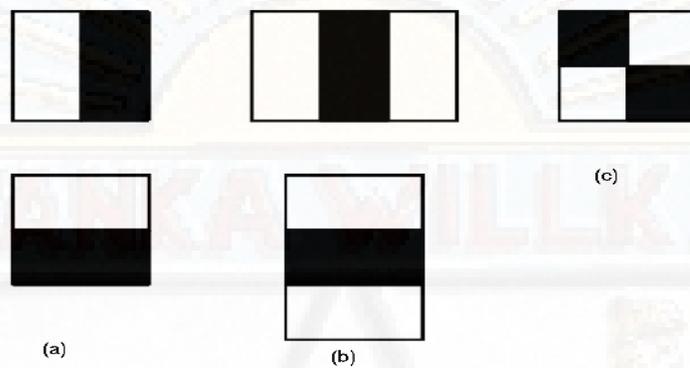


Figura 2.12: Características tipo Haar. (a) Las de bordes, (b) las de líneas, (c) las de forma de X.

El valor de una característica se obtiene sumando todos los píxeles del rectángulo blanco y restándose todos los píxeles del rectángulo negro. Por ejemplo, la característica central de 3 rectángulos trataría de representar que en general la región de los ojos es más oscura que las regiones de alrededor. Como se ve en la figura 2.13.

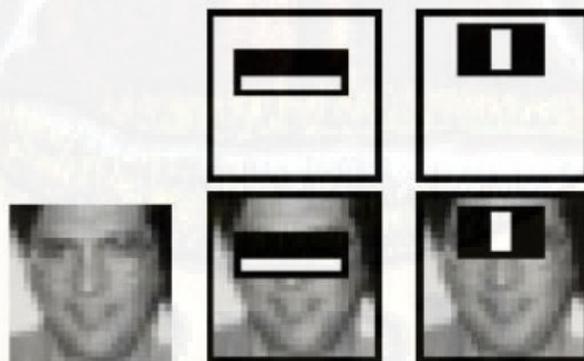


Figura 2.13: Cascada de detectores de Viola & Jones.

2.2.8. Redes neuronales.

2.2.8.1. Redes neuronales artificiales

El hombre se ha caracterizado siempre por su búsqueda constante de nuevas vías para mejorar sus condiciones de vida. Estos esfuerzos le han servido para reducir el trabajo en aquellas operaciones en las que la fuerza juega un papel primordial. Los progresos obtenidos han permitido dirigir estos esfuerzos a otros campos, como, por ejemplo, a la construcción de máquinas calculadoras que ayuden a resolver de forma automática y rápida determinadas operaciones que resultan tediosas cuando se realizan a mano.

2.2.8.2. Redes neuronales y computadoras digitales

Para entender el potencial de la computación neuronal, sería necesario hacer una breve distinción entre sistemas de computación neuronal y digital: los sistemas neurológicos no aplican principios de circuitos lógicos o digitales. Un sistema de computación digital debe ser síncrono o asíncrono. Si fuera asíncrono, la duración de los impulsos neuronales debería ser variable para mantener uno de los valores binarios por periodos de tiempo indefinido, lo cual no es el caso. Si el principio fuera síncrono, se necesitaría un reloj global o maestro con el cual los pulsos estén sincronizados. Éste tampoco es el caso. Las neuronas no pueden ser circuitos de umbral lógico, porque hay miles de entradas variables en la mayoría de las neuronas y el umbral es variable con el tiempo, siendo afectado por la estimulación, atenuación, etc.

2.2.8.3. Elementos básicos que componen una red neuronal

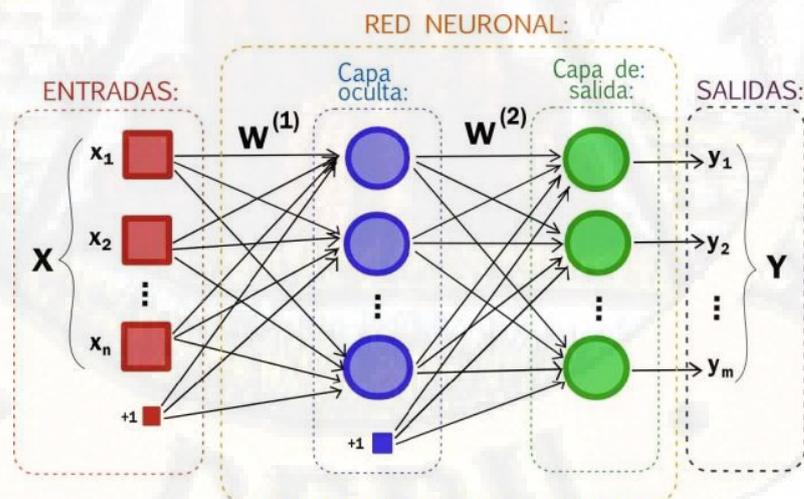


Figura 2.14: Ejemplo de una red neuronal totalmente conectada.

La misma está constituida por neuronas interconectadas y arregladas en tres capas (esto último puede variar). Los datos ingresan por medio de la “capa de entrada”, pasan a través de la “capa oculta” y salen por la “capa de salida”. Cabe mencionar que la capa oculta puede estar constituida por varias capas. El elemento de procesado más simple suele tener el esquema mostrado en la figura 2.15.

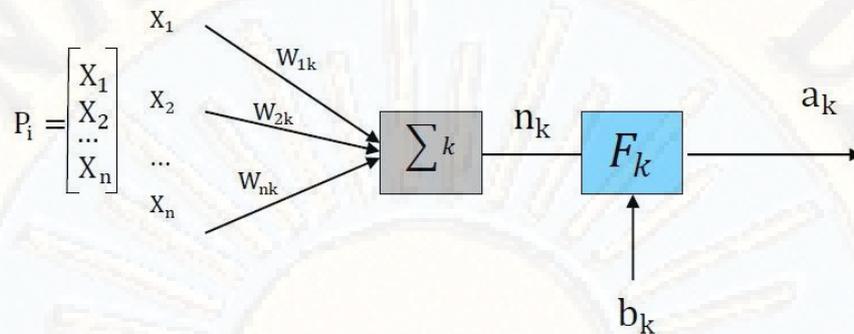


Figura 2.15: Esquema de una neurona artificial.

$$a = F_k(W_{ij}P_i + b_k) \quad (2.7)$$

Dónde:

- a : es la salida de la neurona.
- F_k : es la función de transferencia de la neurona.
- W_{ij} : es la matriz de pesos.
- P_i : es el patrón de entrenamiento.
- b_k : es el umbral de activación de la neurona.

2.2.8.4. Aplicaciones de redes neuronales

Las múltiples aplicaciones de sistema de inteligencia artificial y red neuronal son:

- Gestión y control: análisis inteligente, fijación de objetivos.
- Fabricación: diseño, planificación, programación, monitorización, control, gestión de proyectos, robótica simplificada y visión computarizada.
- Educación: adiestramiento práctico, exámenes y diagnóstico.
- Ingeniería: diseño, control y análisis.
- Cartografía: interpretación de fotografías, diseño, resolución de problemas cartográficos.
- Profesiones: abogacía, medicina, contabilidad, geología, química.
- Software: enseñanza, especificación, diseño, verificación, mantenimiento.

- Sistemas de armamento: guerra electrónica, identificación de objetivos, control adaptativo, proceso de imágenes, proceso de señales.
- Proceso de datos: educación, interface en lenguaje natural, acceso inteligente a datos y gestores de bases de datos, análisis inteligente de datos.
- Finanzas: planificación, análisis, consultoría.

2.2.9. Haar Cascade de Viola y Jones

La detección de objetos mediante clasificadores en cascada basados en funciones de Haar es un método eficaz de detección de objetos propuesto por Paul Viola y Michael Jones en su documento, *"Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features"* en 2001. Este es un enfoque basado en el aprendizaje automático en el que la función en cascada se entrena a partir de muchas imágenes positivas y negativas. Luego se utiliza para detectar objetos en otras imágenes

En la investigación trabajaremos con la detección de rostros o caras en conductores de vehículos. Inicialmente, el algoritmo necesita muchas imágenes positivas (imágenes de caras) y negativas (imágenes sin caras) para entrenar al clasificador. Entonces necesitamos extraer rasgos de él. Para ello se utilizan las características de Haar mostradas en la imagen inferior.

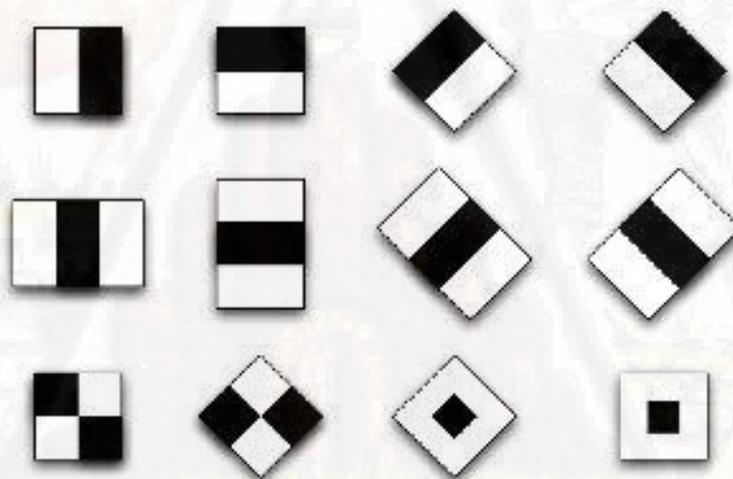


Figura 2.16: Clasificadores Haar cascade.

Se utilizan todos los tamaños y ubicaciones posibles de cada núcleo para calcular varias características, que demandan altas prestaciones computacionales. Incluso una ventana de 24×24 resulta con más de 160000 características.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- Inteligencia artificial (IA): Es la rama de las Ciencias de la Computación que estudia el software y hardware necesarios para simular el comportamiento y comprensión humanos. El objetivo último de la IA es simular la inteligencia humana en una máquina creando robots que sean conscientes y con sentimientos reales, similares a los humanos. Uno de los problemas más difíciles es la simulación de la conciencia, cualidad humana que hace que nos demos cuenta de nuestra propia existencia. Primero, que se tengan en cuenta las implicaciones del uso de técnicas de IA en la generación y mantenimiento del empleo. Segundo, que dichas máquinas no atenten contra la integridad de los humanos y cumplan con una serie de códigos de conducta, restringiéndoles sus acciones, y no se desvíen de las normas que rigen a los humanos [24].

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

La visión artificial y redes neuronales permiten detectar el estado de somnolencia en conductores de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El clasificador Haar cascade con visión artificial permite detectar adecuadamente el rostro y los ojos en conductores de vehículos.
- Con el método de umbralado de los ojos por una red neuronal entrenada se reconoce el estado de somnolencia en conductores de vehículos.

2.5. VARIABLES

Las variables identificadas que permitirán demostrar las hipótesis son las siguientes:

2.5.1. Variable independiente

Umbralado digital de los ojos = UDO

Nivel de somnolencia = NS

2.5.2. Variable dependiente

Detección de somnolencia en conductor de vehículos =DSCV

2.5.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1 Operacionalización de las variables

| VARIABLES | OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES | INDICADORES |
|---|--|---|
| Variables Independientes: | $DSCV = f(UDO, NS)$ | <ul style="list-style-type: none"> • Comparación de patrón de entrenamiento (estado) • Parpadeo (veces) |
| <ul style="list-style-type: none"> • Umbralado digital de los ojos = UDO | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Nivel de somnolencia = NS | | |
| Variable Dependiente: | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Detección de somnolencia en conductor de vehículos = DSCV | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Duración umbral (seg.) | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Veces (retardo de parpadeo) |

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El proyecto se desarrolló en conductor de vehículo de transporte interprovincial, tramo Lima hacia Huancayo, mediante este proyecto se implementó un sistema para el monitoreo de sueños en manejo de vehículo gobernado por un sistema de alarma sonora en cabina; utilizando la técnica de inteligencia artificial en campo de visión artificial implementado en software visual estudio 2010.

El sistema está conformado por el módulo de procesamiento de imágenes con la librería abierta opencv de Intel, conectado con sistema de interface con la alarma a cargo del microcontrolador PIC18F4550 que realiza la adquisición de las señales provenientes del software detección de sueño.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

EL proyecto se cataloga como una investigación científica de tipo descriptiva, en la cual inicialmente se recolecto información de fuentes tales como: páginas web, revistas científicas, tesis y artículos. La información recolectada fue clasificada para 2 fines, el primero para identificar las características del problema objeto de estudio y el segundo con el fin de seleccionar las tecnologías necesarias en el marco del presupuesto base para el proyecto.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es aplicado, sustentado en los conocimientos de la física, ingeniería eléctrica, ingeniería electrónica, ingeniería automotriz y medio ambiente.

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El trabajo propuesto será de carácter descriptivo y aplicativo. En la investigación se realiza un estudio descriptivo que permite poner de manifiesto los conocimientos teóricos que describen a nuestro problema. Y es aplicada ya que los conocimientos adquiridos serán usados para buscar la resolución del problema, es decir, se aplicarán técnicas y estrategias para enfrentar y solucionar el problema.

Para ello y con el fin de alcanzar nuestros objetivos se realizarán las siguientes actividades:

- Se identifican las características visuales que permiten reconocer el estado de somnolencia en una persona, en particular trabajaremos con el parpadeo dilatado como particularidad de somnolencia.
- Se establece un índice de somnolencia, el índice umbral calcula el porcentaje de ojos cerrados en un tiempo dado y puede ser usado como indicador de somnolencia.
- Se obtienen fotogramas del conductor usando una webcam y se detecta el rostro del conductor.
- En el rostro detectado se clasifican el estado de los ojos como "abiertos" o "cerrados", esta información es usada para calcular el índice umbralado.
- Con el valor del índice umbralado se evalúa el estado de somnolencia del conductor y se muestra una alarma si su estado de somnolencia es peligroso es decir si el valor del índice umbral > 60%.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación al hacer uso del método cuasi experimental, contó con un grupo de control representado por secuencia de imágenes de rostros en estado de somnolencia y no somnolencia. Las imágenes fueron comparadas con los frames obtenidas por la cámara de video mediante visión artificial siendo este proceso parte de la variable experimental. El diseño queda representado por:

| | | | |
|-----|----|---|----|
| GE: | O1 | X | O2 |
| GC: | O3 | | O4 |

Donde:

GE: Grupo experimental para reconocimiento de estado de somnolencia.

