



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sistema de monitoreo de somnolencia mediante visión por computadora
con prototipo de pulsera para conductores.

AUTOR

Tumbaco España Daniel Steven

PROYECTO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del grado académico en
INGENIERO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

TUTOR

Ing. Carlos Castillo Yagual, MIS.

Santa Elena, Ecuador

Año 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. José Sánchez Aquino. Mgtr.
DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Carlos Castillo Yagual. MIS.
TUTOR

Ing. Jaime Orozco Iguasnia. Mgtr.
DOCENTE ESPECIALISTA

Ing. Marjorie Coronel Suárez. Mgtr.
DOCENTE GUÍA UIC



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por **Tumbaco España Daniel Steven**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero en Tecnologías de la Información.

La Libertad, a los 28 días del mes de julio del año 2026

TUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**CARLOS ANDRES
CASTILLO YAGUAL**

Ing. Carlos Castillo Yagual, MIS.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA**

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, TUMBACO ESPAÑA DANIEL STEVEN

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, Sistema de monitoreo de somnolencia mediante visión por computadora con prototipo de pulsera para conductores previo a la obtención del título en Ingeniero en Tecnologías de la Información, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 28 días del mes de julio del año 2026

EL AUTOR

TUMBACO ESPAÑA DANIEL STEVEN



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Sistema de monitoreo de somnolencia mediante visión por computadora con prototipo de pulsera para conductores, presentado por el estudiante, **Tumbaco España Daniel Steven** fue enviado al Sistema Antiplagio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 4%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

Daniel Tumbaco España

ID : c9ddcdb4381d5cef28eb3e8c847cca3acfe840bc



4%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : Daniel Tumbaco España.txt
Tamaño del archivo original : 2,15 MB
Número de palabras : 18.692

Depositante : CARLOS ANDRES CASTILLO YAGUAL
Fecha de depósito : 11 de agosto de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 11 de agosto de 2026

TUTOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**CARLOS ANDRES
CASTILLO YAGUAL**

Ing. Carlos Castillo Yagual, MIS.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, TUMBACO ESPAÑA DANIEL STEVEN

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales del presente trabajo de titulación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, a los 28 días del mes de julio del año 2026

EL AUTOR

TUMBACO ESPAÑA DANIEL STEVEN

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar, en primer lugar, mi más sincero agradecimiento a Dios por todas las bendiciones que me ha permitido recibir a lo largo de este proceso de formación académica, siempre teniendo presente que sin él no soy nadie.

Agradezco infinitamente a mis padres, Mario Tumbaco, Pamela España, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional durante toda mi vida. A mis hermanos, María, David, Sebastián, quienes han sido una fuente constante de motivación y la razón para esforzarme cada día con la convicción de que todo objetivo es posible cuando se trabaja con dedicación.

Mi gratitud también para mis abuelos, tíos y primos, quienes siempre estuvieron presentes brindándome palabras de aliento.

De manera muy especial, agradezco a mi pareja, Melanie Santistevan, por su amor, paciencia y apoyo incondicional, Gracias por acompañarme en los momentos más difíciles, incluso cuando yo dudaba y por recordarme siempre la capacidad que tengo para superar cualquier obstáculo y alcanzar mis metas.

Daniel Steven, Tumbaco España

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por siempre brindarme ese apoyo incondicional, insistiendo siempre en salir adelante, cada uno de sus sacrificios serán recompensados.

A mis abuelos paternos y maternos, en especial a mi abuela Delia Bacilio, quien fue una persona muy importante de mi vida con sus consejos y amor hacia mi persona mientras estuvo con vida.

A mis hermanos, tíos y primos quienes confiaron en mí desde el inicio de este proceso, nunca dudando de mi capacidad para lograr el objetivo.

A mi pareja Melanie Santistevan, por su amor incondicional y apoyo constante en los momentos de duda.

A mis amigos, quienes fueron parte de este proceso de aprendizaje sin ellos este proceso hubiera sido más pesado.

Hago una mención especial a quien fue la causante de despertar mi interés por la programación, a la ingeniera María Prado quien con sus enseñanzas fue moldeándome en los primeros pasos en este mundo de la programación.

Daniel Steven, Tumbaco España

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
DECLARO QUE:	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Descripción del proyecto	5
1.3 Objetivos del proyecto	7
1.4 Justificación del proyecto	8
1.5 Alcance del proyecto	9
1.6 Metodología del proyecto.	11
1.6.1 Metodología de la investigación	11

1.6.2 Diseño de la investigación	12
1.6.3 Tipo y método de investigación	12
1.6.4 Población y muestra	12
1.6.5 Beneficiarios del proyecto	13
1.6.6 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	13
1.7 Idea a defender	14
1.7.1 Variables	15
1.8 Metodología del desarrollo del proyecto	15
CAPÍTULO 2. PROPUESTA	18
2.1 Marco Contextual	18
2.1.1 Contexto de la seguridad vial del Ecuador	18
2.1.2 Contexto legal e institucional	18
2.2 Marco Conceptual	19
2.2.1. Afectaciones Por Cansancio	19
2.2.2 Seguridad vial	19
2.2.3 Internet de las cosas (IoT)	20
2.2.4 Estimulación eléctrica	21
2.2.5 Método de comunicación	21
2.2.7 Aplicación Móvil	22
2.2.8 Sistema de monitoreo	22
2.2.9 Visión por computadora	22
2.2.9.1 Variables de medición	24

2.3 Marco Teórico	24
2.3.1 Seguridad vial y somnolencia del conductor	24
2.3.2 Estimulación eléctrica para el despertar del conductor	25
2.3.3 Sistemas de monitoreo en tiempo real	25
2.3.4 Comunicación inalámbrica en sistemas portátiles	26
2.4 Requerimientos	26
2.4.1 Requerimientos Funcionales:	26
2.4.2 Requerimientos no Funcionales:	29
2.5 Componente de Propuesta	31
2.5.1. Arquitectura del sistema	31
2.6 Diagramas de casos de uso	33
2.6.1 Diagrama de conexión con prototipo IoT	33
2.6.2 Diagrama de creación de recorrido	34
2.6.3 Diagrama de respuesta del modelo y estimulación eléctrica	35
2.6.4 Diagrama de generación de reportes	36
2.6.5 Modelado de datos	37
2.7 Diseño del hardware	38
2.7.1 Entrenamiento de los modelos de Inteligencia Artificial	40
2.7.1.1 Procesamiento de datos	40
2.7.1.2 Arquitectura del modelo para detección de ojos	40
2.7.1.3 Arquitectura del modelo para detección de bostezos	41

2.7.1.4 Configuración del entrenamiento	42
2.7.1.5 Validación de modelos	42
2.8 Diseño de interfaces	45
2.8.1 Diseño de Interfaz de la aplicación móvil	46
2.8 Pruebas	53
2.9 Resultados	55
2.9.1 Resultados de la variable	55
2.9.2 Resultados de proceso de implementación del sistema.	58
2.9.3 Resultados de procedimientos de desarrollo.	60
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I : Variable	15
Tabla II Requerimientos Funcionales	26
Tabla III Requerimientos No Funcionales	30
Tabla IV Diagrama de conexión con prototipo IoT	33
Tabla V Diagrama de creación de recorrido	34
Tabla VI Diagrama de respuesta del modelo y estimulación eléctrica	35
Tabla VII Diagrama de generación de reportes	36
Tabla VIII Configuración del entrenamiento	42
Tabla IX Resultados de la variable	56
Tabla X Tiempo de respuesta	57
Tabla XI Tiempo de respuesta ante el estímulo	58
Tabla XII Resultados de proceso de implementación del sistema.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Metodología de desarrollo incremental.	17
Figura 2: Diagrama de arquitectura del sistema	31
Figura 3 Diagrama de conexión con prototipo IoT	33
Figura 4: Diagrama de creación de recorrido	34
Figura 5: Diagrama de respuesta del modelo y estimulación eléctrica	35
Figura 6: Diagrama de generación de reportes	36
Figura 7 Diagrama de base de datos	38
Figura 8: ESP32	38
Figura 9: MAX30102	39
Figura 10: Placa de mata mosca	39
Figura 11: Cable de estimulación de 4 salidas	40
Figura 12: Métricas Accuracy y Loss del modelo de ojos	43
Figura 13: Pruebas del modelo de ojos	43
Figura 14: Métricas Accuracy y Loss del modelo de boca	44
Figura 15: Pruebas del modelo de boca	44
Figura 16: Pantalla de Sesión Manual	46
Figura 17: Pantalla de recuperación de contraseña	47
Figura 18: Pantalla de creación de cuenta	48
Figura 19: Pantalla de modo Offline	48
Figura 20: Pantalla principal	49
Figura 21: Pantalla de perfil	50
Figura 22: Pantalla de iniciar recorrido	50
Figura 23: Pantalla de reportes	51
Figura 24: Pantalla de Contactos de emergencia	52
Figura 25: Pantalla de editar perfil	52

Figura 26: Pantalla de monitoreo en modo online	53
Figura 27: Distribución de eventos según el tipo de respuesta	56

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo de somnolencia para conductores mediante visión por computadora. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo con diseño no experimental y alcance descriptivo para un sistema de alerta por fatiga en conductores. La arquitectura se estructuró en una aplicación móvil hecha en Flutter donde un modelo de TensorFlow Lite es el encargado del análisis facial y un módulo físico de pulsera, este último consta de un sensor MAX30102 y una placa ESP32 que transmite la información a través de Bluetooth Low Energy. Para el desarrollo del proyecto se aplicó la metodología incremental integrando los módulos del sistema. El sistema incorpora la activación de un mecanismo de estimulación eléctrica segura cuando se confirma somnolencia. La solución propuesta constituye una alternativa tecnológica que contribuye a fortalecer la seguridad vial mediante el monitoreo y la prevención de accidentes ocasionados la fatiga del conductor.

Palabras claves: Vision por computadora, Somnolencia, TensorFlow Lite

ABSTRACT

This paper presents the development of a computer vision-based drowsiness monitoring system for drivers. The research adopted a quantitative approach with a non-experimental design and a descriptive scope for a driver fatigue warning system. The architecture was structured around a mobile application built with Flutter featuring a TensorFlow Lite model responsible for facial analysis and a physical wristband module; the latter consists of a MAX30102 sensor and an ESP32 board that transmits data via Bluetooth Low Energy. An incremental methodology was applied to develop the project by integrating the system's modules. The system triggers a safe electrical stimulation mechanism when drowsiness is confirmed. The proposed solution offers a technological alternative that enhances road safety by monitoring and preventing accidents caused by driver fatigue.

Keywords: Computer vision, Drowsiness, TensorFlow Lite

INTRODUCCIÓN

La seguridad vial constituye uno de los principales desafíos de salud pública a nivel mundial debido al elevado número de accidentes de tránsito ocasionados por factores humanos, entre ellos la fatiga y la somnolencia del conductor. Cuando se dan estas situaciones, se produce una reducción considerable del tiempo y la fuerza de la concentración al conducir, y se incrementa la probabilidad de colisión con importantes consecuencias sociales y económicas. En el caso concreto de Ecuador, las acciones tendientes a la mejora de la seguridad de los caminos no han logrado erradicar esta tendencia en forma completa, dado que el peligro continúa siendo especialmente severo para las personas que conducen con largos periodos continuos o para las personas que están realizando recorridos en horas de la noche.

Ante estas problemáticas, los avances en inteligencia artificial, visión por computadora e Internet de las Cosas (IoT) han permitido desarrollar soluciones tecnológicas capaces de monitorear en tiempo real pudiendo analizar información de una manera más rápida del estado del conductor y generar alertas preventivas antes de que ocurra un accidente. Sin embargo, la mayoría de los sistemas existentes se limitan a emitir alertas visuales o sonoras, sin incorporar mecanismos adicionales que contribuyan a recuperar el estado de alerta del conductor cuando estas advertencias no resultan suficientes. Así mismo la incorporación de sensores que permitan verificar el pulso cardíaco cuando ocurran este tipo de episodios de somnolencia ha impulsado el uso de estas herramientas tecnológicas.

En respuesta a esta necesidad, la presente investigación se centra en el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo de somnolencia mediante visión por computadora integrado con un prototipo de pulsera IoT para conductores, cambiando un modelo computacional, capaz de identificar signos de somnolencia mediante el análisis del rostro del conductor, con una pulsera inteligente equipada con una placa ESP32, comunicación Bluetooth Low Energy (BLE) y un sensor de frecuencia cardíaca MAX30102, el sistema también incorpora un mecanismo de estimulación eléctrica que se activa únicamente cuando el modelo detecta signos de somnolencia y este es confirmado por la caída de pulsos cardíacos que respaldan la necesidad de una intervención preventiva.

La solución propuesta también se integra a una aplicación móvil desarrollada en Flutter, donde se gestiona el monitoreo en tiempo real, registrando los eventos detectados, donde se administra la comunicación con el dispositivo IoT y es la encargada de almacenar la información tanto de forma local mediante SQLite como en la nube utilizando una base de datos MySQL y servicios API desarrollados en Node.js. Esta arquitectura permite garantizar la continuidad del funcionamiento incluso en escenarios sin conectividad a internet, sincronizando posteriormente la información cuando exista acceso a la red.

Se prevé que el sistema ayude a disminuir la probabilidad de accidentes de tráfico vinculados a la somnolencia que sufren los conductores, constituyendo una detección temprana y una reacción inmediata, todo ello con la posibilidad de contar con archivos históricos destinados al análisis del comportamiento del conductor, fortalecer la evaluación de la prevención de riesgos mediante tecnología inteligente y promover la adopción de soluciones de inteligencia artificial e internet de las cosas en el ámbito de la seguridad viaria. Finalmente, este proyecto busca aportar una alternativa tecnológica innovadora que favorezca una conducción más segura, contribuya a la protección de la vida de conductores, pasajeros y peatones y se alinee con las políticas nacionales orientadas al fortalecimiento de la movilidad segura y sostenible.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN

1.1 Antecedentes

La seguridad vial es un desafío global que afecta tanto a países desarrollados como en vías de desarrollo. Los accidentes de tránsito representan una de las principales causas de mortalidad y lesiones en el mundo, generando graves consecuencias sociales y económicas, la OMS estima que cada año mueren más de 1,19 millones de personas en accidentes de tránsito y millones más sufren lesiones graves [1].

De acuerdo con las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), los siniestros de tránsito en Ecuador continúan siendo un problema de gran magnitud, en el primer trimestre de 2025 se registraron 4.759 siniestros a nivel nacional, evidenciando, que, a pesar de una leve disminución del 2,24% con respecto al mismo periodo de 2024, las cifras siguen siendo preocupantes [2]. La elevada incidencia de siniestros de tránsito en Ecuador constituye una problemática persistente que impacta de manera significativa en la seguridad vial y en la salud pública, estas cifras evidencian que los esfuerzos implementados hasta el momento no han sido suficientes para contrarrestar el problema, lo cual resalta la necesidad de plantear estrategias innovadoras orientadas a la prevención de accidentes, especialmente aquellos asociados a factores humanos como la fatiga y la somnolencia de los conductores [3].

El registro de accidentes de tránsito relacionados con la fatiga y la somnolencia de los conductores ha generado la necesidad de intentar reducir estos tipos de eventos, la presencia de cansancio en los conductores se evidencia en viajes de mucho trayecto, más que todo para los conductores de vehículos pesados que trabajan en la jornada nocturna, esta situación afecta de forma directa la seguridad vial [2].

El incremento en el número de vehículos y la complejidad del tránsito moderno han generado nuevos desafíos para la seguridad vial, si bien las regulaciones de tránsito han contribuido a mitigar ciertos riesgos [4], persisten problemáticas relacionadas con la falta de educación vial y el incumplimiento de normas y la limada cultura de prevención entre conductores y peatones, lo que indica que la seguridad vial no depende únicamente de disposiciones normativas [5].

Condiciones como la somnolencia reducen la capacidad de atención y reacción del conductor, generando un estado de vulnerabilidad que aumenta la probabilidad de provocar un accidente, estos factores no deben de ser subestimados, tienen un impacto similar al consumo de alcohol en cuanto a la disminución de reflejos y la pérdida de concentración [6].

Los accidentes de tránsito tienen múltiples orígenes, siendo los errores humanos y las fallas mecánicas los más comunes [2]. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados para reducir sus consecuencias, la prevención se ha convertido en la prioridad, surge entonces la necesidad de desarrollar sistemas que contribuyan a este objetivo, utilizando los avances tecnológicos disponibles para alertar e intentar evitar la ocurrencia de estos siniestros [7].

Existen políticas en Ecuador orientadas a la seguridad vial, como regulaciones sobre jornadas de conducción y controles vehiculares, su implementación es insuficiente [8]. Además, estudios en tres provincias muestran que más del 64% de los conductores profesionales presentan niveles inaceptables de fatiga física [9]. Incremento del riesgo de accidentes de tránsito donde los conductores enfrentan altos niveles de cansancio, generando un riesgo constante para la seguridad vial en el país.

En diversos países se han realizado investigaciones y proyectos para monitorear la fatiga en conductores. En España, Flores, Armingol y de la Escalera (2011) diseñaron un sistema que evalúa en tiempo real la frecuencia de parpadeo, el índice PERCLOS y los movimientos de la cabeza del conductor, demostrando su eficacia en condiciones reales de carretera [10]. En Ecuador, Sinche Cuerva (2023) propuso un sistema similar utilizando puntos de referencia faciales, en el cual la somnolencia se mide a través de la relación de aspecto del ojo (EAR) y la distracción mediante variaciones en las distancias horizontales faciales, este estudio fue probado en carretera con un 87% de acierto, reforzando la importancia de implementar estas tecnologías en contextos locales para reducir la siniestralidad vial [3].

De igual manera, en México, Nieves Flores, Díaz Román, Rascón Madrigal, Cota Ruiz y Mederos Madrazo (2022) desarrollaron un sistema de detección de somnolencia en conductores mediante procesamiento de video e inteligencia

artificial, su propuesta consistió en la detección automática del rostro y la segmentación de la región ocular, sobre la cual se aplicó un calificador basado en máquina de vectores de soporte (SVM) para determinar el estado de los ojos, también, se incorporó un criterio de alerta definido por la duración de los ojos cerrados en fotogramas consecutivos [11].

Si bien las investigaciones revisadas aportan soluciones efectivas en la detección de la somnolencia, la mayoría de los sistemas se enfocan únicamente en emitir alertas visuales o sonoras, por ello, se propone desarrollar una solución que integre visión artificial y un dispositivo portátil conectado por Bluetooth capaz de detectar signos de somnolencia y emitir estímulos físicos seguros, contribuyendo así a la reducción de accidentes viales.

1.2 Descripción del proyecto

Con el fin de aportar una solución tecnológica a esta situación, se planteó el desarrollo de un prototipo de modelo computacional, con ayuda de algoritmos e inteligencia Artificial mediante visión por computadora que permita monitorear en tiempo real signos de somnolencia y fatiga en los conductores detectando su frecuencia cardíaca en la muñeca, el propósito principal de este proyecto es disminuir la posibilidad de incidentes viales relacionados con la somnolencia mediante estimulación eléctrica en una magnitud no invasiva y segura.

