

## **Sistema de telemetría para la detección del micro sueño**

Paula Yiseth Rubio Tabares

María Angelica Suan Martínez

Asesor

Iván Camilo Nieto Sánchez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias, Básicas, Tecnología e Ingenierías ECBTI

Ingeniería Electrónica

2024

### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por brindarme la fortaleza y la sabiduría necesarias para completar este proyecto. A el profesor e ingeniero Iván Camilo Nieto Sánchez por su orientación y apoyo en este proyecto. Su orientación, energía y conocimiento fueron esenciales para la finalización exitosa de este proyecto. Agradezco a la UNAD por brindarme las herramientas y el entorno educativo que me ayudaron a avanzar en mi investigación. Quiero agradecer al programa Generación E del gobierno por el apoyo financiero que hizo posible este proyecto. Sin su ayuda, este logro no habría sido posible.

Paula Yiseth Rubio Tabares

## **Agradecimientos**

Este trabajo de grado no habría sido posible sin el apoyo y la orientación de diversas personas e instituciones. En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Iván

Camilo Nieto Sánchez, director de esta tesis, por su invaluable guía, paciencia y dedicación durante todo el desarrollo del proyecto. Sus conocimientos y experiencia fueron fundamentales para el éxito de este trabajo, así como sus valiosas sugerencias que contribuyeron a mejorar la calidad de esta investigación. Asimismo, quiero agradecer a la Universidad Nacional Abierta y a

Distancia (UNAD), por brindarme la oportunidad de cursar mis estudios en una modalidad flexible que me permitió crecer tanto personal como profesionalmente. Extiendo también mi gratitud a los diferentes tutores que me acompañaron en cada etapa del proceso académico. Su tiempo, dedicación y compromiso fueron esenciales para mi formación y la culminación de este trabajo.

María Angélica Suan Martínez

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a Dios, por regalarme la vida, por acompañarme en cada momento, y por brindarme su constante guía y bendición en mi vida.

Con mi amor y gratitud a mi madre Margarita Tabares Giraldo, cuyo constante apoyo, cuidado y sacrificio ha sido una gran fuente de inspiración, a mi hermano Juan David Rubio Tabares, por su compañerismo y motivación en cada paso de este camino, a mi abuela María Giraldo de Caicedo, por su cariño incondicional, y a la memoria de mi difunto padre Duván Rubio, cuya presencia y enseñanzas perduran en mi corazón y me han dado la fuerza para alcanzar este logro.

Este éxito se lo debo a todos ustedes.

Paula Yiseth Rubio Tabares

### **Dedicatoria**

A mi padre, que está en el cielo, por haberme demostrado siempre la importancia de hacer todo posible y haberme dejado esa valiosa enseñanza. A mi hijo y a mi mamá, quienes fueron un pilar de apoyo fundamental durante todo este proceso. A los diferentes tutores de la UNAD, cuyo acompañamiento y conocimientos fueron esenciales para alcanzar este logro. A José Leonardo Ávila Vargas, por sus palabras de aliento y su constante apoyo, que me impulsaron a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. A Misael García, por su paciencia, dedicación y el tiempo que me brindó, contribuyendo de manera significativa a la culminación de este trabajo.

Y a todas las anteriores personas y a las que no nombre que me brindaron su apoyo para continuar en el proceso y culminarlo de manera exitosa.