GC: Grupo control (secuencia de imágenes de rostros en estado de somnolencia y no somnolencia).

O1 y O3: Pre test (observación inicial del estado de somnolencia y no somnolencia inicial).

X: variable experimental (sistema de detección de somnolencia mediante inteligencia artificial)

O2 y O4: Post test (observación de la detección del estado de somnolencia y no somnolencia).

3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.6.1. Población

La población está determinada por la secuencia de imágenes (frames) obtenidas por la cámara de video, siendo esta población bastante grande por lo que se considera infinita.

3.6.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por 384 secuencias de videos de personas en estado de somnolencia y no somnolencia.

$$\begin{aligned} \text{Cuando: } Z &= 1.96 \\ N &= \infty \\ P &= 0.50 \\ Q &= 0.50 \\ E &= 0.05 \end{aligned}$$

$$n_0 = \frac{Z^2 P \cdot Q}{E^2} \approx 384$$

Luego:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} = 384$$

3.6.3. Muestreo

Se usó el Muestreo Aleatorio Simple, por tratarse de una población homogénea con la misma oportunidad de ser seleccionado para la detección de su estado.

Siendo estas secuencias de frames de videos diurnos o nocturnos.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se empleó la técnica de la observación, recolectando los datos desde el video generado por una cámara web Logitech C170.

Las señales de entrada han de presentar la información a la misma frecuencia y en los mismos instantes de tiempo. En la señal de referencia se tiene una muestra cada cinco minutos que al ser tan baja no es válida para optimizar los indicadores debido al sobre

entrenamiento. Por otro lado, las señales de conducción del vehículo, que como se ha comentado se registran a diferentes frecuencias, se adquieren para nuestra aplicación a una frecuencia de 10 Hz, por lo que se hace necesario interpolar la señal de referencia para igualar su frecuencia con la de las señales de conducción y tener el mismo número de muestras.

3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos para detectar la somnolencia fueron recolectados cada 10 segundos. Inicialmente el sistema detectó el rostro, luego se procedió a la detección e identificación del estado del iris de los ojos, con estos datos fue posible determinar el estado de somnolencia.

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para procesar y analizar los datos del trabajo de investigación se usó el estadístico T de Student para muestras independientes a ambas colas que permitió validar la hipótesis de investigación planteada.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Como resultado se diseñó e implementó el software basado en visión artificial dependiente de una red neuronal, se diseñó e implementó el software. Inicialmente se accedió a la cámara web para capturar la imagen, en seguida se detecta el rostro y los ojos con un mecanismo de seguimiento, luego se determina el estado de somnolencia, si existe somnolencia se activa el alarma representado por un sonido emitido por un zumbador. Finalmente se hace prueba de funcionamiento y análisis de resultados.

4.1.1. Diseño e implementación del software

El desarrollo del módulo de la visión artificial es dependiente de la red neuronal artificial, para el training de los patrones de pruebas de ojos cerrados y abiertos en su base de datos para la selección de Haar cascade.

Se utilizó el entorno de desarrollo integrado (IDE) Eclipse, para el lenguaje de programación C++ al que se le asoció librerías de OpenCV. OpenCV (Open Source Computer Vision) es liberado bajo una licencia BSD y por lo tanto es gratis, tanto para uso académico y comercial. OpenCV fue diseñado para la eficiencia computacional y con un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real. Escrito y optimizado en C/C++, adoptado en todo el mundo, OpenCV tiene más de 47 mil personas de la comunidad de usuarios y el número estimado de descargas superiores a 9 millones. Rangos de uso del arte interactivo, a la inspección de minas, mapas de costura en la web o a través de la robótica avanzada.

4.1.2. La cámara web

La cámara web es un elemento de importancia, dependerá de esta la calidad de imagen a procesarse para determinar el estado de somnolencia del conductor de vehículos.

La cámara se encuentra situada en el frente del volante, encima del tablero del vehículo, en lo posible enfocado al rostro frontalmente. En la figura 4.1 se ve como se ha colocado la cámara web para el diseño del proyecto de tesis.



Figura 4.1: Ubicación de cámara web sobre el tablero del vehículo.

La cámara fue acondicionada al frente del piloto sin realizar la obstrucción o invadir la visión del automovilista (ver figura 4.2).



Figura 4.2: Posicionamiento del conductor.

4.1.2.1. Acceso a la cámara web y visualización de vídeo

Para el acceso a la cámara se empleó la instrucción “try”, que es una condición que vigila la condición de captura en lazo verdadero caso contrario termina en catch, la variable “cap” almacena la imagen contenida, luego con `this.Width` y `this.Height` regula el tamaño de salida de la imagen para mostrar en la ventana de salida.



Figura 4.3: Captura de la escena mediante cámara web

A continuación, el código con el cual se captura y almacena la imagen de la webcam.

```
// passing 0 gets zeroth webcam
try
{
    cap = new Capture(0);
}
catch (Exception ex) { MessageBox.Show("No webcam
detected!");
this.Dispose(); }
this.Width = cap.Width;
this.Height = cap.Height;
haarface = new
HaarCascade("C://OpenCV2.1//data//haarcascades//haarcascade_frontal
face_alt2.xml");
haareye = new
HaarCascade("C://OpenCV2.1//data//haarcascades//haarcascade_eye.xml
");
} //end form load
```

4.1.3. Detectores Haar para la detección de la cara y ojos

Se trabajó con EmguCV en lenguaje VisualBasic que permitió ensamblar el módulo con sus clases, funciones y argumentos que son análogos a los usados en OpenCV para C++.

Como primer paso se adquiere el video de buena calidad del entorno en el que se encuentra el usuario para lo cual se utiliza un objeto de la clase "Image" de EmguCV para almacenar cada imagen del video captado por la cámara. Para la captura de la trama de video se ocupa el método QueryFrame sobre una clase de tipo capture" (análoga a videoCapture de OpenCV).

Como la detección está sujeta al uso del método DetectMultiScale es necesario tener todos los argumentos necesarios, por ello previamente se procesa la imagen original, convertirla a escala de grises; la imagen procesada se almacena en otra clase tipo "Image" sobre la cual se efectúa la detección facial. Se usa el método convert para pasar la imagen a escala de grises y el método SmoothGaussian para suavizar y equalizar la imagen.

Se comienza con la detección de rostro trabajando con el objeto cargado anteriormente con el CascadeClassifier "frontalface.xml", conteniendo los parámetros de medición de la red neuronal entrenada para el reconocimiento de los rostros, sobre este objeto se aplica el método DetectMultiscale.



Figura 4.4: Detección de rostro.

Se realiza carga de las cascades en el software C#, que es el entorno de desarrollo del sistema, previo entrenamiento con red neuronal artificial. Esta red neuronal artificial tiene extensión ".XML" y contiene los parámetros biométricos del ojo, cara y pupila del conductor de vehículo.

```
Haarface = new HaarCascade("haarcascade_frontalface_alt2.xml");  
haareye = new HaarCascade("haarcascade_eye.xml");  
grayframe = nextFrame.Convert<Gray, byte>();  
  
//detectar la cara usando haarcascade  
MCvAvgComp[] faces = grayframe.DetectHaarCascade(  
haarface, 1.1, 3, //1.4, 4,
```

```
HAAR_DETECTION_TYPE.DO_CANNY_PRUNING,  
new Size(nextFrame.Width / 5, nextFrame.Height / 4))[0];  
//si se detecta la cara, luego procesar la región de la cara
```

En la figura 4.5, se presenta el diagrama en bloques del proceso general de detección de la cara y ojos.

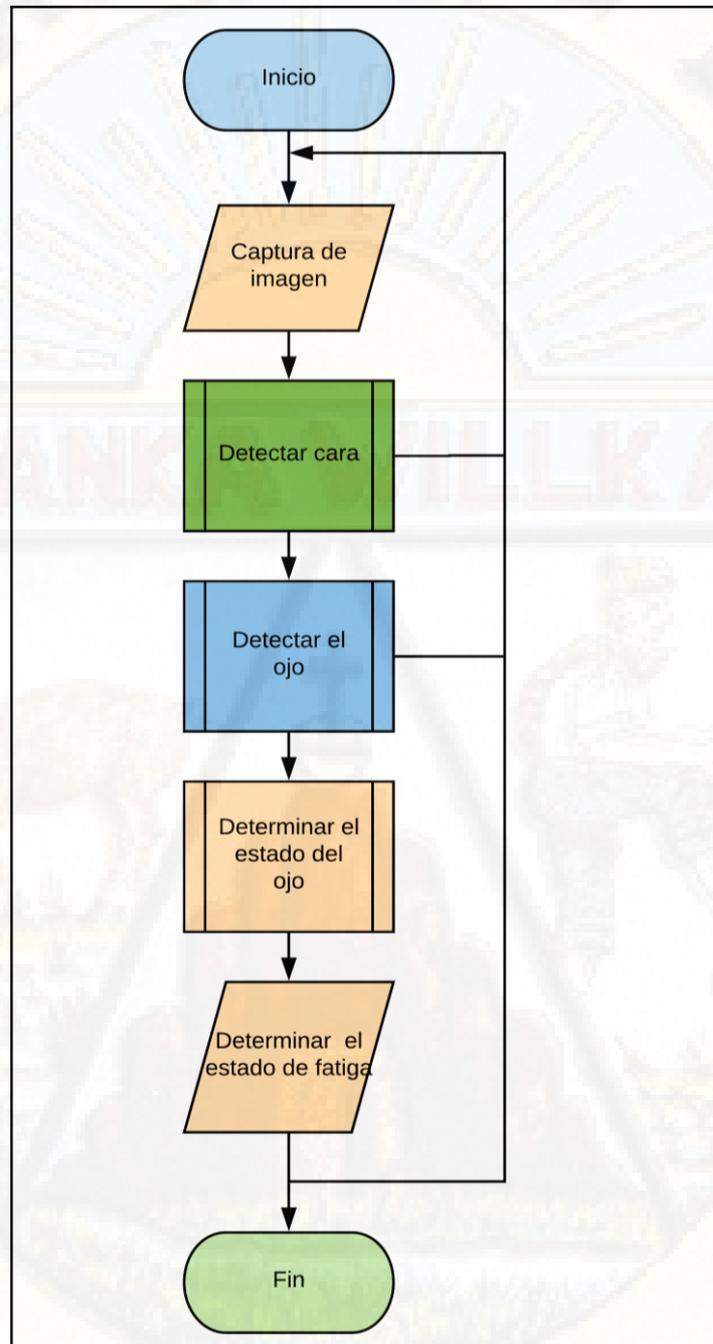


Figura 4.5: Diagrama de flujo del proceso general de determinación de fatiga del conductor de vehículo.

La detección de la cara requiere de la imagen capturada en escala de grises, el cual debe ser ecualizada para la detección de una cara o caras si se trata de varias personas. Este subproceso se llevó a cabo de acuerdo al diagrama de flujo de la figura 4.6.

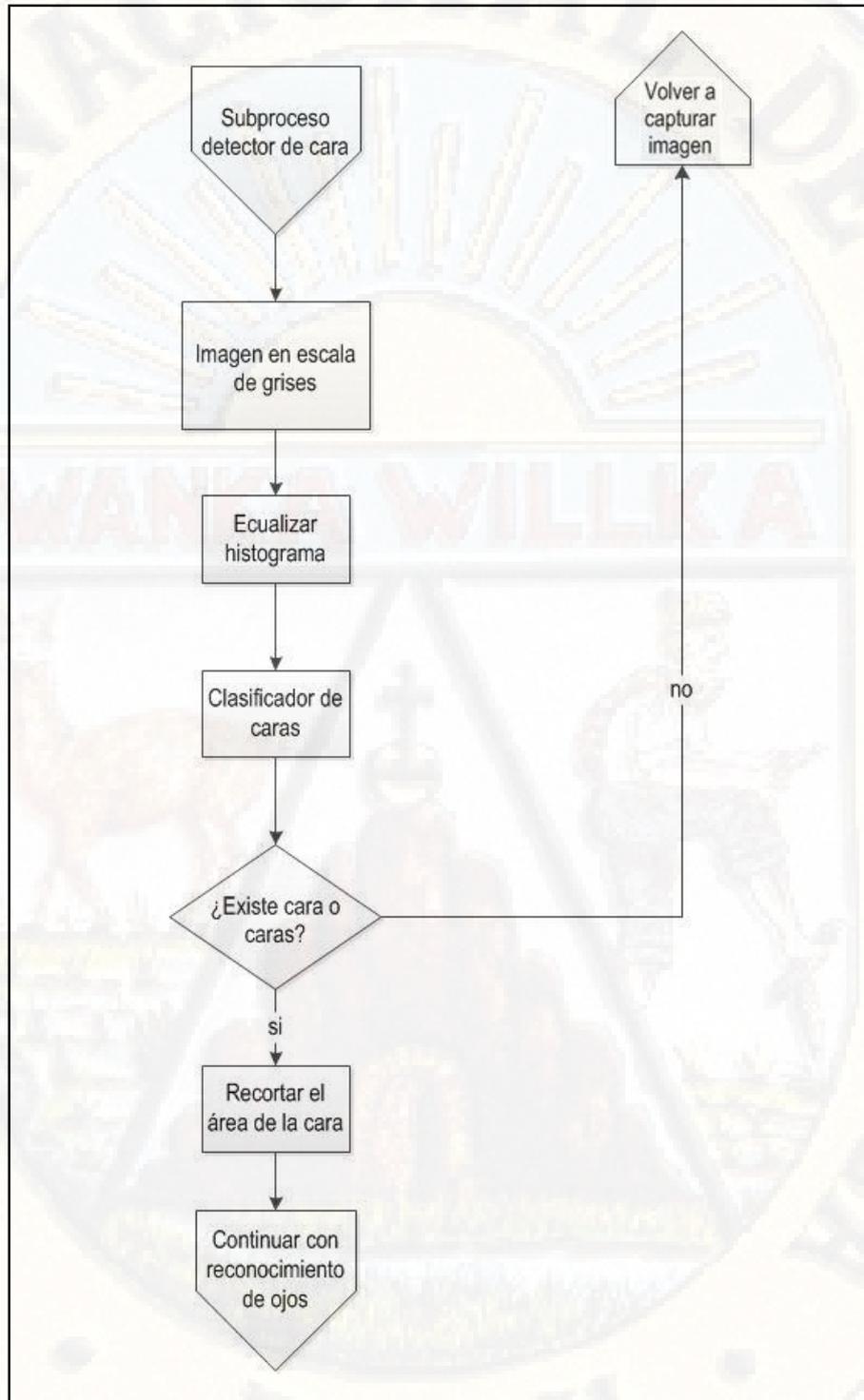


Figura 4.6: Diagrama de flujo del subproceso de detección de cara.