Este plan se llevará a cabo utilizando tecnologías actuales como lo son la Inteligencia artificial y algoritmos que permitan la detección de somnolencia, también componentes electrónicos claves que posibiliten la detección del pulso cardíaco y la estimulación eléctrica segura, tarjetas inteligentes como la ESP32 lograra que la pulsera tenga una conexión directa con la aplicación móvil usando tecnología Bluetooth.

También se usará el potencial de Flutter y Dart para el desarrollo de la aplicación móvil, junto con SQLite como sistema base de datos local en caso de no contar con conexión a internet y MySQL alojado en AlwaysData para la gestión en línea, la comunicación entre la aplicación y el servidor se implementará mediante APIs desarrolladas con Node.js, además se garantizará el cumplimiento de estándares de seguridad y privacidad en el manejo de la información.

1.2.1 Módulos de proyecto:

Módulo de Aplicación Móvil:

Se centra en el desarrollo de una aplicación móvil construida con Flutter, optimizada para ejecutarse en dispositivos móviles. Su función principal es tener una interfaz amigable para la gestión de dispositivos, la recolección de datos de eventos de somnolencia en tiempo real y consultas de reportes de los registros.

- Diseño de la base de datos en SQLite de manera local y MySQL cuando exista conexión a internet para la sincronización con la nube y de la arquitectura de la aplicación con soporte para ambas bases de datos.
- Generación de reportes estadísticos accesibles desde el menú principal.

1.2.3 Módulo De Prototipo De Pulsera:

Se realizará el diseño y ensamblaje del prototipo de pulsera, integrando el microcontrolador ESP32 para la comunicación vía Bluetooth BLE y el sensor MAX30102 para la detección de pulsos cardiacos y el circuito de estimulación eléctrica segura para la generación de pulsos eléctricos, tiene como función principal proporcionar una plataforma física confiable capaz de interactuar en tiempo real con la aplicación móvil.

- Integración del microcontrolador ESP32 para la comunicación vía Bluetooth BLE.
- Implementación de sensor para la detección de pulsos cardiacos.
- Implementación del circuito de estimulación eléctrica segura para generar pulsos eléctricos no invasivos.
- Gestionar la operación del microcontrolador ESP32 y coordinar la comunicación con la aplicación móvil vía Bluetooth BLE.

1.2.4 Módulo de detección de somnolencia:

Se centra en el entrenamiento y despliegue de un modelo mediante visión por computadora optimizado con TensorFlow Lite, capaz de ejecutarse en dispositivos móviles de recursos limitados, Su función principal será la detección de signos de somnolencia en el conductor, identificando patrones como parpadeos prolongados, ojos semicerrados e inclinación de cabeza, generando eventos que activen alertas

de manera preventiva en tiempo real.

- Captura de video en tiempo real usando la cámara frontal del dispositivo móvil.
- Procesamiento de imágenes con TensorFlow Lite para detectar parpadeos, inclinación de cabeza y ojos semicerrados.
- Generación de eventos de somnolencia que desencadenan alertas.

1.2.5 Módulo de estimulación eléctrica y respuesta:

Este módulo se encarga de la activación inmediata del circuito de estimulación eléctrica cuando se detectan episodios de somnolencia. Permite configurar parámetros importantes como lo es la duración de la estimulación eléctrica, mediante registros de dichos eventos alimentar la base de datos para el registro de eventos, además la estimulación eléctrica actuara junto con la detección de pulsos cardiacos para justificar la estimulación aplicada.

- Configuración del tiempo de estimulación.
- Activación del circuito de estimulación eléctrica segura cuando se detecta algún signo de somnolencia y pulsos cardiacos que demuestren cansancio o fatiga.
- Sincronización entre la aplicación móvil y la pulsera para conseguir una respuesta inmediata y registro de eventos.

1.3 Objetivos del proyecto

Objetivo General:

Desarrollar un modelo computacional con un prototipo de pulsera conectada por Bluetooth para la detección de somnolencia mediante visión por computador y frecuencia cardiaca en conductores.

Objetivos Específicos:

- Elaborar del prototipo de pulsera, incluyendo el microcontrolador y el circuito de estimulación eléctrica segura.
- Detectar episodios de somnolencia a través de un modelo computacional usando vectores faciales e inteligencia artificial mediante visión por computadora y Tensor Flow Lite.

- Integrar un sistema de estimulación eléctrica segura a través del prototipo de pulsera para mantener la atención del conductor.
- Gestionar notificaciones junto con alertas que adviertan al usuario y a contactos de confianza mediante una aplicación móvil.

1.4 Justificación del proyecto

El desarrollo de un sistema de detección de somnolencia mediante visión por computadora por su capacidad para aprovechar tecnologías emergentes en beneficio de la seguridad vial [12], al construir una herramienta innovadora como lo es un modelo computacional que brinda apoyo a los conductores en sus trayectos, este tipo de solución tecnológica representa una alternativa a las estrategias tradicionales, al introducir mecanismos inteligentes que contribuyen a reducir los factores de riesgo asociado a la conducción prolongada [3].

La propuesta contribuye directamente al bienestar ciudadano al fomentar una movilidad más segura y controlada mediante el monitoreo, al integrar un sistema de alerta en tiempo real, se genera un aporte que beneficia no solo a los conductores, sino también a pasajeros, peatones y empresas de transporte, fortaleciendo la cultura de prevención en la movilidad [13]. Al promover un entorno de movilidad más confiable, también contribuye a mejorar la percepción de seguridad de la población [13] [14].

El sistema admite el hecho de que puede realizar las distintas notificaciones a partir del registro de eventos en el que se determina un estado de somnolencias, además de emitir una alerta sonoro-física a través del prototipo de pulsera, recibándose con ello la posibilidad de minimizar los riesgos de accidente relacionados con la somnolencia al conducir, en el marco de aplicaciones móviles con dispositivos IoT. Entre las ventajas que se pueden nombrar destacamos las siguientes:

- Medición objetiva del tiempo de la reacción: Consigue realizar la medición objetiva del tiempo de la reacción del conductor en respuesta estímulos en un indicador como sería el tiempo de la reacción y la atención prestada por el conductor.
- Detección temprana de las señales de somnolencia: Permite la detección temprana de las señales de somnolencias, logrando poder dar pie a definir

estrategias preventivas.

- Alternativa tecnológica para la seguridad vial: Representa una alternativa tecnológica orientada al abordaje de la somnolencia durante la conducción, mediante la integración de visión por computadora, aplicaciones móviles y dispositivo IoT, como propuesta para el desarrollo de soluciones tecnológicas aplicadas a la seguridad vial.
- Fomento de la innovación tecnológica en la seguridad vial: Permite fomentar y promover la innovación a la adopción de nuevas tecnologías en la prevención de los riesgos de accidente en el contexto de la seguridad vial.

Este proyecto se alinea con el Objetivo 7 del plan nacional de desarrollo 2025 – 2029, en compañía de la política 7.2 “Fortalecer e incrementar las capacidades del sistema de transporte multimodal regulado, que garantice una movilidad, eficiente segura y equitativa a nivel nacional, con criterios de intersectorialidad eficiencia logística y conectividad territorial, así como reducir la vulnerabilidad de la infraestructura frente al desgaste y amenazas naturales, aplicando principios de resiliencia y sostenibilidad”. De esta manera, la propuesta contribuye directamente a la reducción de la tasa de mortalidad por siniestros de tránsito, mediante la integración de tecnologías que promueven una movilidad más segura y responsable [15].

1.5 Alcance del proyecto

La presente investigación posee un alcance descriptivo, debido a que se orienta a caracterizar el diseño, funcionamiento e integración de un sistema de monitoreo de somnolencia basado en visión por computadora y un prototipo de pulsera IoT con estimulación eléctrica. El presente alcance permite describir las características técnicas, características funcionales y características operativas de cada uno de los módulos que forman parte de la solución tecnológica, sin tener establecido relación de causalidad de las variables objeto de estudio. Y busca también documentar la puesta en práctica entre la aplicación móvil, el modelo de inteligencias artificial y el prototipo de pulsera, durante la detección de episodios de somnolencia y la puesta en práctica de respuestas preventivas.

Con la finalidad de llevar a cabo dicho objetivo, la arquitectura del sistema se divide

en cuatro módulos principales que presentan la manera en la que se realiza tal funcionamiento. Con el módulo de la aplicación móvil quedamos ante la interfaz principal de interacción, que desarrolla en el software Flutter, dando la posibilidad de visualización de eventos de somnolencia, gestión de dispositivos, almacenamiento de datos en base locales (SQLite) y sincronización con la base de datos en la nube (MySQL), además de la posibilidad de elaborar reportes estadísticos.

El módulo de detección de somnolencia se enfoca en el desarrollo e implementación de un modelo de visión por computadora optimizado con TensorFlow Lite, capaz de ejecutarse en dispositivos móviles. Este segmento, por su parte, propone evaluar de forma instantánea diferentes rasgos que presenta el rostro de la persona conductora, tales como el parpadeo, el cierre de los ojos o la inclinación del rostro, de modo que genera eventos que sirven para determinar niveles de las alertas para posibles episodios de somnolencia.

El módulo prototipo de pulsera IoT es la parte en la que se diseña y se construye el dispositivo físico que hace uso de un microcontrolador de tipo ESP32 en el que también se incorporan los sensores de tipo biométrico, como por ejemplo el sensor de tipo MAX30102 para la medición de la frecuencia cardíaca; además de incluir también un sistema de comunicación de tipo Bluetooth Low Energy (BLE) que realiza la transmisión de los datos a la aplicación en tiempo real que se desea.

El módulo de estimulación eléctrica y respuesta se encarga de aplicar acciones correctivas a la ocurrencia de somnolencia indicando a un circuito de estimulación eléctrica que funcione de una manera segura y no invasiva. En este módulo es posible configurar parámetros como la duración e intensidad del estímulo, de forma tal que se provoque una respuesta inmediata que ayude a que el estado de alerta del conductor se recupere.

Finalmente, el estudio se reduce al diseño, la implementación y la integración de un prototipo funcional para la detección de la somnolencia y la producción de un estímulo eléctrico seguro en un ambiente de simulación reproduciendo condiciones propias de la conducción. El propósito principal no consiste en desarrollar un dispositivo comercial o de uso médico, si no evaluar el funcionamiento integral del

sistema y determinar el tiempo de reacción del conductor ante la estimulación eléctrica generada después de la detección de signos de somnolencia.

El prototipo de pulsera desarrollado corresponde a una versión experimental construida con componentes electrónicos comerciales para facilitar las pruebas de integración entre el hardware y el software. Por esta razón, su tamaño, distribución de componentes y conexiones mediante cableado responden a criterios de desarrollo y validación, mas no representan el diseño final de un dispositivo portátil.

Este proyecto no incluye la optimización avanzada de la arquitectura electrónica del prototipo mediante el diseño de una placa de circuito impreso (PCB) personalizada, la incorporación de componentes de montaje superficial (SMD), baterías recargables integradas ni la reducción avanzada de las dimensiones del dispositivo. Así pues, el prototipo que se ha desarrollado puede tener conexiones externas y un tamaño superior al de una versión comercial debido a que este diseño obedece principalmente a la intención de validar la integración funcional de sus componentes y evaluar, también, el tiempo de respuesta del conductor al estímulo eléctrico. Se considera que los puntos de miniaturización, mejora de la ergonomía y de la eliminación del cableado externo son aspectos que deberían abordarse en investigaciones futuras.

La validación experimental comprende la medición de indicadores como el porcentaje de detección de somnolencia, el tiempo de respuesta del sistema, el tiempo de reacción del conductor frente al estímulo eléctrico y el registro de eventos generados durante las pruebas. No forma parte del alcance de esta investigación la implementación del sistema en escenarios reales de circulación, la fabricación industrial del dispositivo, la certificación como dispositivo médico, las validaciones clínicas con población amplia, la optimización energética avanzada del hardware ni el desarrollo de una versión comercial del producto, aspectos que se plantean como metas de investigación futuras.

1.6 Metodología del proyecto.

1.6.1 Metodología de la investigación

El proyecto se desarrollará en un entorno simulado que representa las condiciones reales de conducción en carretera. Este escenario permitirá analizar el

comportamiento del conductor ante la fatiga y validar el funcionamiento del sistema propuesto, la simulación incluirá un ambiente controlado con cámara frontal para la captura de video, conexión Bluetooth entre el dispositivo móvil y el prototipo de pulsera, registros de datos en base de datos locales y en la nube. El propósito de este entorno es recrear las condiciones bajo las cuales los conductores experimentales somnolencia, permitiendo obtener información útil para el entrenamiento del modelo y la validación de alertas.

1.6.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación será no experimental y de alcance descriptivo, ya que se observará el comportamiento del sistema sin manipular variables externas [16]. El estudio se enfocará en describir el proceso de desarrollo, integración y funcionamiento del sistema de detección de somnolencia, junto con su interacción con el prototipo de pulsera en un entorno controlado.

1.6.3 Tipo y método de investigación

El enfoque de la investigación será de tipo cuantitativo y analítico, complementado con elementos de carácter experimental, este enfoque se justifica porque se recopilarán y analizarán datos numéricos, como el porcentaje de acierto, el tiempo de reacción y la cantidad de eventos detectados, que permitirán medir objetivamente el rendimiento del sistema, este enfoque cuantitativo se basa en la observación y medición de variables, lo que posibilita obtener resultados verificables y comparables, dado que este tipo de aproximación es apropiado para evaluar el comportamiento de sistemas tecnológicos [16].

El método aplicado será el analítico sintético ya que facilita examinar el sistema dividiendo en sus módulos principales (Detección, estimulación y comunicación), para comprender el funcionamiento individual de cada uno, e integrar luego los resultados con el propósito de evaluar el desempeño global, este método combina el análisis detallado de las partes con la síntesis de los resultados, permitiendo así una comprensión integral del comportamiento del sistema en su conjunto [17].

1.6.4 Población y muestra

La población de esta investigación está conformada por el total de tiempos de

reacción registrados durante las simulaciones controladas realizadas en el entorno experimental, cada registro corresponde al intervalo de tiempo, medido en segundos o milisegundos, que transcurre desde la activación del estímulo eléctrico hasta la respuesta del conductor, se estima que la población total estará compuesta por alrededor de 100 mediciones de tiempo de reacción, obtenidas a lo largo de varias sesiones experimentales.

La muestra estará conformada por 26 mediciones seleccionadas de forma intencional, que representan distintos estados del conductor: alerta, somnolencia leve y somnolencia profunda. Esta muestra permitirá analizar estadísticamente el tiempo promediado de reacción TR_{prom} , así como la variabilidad en función del tipo de estímulo, los datos seleccionados servirán para determinar el comportamiento del tiempo de respuesta bajo diferentes condiciones, proporcionado evidencia cuantitativa a nivel de atención y capacidad de reacción del conductor.

1.6.5 Beneficiarios del proyecto

Los principales beneficiarios del presente proyecto son los conductores profesionales, quienes dispondrán de una herramienta tecnológica capaz de detectar de manera temprana signos de somnolencia mediante técnicas de visión por computadora y monitoreo biométrico, generando alertas preventivas y estimulación eléctrica que contribuyan a recuperar su estado de alerta y reducir el riesgo de accidentes de tránsito de manera complementaria, las empresas de transporte podrán beneficiarse al contar con una solución que fortalezca las estrategias de prevención de incidentes relacionados con la fatiga de los conductores.

Los resultados obtenidos servirán como base para futuras investigación en las áreas de inteligencia artificial, visión por computadora, internet de las cosas (IoT) y seguridad vial facilitando el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas y la evaluación del prototipo hacia versiones más compactas ergonómicas y funcionales para aplicaciones reales donde se puedan aprovechar al máximo los beneficios de usar herramientas tecnológicas.

1.6.6 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizará mediante la aplicación de dos técnicas de recolección de datos como instrumentación automática y observación estructurada,

seleccionadas según el tipo de información que se requiere obtener en el entorno simulado, estas técnicas permiten combinar datos cuantitativos y cualitativos para una interpretación más completa del fenómeno analizado.

La instrumentación automática consistió en el registro digital de los eventos generados por el sistema de monitoreo de somnolencia durante las pruebas experimentales. Esta técnica permitió recopilar información relacionada con la activación de los mecanismos de respuestas y los intervalos temporales entre los diferentes eventos registrados. El instrumento utilizado fue el Formato de Registro de Tiempos de reacción (F01) (ver Anexo 1), mediante el cual se registraron los eventos generados por la aplicación móvil y las respuestas asociadas al prototipo IoT conectado mediante Bluetooth Low Energy.

Por otro lado, la observación estructurada permitió complementar los datos cuantitativos mediante el registro de aspectos observables durante las pruebas. Para ello, se utilizó la Ficha de Observación Experimental (F02) (ver Anexo 2), en la cual se registraron aspectos relacionados con la respuesta del participante ante las alertas, la reacción física ante la estimulación eléctrica, el nivel de atención observado y el comportamiento general durante la ejecución de las pruebas.

La información obtenida mediante la ficha de observación permitió complementar los resultados automáticos, evidenciando que los participantes presentaron respuestas observables ante los estímulos generados por sistema principalmente mediante cambio en el estado de atención y respuestas físicas posteriores a la activación de las alertas. La utilización conjunta de ambas técnicas permitió relacionar los registros temporales generados automáticamente por la aplicación con el comportamiento observado durante las pruebas, proporcionando una visión más completa sobre el funcionamiento del sistema y la respuesta ante los mecanismos de intervención implementados.

1.7 Idea a defender

La aplicación de un estímulo eléctrico controlado, activado tras la detección de somnolencia mediante visión por computadora, contribuye a disminuir el tiempo de reacción del conductor en un entorno simulado de conducción. La integración de una aplicación móvil con un prototipo de pulsera IoT permite detectar

oportunamente signos de fatiga y ejecutar una respuesta preventiva en tiempo real.

1.7.1 Variables

1. Tiempo de reacción ante estímulo

Tabla I : Variable

Fase de evaluación	Instrumento de medición	Unidad y tipo de dato	Variable dependiente
Prueba en entorno simulado	Prototipo IoT integrado con aplicación móvil	Tiempo de reacción (Segundos o milisegundos)	Tiempo de reacción del conductor ante estímulos

Fuente: Elaboración propia

Esto se medirá la unidad de segundos (s) o milisegundos (ms), variables como el tiempo de respuesta se define como el tiempo que tarda el conductor en responder a cada estímulo detectado por el sistema, se registra automáticamente en la aplicación móvil en cada evento.

Mientras que el tiempo de reacción promedio se calcula desde la sumatoria de todos los estímulos registrados durante la simulación o prueba lo que permite evaluar de manera cuantitativa el nivel de atención y capacidad de respuesta del conductor, se representaría de manera matemática de la siguiente forma:

$$TR_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n TR_i}{n}$$

TR_{prom} =Tiempo de reacción promedio (cuanto tarda un conductor en reaccionar ante los estímulos).