María Angélica Suan Martínez

## Resumen

Los accidentes viales resultan de una variedad de factores, como el consumo de alcohol, el estrés y la fatiga, siendo el micro sueño uno de los más influyentes. La fatiga al volante es especialmente preocupante durante largos períodos de conducción ininterrumpida, lo que puede provocar breves episodios de inconsciencia conocidos como "micro sueños", que pueden extenderse hasta 30 segundos. Según Lenis et al. (2016) estos micro sueños contribuyen hasta en un 20% de los accidentes en Europa y causan al menos 100,000 accidentes anuales en los EE. UU. En Colombia, un informe de Caracol Radio. (2017) reveló que hasta el 15 de octubre de ese año se habían registrado 131 accidentes atribuidos a micro sueños, con un saldo de 46 fallecidos y alrededor de 100 heridos; estos datos subrayan la gravedad del problema y la urgente necesidad de soluciones. Actualmente, se están desarrollando dispositivos basados en Electroencefalografía (EEG) para detectar los signos previos al micro sueño, junto con tecnologías como sensores en gafas para monitorear el parpadeo, en este documento se desarrolló un prototipo específico que utiliza lecturas de las variables (Frecuencia cardíaca y Nivel de Oxígeno en sangre) para alertar sobre la presencia de micro sueños en una etapa temprana, estos sistemas de alerta temprana son esenciales para prevenir accidentes, permitiendo al conductor tomar medidas preventivas para garantizar su seguridad y la de otros en la carretera. La investigación se enfoca en conductores de vehículos de carga debido a las graves consecuencias sociales y económicas de estos accidentes. Aunque en Colombia existen regulaciones como la Resolución 315 de 2013, que exige un segundo conductor en viajes de más de ocho horas, aún no se cuenta con una normativa sólida para controlar la fatiga y el micro sueño.

**Palabras clave:** Accidente, Frecuencia Cardíaca, Micro Sueño, Nivel de Oxígeno en la sangre, Prototipo.

## **Abstract**

Road accidents result from a variety of factors, such as alcohol consumption, stress, and fatigue, with microsleep being one of the most influential. Driver fatigue is particularly concerned during long periods of uninterrupted driving, leading to brief episodes of unconsciousness known as "microsleeps," which can last up to 30 seconds. According to Lenis et al. (2016), these microsleeps contribute to up to 20% of accidents in Europe and cause at least 100,000 annual accidents in the U.S. In Colombia, a report from Caracol Radio. (2017) revealed that as of October 15 of that year, 131 accidents attributed to microsleeps had been registered, resulting in 46 fatalities and around 100 injuries; these data underscore the severity of the problem and the urgent need for solutions. Currently, devices based on electroencephalography (EEG) are being developed to detect early signs of microsleep, along with technologies such as sensors in glasses to monitor blinking. In this document, a specific prototype was developed that uses readings of variables (Heart Rate and Blood Oxygen Level) to alert to the presence of microsleeps at an early stage. These early warning systems are essential for accident prevention, enabling drivers to take preventive measures to ensure their safety and that of others on the road. Research focuses on drivers of cargo vehicles due to the serious social and economic consequences of these accidents. Although Colombia has regulations such as Resolution 315 of 2013, which requires a second driver on trips of more than eight hours, there is still no robust regulation to control fatigue and microsleep.

**Keywords:** Accident, Heart Rate, Micro Sleep, Blood Oxygen Level, Prototype.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	13
Justificación .....	15
Planteamiento del Problema .....	17
Objetivos .....	19
Objetivo General: .....	19
Objetivos Específicos: .....	19
Metodología .....	20
Marco Conceptual .....	22
Estado del Arte .....	30
Evaluación de las Variables .....	40
Evaluación y Selección de la Tecnología .....	42
Recursos Necesarios Para la Implementación .....	48
Explicación Detallada del Funcionamiento de la Solución Implementada .....	49
Resultados .....	53
Conclusiones .....	65
Recomendaciones .....	67
Referencias .....	70

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Evaluación de Variables Afectadas</i> .....	41
<b>Tabla 2</b> <i>Comparación Raspberry pi 4, Placa Arduino Uno y ESP8266</i> .....	44
<b>Tabla 3</b> <i>Comparación Sensor Max30102 y Chip Max30102</i> .....	46
<b>Tabla 4</b> <i>Recursos Necesarios para la Implementación</i> .....	48
<b>Tabla 5</b> <i>Prueba Inicial ThingSpeak en Protoboard</i> .....	102
<b>Tabla 6</b> <i>Primera Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	106
<b>Tabla 7</b> <i>Segunda Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	110
<b>Tabla 8</b> <i>Tercera Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	114
<b>Tabla 9</b> <i>Primera Prueba Blynk Prototipo Final</i> .....	118
<b>Tabla 10</b> <i>Cuarta Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	122
<b>Tabla 11</b> <i>Quinta Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	126
<b>Tabla 12</b> <i>Sexta Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	130
<b>Tabla 13</b> <i>Séptima Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	134
<b>Tabla 14</b> <i>Octava Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	138
<b>Tabla 15</b> <i>Novena Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	141
<b>Tabla 16</b> <i>Decima Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	145
<b>Tabla 17</b> <i>Undecima Prueba ThingSpeak Prototipo Final</i> .....	149