La detección de los ojos requiere de la cara capturada en escala de grises, el cual debe ser ecualizada para la detección de los ojos. Este subproceso se llevó a cabo de acuerdo al diagrama de flujo de la figura 4.7.

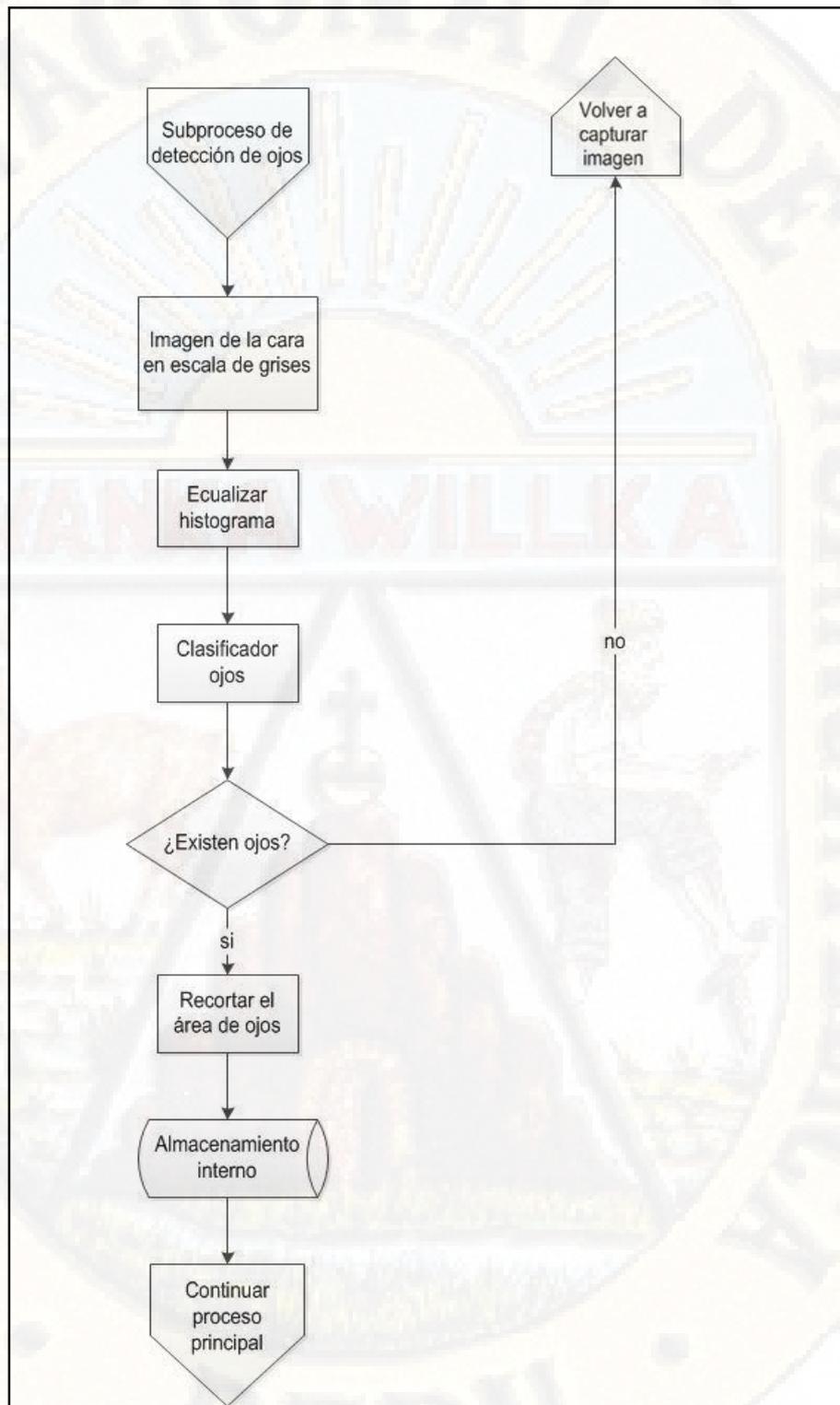


Figura 4.7: Diagrama de flujo del subproceso de detección de ojos.

4.1.4. Conversión de color a escala de grises

Para la detección de la cara, caras u ojos es necesario previamente la conversión de la imagen RGB a escala de grises, el siguiente código realiza dicha conversión:

```
// Para un solo canal
grayframe = nextFrame.Convert<Gray, byte>();
```



Figura 4.8: Conversión de color a escala de gris. (a) imagen RGB. (b) imagen en escala de grises.

4.1.5. Seguimiento de la cara y ojos

Para el seguimiento de la cara y ojos, inicialmente se captura la imagen, luego se detecta la cara, en seguida se detecta los ojos. Constantemente se detecta el ojo y se hace el seguimiento determinando el estado del ojo, en función de este último se determina el estado de fatiga y somnolencia.

Convertido la imagen a escala de grises y ecualizado el histograma, queda por detectar la cara o caras utilizando la función `MCvAvgComp[] faces`.

La salida de la función será un std vector del tipo de objeto, por ejemplo, si detecta dos caras entonces almacenará un conjunto de dos rectángulos en la salida.

```
//Detectar el rostro utilizando el haarcascade
MCvAvgComp[] faces = grayframe.DetectHaarCascade(
    haarface, 1.1, 3, //1.4, 4,
    HAAR_DETECTION_TYPE.DO_CANNY_PRUNING,
    new Size(nextFrame.Width/5, nextFrame.Height / 4))[0];

//si se detecta la cara, luego procesar la región de la cara

MCvFont f = new
MCvFont(Emgu.CV.CvEnum.FONT.CV_FONT_HERSHEY_COMPLEX_SMALL, 1.8, 1.8);
nextFrame.Draw("OJO IZQUIERDO", ref f, new Point(170, 200), new Bgr(0,
255, 0));

//crear la región de interés sobre la base de los parámetros de ajuste
eyeroi1 = new Rectangle(roi.Left + eyes1[0].rect.Left - left, roi.Top +
eyes1[0].rect.Top - top, eyes1[0].rect.Width + right + left,
eyes1[0].rect.Height + bottom + top);
prevroi1 = eyeroi1;
```

```

//dibujar el rectángulo para el ojo
nextFrame.Draw(eyeroi1, highlight1, 2);  //--DIBUJO RECTÁNGULO EN EL OJO

//creación de una imagen separada de manera que se puede procesar
separadamente para la detección de la pupila y esquina
Image<Bgr, byte> leftsave = nextFrame.Copy(eyeroi1);
Image<Gray, byte> leftsavegray = leftsave.Convert<Gray, byte>();

```

La detección de los ojos y el dibujo del rectángulo que crea una imagen para la detección del iris y esquina de los ojos se muestra en la figura 4.9.



Figura 4.9: Detección de ojos y pupila durante la conducción.

Los ojos abiertos son detectados empleando `runningVA`, que toma valores `true` o `false`, si el ojo está abierto se grafica el rectángulo con `nextFrame.Draw(eyeroi1, highlight1, 2)`, luego con `runningVC = true` se detecta el iris y se grafica el círculo. La codificación de estas acciones se presenta a continuación:

```

//Si los ojos están abiertos se enmarca y analiza cada uno de ellos.
if (eyes1.Length != 0)
{
    runningVA = true;  //-------ojo abierto listo para enmarcar

    MCvFont f = new
    MCvFont(Emgu.CV.CvEnum.FONT.CV_FONT_HERSHEY_COMPLEX_SMALL, 1.8, 1.8);
    nextFrame.Draw("OJO IZQUIERDO", ref f, new Point(170, 200), new Bgr(0,
    255, 0));

    //Crear la región de interés sobre la base de los parámetros de ajuste
    eyeroi1 = new Rectangle(roi.Left + eyes1[0].rect.Left - left, roi.Top +
    eyes1[0].rect.Top - top, eyes1[0].rect.Width + right + left,
    eyes1[0].rect.Height + bottom + top);
    prevroi1 = eyeroi1;
    //Dibujar el rectángulo para el ojo

    nextFrame.Draw(eyeroi1, highlight1, 2);

    //creación de una imagen separate de manera que se puede procesar
    separadamente para la detección de la pupila y esquina
    Image<Bgr, byte> leftsave = nextFrame.Copy(eyeroi1);
    Image<Gray, byte> leftsavegray = leftsave.Convert<Gray, byte>();

    //mejorar el histograma de la imagen

    leftsavegray.MinMax(out min, out max, out points1, out points2);

    for (int x = 0; x < eyeroi1.Width; x++)
    for (int y = 0; y < eyeroi1.Height; y++)

```

```

leftsavegray.Data[y, x, 0] = (byte)(255 * (leftsavegray.Data[y, x, 0] -
min[0]) / (max[0] - min[0]));

leftsavegray.MinMax(out min, out max, out points1, out points2);

//Se detectan los círculos

circles = leftsavegray.HoughCircles(new Gray(circletsh), new
Gray(accumulator), 2, 5, 1, eyeroi1.Height / 3)[0];

//Si se encuentra al menos un círculo a continuación ..
if (circles.Length != 0)
{

//detectar las esquinas en la región de interés
points = leftsavegray.GoodFeaturesToTrack(6, 0.01, 25, 3, false, 0.4)[0];

//si se encuentra al menos una esquina
if (points.Length != 0)
{

//tomar el uno en el lado más a la derecha
point = new PointF(circles[0].Center.X, circles[0].Center.Y);
float aux = circles[0].Center.X;
for (int i = 0; i < points.Length; i++) if ((points[i].X > aux) &&
(points[i].X > circles[0].Center.X + circles[0].Radius +
circles[0].Radius / 3) && (points[i].Y > circles[0].Center.Y -
circles[0].Radius) && ((points[i].Y < circles[0].Center.Y +
circles[0].Radius))) { point = points[i]; aux = points[i].X; }
//Establecer el círculo
if (point != circles[0].Center)
{

runningVC = true; //-----bandera para vigilar el estado del iris.
nextFrame.Draw(new LineSegment2DF(new PointF(point.X + eyeroi1.Left,
point.Y + eyeroi1.Top), new PointF(point.X + eyeroi1.Left, point.Y +
eyeroi1.Top)), highlight, 8);
//dibujar círculo alrededor de la pupila
nextFrame.Draw(new CircleF(new PointF(circles[0].Center.X + eyeroi1.Left,
circles[0].Center.Y + eyeroi1.Top), circles[0].Radius), highlight, 2);
if (calibration)
{
if (phases[1]) initialleftcorrect++;
if (phases[3])
{
correctleftframes++;
centercornerlefteye.X += (int)point.X;
centercornerlefteye.Y += (int)point.Y;
centerpupillelefteye.X += (int)circles[0].Center.X;
centerpupillelefteye.Y = (int)circles[0].Center.Y;

}
if (phases[4])
{
correctleftframes++;
topleftcornerlefteye.X += (int)point.X;
topleftcornerlefteye.Y += (int)point.Y;
topleftpupillelefteye.X += (int)circles[0].Center.X;
topleftpupillelefteye.Y = (int)circles[0].Center.Y;
}
if (phases[5])
{

```


4.1.6. Estado de somnolencia

Para realizar la clasificación de los ojos abiertos o cerrados, antes de arrancar el sistema de reconocimiento se hace un previo entrenamiento con la red neuronal artificial, con un aprendizaje supervisado (ver figuras 4.10, 4.11 y 4.12).

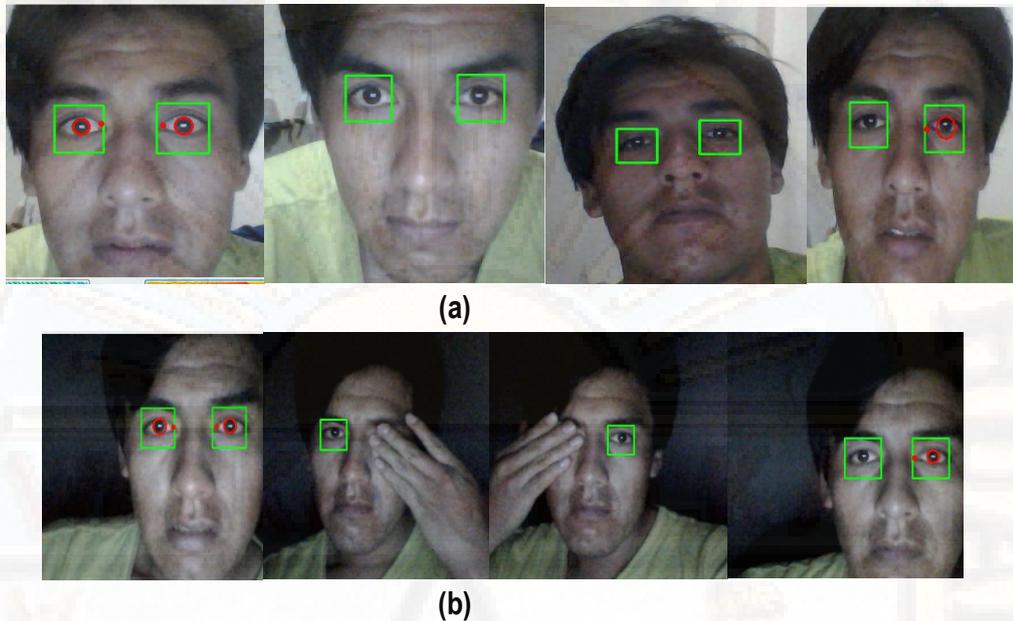


Figura 4.10: Entrenamiento de aprendizaje supervisado con la red neuronal (a) Ojos abiertos durante el día. (b) Ojos abiertos durante la noche.