$\sum_{i=1}^n TR_i$ =La sumatoria de todos los tiempos de reacción individuales registrados.

n =El numero total de mediciones o estímulos aplicados.

1.8 Metodología del desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del proyecto se aplicará el modelo incremental, el cual permite dividir el sistema en módulos funcionales que se desarrollan, prueban e integran de manera progresiva. Cada incremento entrega una parte operativa al sistema, lo que facilita la validación continua y la detección temprana de errores tanto en software como en hardware. En el contexto del proyecto al implementar módulos de visión

por computadora y la conexión para la estimulación del prototipo de pulsera este enfoque resulta muy beneficiario.

El modelo incremental permitirá construir el sistema de monitoreo de somnolencia a través de entregas parciales y verificables, asegurando la correcta integración de cada módulo, detección de somnolencia, estimulación eléctrica, comunicación Bluetooth y aplicación móvil, con el objetivo de alcanzar una versión completamente funcional y validada como se visualiza en la Figura 1.

Análisis de requerimientos:

En esta fase inicial se determinan las necesidades, tanto funcionales como no funcionales, del sistema, se establecen las especificaciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema. Las necesidades a las que hacemos referencia están relacionadas con la detección de somnolencia, la conectividad entre la aplicación móvil y el prototipo de pulsera, los parámetros eléctricos del módulo TENS y el modo para almacenar la información de forma local (SQLite) o remota (MySQL). Esta fase inicial constituye la parte técnica de base para establecer la estructura modular final del sistema, así como para garantizar su coherencia.

Desarrollo y diseño:

A lo largo de la presente etapa se continúan generando y/o mejorando los diagramas de arquitectura del software, los esquemas eléctricos del hardware y los flujogramas de la comunicación Bluetooth BLE. Se sistematiza así dicho desarrollo en un diseño que orienta a una estructura modular que favorezca la integración progresiva. Se especifican así los elementos principales del proyecto, el microcontrolador ESP32, el circuito de estimulación TENS, la aplicación móvil, ya desarrollada en Flutter, que facilitaría esta comunicación, y las API en Node.js utilizadas para la sincronización y transferencia de datos. Este diseño asegura la interoperabilidad entre hardware, software y servicios en la nube.

Pruebas:

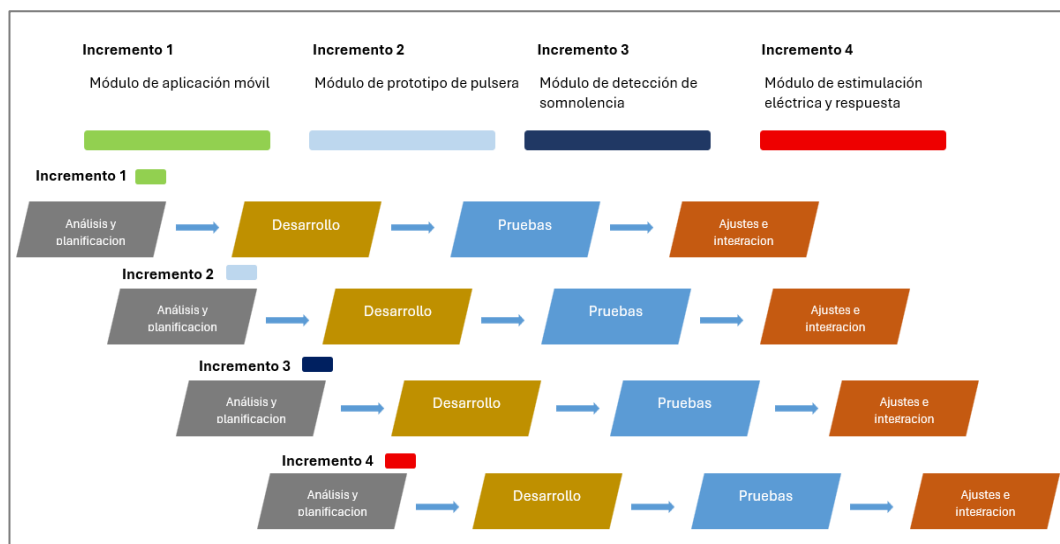
Una vez desarrollados los módulos principales, se lleva a cabo la integración progresiva de todos los componentes, verificando la correcta comunicación entre el

sistema de detección, el microcontrolador y la aplicación móvil. Se ejecutan pruebas funcionales y de estabilidad en un entorno simulado, con el propósito de validar la confiabilidad de las alertas generadas y la eficiencia en la transmisión de datos.

Ajustes e integración:

Se realiza la evaluación integral del sistema mediante indicadores cuantitativos como el porcentaje de detección correcta, el tiempo promedio de respuesta y la frecuencia de activaciones adecuadas. Con base en estos resultados se ejecutan los ajustes técnicos necesarios tanto en software como en hardware, garantizando el cumplimiento de los requerimientos planteados y la estabilidad operativa del sistema final.

Figura 1: Metodología de desarrollo incremental.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 2. PROPUESTA

2.1 Marco Contextual

2.1.1 Contexto de la seguridad vial del Ecuador

El proyecto se orienta al desarrollo de un sistema tecnológico enfocado en la detección de somnolencia en conductores mediante visión por computadora y un dispositivo portátil de respuesta inmediata. Para su análisis, diseño y validación, se toma como contexto principal la problemática de la seguridad vial en el Ecuador, la cual presenta altos índices de siniestralidad asociados principalmente a factores humanos como la fatiga y la somnolencia.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, los accidentes de tránsito constituyen una de las principales causas de muerte a nivel mundial, con más de 1,19 millones de fallecimientos anuales [1]. En el caso ecuatoriano, el Instituto Nacional de Estadística y Censos reporta miles de siniestros de tránsito cada año, evidenciando la necesidad de implementar soluciones que contribuyan a la reducción de eventos [2].

Dentro de estos factores, la somnolencia del conductor se identifica como un elemento crítico, ya que disminuya la capacidad de reacción, atención y el juicio incrementando significativamente la probabilidad de accidentes [6]. Este contexto permite establecer un entorno realista permitiendo la recolección de información para la aplicación del sistema propuesto.

2.1.2 Contexto legal e institucional

Desde el ámbito legal, el proyecto se alinea con las políticas públicas orientadas a mejorar la seguridad vial en el Ecuador, así como el Plan Nacional del Desarrollo 2025-2029, el cual promueve la implementación de soluciones tecnológicas para garantizar una movilidad segura y eficiente. Establece la importancia de fortalecer los sistemas de control, monitoreo y prevención mediante el uso de tecnologías emergentes, fomentando la modernización del sector de transporte.

Asimismo, la normativa ecuatoriana en materia de tránsito establece la responsabilidad de prevenir riesgos asociados a la conducción, incluyendo aquellos relacionados con la fatiga y la somnolencia. En este contexto el desarrollo de

sistemas inteligentes de monitoreo contribuye al cumplimiento de estos lineamientos, al proporcionar herramientas tecnológicas que fortalecen la prevención de accidentes.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1. Afectaciones Por Cansancio

Fatiga

La fatiga se define como el estado físico o mental resultante de esfuerzos prologados falta de descanso suficiente, manejo de jornadas extensas o condiciones de alta monotonía, que reduce la capacidad del individuo para realizar tareas con normal desempeño, desde la perspectiva de la conducción [6], la fatiga se relaciona con una menor atención, reflejos lentos, juicio disminuido y mayor riesgo de accidentes, estudios señalan que conducción tras 17 horas despierto es comparable a tener una concentración de alcohol en sangre equivalente al 0,05% en términos de deterioro [18].

Somnolencia

La somnolencia es la tendencia o estado de quedarse dormido o quedarse momentáneamente sin conciencia, producido por privación de sueño, trabajo nocturno prologado o monotonía al volante, la somnolencia compromete la atención, el seguimiento de la vía y puede dar lugar a micro sueños (breves episodios de sueño involuntario) lo que produce riesgos a accidentes, en sistemas de TI para monitoreo, la somnolencia es un indicador clave que se detecta mediante análisis de parpadeo, cierre de ojos, cabeza inclinada o movimiento de conducción inapropiados [19].

2.2.2 Seguridad vial

La seguridad vial es el conjunto de prácticas, regulaciones, infraestructuras y tecnologías destinadas a prevenir accidentes de tráfico, reducir lesiones y muertes en las vías, y promover una movilidad más segura para conductores, pasajeros y peatones, en el ámbito de TI, la seguridad vial incorpora sistemas de asistencia al conductor, monitoreo de atención, alertas inteligentes y dispositivos de intervención proactiva como los sistemas de detección de somnolencia o fatiga. Esos sistemas

contribuyen a mitigar al factor humano del riesgo de conducción [20].

2.2.3 Internet de las cosas (IoT)

Se refiere a la interconexión de objetos físicos a través de redes de comunicación permitiendo la recopilación y el intercambio de datos en tiempo real, en el ámbito de seguridad vial, el IoT se aplica mediante la integración de sensores, dispositivos conectados y plataformas digitales para mejorar la gestión del tráfico, la seguridad de los vehículos y la infraestructura vial [21].

Dispositivos que monitorean el flujo vehicular y ajustan los semáforos en tiempo real para optimizar la circulación y reducir congestiones [22], dispositivos equipados con IoT que permiten la comunicación entre vehículos, balizas inteligentes que alertan a otros conductores y servicios de emergencia sobre incidentes en la carretera, estas aplicaciones permiten un monitoreo más eficiente del tránsito, facilitan la toma de decisiones en tiempo real y contribuyen a la reducción de accidentes de tránsito y a la mejora de la movilidad urbana [23].

Microcontrolador

Un microcontrolador (MCU) es un circuito integrado compacto que contiene un procesador, memoria (RAM/ROM) y periféricos de entrada/salida (I/O) en un solo chip diseñado para ejecutar tareas específicas en sistemas embebidos, en aplicaciones de TI y prototipos IoT, el microcontrolador actúa como cerebro del hardware, gestionado sensores, comunicaciones inalámbricas (como BLE) y actuadores (como un circuito TENS). Su uso es clave en la arquitectura de dispositivos portátiles de monitoreo [24].

Prototipo de IoT

Un prototipo de IoT se refiere a un dispositivo funcional, integrado y conectado a una red, que incorpora sensores, actuadores, microcontroladores, comunicaciones y software, con el fin de capturar datos del entorno físico y comunicarlos para su procesamiento, un prototipo de IoT permite experimentar, validar conceptos y desplegar aplicaciones reales de monitoreo, control o automatización, una pulsera inteligente con BLE que envía datos de somnolencia al móvil es un prototipo de IoT [25].

2.2.4 Estimulación eléctrica

La estimulación eléctrica se refiere al uso de pulsos de corriente eléctrica controlada que, a través de un dispositivo físico, generar reacciones al cuerpo, en el contexto de TI aplicada a seguridad vial, esta técnica puede usarse como método de respuesta inmediata ante los signos de somnolencia del conductor, activada por un sistema de monitoreo, al integrarse con sensores y microcontrolador, la estimulación eléctrica constituye el componente de intervención física dentro de un modelo de alerta inteligente [26].

2.2.5 Método de comunicación

Bluetooth:

Es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite la transmisión de datos a corta distancia entre dispositivos electrónicos, la versión Bluetooth Low Energy (BLE) es especialmente utilizada en aplicaciones IoT por su bajo consumo de energía y capacidad de mantener conexiones estables con dispositivos portátiles [27]. En el monitoreo de conductores, Bluetooth permite la conexión entre la aplicación móvil y el prototipo de pulsera, facilitando la transmisión de alertas y la activación de estímulos eléctricos seguros en tiempo real [11].

2.2.6 Almacenamiento de datos

Base de datos

Las bases de datos son sistemas organizados para almacenar, gestionar y recuperar información de manera eficiente, en proyectos de monitoreo de conductores, las bases de datos permiten registrar datos relevantes relacionado a algo en específico, facilitando el procesamiento de estos, se utilizan tanto bases de datos locales para operaciones offline, como bases de datos en la nube para la sincronización y almacenamiento centralizado [28]. La correcta estructuración de la información garantiza seguridad, integridad y disponibilidad de datos críticos [29].

Base de datos relacional

Una base de datos relacional es un sistema de almacenamiento de información que organiza los datos en tablas compuestas por filas y columnas, estableciendo relaciones entre ellas mediante claves primarias y foráneas [30]. Este modelo se

base en el uso de estructuras formales y en el lenguaje SQL para gestionar, consultar y manipular los datos de manera eficiente, en aplicaciones móviles y sistemas de monitoreo, las bases de datos relacionales permiten almacenar información como usuarios, eventos de somnolencia, historiales y métricas del sistema garantizando integridad, consistencia y seguridad de los datos [31].

2.2.7 Aplicación Móvil

Una aplicación móvil es un software diseñado para ejecutarse en dispositivos móviles como smartphones y tabletas, proporcionando funcionalidades específicas que permiten interactuar con el usuario de manera intuitiva [32]. En el contexto de seguridad vial y sistemas de monitoreo de conductores, las aplicaciones móviles se utilizan para recibir información en tiempo real de dispositivos portátiles, visualizar alertas de somnolencia y registrar eventos de manera segura, estas aplicaciones con ayudas de api subidas a la nube pueden lograr trabajar de manera online para recibir y subir información, pese a esto también existe el modo offline con recursos de manera local [33].

2.2.8 Sistema de monitoreo

Un sistema de monitoreo es un conjunto integrado de hardware, software, sensores y comunicaciones que permite la observación continua o periódica de variables relevantes en un entorno determinado, dichos sistemas recopilan datos del entorno físico para su análisis en tiempo real o diferido [10]. Su finalidad es identificar situaciones críticas, emitir e incluso intervenir para prevenir incidentes, en ámbitos de seguridad vial, un sistema de monitoreo puede supervisar la atención del conductor, la somnolencia o la fatiga, generando datos, implementando medidas correctivas o activar dispositivos de respuesta inmediata [34].

2.2.9 Visión por computadora

La visión por computadora es una disciplina de la inteligencia artificial que permite a los sistemas interpretar imágenes o secuencias de video para extraer información significativa y útil, esta interpretación se realiza mediante algoritmos que analizan características visuales como formas, colores, posiciones de objetos o movimientos, permitiendo automatizar tareas que normalmente requerirían la intervención humana [35].

En el ámbito de seguridad vial, la visión por computadora se emplea para detectar signos de somnolencia o distracción en conductores, midiendo parpadeos [18], inclinación de cabeza y expresiones faciales, y generando alertas en tiempo real mediante modelos de machine learning, incrementando la prevención de accidentes [10].

Modelo computacional

Un modelo computacional es una representación abstracta de un sistema o fenómeno real mediante algoritmos, estructura matemáticas y técnicas de programación, que permite simular, analizar y predecir su comportamiento en un entorno digital, en el ámbito de la inteligencia artificial y la visión por computadora, estos modelos utilizan datos de entrada (como imágenes o señales) para generar resultados o clasificaciones, apoyándose en técnicas como el aprendizaje automático [36]. En sistema de monitoreo de conductores, un modelo computacional puede procesar información visual del rostro para detectar gestos de somnolencia como el cierre prologado de los ojos o la inclinación de la cabeza, generando alarmas en tiempo real [37].

Redes neuronales convoluciones (CNN)

Las redes neuronales convolucionales, abreviadas a CNN, son un tipo de arquitectura de aprendizaje profundo que consiste principalmente en el procesamiento y análisis de imágenes, siguiendo una determinada estructura donde se utilizan capas convolucionales que aplican los filtros sobre los datos de entrada haciendo posible que se extraigan de la imagen las características visuales como bordes, formas, texturas y patrones, permitiendo posteriormente realizar tareas de clasificación y reconocimiento de los datos [38].

En tareas de visión por computadora, las CNN hacen posible aprender automáticamente las características relevantes de las imágenes a partir de datos preprocesados y etiquetados [39]. En el presente proyecto se utilizará este tipo de red para analizar la información visual del rostro y los ojos, permitiendo poder clasificar diferentes estados relacionados con la somnolencia del conductor a partir de las características obtenidas mediante la cámara con apoyo de las validaciones que se implementarán en el sistema [40].

Formato TFLite

El formato TFLite es un formato de archivo utilizado para almacenar modelos herramientas de machine learning optimizados para la ejecución en dispositivos con recursos limitados, como teléfonos móviles, dispositivos embebidos o sistemas IoT [41]. Un modelo TFLite se ha diseñado para proporcionar eficiencia, disminuyendo el tamaño del modelo y los recursos computacionales necesarios para la inferencia utilizando dicho modelo [42].

En este proyecto, el TFLite nos permite tener el modelo de detección basado en redes neuronales convolucionales para integrarse en la aplicación móvil misma, donde se permitiría que el modelo pueda procesar las imágenes obtenidas a partir de la cámara y realizar las correspondientes predicciones necesitadas, sin tener que requerir que la ejecución del modelo de detección tenga que ser necesariamente en un servidor externo [43].

2.2.9.1 Variables de medición

Las variables de medición son los parámetros cuantificables que se seleccionan, definen y registran para evaluar el comportamiento o desempeño de un sistema. En proyectos de TI y monitoreo, una variable puede ser el tiempo de reacción ante estímulo, frecuencia de parpadeo, ángulo de inclinación de cabeza, el establecimiento correcto de variables facilita la recolección, análisis y comparación de resultados, garantizando que los datos sean relevantes y medibles, Estas variables permiten evaluar cuan rápido responde un conductor a una alerta de somnolencia [17].

2.3 Marco Teórico

2.3.1 Seguridad vial y somnolencia del conductor

La seguridad vial es un área que busca reducir accidentes de tránsito y sus consecuencias mediante estrategias preventivas, educación y tecnología, la somnolencia del conductor se considera uno de los factores humanos más críticos ya que disminuye la atención, el tiempo de reacción y la capacidad de tomar decisiones, aumentando el riesgo de accidentes, según la OMS, más de 1,19 millones de personas mueren anualmente por accidentes de tránsito y la fatiga es

un factor determinante en muchos de estos casos [1].

Estudios recientes destacan que la detección temprana de somnolencia mediante sistemas inteligentes puede disminuir la probabilidad de incidentes viales, especialmente en conductores profesionales o en trayectos largos. La incorporación de tecnologías emergentes permite monitorear, alertar y registrar eventos de manera automatizada, fortaleciendo la prevención [38].

2.3.2 Estimulación eléctrica para el despertar del conductor

La estimulación eléctrica para despertar o reactivación de personas somnolientas es una estrategia tecnológica aplicada en sistemas de seguridad y prevención de accidentes, especialmente en el ámbito de la conducción, este enfoque busca generar una respuesta física o sensorial inmediata mediante impulsos eléctricos de baja intensidad que contribuyan a recuperar el estado de alerta del usuario [39], estudios demuestran que la estimulación eléctrica muscular puede activar el sistema nervioso periférico y mejorar temporalmente la atención el ritmo cardíaco y el tiempo de reacción del individuo [40].

En entornos vehiculares, la aplicación de pulsos eléctricos controlados a través de dispositivos portátiles, como pulsera o bandas de estimulación se ha mostrado eficaz para prevenir episodios de micro sueño sin generar incomodidad excesiva o distracciones, además investigaciones experimentales sugieren que este tipo de estimulación, combinada con detección de somnolencia puede integrarse en sistemas inteligentes [41] [42].