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Esquemático del Circuito</i> .....	50
<b>Figura 2</b> <i>Diagrama de Flujo</i> .....	51
<b>Figura 3</b> <i>Foto Prototipo Inicial</i> .....	54
<b>Figura 4</b> <i>Visualización Puerto Serial</i> .....	55
<b>Figura 5</b> <i>Visualización ThingSpeak</i> .....	57
<b>Figura 6</b> <i>Aplicación Móvil</i> .....	59
<b>Figura 7</b> <i>Diseño de PCB</i> .....	60
<b>Figura 8</b> <i>Prototipo Final (Sin Guante)</i> .....	61
<b>Figura 9</b> <i>Prototipo Final</i> .....	62
<b>Figura 10</b> <i>Módulo ESP8266</i> .....	79
<b>Figura 11</b> <i>Chip Max 30102 SEN0518</i> .....	80
<b>Figura 12</b> <i>Diodo Led</i> .....	82
<b>Figura 13</b> <i>Zumbador Buzzer 5VDC</i> .....	83
<b>Figura 14</b> <i>Cable de Datos</i> .....	84
<b>Figura 15</b> <i>Baquela Virgen una Cara</i> .....	85
<b>Figura 16</b> <i>Conector Macho</i> .....	86
<b>Figura 17</b> <i>Conector Hembra</i> .....	86
<b>Figura 18</b> <i>Prueba Inicial ThingSpeak en Protoboard</i> .....	105
<b>Figura 19</b> <i>Primera Prueba en ThingSpeak</i> .....	109
<b>Figura 20</b> <i>Segunda Prueba ThingSpeak</i> .....	113
<b>Figura 21</b> <i>Tercera Prueba ThingSpeak</i> .....	117
<b>Figura 22</b> <i>Primera Prueba Blynk</i> .....	121

<b>Figura 23</b> <i>Cuarta Prueba Tinkspeak</i> .....	125
<b>Figura 24</b> <i>Quinta Prueba ThingSpeak</i> .....	129
<b>Figura 25</b> <i>Sexta Prueba ThingSpeak</i> .....	133
<b>Figura 26</b> <i>Séptima Prueba ThingSpeak</i> .....	137
<b>Figura 27</b> <i>Octava Prueba ThingSpeak</i> .....	140
<b>Figura 28</b> <i>Novena Prueba ThingSpeak</i> .....	144
<b>Figura 29</b> <i>Décima Prueba ThingSpeak</i> .....	148
<b>Figura 30</b> <i>Undécima Prueba ThingSpeak</i> .....	154
<b>Figura 31</b> <i>Verificación de la Cantidad Datos Tomados en la Undécima Prueba.</i> .....	155

## Listado de Apéndices

<b>Apéndice A</b> <i>Especificaciones Técnicas</i> .....	78
<b>Apéndice B</b> <i>Código Arduino IDE Puerto Serial</i> .....	87
<b>Apéndice C</b> <i>Código Arduino IDE para ThingSpeak</i> .....	91
<b>Apéndice D</b> <i>Código Arduino IDE para Blynk</i> .....	98
<b>Apéndice E</b> <i>Prueba Inicial en ThingSpeak</i> .....	102
<b>Apéndice F</b> <i>Primera Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	106
<b>Apéndice G</b> <i>Segunda Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	110
<b>Apéndice H</b> <i>Tercer Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	114
<b>Apéndice I</b> <i>Primera Prueba en Blynk Prototipo Final</i> .....	118
<b>Apéndice J</b> <i>Cuarta Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	122
<b>Apéndice K</b> <i>Quinta Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	126
<b>Apéndice L</b> <i>Sexta Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	130
<b>Apéndice M</b> <i>Séptima Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	134
<b>Apéndice N</b> <i>Octava Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	138
<b>Apéndice O</b> <i>Novena Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	141
<b>Apéndice P</b> <i>Decima Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	145
<b>Apéndice Q</b> <i>Undecima Prueba en TinkSpeak Prototipo Final</i> .....	148