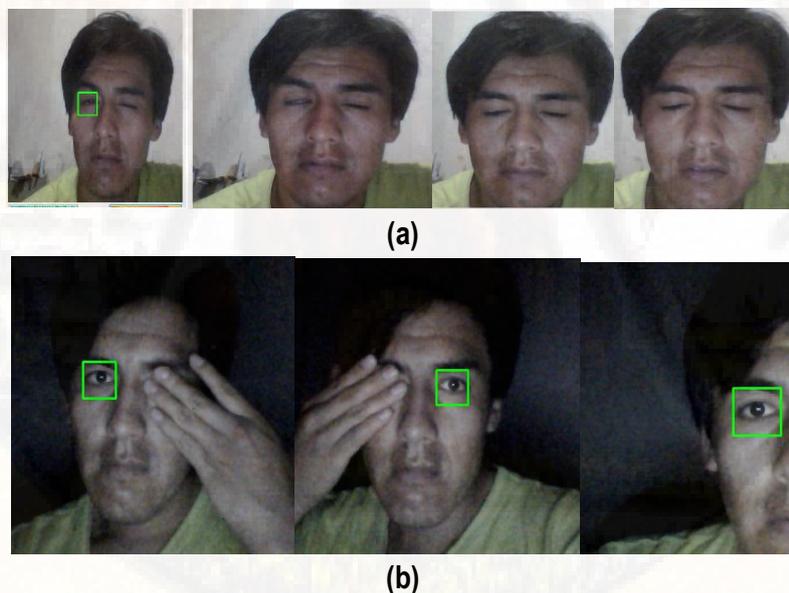


Figura 4.11: Entrenamiento de aprendizaje supervisado con la red neuronal (a) Ojos cerrados durante el día. (b) Ojos cerrados durante la noche.

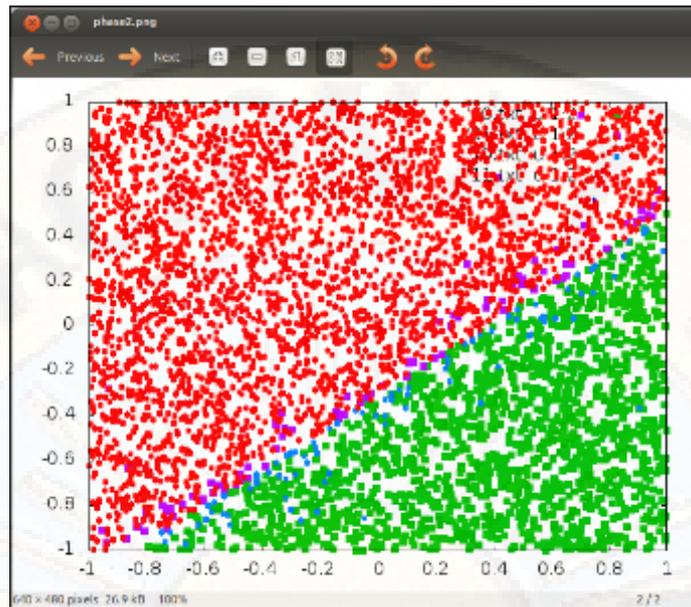


Figura 4.12: Muestras de aprendizaje de ojos abiertos y cerrados.

Para gestionar los archivos `ojo_izquierdo.xml` y `ojo_derecho.xml` se utiliza la clase `FileStorage`, esta clase permite almacenar y leer variables y estructuras de OpenCV.

4.1.7. Alarma del sistema de detección de somnolencia

En nuestra investigación hemos podido determinar los estados de la somnolencia: Apertura/cierre del ojo, presencia del bostezo y presencia de cabeceo, con estados de salida diferenciados en tres clases, así el establecimiento de tres clases para el sistema está orientado a permitir al mismo, generar una alarma temprana en función a las características detectadas.

Clase 1: No fatiga.

Clase 2: alerta.

Clase 3: Critico.

Al obtener la orientación del rostro se determina si el conductor está o no distraído, es importante analizar si el conductor esta distraído, ya que es una de las causas para generar muchos accidentes y ha contribuido de manera negativa en el aumento de las estadísticas de accidentes de tráfico (ver figuras 4.13 y 4.14). Si incrementa el valor d (ver ecuación 4.3) el conductor se encuentra distraído por lo que es necesario generar una señal de prevención.

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (4.3)$$

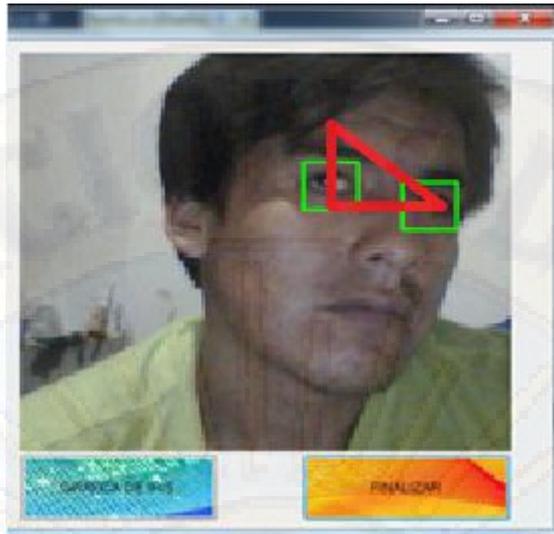


Figura 4.13: Orientación del Rostro.

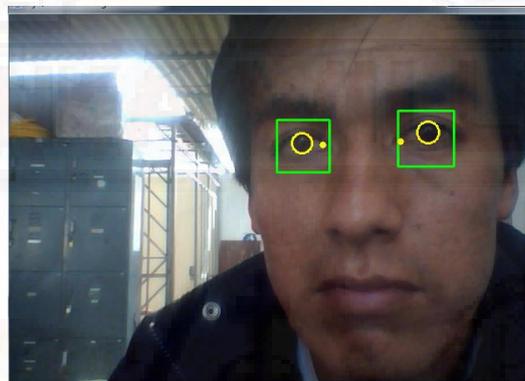


Figura 4.14: Dirección frontal del rostro

Instalación del sistema de control del estado de somnolencia se realizó en una camioneta Nissan doble cabina. El esquema de conexión del sistema de control del en el vehículo se presenta en la figura 4.15.

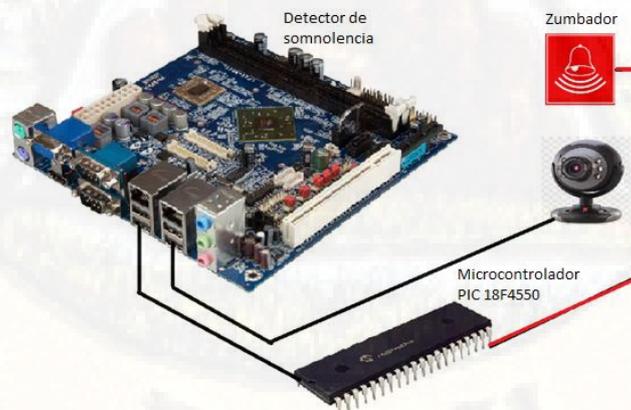


Figura 4.15: Esquema de conexión del sistema de control dentro del vehículo.

Para generar la señal de alarma del estado de somnolencia se implementó un programa en el microcontrolador PIC 18F4550 con comunicación a la computadora mediante una interface USB.

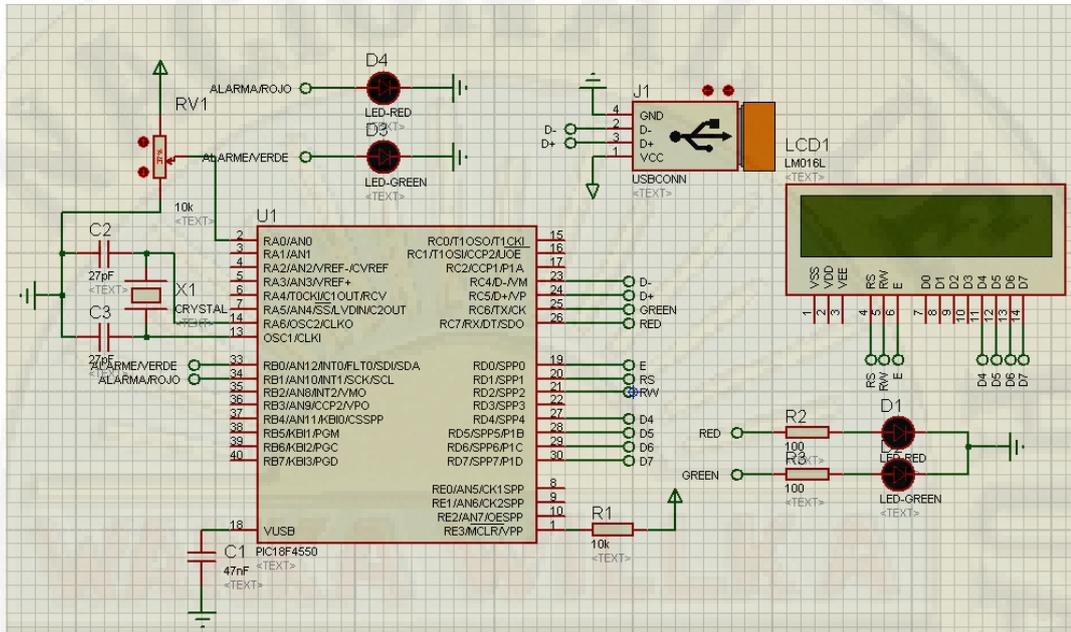


Figura 4.16: Generador de señal de alarma con PIC18F4550 y comunicación USB.

Previo a la conexión real se realizó la simulación. Al iniciar la simulación USB analyzer empieza a enumerar los PID&VID, en modo HID. La ventaja de este tipo de comunicación no requiere instalación de un driver adicional, es como un mouse o un teclado que es detectado de modo inmediato.

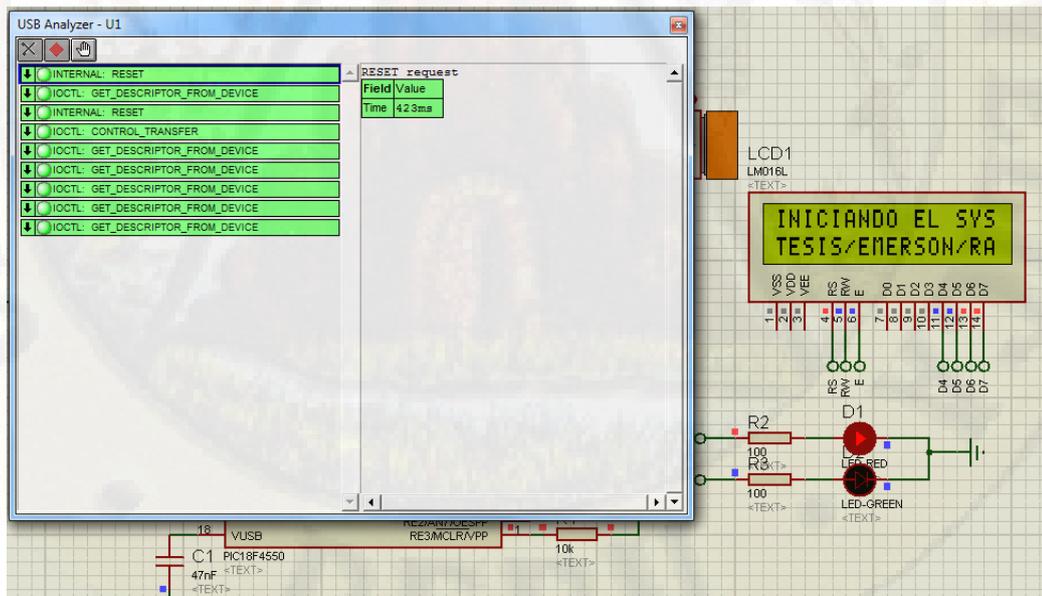


Figura 4.17: Enumeración del VID&PID.

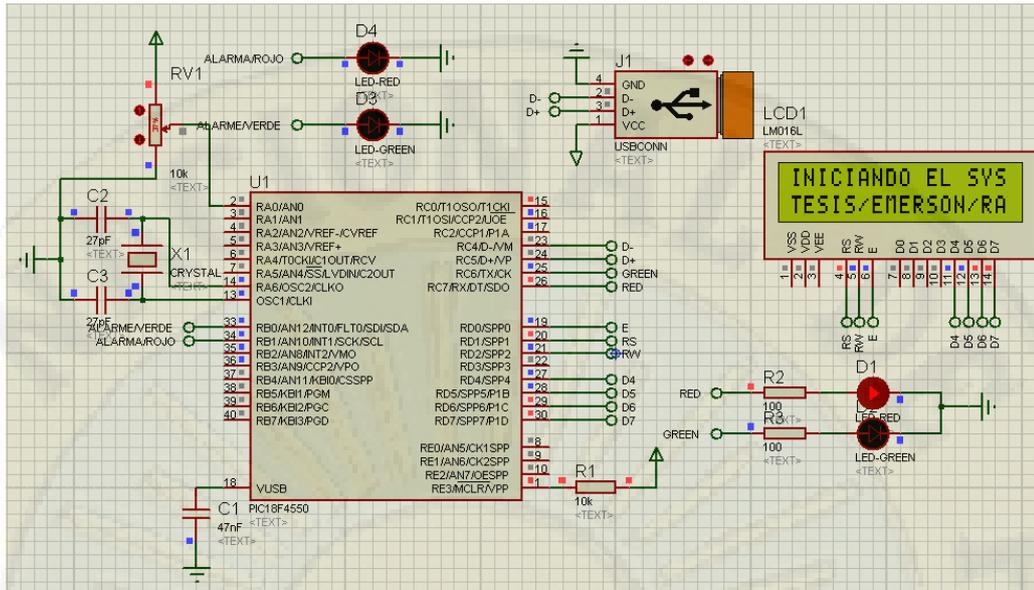


Figura 4.18: Sistema en modo arranque.

```

CCS C Compiler
File Edit Search Options Compile View Tools Debug Document User Toolbar
Build Build & Run Clean Compile Compiler Run Output Files
PROGRAMA EN CCS.c*
1 //-----UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA-----
2 //-----FACULTAD INGENIERIA ELECTRONICA Y SISTEMAS-----
3 //-----ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA-----
4 //-----SISTEMA DE DETECCIÓN DE SOMBOLENCIA PARA CONDUCTORES DE VEHICULOS-----
5 //-----MEDIANTE VISION ARTIFICIAL Y REDES NEURONALES-----
6 //-----AUTORES---MAYON SANCHEZ, EMERSON-----
7 //-----AUTORES---LIMAQUISPE MIGUEL, RAUL-----
8
9 #include <18F4550.h> // Definición de registros internos del PIC18F4550.
10 #DEVICE ADC=10 // CAD a 10 bits, justificación a la derecha.
11 #fuses NOMCLR,HSPLL,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLLS,CPUDIV1,VREGEN,NOPBADEN
12
13 #use delay(clock=4800000)
14
15 // Incluimos librerías utilizadas por la aplicación.
16 #include <pic18_usb.h> // Drivers's USB del PIC18F2550.
17 #include <APLICACION_HID.h> // Definición de funciones y hardware utilizado en el programa.
18 #include <Descriptor_easyHID.h> // Descriptores HID del proyecto.
19 #include <USB.c> // Funciones del USB.
20 #include <LCD.c>

```

Figura 4.19: Firmware del sistema de detección de somnolencia.