2.3.3 Sistemas de monitoreo en tiempo real

Los sistemas de monitoreo en tiempo real permiten la supervisión constante de variables o eventos a medida que ocurren, proporcionando información inmediata que puede ser utilizada para la toma de decisiones y la implementación de somnolencia, en el contexto de seguridad vial y prevención de somnolencia en conductores [43], estos sistemas permiten capturar datos biométricos y de comportamiento del conductor en tiempo real, detectar eventos críticos como parpadeos prolongados [44], inclinación de cabeza o distracciones, generación de alertas inmediatas, el uso de tecnologías IoT, visión por computadora y machine learning en estos sistemas permite una supervisión más precisa y predictiva,

incrementando la efectividad de la prevención de accidentes y mejorando la seguridad vial [45].

2.3.4 Comunicación inalámbrica en sistemas portátiles

La comunicación inalámbrica, como Bluetooth Low Energy (BLE), es fundamental en sistemas portátiles debido a su bajo consumo energético y capacidad de transmisión de datos en tiempo real [46]. BLE permite la interacción eficiente entre dispositivos como pulseras inteligentes y aplicaciones móviles, facilitando la transmisión de alertas datos críticos relacionados con la somnolencia del conductor, esta tecnología es especialmente útil en entornos vehiculares, donde la reducción de peso y la eficiencia energética son esenciales, además, BLE ofrece ventajas en cuanto a la seguridad de la comunicación, ya que incorpora mecanismos de encriptación y autenticación que protegen los datos transmitidos entre la pulsera y la aplicación móvil, evitando accesos no autorizados o interferencias externas [47].

2.4 Requerimientos

2.4.1 Requerimientos Funcionales:

Tabla II Requerimientos Funcionales

Tipo	Código	Requerimiento
Requerimientos de actores	RF-IS-01	La aplicación contará con un login antes de cualquier proceso.
	RF-IS-02	La aplicación permitirá el registro de usuario mediante correo electrónico y contraseña.
	RF-IS-03	La aplicación permitirá recuperar la contraseña mediante validación por correo electrónico.
	RF-IS-04	El usuario podrá cerrar sesión de manera segura desde la aplicación móvil.
Requerimientos de interfaz	RF-IN-01	La aplicación deberá presentar una pantalla de inicio de sesión con campos de correo electrónico y contraseña.

	RF-IN-02	La interfaz deberá mostrar mensajes de validación cuando los datos ingresados sean correctos o estén incompletos.
	RF-IN-03	La aplicación deberá contar con un menú principal para acceder a monitoreo, reportes, configuración y perfil de usuario.
	RF-IN-04	La interfaz debería visualizar en tiempo real el estado del conductor durante el monitoreo.
	RF-IN-06	La aplicación deberá mostrar alertas visuales cuando se detecten signos de somnolencia.
	RF-IN-07	El usuario podrá configurar la duración de los estímulos eléctricos desde una pantalla de configuración.
	RF-IN-08	La interfaz deberá permitir visualizar el estado de conexión bluetooth con la pulsera IoT.
	RF-IN-09	La aplicación deberá permitir consultar reportes estadísticos mediante gráficos e historial de eventos.
	RF-IN-10	La interfaz deberá de ser de fácil manejo para el usuario y fácil de entender.
Requerimientos de monitoreo	RF-MON-01	El sistema identificara eventos de parpadeos prolongados y ojos cerrados.
	RF-MON-02	El sistema detectara la inclinación de cabeza como posible signo de somnolencia y de fatiga del conductor.
	RF-MON-03	El sistema procesara imágenes utilizando TensorFlow Lite en tiempo real.

Requerimientos de pulsera IoT	RF-MON-04	El sistema registrara eventos de somnolencia detectados durante el monitoreo.
	RF-MON-05	El sistema capturará video en tiempo real utilizando la cámara frontal del dispositivo móvil.
	RF-MON-06	El sistema detectara signos de somnolencia mediante visión por computadora.
	RF-IOT-01	La pulsera utilizara el microcontrolador ESP32 para la comunicación Bluetooth BLE.
	RF-IOT-02	El sistema permitirá la conexión Bluetooth BLE entre la aplicación móvil y la pulsera IoT permitiendo el envío y la recepción de información.
	RF-IOT-03	La pulsera capturará datos de frecuencia cardiaca mediante el sensor MAX30102.
Requerimientos de alertas	RF-IOT-04	El sistema enviara datos biométricos desde la pulsera hacia la aplicación móvil en tiempo real.
	RF-ALT-01	El sistema genera alertas sonoras cuando detecte somnolencia mediante la lógica de alertas.
	RF-ALT-02	El sistema genera alertas visuales en la aplicación móvil mediante la lógica de alertas.
	RF-ALT-03	La pulsera activara estímulos eléctricos seguros cuando se detecten eventos de somnolencia.
Requerimientos de base de datos	RF-ALT-04	El sistema enviara notificaciones de alerta a contactos de confianza configurados por el usuario mediante medios como el correo electrónico y un chatbot de Telegram.
	RF-BD-01	La aplicación almacenara información localmente mediante SQLite cuando

		no exista conexión a internet.
	RF-BD-02	El sistema sincronizara los datos con una base de datos MySQL cuando exista conexión a internet
	RF-BD-03	La aplicación registrara historiales de eventos de somnolencia y alertas generadas.
	RF-BD-04	La aplicación permitirá consultar reportes estadísticos desde la aplicación móvil
Requerimientos de API	RF-API-01	La aplicación utilizara APIs desarrolladas en Node.js para la comunicación entre la aplicación y el servidor
	RF-API-02	La API permitirá registrar y consultar eventos de somnolencia
	RF-API-03	La API permitirá autenticar usuarios de manera segura
Requerimientos de seguridad	RF-SEG-01	La aplicación protegerá los datos del usuario mediante autenticación y validación de acceso
	RF-SEG-02	El sistema restringirá el acceso a funcionalidades críticas a usuarios autenticados.

Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Requerimientos no Funcionales:

Los requerimientos no funcionales establecen las características de calidad, rendimiento seguridad y funcionamiento que debe cumplir el sistema de monitoreo de somnolencia para garantizar un desempeño eficiente y estable. Estos requerimientos incluyen aspectos relacionados con el tiempo de respuesta, la comunicación Bluetooth Low Energy (BLE), la compatibilidad con dispositivos móviles, la disponibilidad de los componentes y la confiabilidad en el procesamiento de la información obtenida mediante la cámara del dispositivo móvil.

Tabla III Requerimientos No Funcionales

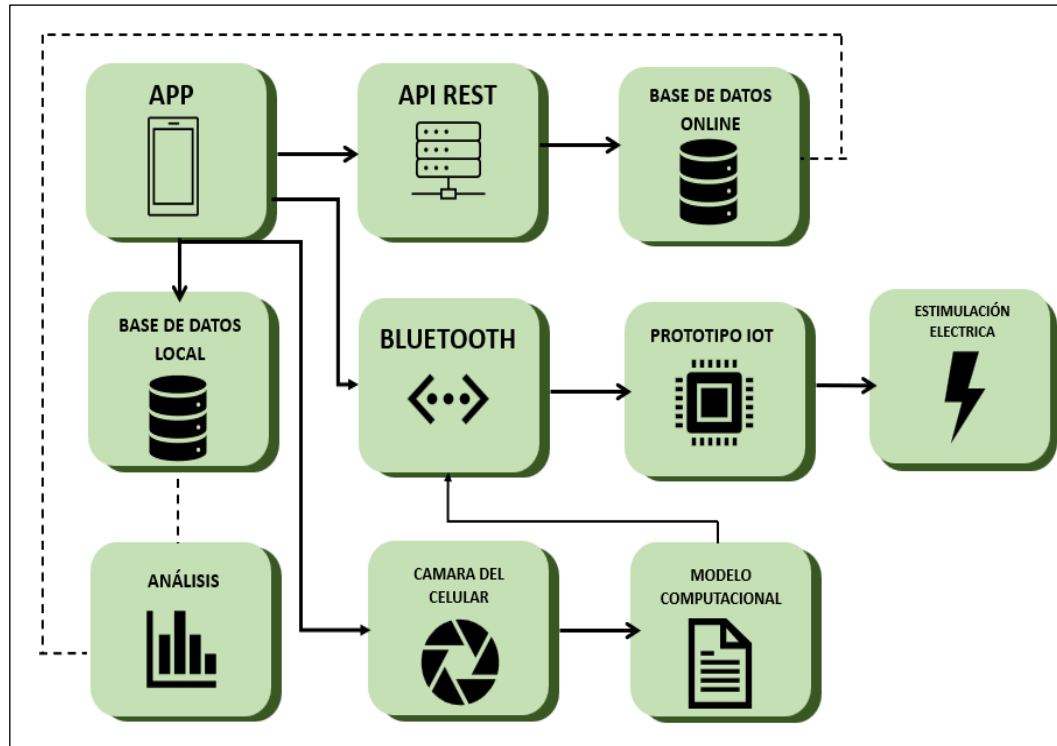
Tipo	Código	Requerimiento
Requisitos de disponibilidad	RNF-DIS-01	La aplicación deberá mantener disponibilidad durante la pruebas y sesiones de monitoreo
	RNF-DIS-02	La aplicación deberá funcionar sin conexión a internet utilizando almacenamiento local en SQLite
	RNF-DIS-03	La aplicación deberá reconectarse automáticamente al dispositivo Bluetooth BLE en caso de desconexión
Requisitos de rendimiento	RNF-REN-01	La aplicación deberá procesar la detección de somnolencia en tiempo real sin retrases mayores a 2 segundos.
	RNF-REN-02	La aplicación deberá sincronizar automáticamente los datos locales con la base de datos MySQL cuando exista conexión a internet
	RNF-REN-03	La aplicación deberá ejecutarse correctamente en dispositivos móviles Android de gama media
Requisitos de almacenamiento	RNF-ALM-01	La aplicación deberá almacenar registros de eventos de somnolencia y alertas generadas
	RNF-ALM-02	La aplicación deberá mantener respaldo de información registrada en la nube
Requisitos de seguridad	RNF-SEG-01	La aplicación deberá implementar autenticación segura para el acceso de usuarios
	RNF-SEG-02	La comunicación entre la aplicación y la API deberá realizarse mediante conexiones seguras
Requisitos de escalabilidad	RNF-ESC-01	La aplicación deberá permitir futuras ampliaciones sin modificar la arquitectura principal.
	RNF-ESC-02	La aplicación deberá contar con una interfaz intuitiva y fácil de usar.

Fuente: Elaboración propia

2.5 Componente de Propuesta

2.5.1. Arquitectura del sistema

Figura 2: Diagrama de arquitectura del sistema



Fuente: Elaboración propia

La arquitectura del sistema propuesto se fundamenta en un modelo de procesamiento local y sincronización en la nube, diseñado para la detección temprana de signos de somnolencia en conductores mediante visión por computadora y dispositivos IoT de respuesta inmediata como se visualiza en la Figura 2. El componente principal corresponde a una aplicación móvil desarrollada para dispositivos Android, la cual actúa como núcleo de procesamiento, monitoreo y comunicación entre los diferentes módulos que conforma la solución tecnológica.

El proceso de monitoreo inicia mediante la utilización de la cámara frontal del dispositivo móvil, encargada de capturar imágenes del rostro del conductor en tiempo real, las áreas de recortes son predeterminadas con vectores faciales que posicionan la función de recorte en las áreas correctas, estas imágenes son enviadas a un modelo computacional basado en técnicas de inteligencia artificial capaz de detectar e identificar signos de somnolencia entrenados previamente mediante el

formato .tflite para el uso en aplicaciones móviles.

Con el propósito de garantizar la continuidad operativa en escenarios donde la conectividad a internet sea limitada o inexistente, la aplicación incorpora un módulo de almacenamiento local basado en SQLite, este componente permite registrar temporalmente los eventos de somnolencia detectados, los tiempos de reacción, los datos biométricos, recibidos desde la pulsera y las alertas generadas durante el monitoreo. Una vez restablecida la conexión a internet, la aplicación ejecuta procesos de sincronización automática que transfieren la información almacenada localmente hacia a la infraestructura centralizada en la nube, asegurando la integridad y disponibilidad de los datos recopilados durante las sesiones de monitoreo.

La comunicación con la infraestructura remota se realiza mediante una API REST desarrollada en Node.js, la cual funciona como capa de servicios encargada de gestionar las peticiones realizadas desde la aplicación y extracción de información. La API como integradora de la información, en la que la aplicación, en forma tradicional, y la base de datos MySQL en la nube, sirvan para tener un repositorio centralizado de la información a efectos de seguimiento, elaboración de informes y afores estadísticos.

Aún más, el sistema también incluye el prototipo de pulsera que porta el microcontrolador ESP32 teniendo conectividad bluetooth low energy (ble), además de ello un sensor biométrico MAX30102 para medir el pulso cardíaco. La comunicación BLE permitirá la comunicación bidireccional del intercambio de información entre la aplicación móvil y la pulsera en tiempo real, permitiendo así la transmisión

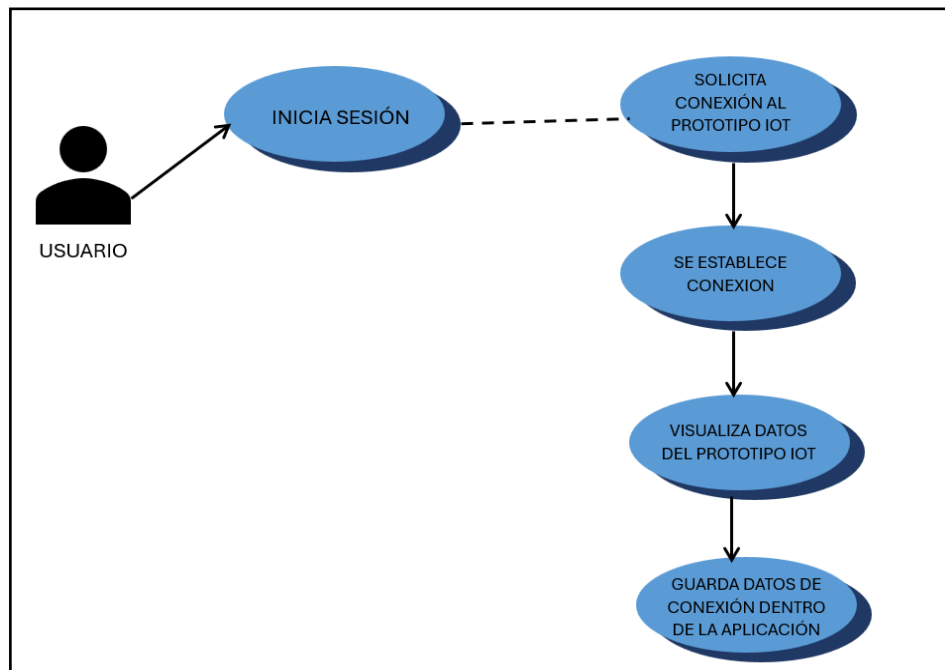
La elección de esta arquitectura se justifica por la necesidad de proporcionar tiempos de respuesta reducidos, capacidad de funcionamiento sin conexión permanente a internet y una interacción inmediata con el dispositivo de estimulación eléctrica. La utilización de procesamiento local mediante Tensor Flow Lite disminuye la latencia asociados a servicios externos de inferencia, mientras que la combinación de almacenamiento local SQLite, sincronización con bases de datos en la nube y comunicación Bluetooth BLE garantiza disponibilidad,

confiabilidad y continuidad operativa en entornos de movilidad donde las condiciones de conectividad pueden variar constantemente.

2.6 Diagramas de casos de uso

2.6.1 Diagrama de conexión con prototipo IoT

Figura 3 Diagrama de conexión con prototipo IoT



Fuente: Elaboración propia

Tabla IV Diagrama de conexión con prototipo IoT

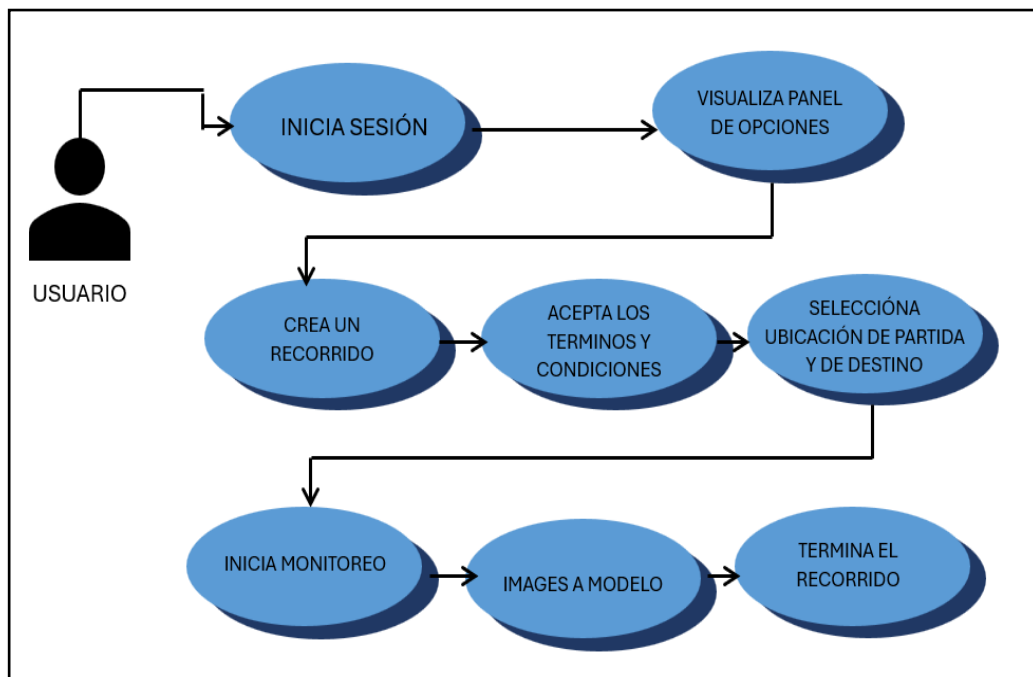
Caso de uso: Diagrama de conexión con prototipo IoT	
Actores	Usuarios
Tipo	Flujo básico
Descripción	Permite establecer la conexión entre la aplicación y el prototipo IoT para poder ejecutar la estimulación eléctrica.
Flujo básico	1.- El usuario abre la aplicación móvil e inicia sesión con sus credenciales de acceso. 2.- El sistema solicita al prototipo IoT que se configure utilizando tecnología para la conexión a Bluetooth Low Energy (BLE). 3.- El usuario selecciona el dispositivo disponible y aprueba el proceso de emparejamiento. 4.- El sistema establece la conexión entre la aplicación móvil y el prototipo IoT, con la comprobación de que se verifique que la comunicación se encuentre activa. 5.- Una vez conectada la aplicación y el prototipo IoT, se recibiendo activamente y visualizándose la información transmitida por el prototipo IoT: datos biométricos y

- estado operativo del dispositivo.
- 6.- El sistema valida la información recibida y actualiza los datos mostrados en la interfaz de usuario en tiempo real.
- 7.- Finalmente, la aplicación almacena los datos de conexión y los registros recibidos desde el prototipo IoT para su posterior consulta, sincronización y análisis.