## Introducción

Según Paredes. (2021) La seguridad vial es una preocupación constante en el ámbito de la movilidad, con numerosos accidentes de tráfico registrados diariamente. Estos incidentes pueden atribuirse a diversas causas, como fallos mecánicos, condiciones ambientales adversas y errores humanos. Entre estos factores, uno de los más críticos es el fenómeno del micro sueño, que ha adquirido una relevancia significativa en el estudio de la seguridad vial.

Lota. (2020) afirma que el micro sueño se define como breves lapsos de sueño involuntario que ocurren mientras una persona está despierta, provocando una pérdida momentánea de conciencia del entorno. Esta condición, generalmente asociada con la falta o exceso de sueño, puede durar solo unos segundos, pero es suficiente para desencadenar accidentes de tráfico con consecuencias fatales.

El constante avance de la tecnología electrónica, la comunicación de información y el procesamiento de datos ha dado lugar al desarrollo de sistemas informáticos cada vez más complejos. Estos sistemas satisfacen las necesidades de la sociedad al ofrecer comodidad, seguridad, gestión, control, automatización y optimización, mejorando así la calidad de vida. En este contexto, el progreso tecnológico impulsa el desarrollo de diversos campos, incluyendo la electrónica y la informática, que han experimentado avances significativos en la automatización de la movilidad. Ante la proliferación de empresas que ofrecen estos servicios a costos variables, es imperativo buscar alternativas para abordar la problemática de la seguridad vial.

Una excelente alternativa consiste en el aprovechamiento de los smartphones o tablets, cuyo uso ha generado un consumo excesivo en una sociedad donde la mayoría de las personas posee al menos uno de estos dispositivos. Dado que estos dispositivos se diferencian según las funciones requeridas por el usuario, es crucial utilizar todos nuestros recursos disponibles. Estos

dispositivos no solo mejoran nuestra calidad de vida a través de aplicaciones de fácil acceso, sino que también hacen uso de placas electrónicas programables.

La detección temprana de los efectos negativos del micro sueño es fundamental para prevenir accidentes y garantizar la seguridad vial. Por ello, se propone diseñar un prototipo capaz de detectar estos efectos negativos mediante el empleo de desarrollos tecnológicos para la monitorización fisiológica. El prototipo leerá las variables fisiológicas que la investigación ha identificado como las más viables para establecer la presencia de micro sueño. Se aplicará el concepto de la telemetría para presentar a distancia los datos censados en tiempo real en una aplicación móvil y emitir alertas tempranas hacia dispositivos móviles.

El propósito de este prototipo es leer y analizar variables fisiológicas previamente identificadas para detectar el micro sueño y prevenir sus consecuencias mediante la recopilación y análisis de datos en tiempo real. El sistema propuesto se basa en el uso de sensores no invasivos y dispositivos de registro remoto que permiten un seguimiento continuo y cómodo de los conductores. Se espera que los resultados obtenidos se apliquen en futuros sistemas de asistencia al conductor y en la implementación de políticas de seguridad vial más efectivas.

Este documento presenta los fundamentos teóricos necesarios, describe el diseño del sistema propuesto, presenta los resultados de ensayos, y discute las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones en el campo.

## Justificación

Según Ministerio de Transporte. (2020) más del 70% del transporte de mercancías se realiza por carretera, lo que convierte a los conductores de vehículos de carga en actores esenciales para el desarrollo económico y social del país.

El transporte de carga es uno de los pilares de la economía colombiana, ya que facilita el flujo de bienes y productos a lo largo y ancho del país, conectando las zonas productivas con los centros de consumo y exportación. Dada la geografía de Colombia, donde las vías terrestres son el principal medio de transporte, este sector adquiere una relevancia crítica Transurcar. (s.f.), párr. 7.