La codificación de la generación de señal de alarma del estado del conductor es el siguiente:

```

if (usb_kbhit(1))
// Si hay un paquete de datos del host.. en el buffer lo tomamos y guardamos en la variable data.
{
usb_get_packet(1, recibe, USB_CONFIG_HID_RX_SIZE);
// En el buffer lo tomamos del EP1 y lo guardamos en la variable recibe...

// 34 pin_B1, LED VERDE
// 35 pin_B2, LED ROJO
// 15 pin_c0, LED azul indicador muy atento

```

```

// 16 pin_c1, LED ambar
// pin_B2 LED verde
// pin_B3 LED rojo
// pin_B4 LED azul  indicador muy atento
// pin_B1 LED amarillo

if (recibe[0]==LED_2)      //---0X0A----indica que detecta el ojo
{
  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc, "ESTA DESPIERTO");

  output_low(ALM_ROJO);    // prende led verde alerta ok
  output_high(ALM_VERDE); // //
  output_low(ALM_AMBAR);  // apaga led amarillo
  delay_ms(20);          //
}
if (recibe[0]==LED_1)     //---0X20----indica que no se detecta el ojo
{
  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc, "NO DETECTA OJO");

  output_low(ALM_VERDE);  // apaga alarma verde
  output_high(ALM_ROJO);  // prende LED rojo alerta alarma sueño
  output_low(ALM_AMBAR);  // apaga alarma ambar
  delay_ms(20);
}

}

//--Para realizar la vigilancia en la cabina si el chofer está o no dentro de cabina.

if (recibe[0]==0x80)      //---0x80----bandera para indicar que no detecta al chofer en la cabina
{

  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc, "FUERA DE CABINA");

  output_high(ALM_AMBAR); // prende LED amarillo
  output_low(ALM_VERDE); // apaga LED verde
  output_low(ALM_ROJO);  // apaga LED rojo
}

if (recibe[0]==0x40)
//---0x40--para realizar la vigilancia si se detecta la pupila
{

  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc, "IRIS DETECTADO");

  output_high(ALM_AZUL);
  // Prende led azul indicador muy concentrado el chofer
  delay_ms(20);
}

//-Para realizar la vigilancia si no se detecta la pupila

if (recibe[0]==0x30)
//---0x30----para realizar la vigilancia si no se detecta la pupila
{
  output_low(ALM_VERDE); // apaga alarma verde
  output_high(ALM_ROJO); // prende LED rojo alerta alarma sueño
  //output_low(ALM_AMBAR); // apaga alarma ambar
  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc, "IRIS NO DETECTADO");
  output_low(ALM_AZUL);
  delay_ms(20);
}
}
}

```

Los datos de control que provienen desde el software son: 0x0A, 0x20, 0x80, 0x30 que cada uno tiene una interpretación para el PIC para su accionamiento respectivo de los puertos asignados, siendo el dato 0x20 el de mayor importancia ya que esta indica la somnolencia en el conductor, esta señal permite activar la señal de alarma audible y visual de color rojo. En resumen, podemos mostrar la asignación de los pines del PIC18F4550 como sigue:

- 34 pin_B1: Led Verde.
- 35 pin_B2: Led room.
- 15 pin_c0: Led azul indicador muy atento.
- 16 pin_c1: Led ámbar.

Y los datos de control empleados son los siguientes:

- 0x0A: Indica que detecta el ojo.
- 0x20: Indica que no se detecta el ojo.
- 0x80: Bandera para indicar que no detecta al chofer en la cabina.
- 0x30: Para realizar la vigilancia si no se detecta la pupila.

A continuación en las figuras 4.20, 4.21 y 4.22, se indica la relación entre la interface gráfica y los datos de control enviados al PIC 18F4550.



Figura 4.20: Detección de ojos despiertos para el PIC 0X0A.

```

if (recibe[0]==LED_2) //---0X0A----INDICA QUE DETECTA EL OJO
{
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc, "ESTA DESPIERTO");
    output_low(ALM_ROJO);
                                                    // PRENDE LED
                                                    VERDE ALERTA OK
    output_high(ALM_VERDE);
    output_low(ALM_AMBAR); // APAGA LED
}

```



Envía al PIC = 0X20

Figura 4.21: Detección de somnolencia para el PIC.

```

if (recibe[0]==LED_1) //---0x20----Indica que no se detecta el
                        ojo
{
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc, "NO DETECTA OJO");
    output_low(ALM_VERDE); // Apaga alarma
                        verde
}

```



Figura 4.22: Detección de ojos concentrados para el PIC 0X40.

```

if (recibe[0]==0x40) // 0x40 PARA VIGILAR IRIS
{
  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc, "IRIS DETECTADO");
  output_high(ALM_AZUL);
  // Prende led azul indicador muy concentrado el conductor
}

```

Los datos mencionados son provenientes del Visual Basic 2010 C# donde esta implementado nuestro software de detección de somnolencia. El microcontrolador detecta los datos dependiendo que evento pertenezca y las interpreta y acciona a los dispositivos de alarma de alerta contra el sueño.

El zumbador se coloca en la parte inferior del apoyacabezas del conductor de vehículo, para alarmar cerca al oído del chofer como se observa en la figura 4.24.



Figura 4.23: Ubicación del zumbador en cabecera del asiento del vehículo.

4.1.8. Pruebas de funcionamiento de detección de somnolencia

A continuación se detallan en las figuras de 4.24 a 4.31 las pruebas realizadas en diferentes escenarios en la carretera entre Huancayo – Lima.



Figura 4.24: Detección de ojos en distintas escenas durante el día.



Figura 4.25: Detección de ojos durante la noche.



Figura 4.26: Detección de ojos durante la somnolencia.

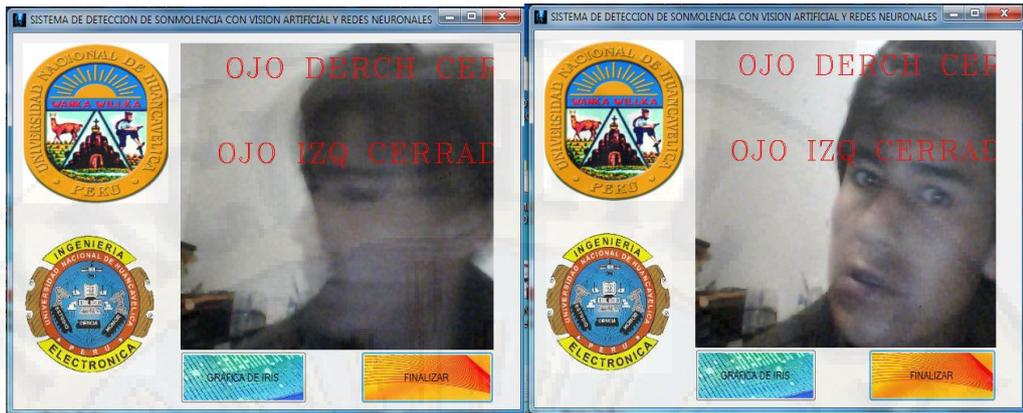


Figura 4.27: Conductor distraído durante el día.



Figura 4.28: Conductor distraído durante la noche.



Figura 4.29: Conductor con somnolencia durante día.

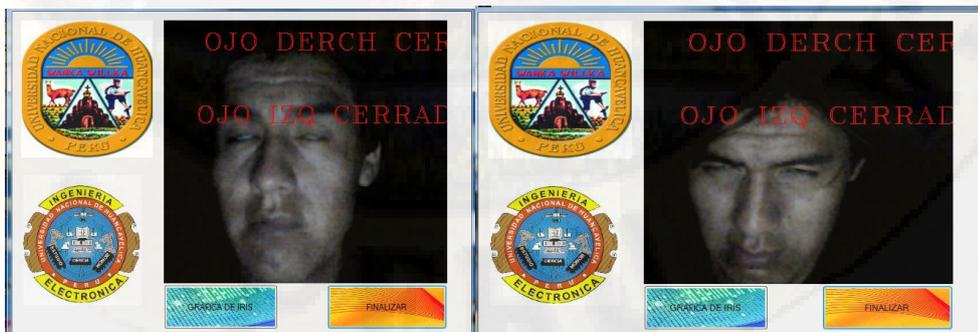


Figura 4.30: Conductor con somnolencia durante la noche.

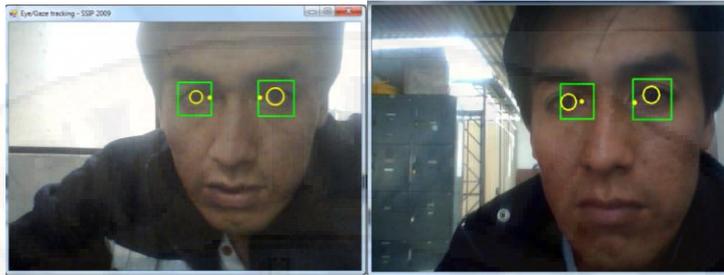
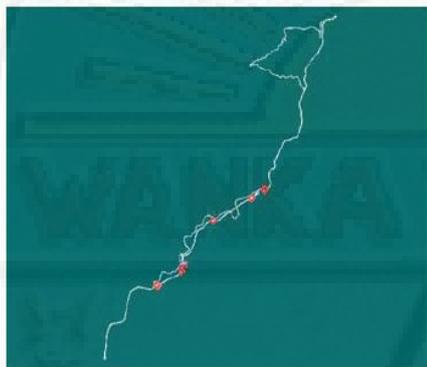


Figura 4.31: Cambios bruscos de iluminación.

4.1.9. Resultados de la detección de rostro y ojos

Para la detección del rostro y ojos durante el día y la noche se tuvo como escenario la trayectoria de Huancayo a la ciudad de Lima (ver figura 4.32).



(a) Trayectoria



(b) Imagen de la Pista

Figura 4.32: Trayectoria ruta de prueba.

La detección de rostro y ojos durante el día se muestra en la tabla 3, en esta tabla se detallan las tres pruebas (P1, P2, P3) realizadas durante el día con sus respectivos números de frames en las que se ha determinado el porcentaje de aciertos totales que ha tenido la detección del rostro un 98.64 %, la detección del ojo izquierdo un 98.18% y del ojo derecho un 98.28 %.

Tabla 2 Resultados de detección de rostro y ojos durante el día.

| Pruebas | N° frames | Detección de Rostro | | Detección de Ojo izquierdo | | Detección de Ojo derecho | |
|---------|-----------|---------------------|-----------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| | | Fallos | %Aciertos | Fallos | %Aciertos | Fallos | %Aciertos |
| P1 | 5,233 | 67 | 98.71 | 74 | 98.59 | 71 | 98.64 |
| P2 | 4,002 | 44 | 98.90 | 82 | 97.95 | 68 | 98.30 |
| P3 | 2,864 | 53 | 98.15 | 64 | 97.77 | 69 | 97.59 |
| TOTAL | 12,099 | 164 | 98.64 | 220 | 98.18 | 208 | 98.28 |

En la tabla 3 se tiene el número total de ojos detectados por el sistema de somnolencia, de los cuales se ha obtenido el porcentaje de aciertos durante la clasificación de los ojos cerrados un 98.48% y se ha detectado distracción en un 98.39 %.

Tabla 3 Resultados de detección de ojos cerrados y distracción durante el día.

| Pruebas | N° Ojos detectados | Ojos cerrados | | Distracción | |
|---------|--------------------|---------------|-----------|-------------|-----------|
| | | Fallos | %Aciertos | Fallos | %Aciertos |
| P1 | 3,041 | 45 | 98.52 | 48 | 98.42 |
| P2 | 3,022 | 53 | 98.24 | 56 | 98.15 |
| P3 | 3,455 | 47 | 98.64 | 49 | 98.58 |
| TOTAL | 9,518 | 145 | 98.48 | 153 | 98.39 |

La detección de rostro y ojos durante la noche se muestra en la tabla 4, en esta tabla se detallan las pruebas (P1, P2, P3) realizadas durante la noche con sus respectivos número de frames en las que se ha determinado el porcentaje de aciertos totales que ha tenido la detección del rostro un 97.63%, la detección del ojo izquierdo un 97.17%, del ojo derecho un 97.14 %.

Tabla 4 Resultados de detección de rostro y ojos durante la noche.

| Pruebas | N° frames | Detección de Rostro | | Detección de Ojo izquierdo | | Detección de Ojo derecho | |
|---------|-----------|---------------------|-----------|----------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| | | Fallos | %Aciertos | Fallos | %Aciertos | Fallos | %Aciertos |
| P1 | 1,990 | 41 | 97.93 | 67 | 96.63 | 58 | 97.09 |
| P2 | 1,523 | 48 | 96.85 | 53 | 96.52 | 56 | 96.32 |
| P3 | 2,891 | 63 | 97.82 | 61 | 97.89 | 69 | 97.61 |
| TOTAL | 6,404 | 152 | 97.63 | 181 | 97.17 | 183 | 97.14 |

En la tabla 5 se tiene el número total de ojos detectados por el sistema de somnolencia, de los cuales se ha obtenido el porcentaje de aciertos durante la detección de los Iris, con una acierto de detección del Iris derecho 97.83% e Iris izquierdo un 98.34 %.

En la tabla C.1 de anexos, se presenta el resultado del monitoreo de los ojos e iris de la cara del conductor de vehículo en la ruta Huancayo Lima.

Tabla 5 Resultados de detección de iris de los ojos.

| Pruebas | N° Ojos detectados | Iris derecho | | Iris izquierdo | |
|---------|--------------------|--------------|------------|----------------|------------|
| | | Fallos | % Aciertos | Fallos | % Aciertos |
| P1 | 1,688 | 45 | 97.33 | 34 | 97.99 |
| P2 | 1,083 | 37 | 96.58 | 28 | 97.41 |
| P3 | 2,899 | 41 | 98.59 | 32 | 98.90 |
| TOTAL | 5,670 | 123 | 97.83 | 94 | 98.34 |

La cámara Logitech C270 realiza una muestra de 30 fotos por segundo, para el proyecto se realiza una muestra de 384 frames, cada 15 minutos en horario de manejo de vehículo de Lima a Pampas, se tiene la siguiente formula de:

U: Muestra planteada según nuestra población.