Fuente: Elaboración propia

2.6.2 Diagrama de creación de recorrido

Figura 4: Diagrama de creación de recorrido



Fuente: Elaboración propia

Tabla V Diagrama de creación de recorrido

Caso de uso: Diagrama de creación de recorrido	
Actores	Usuarios
Tipo	Flujo básico
Descripción	Permite al usuario generar un recorrido que será monitoreado para la detección de somnolencia.
Flujo básico	1.- El conductor abre la aplicación móvil e inicia sesión con sus credenciales de acceso. 2.- El sistema muestra el panel principal de opciones, desde donde el conductor selecciona la opción "Crear Recorrido" para registrar una nueva sesión de monitoreo. 3.- El conductor acepta los términos y condiciones de uso de la aplicación y posteriormente selecciona la ubicación de partida y la ubicación de destino del recorrido. 4.- Una vez configurado el recorrido, el conductor inicia el monitoreo y el sistema activa la cámara frontal del dispositivo móvil para comenzar la captura de imágenes en tiempo real. 5.- El sistema envía continuamente las imágenes capturadas al modelo computacional de

visión por computadora, el cual analiza los patrones faciales del conductor para detectar posibles signos de somnolencia durante el trayecto siendo analizado por la frecuencia cardiaca como validador.

6.- En caso de detectar un evento de somnolencia, el sistema genera las alertas correspondientes y registra la información asociada al evento para su posterior análisis.

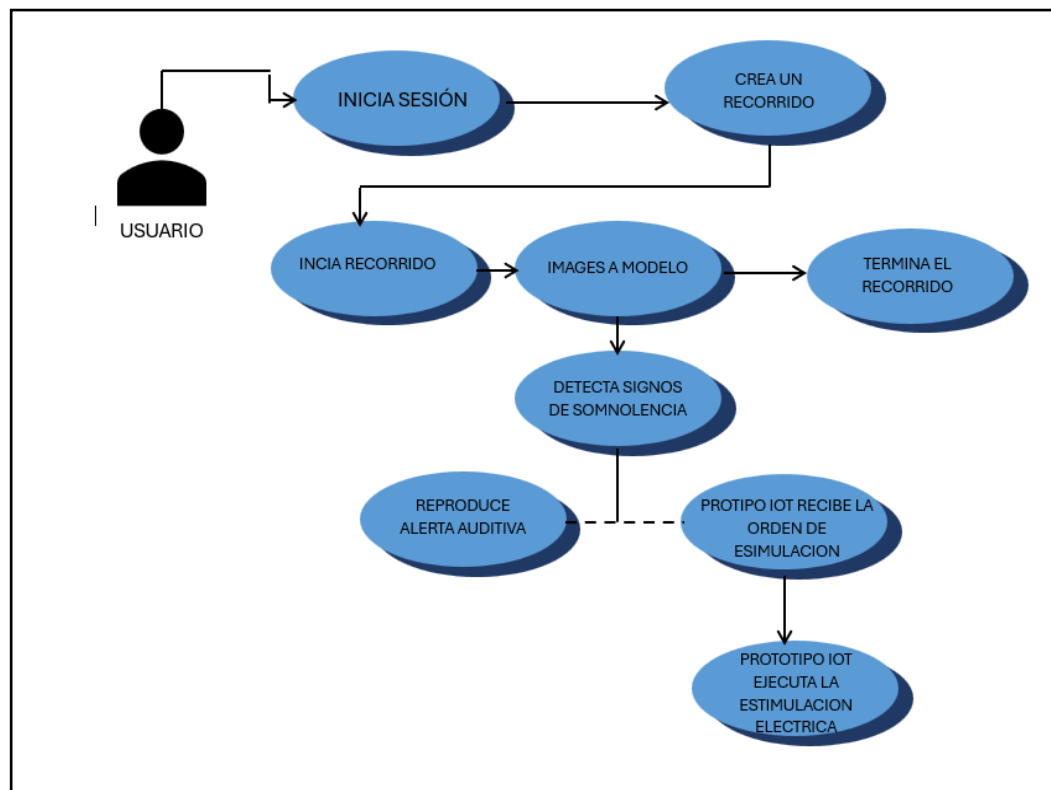
7.- Al finalizar el trayecto, el conductor selecciona la opción "Terminar Recorrido", lo que detiene el proceso de monitoreo y el análisis de imágenes.

8.- El sistema almacena la información generada durante la sesión, incluyendo los eventos detectados, alertas emitidas y datos del recorrido, en la base de datos local SQLite o en la base de datos en línea cuando exista conexión a Internet.

Fuente: Elaboración propia

2.6.3 Diagrama de respuesta del modelo y estimulación eléctrica

Figura 5: Diagrama de respuesta del modelo y estimulación eléctrica



Fuente: Elaboración propia

Tabla VI Diagrama de respuesta del modelo y estimulación eléctrica

Caso de uso: Diagrama de respuesta del modelo y estimulación eléctrica	
Actores	Usuarios
Tipo	Flujo básico
Descripción	La aplicación ejecuta la lógica para poder aplicar la estimulación eléctrica en los

conductores.

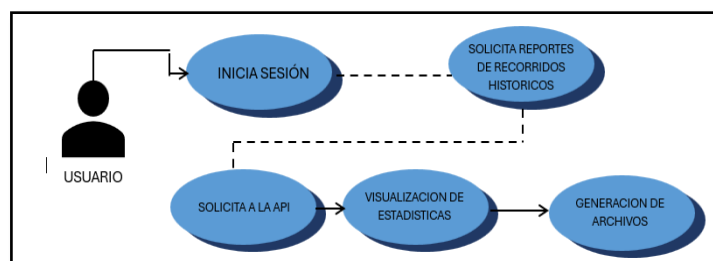
Flujo básico

- 1.- El usuario abre la aplicación móvil e inicia sesión con sus credenciales de acceso.
- 2- Una vez autenticado, el usuario crea un nuevo recorrido que será utilizado para registrar la sesión de monitoreo.
- 3- El usuario inicia el recorrido y el sistema activa los componentes necesarios para comenzar el proceso de supervisión en tiempo real.
- 4.- Durante el recorrido, la cámara del dispositivo móvil captura continuamente imágenes del rostro del conductor y las envía al modelo de inteligencia artificial para su análisis.
- 5.- El modelo computacional procesa las imágenes recibidas e identifica patrones faciales asociados a signos de somnolencia, tales como cierre prolongado de ojos, disminución de la frecuencia de parpadeo, bostezos o inclinación de la cabeza.
- 6.- Cuando el sistema detecta signos de somnolencia, se ejecutan simultáneamente dos mecanismos de alerta preventiva, según la lógica de alerta implementadas.
- 9.- El prototipo IoT recibe la orden transmitida por la aplicación y procesa la solicitud de activación.
- 10.- Finalmente, el prototipo IoT ejecuta la estimulación eléctrica de baja intensidad, proporcionando una respuesta física que contribuye a recuperar el estado de alerta del conductor.
- 11.- El proceso de monitoreo continúa durante todo el recorrido hasta que el usuario selecciona la opción "**Terminar Recorrido**".

Fuente: Elaboración propia

2.6.4 Diagrama de generación de reportes

Figura 6: Diagrama de generación de reportes



Fuente: Elaboración propia

Tabla VII Diagrama de generación de reportes

Caso de uso: Diagrama de generación de reportes	
Actores	Usuarios
Tipo	Flujo básico
Descripción	Permite al usuario visualizar estadísticas de los recorridos realizados y poder generar

reportes con dichas estadísticas.

- 1.- El usuario abre la aplicación móvil e inicia sesión con sus credenciales de acceso.
- 2.- Una vez que el sistema ha autenticado correctamente al usuario, este tiene la posibilidad de elegir la opción que le permite consultar los reportes de recorridos históricos que ya están almacenados en el sistema.
- 3- En este momento, el sistema ejecuta la petición que recibió y a continuación ejecuta la consulta de la API REST para poder realizar la descarga de la información que está almacenada en la base de datos.
- 4.- La API REST validará la petición que recibe, ejecutará la obtención de los registros históricos cargados previamente y devolverá esos datos hacia la aplicación móvil que ha emitido la consulta.
- 5.- Con la información suministrada, el sistema genera, muestra las estadísticas relacionadas con los recorridos que han sido realizados, así como también eventos de somnolencia detectados, alertas que se han emitido y otros indicadores relevantes.
- 6.- El usuario visualiza los resultados estadísticos mediante gráficos, tablas o indicadores disponibles en la aplicación.
- 7.-De manera opcional, el sistema permite generar archivos con la información consultada para facilitar su almacenamiento, análisis o exportación posterior.
- 8.- Finalmente, los reportes generados pueden ser descargados o compartidos según las funcionalidades habilitadas por la aplicación.

Flujo básico

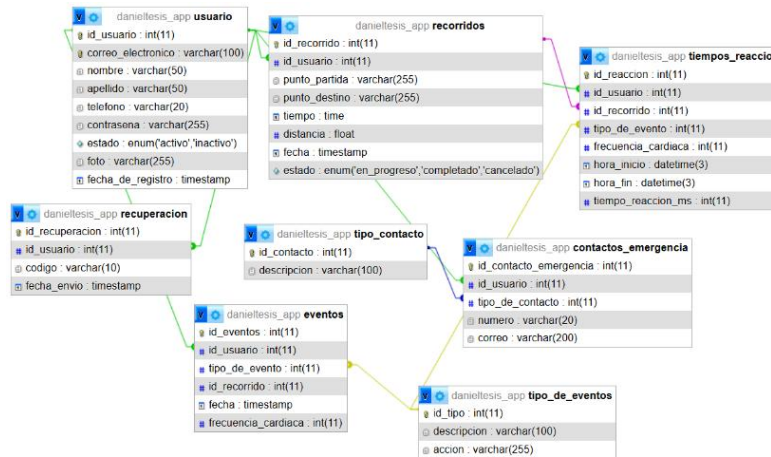
Fuente: Elaboración propia

2.6.5 Modelado de datos

La base de datos utilizada en el presente proyecto fue diseñada en MySQL y administrada mediante phpMyAdmin con ayuda de AlwaysData, con el propósito de gestionar la información generada por el sistema de detección de somnolencia basado en inteligencia Artificial e internet de las cosas. Su estructura permite almacenar de forma organizada los datos, garantizando la integridad y disponibilidad de la información durante la operación del sistema.

La estructura de datos relacional como se visualiza en la Figura 7 que se ha implementado permite crear relaciones entre las distintas entidades del sistema, permitiendo la posibilidad de tener un seguimiento de los recorridos realizados por cada usuario, tener un registro histórico de eventos que se vayan detectando al realizar el monitoreo y también tener la gestión de la información complementaria que se requiera para el funcionamiento del aplicativo. Esta forma de organización hace que se mantenga la consistencia de los datos y se optimicen las operaciones de consulta, almacenamiento y generación de reportes estadísticos.

Figura 7 Diagrama de base de datos



Fuente: Elaboración propia

2.7 Diseño del hardware

La arquitectura del prototipo se encuentra basada en el microcontrolador ESP32 seleccionado debido a su capacidad de procesamiento, bajo consumo energético y soporte nativo para conectividad Bluetooth. El dispositivo que se presenta en la Figura 8 recibe desde la aplicación móvil las señales de activación generadas cuando el modelo de inteligencia artificial detecta signos de somnolencia durante el monitoreo fácil del conductor.

Figura 8: ESP32



Fuente: Elaboración propia

Además, la conectividad inalámbrica, el prototipo incorpora un sensor biométrico MAX30102 como se visualiza en la Figura 9, el cual permite registrar información relacionada con la frecuencia cardíaca del usuario. Estos datos pueden ser utilizados como información complementaria para el análisis del estado fisiológico del conductor y para futuras mejoras del sistema de detección.

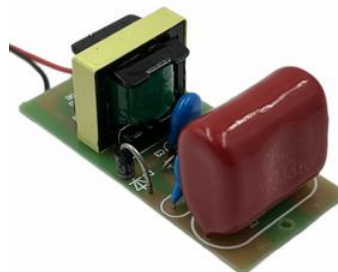
Figura 9: MAX30102



Fuente: Elaboración propia

El prototipo incorpora una tarjeta de raqueta eléctrica modificada para que la descarga sea más ligera y no afecte la salud del conductor, esta placa es alimentada con un voltaje de 5v de corriente continua que es controlada por un transistor con función de un interruptor para el paso de la corriente, lo que genera el evento de estimulación eléctrica en toques mientras la placa este en contacto con el voltaje, la placa (Figura 10) tiene un sistema de elevación de voltaje de 5 v puede llegar a elevarlo hasta 1500 v de corriente alterna mediante el uso de un transformador pequeño, estos se encuentran en celulares.

Figura 10: Placa de mata mosca



Fuente: Elaboración propia

Para la reducción del voltaje de la placa de la raqueta eléctrica se modificó cambiando el capacitor para menor voltaje, originalmente la placa tenía integrado un capacitor de 393J a 2000v lo que se redujo a uno de 158 J a 2000v, el uso de cables de electrodos que se presenta en la Figura 11 con 4 salidas es esencial para evitar que la descarga se sienta muy fuerte, esto permite que el voltaje sea dividido en 4 partes y la corriente no sea tan intensa, así mismo el uso de este tipo de capacitores aumenta la corriente por lo que se recomienda evitar el uso del mismo en la fase de pruebas para medir la variable de investigación,

Figura 11: Cable de estimulación de 4 salidas



Fuente: Elaboración propia

2.7.1 Entrenamiento de los modelos de Inteligencia Artificial

2.7.1.1 Procesamiento de datos

Con el objetivo de entrenar los modelos de detección de somnolencia, se utilizaron conjuntos de imágenes correspondientes a dos características faciales relevante, el estado de los ojos y la apertura de la boca durante los bostezos. Las imágenes fueron organizadas en conjuntos de entrenamiento y prueba permitido evaluar el desempeño de los modelados sobre datos no utilizados durante el proceso de aprendizaje.

Previo al entrenamiento se realizó la limpieza del dataset, reduciendo la complejidad computacional y enfocando el aprendizaje en las características geométricas y textuales de intereses. Adicionalmente los valores de los pixeles fueron normalizados en un rango entre 0 y 1 mediante la división de cada valor entre 255 y en 64 x 64 pixeles.

Para incrementar la capacidad de generalización de los modelos se aplicaron técnicas de aumento de datos (Data Augmentation); incluyendo rotaciones aleatorias, desplazamientos horizontales y verticales, zoom y reflejos horizontales. Estas transformaciones permitieron simular diferentes posiciones del rostro y condiciones de captura, reduciendo el riesgo de sobreajuste durante el entrenamiento.

2.7.1.2 Arquitectura del modelo para detección de ojos

El modelo desarrollado para la detección del estado de los ojos se implementó mediante una red neuronal convolucional (CNN) utilizando la biblioteca

TensorFlow y su interfaz Keras. La arquitectura propuesta se encuentra compuesta por tres bloques convulsionales encargados de extraer características relevantes de las imágenes faciales. El primer bloque convolucional utiliza 32 filtros de tamaño 3 x 3 con función de activación ReLu, seguido por una capa de normalización por lotes (Batch Normalization) y una operación de reducción dimensional (Max Pooling). El segundo y tercer bloque mantiene la misma estructura, incrementando progresivamente el número de filtros a 64 y 1298 respectivamente, permitiendo extraer características de mayor complejidad.

Posteriormente, las características obtenidas son transformadas mediante una capa Flatten, seguida por dos capas completamente conectadas de 256 y 64 neuronas para reducir el sobreajuste se incorporaron capas Dropout con tasas de abandono de 0.5 y 0.3 respectivamente, la capa de salida está compuesta por dos neuronas con función de activación Softmax permitiendo clasificar las imágenes en dos categorías; ojos abiertos y ojos cerrados.

2.7.1.3 Arquitectura del modelo para detección de bostezos

Para la detección de bostezos se implementó una arquitectura CNN similar a la utilizada para el análisis de los ojos, debido a los buenos resultados obtenidos en las pruebas preliminares y a la necesidad de mantener un modelo ligero compatible con dispositivos móviles.

La red está conformada por tres bloques convulsionales de 32, 64 y 128 filtros respectivamente, cada uno acompañado de capas de Batch Normalización y Max Pooling. Esta configuración permite identificar patrones relacionados con la apertura de la boca y las variaciones faciales asociadas al bostezo.

La etapa de clasificación utiliza una capa Flatten seguida por capas densas de 256 y 64 neuronas con funciones de activación ReLu. Finalmente, una capa Softmax de dos neuronas realiza la clasificación entre las clases Bostezo y Normal.

Debido a la variabilidad de los movimientos faciales durante el bostezo, se aplicaron transformaciones de aumento de datos más amplias, incluyendo rotaciones de hasta 15 grados y desplazamientos verticales de hasta el 15% permitiendo que el modelo aprenda diferentes configuraciones de apertura bucal para abarcar la generalización del modelo.

2.7.1.4 Configuración del entrenamiento

El entrenamiento de ambos modelos se realizó utilizando el optimizador Adam y la función de pérdida Categorical Crossentropy, ampliamente utilizada en problemas de clasificación multiclase y binaria representada mediante codificación categórica. La Tabla VIII resume las principales hiperparámetros utilizados durante el entrenamiento.

Tabla VIII Configuración del entrenamiento

Parámetro	Modelo Ojos	Modelo Boca
Resolución de entrada	64 x 64 px	64 x 64 px
Escala de color	Grisés	Grisés
Tamaño de lote /Batch Size)	32	32
Épocas máximas	30	35
Optimizador	Adam	Adam
Función de pérdida	Categorical Crossentropy	Categorical Crossentropy
Función de activación	ReLu	ReLu
Salida	Softmax (2 clases)	Softmax (2 clases)

Fuente: Elaboración propia

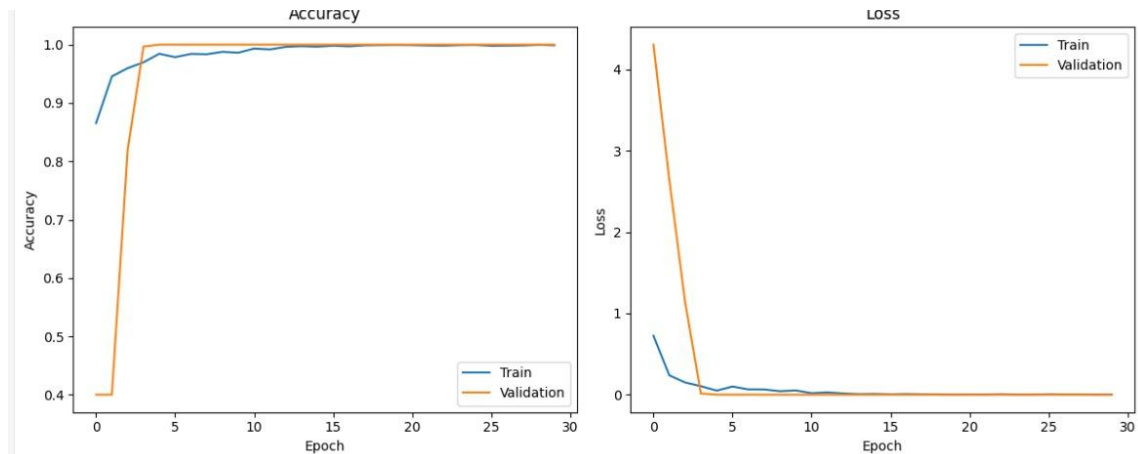
Durante el entrenamiento se emplearon mecanismos de optimización automática mediante callbacks. El procedimiento incluyó el uso de ModelCheckpoint para almacenar la mejor versión del modelo, EarlyStopping para detener el entrenamiento cuando no existieran mejoras significativas y ReduceLROnPlateau para disminuir dinámicamente la tasa de aprendizaje cuando la función de pérdida dejara de mejorar.