El documento del Ministerio de Transporte. (2024) “transporte en cifras 2023” indica que en el año 2023 se registró el transporte de un total de 135,964,213 toneladas y 5,410,861,680 galones, ambos por carretera; en contraste, por vía aérea se transportaron 133,086 toneladas.

En otro informe, el Ministerio de Transporte. (2024) afirma que en el primer semestre del año 2024 se registraron un total de 5.091.260 viajes de carretera de transporte de carga terrestre.

Sin embargo, este sector también enfrenta desafíos significativos, SURA. (2022) afirma que “los accidentes de tránsito son la segunda causa de muerte violenta en el país”. Por otro lado cesvicolombia. (2022) informa que Las largas jornadas laborales, las condiciones de la infraestructura vial y la fatiga que experimentan los conductores son factores que contribuyen a una alta tasa de accidentalidad.

La Agencia Nacional de Seguridad Vial ANSV. (2024) indica que hasta el día 08 de agosto del 2024 se han registrado un total de 2276 accidentes de tránsito que involucraron vehículos de transporte de carga pesada.

Según cesvicolombia. (2022) el micro sueño es un síntoma de fatiga al volante, se ha identificado como uno de los principales causantes de accidentes viales; afecta nuestro estado mental e intelectual, al no ser detectada a tiempo puede resultar en siniestros viales. Teniendo en cuenta lo anterior, durante estos accidentes los conductores pierden el control del vehículo, lo cual puede ser fatal, especialmente en carreteras donde se transportan cargas pesadas y en rutas sinuosas.

Este prototipo, diseñado para monitorear en tiempo real la frecuencia cardíaca y el nivel de oxígeno en sangre, busca alertar de manera inmediata sobre signos de fatiga extrema o somnolencia. Al integrar tecnología de telemetría, que envía los datos al teléfono del conductor y permite su monitoreo en tiempo real, este prototipo no solo brinda una herramienta preventiva para los conductores, sino que también ofrece una solución innovadora para las empresas de transporte, quienes podrán mejorar sus protocolos de seguridad y cuidar el bienestar de sus empleados.

Con creación de este prototipo, se espera contribuir de manera gradual a la prevención de accidentes en las carreteras colombianas, fortaleciendo uno de los sectores más relevantes para la economía del país.

## **Planteamiento del Problema**

Actualmente las diferentes investigaciones junto a los dispositivos que usan para detectar si un conductor está en la etapa de micro sueño solo permite dar la alarma cuando ya es demasiado tarde o está en la etapa de sueño avanzada, debido a esto muchas instituciones han desarrollado dispositivos como electroencefalogramas o detección de imágenes para este tipo de problema y han diseñado equipos para generar alertas tempranas de sueño Paredes Paz. (2021)

Los accidentes de tráfico causados por el micro sueño son un problema importante en todo el mundo, esto causa que los conductores puedan perder el control del vehículo lo cual puede provocar accidentes de tráfico, teniendo en cuenta que el micro sueño se refiere a un corto periodo de sueño que puede ocurrir durante el día (son más comunes durante la noche o en las primeras horas de la mañana), incluso cuando la persona intenta permanecer despierta, agregado a esto aquellas personas que tienen trastorno del sueño, trabajan turnos nocturnos y/o que conducen durante largos periodos de tiempo sin el descanso adecuado son especialmente susceptibles a experimentar micro sueño.

Colombia carece de un marco legal robusto para controlar y regular la fatiga y los micro sueños en conductores de carga. Este tema ha recibido poca atención y estudio, a pesar de su importancia para prevenir accidentes de tránsito causados por la fatiga acumulada durante largas jornadas de trabajo.

La primera mención de la fatiga como condición laboral en Colombia fue en la Resolución 2400 de 1979, que estableció medidas para evitar la fatiga física y mental en el trabajo, incluyendo la provisión de sillas adecuadas y la atención a la fatiga causada por decisiones y ruidos altos. Desde entonces, la fatiga como causa de accidentes laborales no ha sido significativamente abordada en la legislación.