F: Número de fotos/segundos (Logitech C270 30fps).

T: Tiempo en segundos en cada 15 de monitoreo.

$$U = 0.0142xT \quad (4.4)$$

Tabla 6 Clasificación del estado de somnolencia.

| Estado ojos | Prueba 1 (ms) | Prueba 2 (ms) | Prueba 3 (ms) | Prueba 4 (ms) | Prueba 5 (ms) | Promedio (ms) |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Cerrados | 50 | 65 | 69 | 78 | 54 | 63.2 |
| Cerrados | 69 | 64 | 78 | 65 | 122 | 79.6 |
| Cerrados | 74 | 77 | 98 | 86 | 126 | 92.2 |
| Cerrados | 56 | 69 | 96 | 75 | 143 | 87.8 |
| Cerrados | 78 | 98 | 132 | 81 | 132 | 104.2 |
| Cerrados | 88 | 123 | 145 | 143 | 154 | 130.6 |
| Cerrados | 96 | 132 | 126 | 132 | 167 | 130.6 |
| Cerrados | 134 | 111 | 157 | 123 | 174 | 139.8 |

4.1.10. Respuesta y análisis del sistema

Una vez desarrolladas las pruebas iniciales para determinación de la presencia de los estados de interés, ojo cerrado, bostezo y cabeceo.

4.1.11. Prueba de las hipótesis

El análisis del variable independiente de la hipótesis sistema de detección de somnolencia, para alertar al chofer, el variable se exploró con base al siguiente indicador: Mensajes despierto, distracción, sueño a la variable dependiente, la detección y alerta temprana se aplicó 324 pruebas experimentales en 22 partes realizados en cada 15 minutos en el horario de conducción de 8:00 pm hasta 6:15 am. En tabla 7 se muestran los resultados.

Hipótesis estadística para las siguientes afirmaciones:

Hipótesis Nula Ho

El clasificador Haar cascade con visión artificial no permite detectar adecuadamente los ojos en conductores de vehículos.

Hipótesis Alternativa H1a

El clasificador Haar cascade con visión artificial permite detectar adecuadamente los ojos en conductores de vehículos.

Hipótesis Estadística:

Tabla 7 Monitoreo de ojos detectados con y sin cascada.

| # dato | Horas de prueba | # de frames | Ojos Detectados con Clasificador Haar cascade | Ojos detectados Sin clasificador Haar cascade |
|--------|-----------------|-------------|---|---|
| 1 | 20:00 - 20:15 | 384 | 324 | 121 |
| 2 | 20:30 - 20:45 | 384 | 312 | 109 |
| 3 | 21:00 - 21:15 | 384 | 303 | 107 |
| 4 | 21:30 - 21:45 | 384 | 308 | 111 |
| 5 | 22:00 - 22:15 | 384 | 323 | 112 |
| 6 | 22:30 - 22:45 | 384 | 334 | 125 |
| 7 | 22:30 - 22:45 | 384 | 319 | 107 |
| 8 | 23:00 - 23:15 | 384 | 317 | 111 |
| 9 | 23:30 - 23:45 | 384 | 328 | 116 |
| 10 | 00:00 - 00:15 | 384 | 334 | 172 |
| 11 | 00:30 - 00:45 | 384 | 321 | 160 |
| 12 | 01:00 - 01:15 | 384 | 324 | 163 |
| 13 | 01:30 - 01:45 | 384 | 343 | 152 |
| 14 | 02:00 - 02:15 | 384 | 347 | 148 |
| 15 | 02:30 - 02:45 | 384 | 361 | 169 |
| 16 | 03:00 - 03:15 | 384 | 344 | 115 |
| 17 | 03:30 - 03:45 | 384 | 342 | 189 |

| | | | | |
|----------|---------------|-----|-----|-----|
| 18 | 04:00 - 04:15 | 384 | 357 | 182 |
| 19 | 04:30 - 04:45 | 384 | 352 | 195 |
| 20 | 05:00 - 05:15 | 384 | 371 | 116 |
| 21 | 05:30 - 05:45 | 384 | 362 | 136 |
| 22 | 06:00 - 06:15 | 384 | 319 | 154 |
| 23 | 06:30 - 06:45 | 384 | 324 | 113 |
| 24 | 07:00 - 07:15 | 384 | 328 | 198 |
| 25 | 07:30 - 07:45 | 384 | 342 | 195 |
| PROMEDIO | | | 334 | 143 |

Promedio de ojos detectados sin clasificador Haar cascade en el sistema de detección de somnolencia es $\mu_1 = 143$ ojos detectados.

Promedio de ojos detectados con clasificador Haar cascade en el sistema de detección de somnolencia es $\mu_2 = 334$ ojos detectados.

$$H_{0a} : \mu_2 - \mu_1 < 143$$

$$H_{1a} : \mu_2 - \mu_1 \geq 143$$

Reemplazando datos vemos que:

$$\mu_2 - \mu_1 = 191$$

Aceptamos la hipótesis alterna, porque El clasificador Haar cascade con visión artificial permite detectar adecuadamente los ojos en conductores de vehículos

H0b: Con el método de umbralado de los ojos por una red neuronal entrenada se reconoce el estado de somnolencia en conductores de vehículos con una efectividad menor o igual al 99 %, para su facturación.

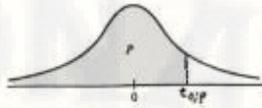
H1b: Con el método de umbralado de los ojos por una red neuronal entrenada se reconoce el estado de somnolencia en conductores de vehículos, con una efectividad mayor al 99 %, para su facturación.

Sabiendo que se tiene $\mu = 99.30\%$ de efectividad de los sistemas (0.7% de error). Como la hipótesis alterna es unilateral, $\alpha = 0.05$, y utilizando la tabla C1, del anexo C la distribución "t" de Student con $k=20$, los grados de libertad será: $g.L = k-1 = 20 - 1 = 19$; se establece la siguiente regla de decisión:

Si: $p < 0.05$ Se rechaza H_0

Si: $p \geq 0.05$ No se rechaza H_0

Distribución t de Student



La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores p y $t_{\alpha/2}$ que satisfacen

$$P(t_n \leq t_{n,p}) = p.$$

| n | $t_{0,55}$ | $t_{0,60}$ | $t_{0,70}$ | $t_{0,80}$ | $t_{0,90}$ | $t_{0,95}$ | $t_{0,975}$ | $t_{0,99}$ | $t_{0,995}$ |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 1 | 0,1584 | 0,3249 | 0,7265 | 1,3764 | 3,0777 | 6,3138 | 12,7062 | 31,8205 | 63,6567 |
| 2 | 0,1421 | 0,2887 | 0,6172 | 1,0607 | 1,8856 | 2,9200 | 4,3027 | 6,9646 | 9,9248 |
| 3 | 0,1366 | 0,2767 | 0,5844 | 0,9785 | 1,6377 | 2,3534 | 3,1824 | 4,5407 | 5,8409 |
| 4 | 0,1338 | 0,2707 | 0,5686 | 0,9410 | 1,5332 | 2,1318 | 2,7764 | 3,7469 | 4,6041 |
| 5 | 0,1322 | 0,2672 | 0,5594 | 0,9195 | 1,4759 | 2,0150 | 2,5706 | 3,3649 | 4,0321 |
| 6 | 0,1311 | 0,2648 | 0,5534 | 0,9057 | 1,4398 | 1,9432 | 2,4469 | 3,1427 | 3,7074 |
| 7 | 0,1303 | 0,2632 | 0,5491 | 0,8960 | 1,4149 | 1,8946 | 2,3646 | 2,9980 | 3,4995 |
| 8 | 0,1297 | 0,2619 | 0,5459 | 0,8889 | 1,3968 | 1,8595 | 2,3060 | 2,8965 | 3,3554 |
| 9 | 0,1293 | 0,2610 | 0,5435 | 0,8834 | 1,3830 | 1,8331 | 2,2622 | 2,8214 | 3,2498 |
| 10 | 0,1289 | 0,2602 | 0,5415 | 0,8791 | 1,3722 | 1,8125 | 2,2281 | 2,7638 | 3,1693 |
| 11 | 0,1286 | 0,2596 | 0,5399 | 0,8755 | 1,3634 | 1,7959 | 2,2010 | 2,7181 | 3,1058 |
| 12 | 0,1283 | 0,2590 | 0,5386 | 0,8726 | 1,3562 | 1,7823 | 2,1788 | 2,6810 | 3,0545 |
| 13 | 0,1281 | 0,2586 | 0,5375 | 0,8702 | 1,3502 | 1,7709 | 2,1604 | 2,6503 | 3,0123 |
| 14 | 0,1280 | 0,2582 | 0,5366 | 0,8681 | 1,3450 | 1,7613 | 2,1448 | 2,6245 | 2,9768 |
| 15 | 0,1278 | 0,2579 | 0,5357 | 0,8662 | 1,3406 | 1,7531 | 2,1314 | 2,6025 | 2,9467 |
| 16 | 0,1277 | 0,2576 | 0,5350 | 0,8647 | 1,3368 | 1,7459 | 2,1199 | 2,5835 | 2,9208 |
| 17 | 0,1276 | 0,2573 | 0,5344 | 0,8633 | 1,3334 | 1,7396 | 2,1098 | 2,5669 | 2,8982 |
| 18 | 0,1274 | 0,2571 | 0,5338 | 0,8620 | 1,3304 | 1,7341 | 2,1009 | 2,5524 | 2,8784 |
| 19 | 0,1274 | 0,2569 | 0,5333 | 0,8610 | 1,3277 | 1,7291 | 2,0930 | 2,5395 | 2,8609 |
| 20 | 0,1273 | 0,2567 | 0,5329 | 0,8600 | 1,3253 | 1,7247 | 2,0860 | 2,5280 | 2,8453 |
| 21 | 0,1272 | 0,2566 | 0,5325 | 0,8591 | 1,3232 | 1,7207 | 2,0796 | 2,5176 | 2,8314 |
| 22 | 0,1271 | 0,2564 | 0,5321 | 0,8583 | 1,3212 | 1,7171 | 2,0739 | 2,5083 | 2,8188 |
| 23 | 0,1271 | 0,2563 | 0,5317 | 0,8575 | 1,3195 | 1,7139 | 2,0687 | 2,4999 | 2,8073 |
| 24 | 0,1270 | 0,2562 | 0,5314 | 0,8569 | 1,3178 | 1,7109 | 2,0639 | 2,4922 | 2,7969 |
| 25 | 0,1269 | 0,2561 | 0,5312 | 0,8562 | 1,3163 | 1,7081 | 2,0595 | 2,4851 | 2,7874 |
| 26 | 0,1269 | 0,2560 | 0,5309 | 0,8557 | 1,3150 | 1,7056 | 2,0555 | 2,4786 | 2,7787 |
| 27 | 0,1268 | 0,2559 | 0,5306 | 0,8551 | 1,3137 | 1,7033 | 2,0518 | 2,4727 | 2,7707 |
| 28 | 0,1268 | 0,2558 | 0,5304 | 0,8546 | 1,3125 | 1,7011 | 2,0484 | 2,4671 | 2,7633 |
| 29 | 0,1268 | 0,2557 | 0,5302 | 0,8542 | 1,3114 | 1,6991 | 2,0452 | 2,4620 | 2,7564 |
| 30 | 0,1267 | 0,2556 | 0,5300 | 0,8538 | 1,3104 | 1,6973 | 2,0423 | 2,4573 | 2,7500 |
| 40 | 0,1265 | 0,2550 | 0,5286 | 0,8507 | 1,3031 | 1,6839 | 2,0211 | 2,4233 | 2,7045 |
| 50 | 0,1263 | 0,2547 | 0,5278 | 0,8489 | 1,2987 | 1,6759 | 2,0086 | 2,4033 | 2,6778 |
| 60 | 0,1262 | 0,2545 | 0,5272 | 0,8477 | 1,2958 | 1,6706 | 2,0003 | 2,3901 | 2,6603 |
| 80 | 0,1261 | 0,2542 | 0,5265 | 0,8461 | 1,2922 | 1,6641 | 1,9901 | 2,3739 | 2,6387 |
| 100 | 0,1260 | 0,2540 | 0,5261 | 0,8452 | 1,2901 | 1,6602 | 1,9840 | 2,3642 | 2,6259 |
| 120 | 0,1259 | 0,2539 | 0,5258 | 0,8446 | 1,2886 | 1,6577 | 1,9799 | 2,3578 | 2,6174 |
| ∞ | 0,126 | 0,253 | 0,524 | 0,842 | 1,282 | 1,645 | 1,960 | 2,327 | 2,576 |

Además se tiene la desviación estándar muestral $s = 0.602$

$$t_c = \frac{99.55 - 99.30}{0.6002/\sqrt{20}}$$

$$t_c = \frac{0.25}{0.1342}$$

$$t_c = 1.8628$$

En la tabla se tiene que los valores de t que corresponden a la fila de 19 grados de libertad. En dicha fila determinamos entre que valores se localiza el número 1.8628 y que probabilidades le corresponde respectivamente en una prueba de una cola.

DISCUSIÓN

1. Se ha demostrado que el sistema de detección de somnolencia mediante inteligencia artificial en conductores de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito, utilizando una laptop, microcontroladores PIC18F4550, cámara web Logitech C170, software Opencv cumpliéndose el objetivo planteado en la presente tesis y que están justificados por el aspecto social, tecnológico y económico.
2. Como toda investigación siempre es un precedente para seguir desarrollando otras investigaciones, en nuestro caso el trabajo desarrollado e implementado presenta las bases suficientes para una operación eficiente, generando señales de alarma para prevenir los accidentes de tránsito, sin embargo este sistema puede migrar a la tarjeta de aplicación de raspberry PI 3 esta micro computadora se encarga de procesar la información previamente instalada la librería Open source de OpenCv.
3. La motivación fundamental para el desarrollo de esta tesis es incentivar a muchos investigadores a desarrollar más aplicaciones basadas en la inteligencia artificial, ya que es un campo en desarrollo que tiene muchas posibilidades de solucionar diversos problemas en el ámbito local, nacional e internacional.
4. El desarrollo del proyecto resultó satisfactorio, es un software de detección de rostro y ojos robusto, que funciona con eficiencia computacional y baja carga computacional. Se deben realizar más pruebas con el fin de encontrar errores y fortalecer el software. Es importante seguir adicionando métodos para potenciar todos los bloques del programa. Se debe implementar un sistema adaptivo para modificar las plantillas con el fin de mejorar la detección de los bloques posteriores.
5. Para poder evaluar los resultados obtenidos con el prototipo de reconocimiento de somnolencia lo que hemos hecho es capturar imágenes de una persona con la mirada al frente durante aproximadamente un minuto, a esta persona se le pide que simule efectos de somnolencia (es decir pestañear como cuando se tiene sueño) en pequeños intervalos de tiempo, entonces se evalúa cada fotograma con el prototipo y cada fotograma evaluado es guardado en dos carpetas diferentes, si el fotograma fue clasificado como ojos abiertos lo guarda en una carpeta ABIERTOS y si fue clasificado como ojos cerrados lo guarda en una carpeta CERRADOS, luego contamos el total de fotogramas que se evaluaron.