2.7.1.5 Validación de modelos

Una vez finalizo el entrenamiento, los modelos fueron evaluados utilizando el conjunto de prueba independiente. Como métricas principales se emplearon la precisión de (Accuracy) y la función de pérdida (Loss), permitiendo analizar la capacidad de clasificación y generalización de cada red neuronal. Los modelos

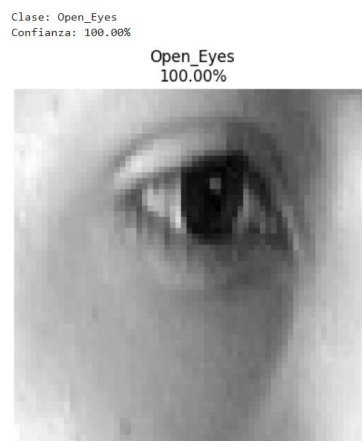
entrenados fueron posteriormente exportados en formato. keras, permitiendo su integración dentro de la aplicación móvil mediante Tensor Flow Lite para la ejecución local de inferencias en tiempo real. Este enfoque resulta fundamental para reducir la latencia del sistema y garantizar la detección inmediata de signos de somnolencia sin depender permanentemente de una conexión a internet.

Figura 12: Métricas Accuracy y Loss del modelo de ojos



Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Pruebas del modelo de ojos

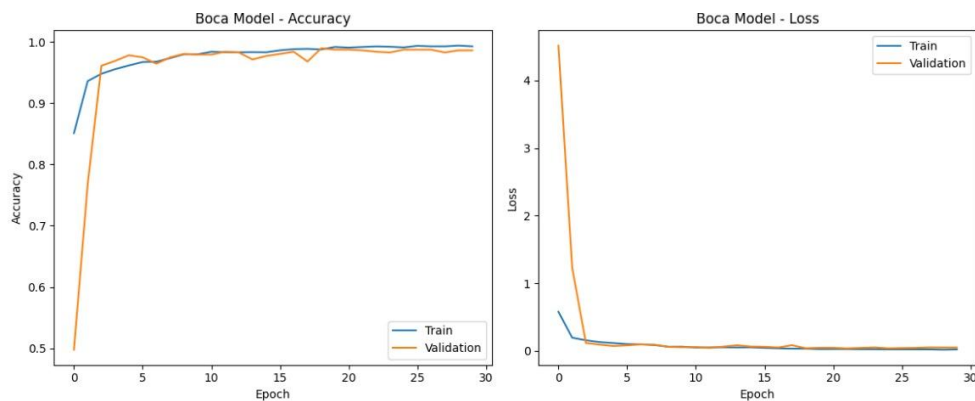


Fuente: Elaboración propia

La figura 12 presenta los resultados obtenidos durante el entrenamiento del modelo de detección del estado de os ojos. La precisión alcanzó valores próximos al 100% mientras que la perdida convergió rápidamente hacia valores cercanos a cero. La estabilidad de las curvas de entrenamiento y la validación demuestra un aprendizaje efectivo y un desempeño satisfactorio en la clasificación de ojos abiertos y cerrados.

Mientras que en la figura 13 presenta el resultado de una inferencia realizada por el modelo CNN entrando para la clasificación del estado ocular. La imagen de entrada fue previamente redimensionada a 64 x 64 píxeles, convertida a escala de grises y normalizada antes de ser procesada por la red neuronal. Como resultado el modelo clasificado la muestra dentro de la categoría Open_Eyes, asignado una probabilidad de pertenencia del 100% mediante la función de activación Softmax de la capa de salida, este resultado evidencia que las características extraídas por las capas convulsionales permiten discriminar eficazmente los patrones visuales asociado a ojos abiertos.

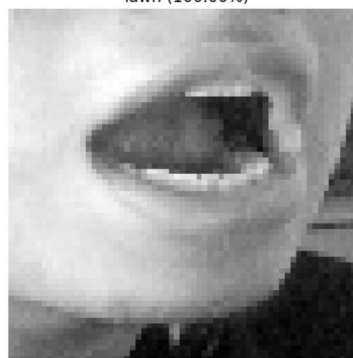
Figura 14: Métricas Accuracy y Loss del modelo de boca



Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Pruebas del modelo de boca

Predicción: [[2.9313844e-07 9.9999976e-01]]
Clase: Yawn
Confianza: 100.00%



Fuente: Elaboración propia

La figura 14 muestra comportamiento del modelo de detección de bostezos durante el entrenamiento. Se observa un incremento progresivo de la precisión hasta alcanzar valores cercanos al 99%, mientras que la función de pérdida disminuye

considerablemente a medida que avanzan las épocas la similitud entre las curvas de entrenamiento y validación evidencia una adecuada capacidad de generalización y un bajo nivel de sobreajuste.

Mientras que la figura 15 presenta el resultado de una inferencia realizada por el modelo CNN entrando para la detección de bostezos. La imagen introducida fue tratada de igual modo respecto al entrenamiento, incluyendo los pasos de redimensionado en 64 x 64 píxeles, conversión a escala de grises y normalización de valores de intensidad, de hecho ese fue el resultado del procesamiento de la imagen ya que la red neuronal realizó la clasificación de la muestra recogida en la clase YAWN, con una probabilidad de predicción de un 100%, mostrando que en las clases se extraen una distribución de probabilidades que muestran una clara separación entre las clases a evaluar, lo que hace evidenciar que las características extraídas mediante la capa de convoluciones permitieron identificar con alta certeza los patrones visuales, predominantemente cerrados en la apertura de la boca que es propia de un bostezo.

2.8 Diseño de interfaces

Para el diseño del entorno visual del sistema de monitoreo de somnolencia, se adoptó un enfoque centrado en el usuario, orientado a facilitar la interacción con la aplicación móvil durante las sesiones de monitoreo. El proceso contempló el análisis de los requerimientos funcionales, la estructuración de las interfaces y la validación de su funcionamiento, permitiendo organizar de manera clara la información relacionada con los recorridos los eventos de somnolencia, las alertas generadas y el estado de conexión con el prototipo de pulsera IoT.

A nivel de desarrollo, la aplicación móvil fue construida utilizando framework Flutter, permitiendo crear una interfaz adaptable a dispositivos Android y mantener una estructura modular para la integración de los diferentes componentes del sistema. Las interfaces desarrolladas permiten gestionar la cuenta del usuario, configurar recorridos, establecer la conexión con el prototipo IoT mediante Bluetooth Low Energy (BLE), visualizar el proceso de monitoreo y consultar los eventos registrado. Asimismo, aplicación integra las funcionalidades relacionadas

con la detección de somnolencia mediante visión por computadora y la activación de respuestas preventivas mediante el prototipo de pulsera.

2.8.1 Diseño de Interfaz de la aplicación móvil

El diseño de la aplicación móvil del sistema de monitoreo de somnolencia se fundamenta en principios de usabilidad y accesibilidad, permitiendo una interacción intuitiva entre el conductor y funcionalidades principales del sistema. Uso de tecnologías como TensorFlow Lite para la detección de somnolencia mediante visión por computador y Bluetooth Low Energy (BLE) para la comunicación con la pulsera inteligente basada en ESP32.

Pantalla de inicio de sesión

En la Figura 16 se presenta la interfaz para gestionar el acceso seguro al sistema mediante autenticación de usuarios dentro de la aplicación móvil, permitiendo controlar el ingreso a las funcionalidades principales del sistema de monitoreo de somnolencia, permitiendo validar las credenciales del usuario antes de acceder a módulos como monitoreo en tiempo real, reportes y configuración de la pulsera IoT.

Figura 16: Pantalla de Sesión Manual



Fuente: Elaboración propia

Pantalla de recuperación de contraseña:

Habilita a los usuarios de la aplicación poder tener acceso a su cuenta pasando a

través de un proceso seguro de recuperación de la contraseña a través el correo registrado en el sistema, dicho proceso permite recuperar las credenciales de acceso en caso de olvido, garantizando así la recuperación del acceso a la aplicación móvil y a las funcionalidades de monitoreo de la somnolencia.

Dicha pantalla que se presenta en la Figura 17, como tal, pedirá al usuario ingresar su correo electrónico para que posteriormente enviarlo un código de verificación al mismo, para luego permitir el cambio de su contraseña, además, el sistema garantizará la privacidad del usuario ya que garantiza el procedimiento de autenticación y la validación de las credenciales de acceso al sistema.

Figura 17: Pantalla de recuperación de contraseña



Fuente: Elaboración propia

Pantalla de creación de cuenta

Permitir el registro de nuevos usuarios dentro de la aplicación móvil mediante el ingreso de información personal y credenciales de acceso. Esta pantalla que se presenta en la Figura 18 permitirá crear cuentas seguras para acceder a las funcionalidades del sistema de monitoreo de somnolencia y la gestión de la pulsera IoT.

El proceso de registro solicitará datos como nombre, correo electrónico y contraseña, realizando validaciones para garantizar la integridad de la información ingresada. Además, la aplicación verificará que el correo electrónico no se encuentre registrado previamente y permitirá almacenar los datos de manera segura

en la base de datos del sistema.

Figura 18: Pantalla de creación de cuenta

Registro

Crear cuenta

Correo electrónico

Nombre

Apellido

Teléfono

Contraseña

Confirmar contraseña

Registrar

¿Ya tienes cuenta? Iniciar sesión

Fuente: Elaboración propia

Pantalla de modo Offline

Permite que el usuario pueda monitorear el recorrido y hacer uso de los modelos computacionales para la detección de somnolencia usando una base de datos local para luego poder sincronizar cuando tenga acceso internet la información recolectada de manera local a la nube. La pantalla que se presenta en la Figura 19 trabaja con el correo electrónico registrado en una cuenta como punto de enlace entre la información de la base de datos en la nube con la base de datos local.

Figura 19: Pantalla de modo Offline

RECORRIDO EN CURSO

Modo sin Internet

Correo electrónico

danielxdtumbaco@gmail.com

Continuar

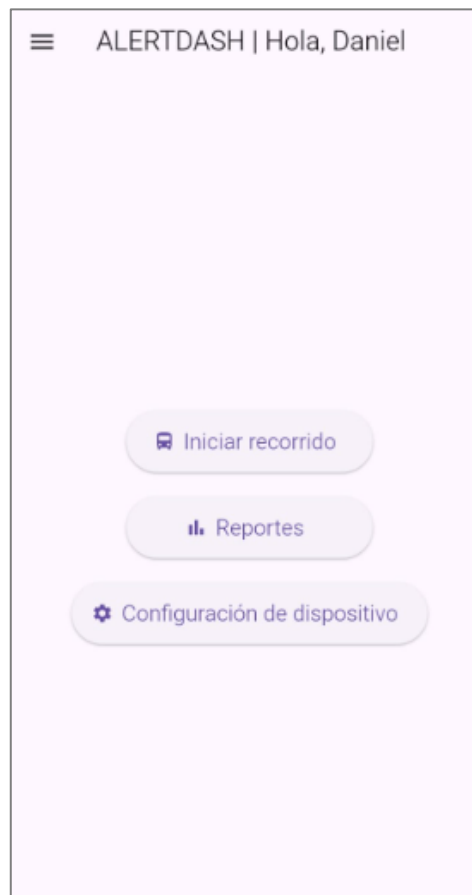
Fuente: Elaboración propia

Pantalla principal

Esta pantalla que se presenta en la Figura 20 permite visualizar las opciones que

tiene el conductor para poder iniciar con el monitoreo del recorrido, esta pantalla carga la información del usuario logueado para hacer uso de las opciones que ofrece la aplicación y poder hacer consultas a la API REST mediante el ID del usuario, en esta interfaz vamos a encontrar las opciones de iniciar recorrido, reportes y configuración de dispositivo que son necesarias para el monitoreo en carretera.

Figura 20: Pantalla principal

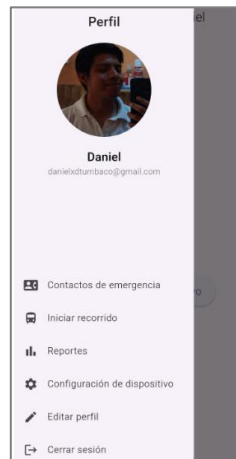


Fuente: Elaboración propia

Pantalla de perfil

Dentro de esta interfaz que se visualiza en la Figura 21 tendremos acceso rápido a las opciones que brinda la aplicación, la opción de agregar contactos de emergencias, iniciar recorrido, reportes, configuración de dispositivo, editar perfil, cerrar sesión y podremos visualizar información básica acerca de la cuenta, como el nombre con la que se creó la cuenta y el correo electrónica, también integra un apartado donde se visualiza la foto de perfil de la cuenta.

Figura 21: Pantalla de perfil

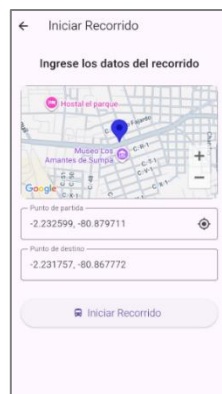


Fuente: Elaboración propia

Pantalla de iniciar recorrido

En esta pantalla se visualiza en la figura 22 se presenta un mapa interactivo que permite visualizar la ubicación geográfica del usuario, así como los campos destinados al registro del punto de partida y punto de destino mediante coordenadas geográficas. Además, se incorpora la opción **“Iniciar Recorrido”**, la cual permite comenzar la sesión de monitoreo del conductor. Esta funcionalidad constituye el punto de inicio del proceso de supervisión, ya que habilita la captura de datos relacionados con el trayecto y la activación de los módulos de detección de somnolencia durante la conducción.

Figura 22: Pantalla de iniciar recorrido



Fuente: Elaboración propia

Pantalla de reportes

Interfaz de reportes del sistema de monitoreo de somnolencia, donde se visualizan

los resultados obtenidos durante una sesión de conducción. En la sección **“Reporte de Somnolencia”** que se visualiza en la Figura 23 se muestra un gráfico circular que representa la relación entre los eventos de somnolencia detectados y los eventos totales registrados durante el recorrido, permitiendo identificar de forma visual el nivel de riesgo asociado al conductor. Adicionalmente, la sección **“Estadísticas Generales del Recorrido”** resume indicadores relevantes como la duración total del trayecto, el número de activaciones del prototipo de estimulación eléctrica, la cantidad total de eventos registrados y el porcentaje de somnolencia detectado. Esta información facilita el análisis del comportamiento del conductor y contribuye a la evaluación del desempeño del sistema durante el monitoreo.

Figura 23: Pantalla de reportes



Fuente: Elaboración propia

Pantalla de Contactos de emergencia

Esta interfaz que se presenta en la Figura 24 permite al usuario registrar contactos de confianza mediante la selección del tipo de contacto y el ingreso del número telefónico correspondiente. Asimismo, incorpora la opción **“Agregar contacto”**, encargada de almacenar la información proporcionada para su posterior utilización por el sistema. Los contactos registrados pueden ser utilizados para el envío de

notificaciones automáticas en situaciones de riesgo asociadas a eventos de somnolencia detectados durante el monitoreo, fortaleciendo así las medidas de seguridad y asistencia al conductor.

Figura 24: Pantalla de Contactos de emergencia

Fuente: Elaboración propia

Pantalla de editar perfil

En esta interfaz que se presenta en la Figura 25 se visualizan los datos registrados, incluyendo fotografía de perfil, nombre, apellido, correo electrónico y número telefónico, los cuales pueden ser modificados según las necesidades del usuario. Además, se incorporan las opciones **“Guardar cambios”** y **“Eliminar perfil”**, que permiten actualizar la información almacenada o eliminar el registro correspondiente. Esta funcionalidad contribuye a mantener actualizados los datos del conductor y facilita la administración de la cuenta dentro del sistema de monitoreo de somnolencia.

Figura 25: Pantalla de editar perfil

Fuente: Elaboración propia

Pantalla de monitoreo en modo online

La pantalla de monitoreo que se visualiza en la Figura 26 en modo online permite supervisar el recorrido del conductor en tiempo real mediante el uso de modelos de inteligencia artificial para la detección de somnolencia. Durante el monitoreo, la aplicación procesa las imágenes capturadas por la cámara frontal y registra los eventos detectados en una base de datos en la nube. Además, muestra información relevante del recorrido y genera alertas cuando se identifican signos de somnolencia, permitiendo una respuesta inmediata para mejorar la seguridad durante la conducción.

Figura 26: Pantalla de monitoreo en modo online



Fuente: Elaboración propia

2.8 Pruebas

El diseño metodológico de las pruebas de validación se fundamentó en la verificación sistemática de los requerimientos funcionales y no funcionales definidas para el sistema de monitoreo de somnolencia. Se definieron los escenarios de prueba representativos para la evaluación del comportamiento en la aplicación móvil, el modelo de visión por computadora, la comunicación de Bluetooth Low Energy (BLE), y la correcta disposición de un prototipo de pulsera IoT para diversos estados de operación. Este escenario tiene en consideración tanto situaciones

normales que se pueden dar en el uso del sistema como los casos excepcionales, que permiten poner a prueba el funcionamiento del sistema frente a las detecciones de somnolencia, las imposibilidades de comunicación, la autenticación con los usuarios y la obtención de información.

Con el propósito de garantizar la trazabilidad entre el diseño y la implementación, cada escenario de prueba fue relacionado directamente con uno o varios Requerimientos funcionales (RF) y Requerimientos No Funcionales (RNF), esto permite validar no solo el cumplimiento de funcionalidades principales, como la detección de ojos cerrados, la generación de alertas, la activación de la estimulación eléctrica y el registro de eventos, sino también aspectos de calidad como el tiempo de respuesta, la disponibilidad del sistema, la sincronización de datos y la estabilidad de la comunicación es Bluetooth. De esta manera cada prueba constituye evidencia del cumplimiento de los objetivos y técnicos establecidos durante el desarrollo del proyecto.