El 6 de febrero de 2013, el Ministerio de Transporte emitió la Resolución 315 para garantizar la seguridad en el transporte público terrestre. Esta resolución requiere que los vehículos de transporte público con recorridos superiores a ocho horas cuenten con un segundo conductor para asegurar los descansos necesarios. La falta de cumplimiento de esta medida puede resultar en la inmovilización del vehículo.

Según *Resolución 315 de 2013 Ministerio de Transporte. (2013)* anualmente emite estadísticas sobre la accidentalidad en las carreteras del país, pero no se tiene identificados los principales factores de riesgo que afectan a los conductores en vehículos de carga y transporte de pasajeros, según los autores la fatiga (micro sueño), problemas mecánicos, falta de señalización en las vías y aumento en los límites máximos de velocidad. Hay que considerar que en la actividad de conducir están inmersas innumerables variables del entorno intra y extralaboral, entre ellos la fatiga/micro sueño, conduce a la disminución de las capacidades cognitivas y motoras durante la jornada laboral pudiéndose constituir en un factor precipitante de la ocurrencia de la accidentalidad vial, ya que desencadena un conjunto de factores que disminuyen la concentración y atención del individuo, desviando la percepción del riesgo del operador puesto que a medida que la fatiga se incrementa genera una respuesta reactiva en el operador buscando llegar más rápido a su destino “para descansar”.

Dado lo anterior, proyecto desarrollado se enmarcó en la siguiente pregunta de investigación.

¿Cómo a partir de las tecnologías emergentes se puede diseñar una solución que detecte los efectos negativos causados por los micro sueños, contribuyendo a la reducción de accidentes atribuidos a este fenómeno?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar un sistema que contribuya a la detección del micro sueño a través del monitoreo de variables fisiológicas, como aporte a la disminución de la accidentalidad vial.

### **Objetivos Específicos**

Determinar las características del ser humano las cuales influyen en la fatiga, definiendo los parámetros que permitan la detección de los micro sueños.

Evaluar la tecnología más apropiada para dar solución a esta problemática teniendo en cuenta los diferentes dispositivos encontrados en el mercado.

Diseñar el prototipo que permite la detección de las variables fisiológicas del micro sueño, a través de tecnologías emergentes.

Realizar un diagnóstico mediante pruebas del prototipo para la evaluación de los resultados obtenidos verificando su funcionamiento.

## **Metodología**

El enfoque de esta investigación es principalmente cuantitativo, ya que implica la recopilación y análisis de datos numéricos relacionados con la detección mediciones de las variables fisiológicas que permiten detectar si una persona está entrando en estado de micro sueño, para ello se llevará a cabo una revisión de la literatura para identificar los parámetros más relevantes y los métodos existentes para la detección del micro sueño, y finalmente realizar una serie de test al prototipo para verificar su correcto funcionamiento.

Se realiza una investigación exhaustiva de la literatura relacionada con la fatiga, la somnolencia, y los micro sueños, en base a esto se identifican las características humanas previamente investigadas que influyen en la problemática tratada, esto dará una base sólida para la investigación.

De acuerdo con ICAO. (2020) y lo establecido en el estado del arte de este documento, algunas de las variables fisiológicas que se ven alteradas y/o afectadas por el ritmo circadiano pueden ser:

**Ritmo cardíaco:** El ritmo cardíaco varía durante el día y la noche, con un aumento en la frecuencia cardíaca durante la actividad y una disminución durante el sueño.

**Presión arterial:** La presión arterial también varía durante el día y la noche, con un aumento durante la actividad y una disminución durante el sueño.

**Temperatura corporal:** La temperatura corporal sigue un ritmo circadiano, con un máximo en la tarde y un mínimo en la noche.

El ritmo circadiano es fundamental a la hora de estudiar el sueño debido a que es la regulación del sueño-vigilia en el ser humano. Este ritmo se encuentra genéticamente programado con una longitud de 24 horas siendo esta capaz de modificarse o desviarse en sus horarios de sueño-vigilia dado a la exposición de luz y oscuridad, pero siempre manteniendo una periodicidad de 24 horas.

Estefanía. (2015), p. 30.