CONCLUSIONES

1. El parpadeo o pestañeo prolongado es síntoma de somnolencia en una persona, sin embargo de acuerdo a tabla de muestreo, se puede deducir que clasificar los ojos como "abiertos" o "cerrados" es posible solamente cuando se tiene una apertura de párpados amplia, se obtienen buenos resultados cuando la apertura de los párpados es superior a 8 mm, sin embargo, para apertura de párpados menores o iguales a 8 mm el error es alto donde el porcentaje de falsos detectados se acerca al 30 %.
2. Se utiliza el algoritmo de detección de objetos de Viola & Jones en primer lugar para ubicar el rostro del conductor en la imagen, posteriormente se establecen regiones de interés para buscar ojos abiertos derecho e izquierdo, detección de iris de ambos lados mediante la detección de objetos y con esta información calcular el índice de la hora donde se muestra la somnolencia en el conductor, según el resultado a partir de 23 horas hacia adelante en horario nocturno, de acuerdo a la tabla C1.
3. Usando una webcam de Logitech, ubicada a una distancia media de entre 40 a 60 cm y con luz natural diurna se obtuvo fotogramas del conductor y se evaluó el estado de los ojos usando el algoritmo de detección de objetos de Viola & Jones ya implementado en la librería EmguCv, los resultados de esta evaluación comparados con una clasificación manual nos dio un error de FALSOS ABIERTOS promedio de 8 % para ojos con apertura de párpados mayores a 8 mm, estos resultados son próximos a los errores obtenidos en otros trabajos. Bajo las condiciones simuladas siguientes: Luz natural diurna, una webcam ubicada a una distancia de 40 a 60 cm del conductor y a la altura del volante de un auto sin movimiento, obtenemos un error de hasta 8 % en la clasificación de ojos "abiertos" o "cerrados" usando el algoritmo de detección de objetos de Viola & Jones en ojos con apertura de párpados mayores a 7 mm, el índice PERCLOS > 40 % representa un estado de somnolencia peligroso y se llega a este valor en un tiempo promedio de 299 ms luego del cual se muestra la alarma al conductor.
4. Se implementó un mecanismo para alertar la ocurrencia de sueños en el volante, mediante una alarma sonora, vinculado con microcontrolador PIC18F4550, interconectado al asiento del piloto, generando alarma audible por medio de un zumbador piezo eléctrico.
5. Se ha demostrado que el sistema implementado detecta el estado de somnolencia para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito, obteniéndose una precisión general del 98.48 %, frente a la distracción en la misma escena 98.39 % identificación del estado de fatiga presentado durante la conducción.

RECOMENDACIONES

1. Acoplar los algoritmos en sistemas embebidos de desarrollo FPGA para realizar un prototipo que pueda ser portátil, colocarse fácilmente en un vehículo.
2. Realizar entrenamiento en algoritmos genéticos para fácil reconocimiento de los eventos del sueño y distracción.
3. Diseñar un algoritmo para el escalamiento de la plantilla para evitar que se tomen una o más.
4. Realizar pruebas con distintas cámaras para ver si el software puede adaptarse a distintos elementos de hardware.
5. Para el procesamiento de la imagen se requiere una computadora de mayor o superior de core i3, con una memoria RAM de 6 Gb a superior, para que el sistema de visión artificial tenga el mínimo tiempo de procesamiento de imagen en menor tiempo.
6. Realizar pruebas de campo con distintos escenarios y personas.
7. Para posteriores investigaciones en este sistema, se recomienda implementar el reconocimiento facial, detección de ojos, detección de pupila en tarjeta Raspberry Pi 3.
8. Plantear un algoritmo que permita crear de forma automática e instantánea una base de datos de rostro, ojos abiertos y ojos cerrados en diferentes ángulos y escalas del conductor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. De Castro Mujica, Jorge Rey; Rosales Mayor, Edmundo. "Cansancio y somnolencia durante el desempeño laboral de los conductores interprovinciales: experiencia peruana y planteamiento de propuestas. Rev Perú Med Exp Salud Pública. 2010.
- [2]. Instituto Ferrero de Neurología y Sueño (IFN), "El sueño y los accidentes de tránsito," Fundación Argentina de Estudio del Cerebro. 2012.
- [3]. National Center for Sleep Disorders Research, "Drowsy driving and automobile crashes," Washington DC: National Highway Safety Association 1998.
- [4]. Comercio sociedad. (2011, Julio) El Perú entre las tasas más altas de muerte por accidentes de tránsito. [En línea]. Disponible en: <http://elcomercio.pe/sociedad/lima/peru-entre-tasas-mas-altas-muerte-accidentes-transito-noticia-910899>.
- [5]. PNSV 2015-2024| Consejo Nacional de Seguridad Vial Lima, enero 2015. [En línea]. Disponible en: https://www.mtc.gob.pe/cnsv/Proyecto%20del%20Plan%20Nacional%20de%20Seguridad%20Vial%202015_2024.pdf.
- [6]. INEI. Análisis de los accidentes de tránsito ocurridos en el (2014). [En línea]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1308/cap03.pdf
- [7]. M.V. Avila Jiménez and J.A. Castillo Corredor, "Diseño e implementación de un sistema de detección del estado del sueño del conductor de un vehículo," Ph.D. dissertation, BOGOTÁ D.C.-Colombia/Universidad de San Buenaventura, 2013.
- [8]. E. de la Arturo y Armingol José., "Sistema avanzado de asistencia a la conducción para la detección de la somnolencia y la distracción durante la noche," Ph.D. dissertation, Leganés (Madrid), España /Universidad Carlos III de Madrid.
- [9]. F.S. Córdova Ochoa and P.A. Benavides Peralta, "Diseño y construcción de un sistema de alarma y frenado automático para un vehículo al detectar conductores somnolientos." Ph.D. dissertation, LATACUNGA/ESPE/2012, 2012.
- [10]. García, E. Rogado y D. Schleicher, "Sistema detector de fatiga en la conducción," Departamento de Electrónica. Universidad de Alcalá. [En línea]. Disponible en: <http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/2664/P09.pdf>
- [11]. R. A. Española, «Real Academia Española,» vigésima segunda edición, 2008. [En línea]. Available: <http://www.rae.es>. [Último acceso: 20 3 2015].
- [12]. ¿Por qué es importante dormir bien?, Buena Salud Std. [En línea]. Disponible en: <http://www.buenasalud.net/2012/07/04/por-que-es-importante-dormir-bien.html>

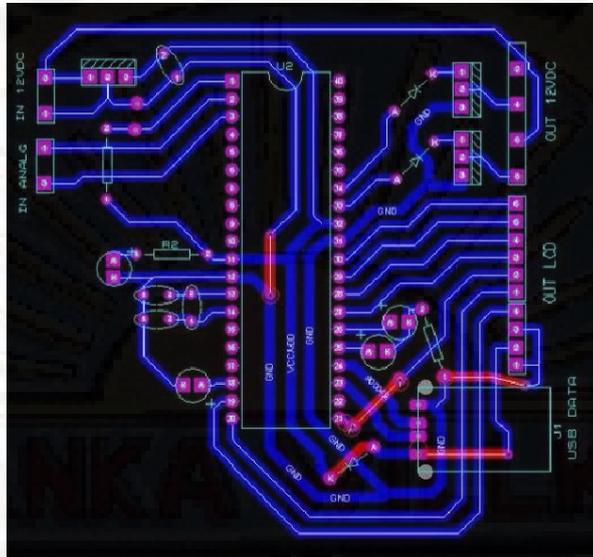
- [13]. D.N.L.F. García, "Introducción a la visión artificial," Departamento de Informática y Análisis Numérico, Escuela Politécnica Superior Universidad de Córdoba, Tech. Rep.
- [14]. I. del Grupo de Investigación Edmans, Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial, S. d. P. Universidad de La Rioja, Ed. ISBN 84-689-9345-X, 2006.
- [15]. E.A.S. Malpartida, "Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot," Master's thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2003.
- [16]. Nilsson, T., Nelson, T.M., Carlson, D, 1997. Development of fatigue symptoms during simulated driving. *Accid. Anal. Prev.* 29 (4), 479-488.
- [17]. J. F. V. S. A. B. M. D. Ángel Sánchez Calle José Luis Esteban Sánchez-Marín, Visión por Computación, 2003.
- [18]. del Grupo de Investigación EDMANS, Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial, S. d. P. Universidad de La Rioja, Ed. ISBN 84-689-9345-X, 2006
- [19]. D. W. Corne, J. D. Knowles, and M. J. Oates. The Pareto envelope-based selection algorithm for multiobjective optimization. In *Proceedings of International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, pages 839–848, 2000
- [20]. O. E. Zambrano y A. X. Toala, «Implementación de un sistema de vigilancia utilizando una Web Cam, Asterix y telefonos Grandstream,» [Tesis de Grado] Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, 2009
- [21]. F. J. G. Fernández, "Reconocimiento de objetos en una cocina con una webcam," Master's thesis, Universidad Carlos III de Madrid, 2009.
- [22]. J. P. Lerma, "Implementación del algoritmo de detección facial de viola-jones," 2009.
- [23]. Mallat SG. (1989). A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11 (7), 674–693.
- [24]. Proença, Ana (2001). *Conversando sobre inteligencia artificial*. Lisboa, Revista Intelecto No. 5, febrero. Disponible en http://www.geocities.com/revistaintelecto/ia_e.html, Consultado el 1 de mayo de 2008.
- [25]. Wikipedia. (31 de Octubre de 2015). Visión artificial. Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Visi%C3%B3n_artificial&oldid=86150239
- [26]. M. W. Johns, «The Amplitude-Velocity Ratio of Blinks: A New Method for Monitoring

Drowsiness,» Epworth Sleep Centre, [En línea]. Available: http://www.mwjohns.com/wpcontent/uploads/2009/murray_papers/apss_2003_06_03_the_amplitude_velocity_ratio_of_blinks_a_new_method_of_monitoring_drowsiness_poster_69.pdf. [Último acceso:2013 01 04].

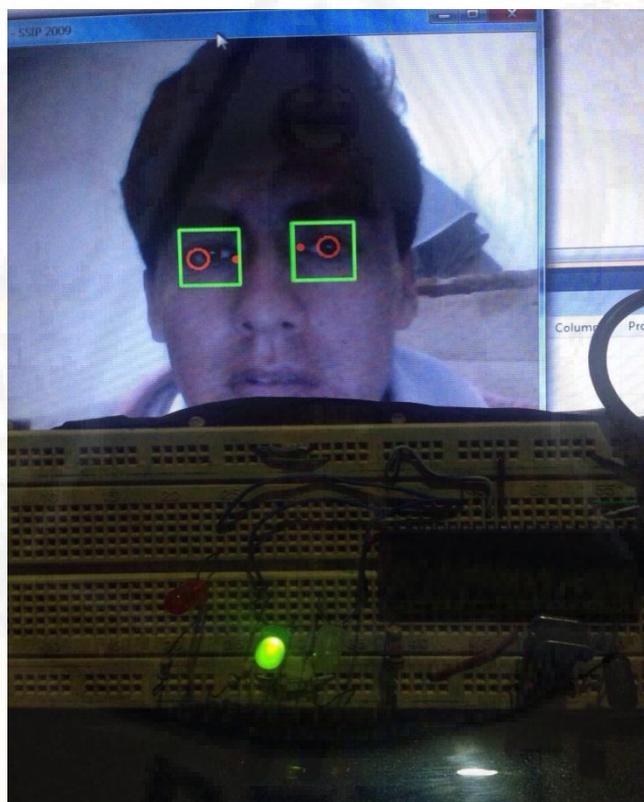
- [27]. B. Mwengue y D. Rodenstein, «Evaluación de la Somnolencia,» Archivos de Bronconeumología, vol. 45, n° 7, pp. 349-351, 03 2009.
- [28]. Neural networks: algorithms, applications, and programming techniques. Jame A. Freeman, Davod M. Skapura. Editorial Addison - Wesley. 1991
- [29]. M. W. Johns, «The Amplitude-Velocity Ratio of Blinks: A New Method for Monitoring Drowsiness,» Epworth Sleep Centre, [En línea]. Available: http://www.mwjohns.com/wpcontent/uploads/2009/murray_papers/apss_2003_06_03_the_amplitude_velocity_ratio_of_blinks_a_new_method_of_monitoring_drowsiness_poster_69.pdf.

| PROBLEMAS | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | OPERACIONALIZACIÓN | | |
|---|--|--|---|----------------------------|---|
| | | | VARIABLES | OPERACIÓN DE LAS VARIABLES | MÉTODO |
| Problema General: ➤ ¿Cómo detectar el estado de somnolencia mediante visión artificial y redes neuronales en conductores de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito? | Objetivo General: ➤ Implementar un sistema para detectar el estado de somnolencia mediante visión artificial y redes neuronales en conductores de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito. | Hipótesis General: ➤ El estado de somnolencia mediante visión artificial y redes neuronales se detecta con un sistema que relaciona el grado de dilatación del iris de los ojos en conductores de vehículos para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito. | | | |
| Problemas específicos: ➤ ¿Cómo detectar mediante visión artificial el rostro en conductores de vehículos? ➤ ¿Cómo determinar mediante visión artificial el grado de dilatación del iris de los ojos en conductores de vehículos? ➤ ¿Cómo establecer mediante una red neuronal el estado de somnolencia en conductores de vehículos? ➤ ¿Cómo alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito? | Objetivos específicos: ➤ Implementar un algoritmo con visión artificial para detectar el rostro ➤ Implementar un algoritmo con visión artificial para determinar el grado de dilatación del iris de los ojos en conductores de vehículos. ➤ Establecer mediante una red neuronal el estado de somnolencia en conductores de vehículos. ➤ Implementar un mecanismo para alertar la ocurrencia de accidentes de tránsito. | Hipótesis Específica: ➤ La comparación dimensionada de imágenes mediante visión artificial permite detectar el rostro en conductores de vehículos. ➤ Por comparación de parámetros oculares mediante visión artificial se determina el grado de dilatación del iris de los ojos. ➤ Teniendo como entrada el grado de dilatación de los ojos a la red neuronal se establece el estado de somnolencia en conductores de vehículos. ➤ La activación de alarmas audibles y visibles alerta la ocurrencia de accidentes de tránsito. | ➤ Estado del iris de los ojos = EIO ➤ Somnolencia = S ➤ Variable Dependiente: ➤ Detección de somnolencia en conductor de vehículos = DSCV | ➤ DSCV=f(EIO,S) | ➤ En esta investigación se empleará el método cuasi experimental. |