La ejecución de las pruebas se documentó mediante una matriz de cumplimiento de requerimientos, utilizada como instrumento para registrar cada escenario evaluado, los pasos de ejecución, los resultados esperados, los requerimientos asociados y el estado final de la prueba. Esta matriz permitió mantener un control organizado sobre el proceso de validación, facilitando la identificación de incidencias, la comprobación del correcto funcionamiento de cada módulo y la verificación de la integración entre los componentes de software y hardware.

En resumen y de forma global, el proceso de pruebas ha servido para comprobar la validación de la funcionalidad del sistema de monitoreo de somnolencia, asegurando el funcionamiento correcto de la relación de la aplicación móvil desarrollada en Flutter, el modelo de visión por computador diseñado mediante TensorFlow Lite, la comunicación Bluetooth Low Energy con el microcontrolador ESP32, el sensor de frecuencia cardíaca MAX30102 y el módulo de estimulación eléctrica. Los escenarios de las pruebas realizadas demuestran que se han cumplido los requerimientos fijados y recogen la fiabilidad del prototipo realizado con el objetivo de detectar somnolencia de forma temprana y generar de forma preventiva las de las respuestas en el contexto de un entorno de conducción simulado. Los

casos de prueba, requerimientos asociados y resultados obtenidos se presentan en el Anexo 3.

2.9 Resultados

El presente trabajo de titulación permitió desarrollar e integrar un sistema de monitoreo de somnolencia para conductores, compuesto por una aplicación móvil desarrollada en Flutter, un modelo de visión por computadora implementado mediante TensorFlow Lite, un prototipo de pulsera IoT basado en ESP32 con comunicación Bluetooth Low Energy (BLE) y un sistema de estimulación eléctrica como mecanismo de respuesta preventiva. La ejecución de todos los elementos que lo componen convirtió en posible la validación del funcionamiento del sistema total en un contexto de conducción simulado, informando que se cumplen todos los requerimientos que han sido especificados (tanto los requerimientos funcionales como los no funcionales) en el curso del desarrollo del proyecto.

Se realizaron escenarios de prueba dentro de la validación como forma de prueba de la aplicabilidad de la aplicación móvil, la detección automática de signos de somnolencia, la transmisión inalámbrica de los datos mediante la pulsera, el registro de eventos y el impulso del estímulo eléctrico. Los resultados obtenidos muestran que el fruncimiento de la arquitectura que se propuso de la manera correcta y deja medir el desempeño del sistema mediante indicadores de tipo cuantitativo, contra la latencia en la reacción del conductor, la precisión en la detección y la estabilidad de la comunicación BLE.

2.9.1 Resultados de la variable

La variable principal evaluada fue el tiempo de reacción del conductor ante el estímulo eléctrico, entendido como el intervalo de tiempo transcurrido entre la activación automática del estímulo generado por la pulsera IoT y la respuesta del conductor durante las pruebas realizadas en entorno simulado. Esta variable permitió determinar la capacidad del sistema para intervenir oportunamente después de detectar un episodio de somnolencia mediante visión por computadora.

Para el análisis se utilizaron los registros almacenados en la tabla de eventos de la aplicación, en la cual cada alerta fue registrada junto con su fecha hora, recorrido y tipo de respuesta generada. El sistema clasificó los eventos en tres categorías: Tipo

1 correspondiente a una alerta sonora, Tipo 2, correspondiente a la activación de la estimulación eléctrica y Tipo 3, correspondiente a la activación conjunto de la alerta sonora y estimulación eléctrica.

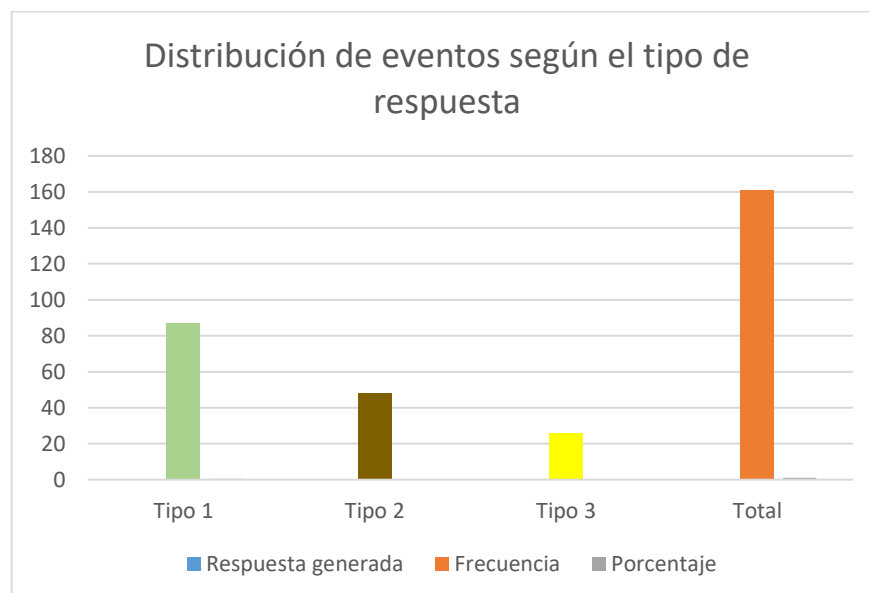
A partir de estos registros se analizaron las secuencias temporales de respuesta calculando el intervalo transcurrido entre la generación de una alerta sonora y la activación de los mecanismos de estimulación posteriores que se presentan en la Figura 27. De esta manera, se obtuvo el tiempo de respuesta progresiva del sistema, permitiendo determinar el comportamiento de la solución ante la persistencia de eventos asociados con la somnolencia.

Tabla IX Resultados de la variable

Tipo de evento	Respuesta generada	Frecuencia	Porcentaje
Tipo 1	Alerta sonora	87	54,04%
Tipo 2	Estimulación eléctrica	48	29,81%
Tipo 3	Alerta sonora + estimulación eléctrica	26	16,15%
Total		161	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 27: Distribución de eventos según el tipo de respuesta



Fuente: Elaboración propia

La evaluación de la variable de tiempo de respuesta progresiva del sistema se

realizó mediante el análisis de los eventos registrados durante los recorridos de prueba. Los resultados de las simulaciones evidencian que se produjeron 161 eventos dentro de los cuales se distribuyeron en 87 alertas sonoras, 48 activaciones para la estimulación eléctrica y 26 activaciones para la estimulación eléctrica y alerta sonora, es decir, donde se produce la combinación de estimulación eléctrica y alerta sonora.

El examen de las secuencias de respuesta ofreció la posibilidad de conocer el tiempo de escalado de 2 s y el tiempo máximo de 39 s, siendo la media de 12,73 s y la mediana de 8 s. Estos resultados revelan el hecho de que el sistema es capaz de ir incrementando progresivamente la intensidad de la respuesta asociada a la persistencia de la somnolencia e inicia la respuesta con una alerta sonora, la activación posterior del mecanismo de estimulación eléctrica o ambos mecanismos al mismo tiempo.

Tabla X Tiempo de respuesta

Indicador	Resultado
Secuencias analizadas	26
Tiempo mínimo	2s
Tiempo máximo	39 s
Tiempo promedio	12,73 s
Mediana	8s
Desviación estándar	10,21 s

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de la variable de tiempo de respuesta progresiva del sistema se realizó mediante el análisis de 26 secuencias de eventos registradas durante las pruebas de funcionamiento. Estas secuencias representan la transición entre los diferentes mecanismos de respuesta implementados por el sistema ante la detección de somnolencia, considerando la activación de alertas sonoras, estimulación eléctrica y la combinación de ambos mecanismos.

Los resultados obtenidos muestran que el tiempo mínimo de respuesta fue de 2 segundos, lo que evidencia que, en determinadas condiciones, el sistema fue capaz de escalar rápidamente desde una alerta inicial hacia una respuesta de mayor

intensidad. Por otro lado, el tiempo máximo fue de 39 segundos, lo que representa los casos en los que trascurrió un mayor intervalo de que se activará el siguiente mecanismo de respuesta.

El tiempo promedio fue de 12,73 segundos, indicando que, en términos generales, el sistema tardó aproximadamente 12 segundos en avanzar entre los niveles de respuestas analizados. La mediana de 8 segundos indica que al menos la mitad de las secuencias presentó un tiempo de respuesta igual o inferior a este valor. La diferencia entre la media y la mediana se debe a la existencia de algunos tiempos de respuesta considerablemente superiores, como el valor máximo de 39 segundos, los cuales incrementan el promedio general.

Tabla XI Tiempo de respuesta ante el estímulo

Indicador	Resultado
Secuencias analizadas	26
Tiempo mínimo	2s
Tiempo máximo	21 s
Tiempo promedio	8,46 s
Mediana	6s
Desviación estándar	5,12 s

Fuente: Elaboración propia

Respecto al tiempo de reacción del conductor ante las alertas que ofrece el sistema, se computó un tiempo medio de respuesta de 8,46 segundos, con un tiempo mínimo de 2 segundos y un tiempo máximo de 21 segundos de las pruebas llevadas a cabo. La evaluación de la variable de tiempo de respuesta progresiva del sistema se realizó a partir de un análisis de 26 secuencias de eventos contadas durante las pruebas de funcionamiento. Las mencionadas secuencias hacen referencia a la transición entre los diferentes mecanismos de respuesta que incorpora el propio sistema a partir de la detección de somnolencia, que incluyen alerta sonora, estimulación eléctrica y la combinación de ambas respuestas.

2.9.2 Resultados de proceso de implementación del sistema.

Respecto al objetivo general del proyecto, se logró integrar los principales componentes planteados para el desarrollo del sistema de monitoreo de

somnolencia, conformados por la aplicación móvil, el modelo de visión por computadora, el prototipo de pulsera IoT y la infraestructura de almacenamiento y sincronización de datos. Esta integración permitió establecer un flujo completo de funcionamiento que inicia con la captura y procesamiento de las imágenes del conductor, continúa con la detección de patrones asociados a la somnolencia y finaliza con la generación de mecanismos de respuesta mediante alertas sonoras y estimulación eléctrica.

Tabla XII Resultados de proceso de implementación del sistema.

Componente evaluado	Resultado obtenido
Clasificación de ojos	Confianza superior al 95 %
Clasificación de boca	Confianza superior al 95%
Frecuencia de análisis	Cada 500 ms
Comunicación	Bluetooth Low Energy
Microcontrolador	ESP32
Sensor complementario	MAX30102
Resultado Tipo 1	Alerta Sonora
Resultado Tipo 2	Estimulación eléctrica
Resultado Tipo 3	Alerta sonora + estimulación eléctrica

Fuente: Elaboración propia

Para la detección de los indicadores faciales se emplearon modelos de clasificación desarrollados mediante aprendizaje automático y posteriormente integrados en formato TensorFlow Lite. Durante el entrenamiento y la validación de los modelos se evaluaron métrica de desempeño como exactitud, pérdida y porcentaje de confianza de las predicciones. En las pruebas realizadas, el modelo de clasificación de ojos alcanzo niveles de confianza superiores al 95% en la identificación de estados de ojos cerrados, mientras que el modelo asociado con la detección del estado de la boca presento valores de confianza superiores al 99% en la clasificación de ausencia de bostezo. Estos resultados permitieron utilizar predicciones como parte de la lógica de detección de somnolencia implementada en la aplicación móvil.

La aplicación fue configurada para ejecutar el procesamiento de las imágenes localmente mediante TensorFlow Lite y utilizar el detector fácil de Google ML kit como etapa complementaria para la identificación de las regiones de inter. La

injerencia se ejecutó aproximadamente cada 50 milisegundos, permitiendo analizar de manera continua el estado del conductor. El sistema continuó generando, a partir del resultado de estos, una respuesta progresiva que se dividía en tres niveles, alarma sonora, estimulación eléctrica y activación conjunta de estas dos respuestas.

La comunicación entre la aplicación y el prototipo se llevó a cabo con Bluetooth Low Energy, para enviar desde el dispositivo al ESP32, los comandos de aviación. El prototipo contuvo el sensor de la frecuencia cardíaca MAX30120 como un mecanismo alternativo de validación y un módulo de estimulación eléctrica mediante PWM. Las pruebas de funcionamiento permitieron verificar la comunicación entre ambos dispositivos y la ejecución de las respuestas definidas por el sistema.

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian la integración funcional de los modelos de aprendizaje automático, la aplicación móvil y el prototipo IoT. La ejecución local de los modelos permitió realizar el análisis de los indicadores faciales sin depender de servicios externos, mientras que la comunicación BLE permitió trasladar los resultados de la detección hacia mecanismos físicos de intervención. De esta manera se logró implementar un sistema capaz de detectar indicadores asociados con la somnolencia y generar respuestas progresivas mediante alertas sonoras y estimulación eléctrica.

2.9.3 Resultados de procedimientos de desarrollo.

Durante el proceso de desarrollo se implementó una aplicación móvil utilizando Flutter integrado los módulos de autenticación, gestión de conductores, registro de recorridos, monitoreo mediante la cámara frontal y almacenamiento de eventos. La aplicación fue configurada para ejecutar el procesamiento de las imágenes directamente en el dispositivo móvil, permitiendo realizar el monitoreo sin depender de un procesamiento externo en la nube. Para la detección facial se utilizó Google ML KIT, mientras que la clasificación de los ojos y la boca se realizó mediante modelos desarrollados e integrados con TensorFlow Lite.

El procedimiento de detección se estructuró mediante el análisis periódico de los fotogramas capturados por la cámara. El sistema procesa las imágenes aproximadamente cada 500 milisegundos utiliza las predicciones de los modelos

para identificar patrones asociados con la somnolencia. Durante las pruebas, el modelo de clasificación de ojos registro niveles de confianza superiores al 95% en la identificación de ojos cerrados mientras que el modelo de clasificación de la boca alcanzó valores superiores al 99% en la identificación de ausencia de bostezo. Estos resultados permitieron utilizar las predicciones como parte de la lógica de generación de eventos de somnolencia.

Como parte del procedimiento de desarrollo se implementó una lógica de respuesta progresiva. El sistema genera inicialmente una alerta sonora correspondiente al Tipo 1, posteriormente, ante la persistencia de las condiciones asociadas con la somnolencia, activa la estimulación eléctrica de la pulsera, correspondiente al Tipo 2 y finalmente puede ejecutar ambos mecanismos de manera simultánea, correspondiente al Tipo 3. Esta lógica permitió establecer diferentes niveles de intervención y registrar cada respuesta generada junto con la información del recorrido y la fecha del evento.

El prototipo de la IoT ha sido creado a través de un microcontrolador EPS32 a través del cual se conecta el sensor MAX30102 para leer la frecuencia cardiaca y a través de un circuito de estimulación eléctrica controlado por una señal PWM. Poder transmitir dicha información a la aplicación móvil era posible mediante la aplicación de Bluetooth Low Energy (BLE), permitiendo la tarea de invocar una señal de comandos desde la aplicación hacia la pulsera y solicitar información del sensor en los casos en que el sistema preciese de una comprobación adicional. Las pruebas realizadas permitieron verificar la conexión entre ambos componentes y la ejecución de los comandos de estimulación definidos.

Para la persistencia de la información se implementó un mecanismo de registro de eventos asociado a cada recorrido. La información almacenada permite identificar el tipo de respuesta generada, la fecha y la hora del evento y el recorrido en que se produjo. A partir de estos registros se analizaron 26 secuencias de respuesta, obteniendo un tiempo mínimo de escalamiento de 2 segundos, un máximo de 39 segundos, un promedio de 12,73 segundos, una mediana de 8 segundos y una desviación estándar de 10,21 segundos.

La suma de los procedimientos de desarrollo que se han seguido permitió alcanzar

los desarrollos y resultados esperados en cuanto a los principales componentes de la solución cuya propuesta se ha hecho en los próximos capítulos. La integración y el desarrollo práctico e integrativo de la aplicación móvil desarrollada, los modelos de Machine learning, la comunicación BLE, el sensor MAX 30102 y el mecanismo de estimulación eléctrica se han alcanzado adecuadamente. Los resultados que se han obtenido demuestran que el sistema es capaz de procesar indicadores faciales asociados con la somnolencia, apuntar los eventos que se han generado y actuar progresivamente sobre los mecanismos de respuestas sonora y eléctrica.

CONCLUSIONES

- El desarrollo del sistema de monitoreo de somnolencia permitió comprobar la viabilidad de integrar visión por computadora, aprendizaje automático, comunicación inalámbrica y un prototipo de IoT en una solución orientada a la detección temprana de signos asociados con la somnolencia durante la conducción. La integración de estos componentes permitió establecer un flujo de funcionamiento desde el análisis de los indicadores faciales del conductor hasta la generación progresiva de alertas sonoras y estímulos eléctricos, cumpliendo con el alcance definido para el proyecto.
- La implementación de los modelos de aprendizaje automática mediante TensorFlow Lite demostró la viabilidad de ejecutar el análisis de los indicadores faciales directamente en el dispositivo móvil. El uso de modelos especializados para la clasificación de los estados de los ojos y la boca permitió identificar patrones asociados con la somnolencia registrándose durante las pruebas niveles de confianza superiores al 95% en la clasificación de ojos cerrados y superiores al 99% en la clasificación de ausencia de bostezo. Estos resultados evidencian que requieren respuestas oportuna y que no pueden depender exclusivamente de servicios externos o de una conexión permanente a internet.
- La integración del prototipo IoT basado en ESP32, el sensor MAX302102, la comunicación Bluetooth Low Energy y el mecanismo de estimulación eléctrica permitió implementar una respuesta física complementaria a las alertas generadas mediante visión por computadora. Se comprobó que la aplicación móvil puede comunicarse con la pulsera para transmitir comandos y ejecutar respuestas progresivas mediante alerta sonora, estimulación eléctrica o la activación conjunta de ambos mecanismos. El análisis de 26 secuencias registradas obtuvo un tiempo de escalamiento promedio de 12,73, con valores entre 2 y 39 segundos, evidenciando la estimulación eléctrica es mas efectiva que la alerta sonora.
- Finalmente, la aplicación móvil integró el monitoreo, la gestión de recorridos y el registro de eventos, garantizando la persistencia de la información mediante SQLite y la sincronización con el backend.

RECOMENDACIONES

- Ampliar y diversificar el conjunto de datos utilizado para el entrenamiento de los modelos de visión por computadora, incorporando variaciones en las condiciones de iluminación, orientación del rostro, características astrométricas de los usuarios y escenarios de conducción.
- Implementar un mecanismo de aprendizaje activo que permita almacenar automáticamente imágenes asociadas a predicciones de baja confianza o falsos positivos, con el fin de fortalecer el proceso de reentrenamiento y mejorar la capacidad de generalización del modelo.
- Perfeccionar el diseño del prototipo IoT, para aumentar la capacidad de adaptabilidad, portabilidad y autonomía energética de la pulsera, y, por otro lado, la realización de una PCB específica para la rápida integración del microcontrolador junto al sensor MAX30102, el circuito de estimulación eléctrica, la alimentación, y los componentes electrónicos menores.
- Fortalecer de manera física y electrónica la integración del sensor MAX30102, aumentando la estabilidad de las conexiones, la alimentación eléctrica y el contacto con la piel. De igual manera, realizar procesos adicionales de calibración y validación de las mediciones biométricas para definir umbrales de frecuencia cardíaca más precisos que incrementan la confiabilidad del mecanismo de verificación implementado por el sistema.
- Extender la validación del sistema mediante pruebas en entornos de conducción controlados y progresivamente más cercanos a condiciones reales, con el propósito de evaluar el desempeño de los mecanismos de detección, alerta y estimulación eléctrica. Además, optimizar la lógica de activación mediante el análisis de los eventos registrados, reduciendo falsas activaciones y ajustando dinámicamente la respuesta del sistema de acuerdo con la persistencia y el nivel de somnolencia detectado.

Referencias

- [1] O. m. d. l. salud, lesiones por accidentes de tráfico, 2023.
- [2] I. N. d. E. y. Censos, Principales resultados de las Estadísticas de Siniestros de Tránsito. I Trimestre 2025, Quito: INEC, 2025.
- [3] L. D. S. Cueva, Sistema avanzado de asistencia al conductor para la detección de distracción, Loja, 2023.
- [4] W. E. Ramón Mejía, Anteproyecto de infraestructura vial para mitigar los efectos del incremento del parque automotor en la parroquia San Blas Cuenca, Ecuador, 2025-02-11.
- [5] L. Nacion, Ministerio de Educación impulsa una nueva cultura vial en las escuelas ecuatorianas, 2024.
- [6] L. Hernández, Resulta vital conducir sin sueño ni cansancio, 2021.
- [7] P. S. S. ,. A. J. Saurabh RamBihariLal Shrivastava, Uso de la tecnología para promover la seguridad vial: perspectiva de salud pública, 5 de marzo de 2024.
- [8] Á. J. C. Sánchez, Falta de Control de las Horas De Conducción y Periodos de Descanso en Vehículos de Transporte Terrestre y su Incidencia en los Accidentes de Tránsito, 2024.
- [9] D. R. N.-S. V. Vega-Falcón, Fatiga laboral percibida en conductores de compañías de transporte de Orellana, Pichincha y Guayas, 2022.
- [10] M. J. F. C. M. J. Flores Calero, Sistema avanzado de asistencia a la conducción mediante visión por computador para la detección de la somnolencia., Leganes, 2009.

- [11] J. D. D. R. H. R. M. d. D. C. R. J. M. M. Sergio Aarón Nieves Flores, DETECCIÓN DE SOMNOLENCIA EN CONDUCTORES, México, 2022.
- [12] M. E. M. L.-H. L. C. Torbaghan, «Understanding the potential of emerging digital technologies for improving road safety,» 2022.
- [13] F. Management, «Fatigue Management,» 13 Marzo 2025. [En línea]. Available: <https://fatiguescience.com/blog/benefits-limitations-in-vehicle-fatigue-detection-systems>. [Último acceso: 10 Septiembre 2025].
- [14] quitoinforma, «quitoinforma,» 8 Mayo 2024. [En línea]. Available: <https://www.quitoinforma.gob.ec/2024/05/08/informe-sobre-seguridad-vial-evaluo-cuatro-factores-de-riesgo/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2025].
- [15] P. d. l. r. d. Ecuador, Plan de desarrollo 2025 - 2029 Ecuador no se detiene, 2025.
- [16] C. F. C. a. M. P. B. L. R. Hernández Sampieri, «Metodología de la investigación,» Mexico, 2022.
- [17] J. A. Rojas, Aplicación del método analítico-sintético en investigaciones tecnológicas, 2019.
- [18] A. Martínez López, «Detección de fatiga y somnolencia del conductor mediante visión por computador,» 29 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/entities/publication/75189df4-13f6-4681-9cba-fe4f68990ded>. [Último acceso: 15 Octubre 2025].
- [19] A. Alvarez et al., «A Review of Recent Developments in Driver Drowsiness Detection Systems,» *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 23, n° 4, pp. 5021-5034, 2022.
- [20] QuitoInforma, Informe sobre seguridad vial evaluó cuatro factores de riesgo, Quito: QuitoInforma, 2024.

- [21] L. P. L. y. R. V. M. R. Vázquez de Jesús, «Internet de los automóviles: análisis breve de la seguridad,» *Pistas Educativas*, vol. 1, nº 1, pp. 1-10, 2022.
- [22] S. d. r. d. s. i. e. I. u. g. completa, «Tecnología de redes de sensores inalámbricos en IoT: una guía completa,» 10 Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://richestsoft.com/es/blog/wireless-sensor-network-technology-in-iot/>. [Último acceso: 15 Octubre 2025].
- [23] A. I. y. G. M. L. Atzori, «The Internet of Things: A survey,» *Computer Networks*, vol. 54, nº 15, pp. 2787-2805, 2010.
- [24] Microdesys, Microcontrolador Esp32, 2025.
- [25] I. I. Initiative, IEEE IoT Initiative, 2015.
- [26] Fisiopedia, Estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS), 2025.
- [27] C. Pastorino, «welivesecurity,» Recursos y Herramientas, 17 Marzo 2020 . [En línea]. Available: <https://www.welivesecurity.com/la-es/2020/03/17/como-funciona-bluetooth-low-energy/>. [Último acceso: 15 Octubre 2025].
- [28] M. Kosinski, «IBM,» IBM, 20 Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/database>. [Último acceso: 15 Octubre 2025].
- [29] A. Vina, «Ultralytics,» Ultralytics, 21 Febrero 2025. [En línea]. Available: <https://www.ultralytics.com/es/blog/exploring-the-best-computer-vision-datasets-in-2025>. [Último acceso: 14 Octubre 2025].
- [30] oracle, «oracle,» [En línea]. Available: <https://www.oracle.com/latam/database/what-is-a-relational-database/>. [Último acceso: 20 04 2026].

- [31] ibm, «ibm,» [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/relational-databases>. [Último acceso: 20 04 2026].
- [32] E. F. Calero Manueles, Aplicación móvil para reconocimiento de texto sobre carnés estudiantiles utilizando visión por computadora basada en la nube, Guayaquil, 2021.
- [33] Flutter, Flutter, 2025.
- [34] G. T. e. al., «Understanding the potential of emerging digital technologies for improving road safety,» IEEE Access, 2022.
- [35] C. A. P. R. y. D. A. M. Córdoba, «Síndrome de visión por computadora. Una revisión de un problema ocular poco advertido,» Revista Colombiana de Salud Ocupacional, Colombia, 2022.
- [36] Y. D. M. V. S. E. S. P. F. Paúl Rodríguez Leyva, «redalyc,» redalyc, 22 12 2018. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/3783/378360709015/html/>. [Último acceso: 20 04 2026].
- [37] studysmarter, «studysmarter,» studysmarter, [En línea]. Available: <https://www.studysmarter.es/resumenes/estudios-de-arquitectura/arquitectura-parametrica/modelos-computacionales/>. [Último acceso: 20 04 2026].
- [38] IBM, «IBM,» IBM, 2026. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/convolutional-neural-networks>. [Último acceso: 18 08 2026].
- [39] Na8, «Aprende Machine Learning,» Aprende Machine Learning, 29 11 2018. [En línea]. Available: <https://www.aprendemachinelearning.com/como-funcionan-las->

- convolutional-neural-networks-vision-por-ordenador/. [Último acceso: 18 08 2026].
- [40] I. a. y. a. d. datos, «Medium,» Medium, 26 07 2026. [En línea]. Available: <https://medium.com/@4AInsights/convolutional-neural-networks-cnns-in-computer-vision-10573d0f5b00>. [Último acceso: 18 08 2026].
- [41] pub.dev, «pub.dev,» pub.dev, 26 04 2023. [En línea]. Available: https://pub.dev/packages/tflite_flutter. [Último acceso: 19 08 2026].
- [42] «geeksforgeeks,» geeksforgeeks, 29 12 2025. [En línea]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/deep-learning/introduction-to-tensorflow-lite/>. [Último acceso: 18 08 2026].
- [43] sangraha360, «sangraha360,» sangraha360, [En línea]. Available: <https://sangraha360.org/blog/blogs/blog5>. [Último acceso: 18 08 2026].
- [44] J. Flores-Monroy, «Detección de somnolencia y distracción en conductores y su aplicación en sistemas inteligentes de seguridad vial,» *Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 31, n° 4, pp. 1-12, 2023.
- [45] T. P. N. e. al., «Electrical stimulation to maintain driver alertness: A study of physiological and behavioral responses,» *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 53, n° 2, pp. 158-169, 2023.
- [46] M. K. T. A. R. Singh, «Impact of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on alertness and fatigue reduction,» *Journal of Biomedical Engineering and Technology*, vol. 10, n° 4, pp. 45-52, 2022.
- [47] H. Y. e. al., «Evaluation of wearable electrical stimulation devices for preventing drowsy driving,» *Sensors*, vol. 22, n° 14, 2022.

- [48] Y. W. L. Chen, «Integration of electrical stimulation and driver monitoring systems for fatigue prevention,» *Transportation Safety and Technology Journal*, vol. 18, nº 3, pp. 201-215, 2024.
- [49] R. A. M. y. L. Torres, «Sistemas de monitoreo en tiempo real para la seguridad vial: estado del arte,» *Revista Iberoamericana de Sistemas Inteligentes*, vol. 12, nº 3, pp. 45-58, 2022.
- [50] J. R. L. y. C. R. G. A. P. Sánchez, «Aplicación de IoT y visión por computadora para la detección de somnolencia en conductores,» *Revista Colombiana de Ingeniería*, vol. 18, nº 2, pp. 34-49, 2023.
- [51] M. J. F. e. al., «Plataformas inteligentes de monitoreo en tiempo real para la prevención de accidentes de tránsito,» *Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 31, nº 2, pp. 101-113, 2023.
- [52] O. Systems, «Systems, Omnitec,» 17 Marzo 2020. [En línea]. Available: https://www.omnitecsystems.es/omni/blog/que-es-ble-bluetooth-low-energy?utm_source=chatgpt.com. [Último acceso: 14 Octubre 2025].
- [53] E. RFID, «ELATEC,» [En línea]. Available: <https://www.elatec-rfid.com/es/ble>. [Último acceso: 14 Octubre 2025].
- [54] C. A. Bernal, Metodología de la investigación, Bogotá: Pearson Educación, 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Formato de registro de tiempos de reacción (F01)

N °	Fec ha	Hora	Tipo de estim ulo	Tiemp o de reacci ón (ms)	Estado del conductor (alerta/somnole ncia)	Evento detecta do	Observaci ones
1	202 6-5- 12	09:17: 08	Alerta Sonor a	2000	Somnolencia	Tipo 1	Responde ante la alerta sonora
2	202 6-5- 13	12:20: 50	Alerta Sonor a	3000	Somnolencia	Tipo 1	Se observa recuperació n de la atención
3	202 6-5- 14	13:17: 30	Alerta Sonor a	4000	Somnolencia	Tipo 1	Respuesta posterior al estimulo
4	202 6-5- 15	19:10: 08	Alerta Sonor a	5000	Somnolencia	Tipo 1	Responde al mecanismo de alerta
5	202 6-5- 15	19:12: 20	Alerta Sonor a	4000	Somnolencia	Tipo 1	Se observa reacción ante el estimulo
6	202 6-5-	19:14:	Alerta Sonor	7000	Somnolencia	Tipo 1	Respuesta progresiva

	15	02	a				sonora
7	202 6-5- 16	12:07: 08	Alerta Sonor a	8000	Somnolencia	Tipo 1	Se evidencio respuesta al estimulo
8	202 6-5- 16	12:14: 12	Alerta Sonor a	8000	Somnolencia	Tipo 1	Responde después de la alerta
9	202 6-5- 16	12:19: 08	Alerta Sonor a	9000	Somnolencia	Tipo 1	Se observa cambio en el nivel de atención
1 0	202 6-5- 16	12:21: 20	Alerta Sonor a	10000	Somnolencia	Tipo 1	Respuesta tardía ante la alerta
1 1	202 6-5- 16	19:08: 12	Alerta Sonor a	4000	Somnolencia	Tipo 2	Reacción física ante el estimulo
1 2	202 6-5- 16	19:10: 02	Alerta Sonor a	5000	Somnolencia	Tipo 2	Responde al estimulo eléctrico
1 3	202 6-5- 17	18:01: 20	Alerta Sonor a	6000	Somnolencia	Tipo 2	Se evidencia reacción física
1 4	202 6-5- 10	18:05: 10	Alerta Sonor	7000	Somnolencia	Tipo 2	Respuesta posterior a

	17		a				la estimulación
15	2026-5-17	21:01:02	Alerta Sonora	8000	Somnolencia	Tipo 2	Recuperación parcial de atención
16	2026-5-17	21:04:21	Alerta Sonora	9000	Somnolencia	Tipo 2	Responde al estímulo aplicado
17	2026-5-18	10:21:01	Alerta Sonora	11000	Somnolencia	Tipo 2	Respuesta con mayor latencia
18	2026-5-18	10:24:11	Alerta Sonora	12000	Somnolencia	Tipo 2	Se observa reacción ante el estímulo
19	2026-5-18	10:26:32	Alerta Sonora	10000	Somnolencia	Tipo 3	Respuesta ante la combinación de estímulos
20	2026-5-18	10:28:51	Alerta Sonora	12000	Somnolencia	Tipo 3	Se evidencia reacción física y atención al estímulo

2 1	202 6-5- 19	23:01: 02	Alerta Sonor a	14000	Somnolencia	Tipo 3	Respuesta posterior a ambos estímulos
2 2	202 6-5- 19	23:04: 10	Alerta Sonor a	16000	Somnolencia	Tipo 3	Respuesta con mayor tiempo de reacción
2 3	202 6-5- 21	23:10: 01	Alerta Sonor a	18000	Somnolencia	Tipo 3	Se observa respuesta al mecanismo combinado
2 4	202 6-5- 21	23:14: 11	Alerta Sonor a	21000	Somnolencia	Tipo 3	Respuesta tardía ante la alerta
2 5	202 6-5- 21	23:18: 44	Alerta Sonor a	9000	Somnolencia	Tipo 3	Se observa respuesta al mecanismo combinado
2 6	202 6-5- 21	23:20: 22	Alerta Sonor a	18000	Somnolencia	Tipo 3	Respuesta tardía ante la alerta

Objetivo del registro:

Recopilar datos obtenidos del sistema de detección y respuesta, midiendo en milisegundos (ms) en el tiempo que transcurre la emisión del estímulo y la reacción del conductor.

Anexo 2. Ficha de observación experimental (F02)

Nº	Fecha	Usuario	Estado inicial (alerta/somnoliento)	Reacción al estimulo	Postura corporal
1	2026- 5-12	Usuario 1	Somnoliento	Responde ante la alerta sonora	Mantiene la postura sentada
2	2026- 5-13	Usuario 1	Somnoliento	Se observa recuperación de la atención	Realiza un movimiento de la cabeza
3	2026- 5-14	Usuario 1	Somnoliento	Respuesta posterior al estimulo	Realizar un ligero movimiento de cabeza
4	2026- 5-15	Usuario 1	Somnoliento	Responde al mecanismo de alerta	Mantiene la postura sentada
5	2026- 5-15	Usuario 1	Somnoliento	Se observa reacción ante el estimulo	Realiza un ligero movimiento corporal
6	2026- 5-15	Usuario 1	Somnoliento	Respuesta progresiva sonora	Mantiene la posición de conducción
7	2026- 5-16	Usuario 2	Somnoliento	Se evidencio respuesta al estimulo	Corrige ligeramente su postura

8	2026-5-16	Usuario 2	Somnoliento	Responde después de la alerta	Mantiene la postura de conducción
9	2026-5-16	Usuario 2	Somnoliento	Se observa cambio en el nivel de atención	Eleva ligeramente la cabeza
10	2026-5-16	Usuario 2	Somnoliento	Respuesta tardía ante la alerta	Mantiene la postura Sentada
11	2026-5-16	Usuario 2	Somnoliento	Reacción física ante el estímulo	Realiza un movimiento corporal
12	2026-5-16	Usuario 2	Somnoliento	Responde al estímulo eléctrico	Corrige su postura
13	2026-5-17	Usuario 3	Somnoliento	Se evidencia reacción física	Mantiene la posición de condición
14	2026-5-17	Usuario 3	Somnoliento	Respuesta posterior a la estimulación	Realiza un ligero movimiento corporal
15	2026-5-17	Usuario 3	Somnoliento	Recuperación parcial de atención	Eleva la cabeza y corrige su postura

16	2026-5-17	Usuario 3	Somnoliento	Responde al estímulo aplicado	Mantiene la postura de conducción
17	2026-5-18	Usuario 3	Somnoliento	Respuesta con mayor latencia	Mantiene la postura sentada
18	2026-5-18	Usuario 3	Somnoliento	Se observa reacción ante el estímulo	Realiza un movimiento corporal
19	2026-5-18	Usuario 3	Somnoliento	Respuesta ante la combinación de estímulos	Corrige su postura y eleva la cabeza
20	2026-5-18	Usuario 3	Somnoliento	Se evidencia reacción física y atención al estímulo	Mantiene la posición de conducción
21	2026-5-19	Usuario 1	Somnoliento	Respuesta posterior a ambos estímulos	Realiza un movimiento corporal
22	2026-5-19	Usuario 1	Somnoliento	Respuesta con mayor tiempo de reacción	Corrige ligeramente su postura
23	2026-	Usuario	Somnoliento	Se observa	Eleva la

	5-21	1		respuesta al mecanismo combinado	cabeza y recupera la postura
24	2026-5-21	Usuario 1	Somnoliento	Respuesta tardía ante la alerta	Mantiene la postura de conducción
25	2026-5-21	Usuario 1	Somnoliento	Se observa respuesta al mecanismo combinado	Realiza un movimiento de reacción
26	2026-5-21	Usuario 1	Somnoliento	Respuesta tardía ante la alerta	Corrige su postura corporal

Objetivo de observación:

Registrar observaciones cualitativas sobre el comportamiento del conductor durante las pruebas simuladas, completamente los datos obtenidos automáticamente por el sistema.

Anexo 3

Matriz de cumplimiento de Requerimientos

Nombre del escenario	Requerimientos asociados	Estado
Inicio de sesión exitoso	RF-IS-01, RF-IS-02	Exitoso
Inicio de sesión con credenciales incorrectas	RF-IS-01	Exitoso
Conexión Bluetooth con la pulsera IoT	RF-IOT-02, RNF-DIS-03	Exitoso
Lectura de frecuencia cardiaca (MAX30102)	RF-IOT-03, RF-IOT-04	Exitoso
Detección de ojos cerrados	RF-MON-01, RF-MON-06	Exitoso
Detección de inclinación de cabeza	RF-MON-02	Exitoso
Generación de alerta sonora	RF-ALT-01	Exitoso
Activación del estímulo eléctrico	RF-ALT-03	Exitoso
Registro de evento de somnolencia	RF-MON-04, RF-BD-03	Exitoso
Sincronización SQLite / MySQL	RF-BD-02, RNF-REN-02	Exitoso

Funcionamiento sin conexión a internet	RNF-DIS-02	Exitoso
Consulta del historial de eventos	RF-BD-04	Exitoso