ANEXO A FOTOS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN



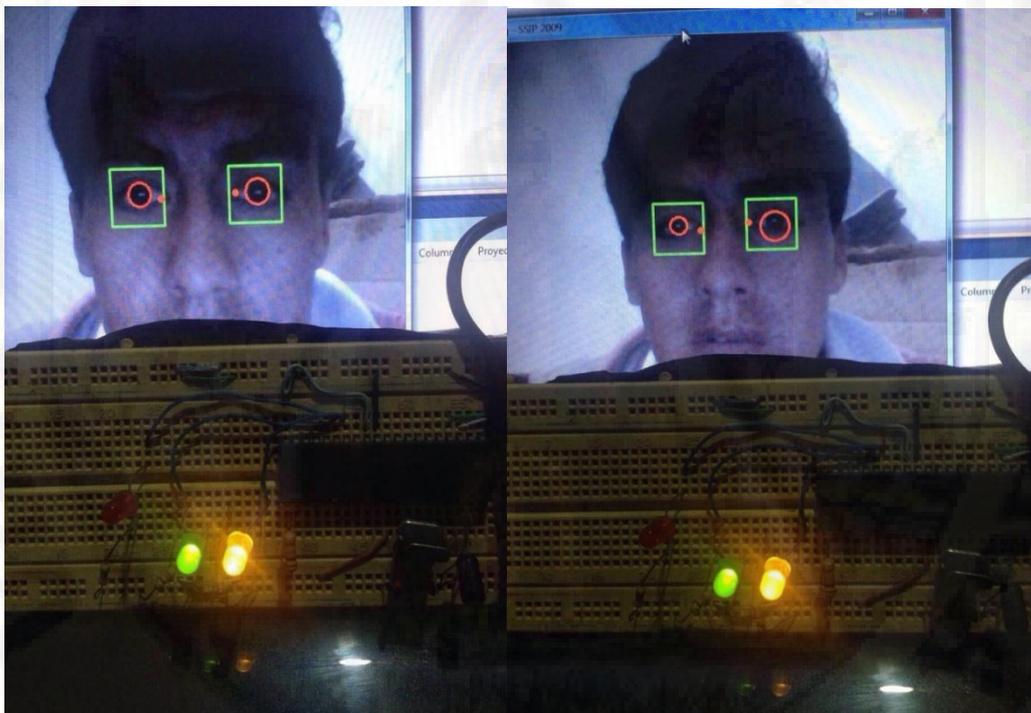
A.1. PCB del sistema de detección de somnolencia



A.2. Detección de ojos abiertos indicador led verde



A.3. Detección de ojos cerrados indicador led en rojo



A.4. Detección de ojos e iris Led verde y ámbar activado



A.5. Tarjeta de proyecto de tesis



A.6. Pista de tarjeta barnizado

```

public void TrainNetwork(double[,] inputlist, double[,] outputlist, int iterations)
{
    // Arreglos que contienen las entradas y Salidas
    inputsToNetwork = new double[this.i];
    desiredOutputs = new double[this.o];
    int outputlistSampleLength = outputlist.GetUpperBound(0) + 1;
    int outputlistLength = outputlist.GetUpperBound(1) + 1;
    int inputlistLength = inputlist.GetUpperBound(1) + 1;
    for (int i = 0; i < iterations; i++)
    {
        for (int sampleindex = 0; sampleindex < outputlistSampleLength; sampleindex++)
        {
            for (int j = 0; j < inputlistLength; j++)
            {
                inputsToNetwork[j] = inputlist[sampleindex, j];
            }
            for (int k = 0; k < outputlistLength; k++)
            {
                desiredOutputs[k] = outputlist[sampleindex, k];
            }
            // Entrenar para el siguiente set de E/S
            Training_for_one_pattern();
        }
    }
}

```

A.7. Código de entrenamiento de red neuronal artificial realizado en visual Basic 2010

```

private void Calc_Activation()
{
    // Iteración entre el conjunto de activaciones en la capa oculta.
    int ch=0;
    while(ch<this.h)
    {
        for(int ci=0 ; ci<this.i ; ci++)
            hidden[ch].Activation += inputsToNetwork[ci] * input[ci].weights[ch];
        ch++;
    }
    // calcular la salida de la capa oculta
    for(int x=0 ; x<this.h ; x++)
    {
        hidden[x].Activation = sigmoid(hidden[x].Activation );
    }
    // Iteración entre el conjunto de activaciones en la capa de salida.
    int co=0;
    while(co<this.o)
    {
        for(int chi=0 ; chi<this.h ; chi++)
            output[co].Activation += hidden[chi].Activation * hidden[chi].weights[co];
        co++;
    }
    // Calcular la salida de la capa de Salida
    for(int x=0 ; x<this.o ; x++)
    {
        output[x].Activation = sigmoid(output[x].Activation );
    }
}

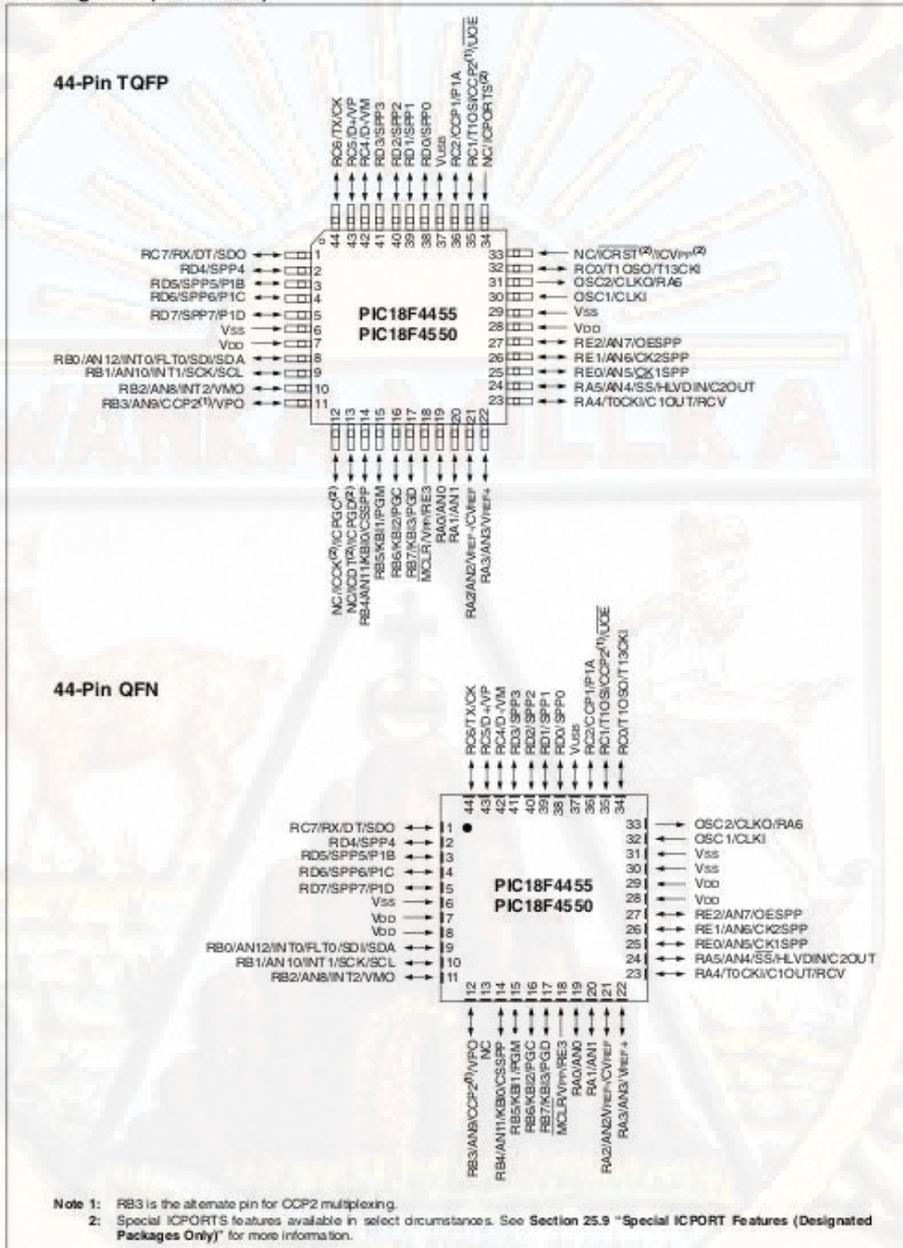
```

A.8. Código de activación de la red neuronal artificial realizado en visual Basic 2010

ANEXO B REGISTRO Y BANCOS DEL PIC18F4550

PIC18F2455/2550/4455/4550

Pin Diagrams (Continued)



| File Address | File Address | File Address | File Address |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Indirect addr. ⁽¹⁾ 00h | Indirect addr. ⁽¹⁾ 80h | Indirect addr. ⁽¹⁾ 100h | Indirect addr. ⁽¹⁾ 180h |
| TMR0 01h | OPTION_REG 81h | TMR0 101h | OPTION_REG 181h |
| PCL 02h | PCL 82h | PCL 102h | PCL 182h |
| STATUS 03h | STATUS 83h | STATUS 103h | STATUS 183h |
| FSR 04h | FSR 84h | FSR 104h | FSR 184h |
| PORTA 05h | TRISA 85h | 105h | 185h |
| PORTB 06h | TRISB 86h | PORTB 106h | TRISB 186h |
| PORTC 07h | TRISC 87h | 107h | 187h |
| PORTD ⁽¹⁾ 08h | TRISD ⁽¹⁾ 88h | 108h | 188h |
| PORTE ⁽¹⁾ 09h | TRISE ⁽¹⁾ 89h | 109h | 189h |
| PCLATH 0Ah | PCLATH 8Ah | PCLATH 10Ah | PCLATH 18Ah |
| INTCON 0Bh | INTCON 8Bh | INTCON 10Bh | INTCON 18Bh |
| PIR1 0Ch | PIE1 8Ch | EEDATA 10Ch | ECON1 18Ch |
| PIR2 0Dh | PIE2 8Dh | EEADR 10Dh | ECON2 18Dh |
| TMR1L 0Eh | PCON 8Eh | EEDATH 10Eh | Reserved ⁽²⁾ 18Eh |
| TMR1H 0Fh | 90h | EEADRH 10Fh | Reserved ⁽²⁾ 18Fh |
| T1CON 10h | 91h | 110h | 190h |
| TMR2 11h | SSPCON2 91h | 111h | 191h |
| T2CON 12h | PR2 92h | 112h | 192h |
| SSPBUF 13h | SSPAD 93h | 113h | 193h |
| SSPCON 14h | SSPSTAT 94h | 114h | 194h |
| CCPR1L 15h | 95h | 115h | 195h |
| CCPR1H 16h | 96h | 116h | 196h |
| CCP1CON 17h | 97h | General Purpose Register 117h | General Purpose Register 197h |
| RCSTA 18h | TXSTA 98h | 16 Bytes 118h | 198h |
| TXREG 19h | SPBRG 99h | 119h | 199h |
| RCREG 1Ah | 9Ah | 11Ah | 19Ah |
| CCPR2L 1Bh | 9Bh | 11Bh | 19Bh |
| CCPR2H 1Ch | CMCON 9Ch | 11Ch | 19Ch |
| CCP2CON 1Dh | CVRCON 9Dh | 11Dh | 19Dh |
| ADRESH 1Eh | ADRESL 9Eh | 11Eh | 19Eh |
| ADCON0 1Fh | ADCON1 9Fh | 11Fh | 19Fh |
| 20h | A0h | 120h | 1A0h |
| General Purpose Register 96 Bytes | General Purpose Register 80 Bytes | General Purpose Register 80 Bytes | General Purpose Register 80 Bytes |
| EFh | EFh | 16Fh | 1EFh |
| 7Fh | accesses 70h-7Fh | accesses 70h-7Fh | accesses 70h-7Fh |
| Bank 0 | Bank 1 | Bank 2 | Bank 3 |

ANEXO C
MUESTRAS TOMADAS

Tabla C.1: Monitoreo reconocimiento de somnolencia técnica umbralado.

| # dato | Horas de prueba | Reconocimiento de somnolencia técnica de umbralado |
|-------------------|-----------------|--|
| 1 | 20:00 - 20:15 | 98,05 |
| 2 | 20:30 - 20:45 | 98,70 |
| 3 | 21:00 - 21:15 | 98,70 |
| 4 | 21:30 - 21:45 | 98,70 |
| 5 | 22:00 - 22:15 | 100,00 |
| 6 | 22:30 - 22:45 | 99,35 |
| 7 | 22:30 - 22:45 | 100,00 |
| 8 | 23:00 - 23:15 | 100,00 |
| 9 | 23:30 - 23:45 | 99,35 |
| 10 | 00:00 - 00:15 | 99,35 |
| 11 | 00:30 - 00:45 | 100,00 |
| 12 | 01:00 - 01:15 | 100,00 |
| 13 | 01:30 - 01:45 | 100,00 |
| 14 | 02:00 - 02:15 | 99,35 |
| 15 | 02:30 - 02:45 | 100,00 |
| 16 | 03:00 - 03:15 | 100,00 |
| 17 | 03:30 - 03:45 | 99,35 |
| 18 | 04:00 - 04:15 | 100,00 |
| 19 | 04:30 - 04:45 | 100,00 |
| 20 | 05:00 - 05:15 | 100,00 |
| Desviación | | 0,60 |
| Media | | 99,55 |