Teniendo en cuenta los requisitos técnicos especificados en este documento se investigan las tecnologías existentes en el mercado que abarcan las necesidades del prototipo, realizando una comparación de las tecnologías y evaluando como se ajustan a los objetivos y requisitos de este proyecto aplicado, se consideraron factores como precisión, costo, facilidad de uso, tamaño, entre otros, se tienen en cuenta tecnologías como Arduino y Raspberry pi, los instrumentos clave incluirán sensores biométricos, dispositivos de adquisición de datos, sistemas de transmisión de datos para realizar esas pruebas y determinar si es viable o no la hipótesis planteada realizando la medición y lectura de las variables fisiológicas.

El prototipo se lleva puesto mientras realiza tareas que requieran alta concentración y alerta, como conducir largas distancias, se tomaron datos de las lecturas del sensor durante períodos de tiempo específicos y se registraron en una tabla, es decir se realizaron pruebas de validación para evaluar la precisión del sistema de telemetría en la detección de efectos negativos del micro sueño.

## **Marco Conceptual**

Para que se tenga una idea más clara referente al tema que se trata en este documento se realizará la definición de algunos conceptos y así lograr que el lector identifique los pilares fundamentales para la comprensión del objeto de estudio, la idea es que con estos fundamentos teóricos se tenga una comprensión más amplia del fenómeno investigado, permitiendo así la formulación de preguntas significativas, la identificación de variables pertinentes y la interpretación informada de los resultados.

### **Accidentes de Tránsito**

Son eventos imprevistos que tienen lugar en las vías públicas, involucrando uno o varios vehículos, así como a personas y objetos en su entorno, estos accidentes pueden ser causados por diversos factores, como la distracción del conductor, el exceso de velocidad, la fatiga, la falta de mantenimiento del vehículo, el consumo de alcohol o drogas, entre otros.

Los accidentes de tránsito son una de las principales causas de hospitalización en la actualidad, esto debido a la facilidad con la que la energía cinética, producto de la velocidad de los vehículos, es redirigida a los pasajeros y conductores de automotores Briones-Mera Angela et al. (2021)

### **El Micro Sueño**

Se manifiesta cuando una persona entra en un estado de falta de sueño o somnolencia teniendo un impacto directo y negativo en sus sentidos de percepción, esta condición disminuye su capacidad de reacción auditiva, provocando que decrecen los

reflejos de reacción del ser humano e incrementando la probabilidad de sufrir un accidente en carretera si se conduce en este estado.

Según López Ballesteros & Castro Assef. (2019) “El micro sueño es definido como periodos de sueño que ocurren durante el estado de vigilia y que pueden durar solo segundos, por ende, estos episodios pueden desencadenar conductas riesgosas, especialmente en situaciones que requieren un nivel de atención elevado.”.

### **Fisiología Humana**

Abarca diversos aspectos, como el funcionamiento del sistema nervioso, el sistema cardiovascular, entre otros, también examina el cómo estos sistemas interactúan entre así para que el cuerpo realice sus funciones de manera eficiente y mantenga su salud. Según Fox. (2023):

La fisiología, término que proviene del griego physis (naturaleza) y logos (estudio), se define como el estudio de las funciones biológicas. Este campo abarca desde los mecanismos moleculares en las células hasta las acciones de tejidos, órganos y sistemas completos, examinando cómo el organismo en su totalidad ejecuta funciones vitales. (cap. 1).

### **Fisiología del Sueño**

Es un proceso fisiológico complejo que se caracteriza por la disminución de la actividad cerebral y el descenso de la actividad muscular, este fenómeno se divide en diferentes etapas, cada una con características distintas, la detección de micro sueño se basa en la identificación de patrones anómalos de actividad cerebral y muscular asociados con el sueño.

Según Cadavid & Garrido. (2019) “el periodo de sueño estado vinculado desde tiempos prehistóricos al ciclo luz-oscuridad determinado por la rotación de la tierra”.

### **Frecuencia Cardiaca**

Se refiere al número de pulsaciones o latidos del corazón por unidad de tiempo, generalmente expresado en pulsaciones por minuto (ppm), en términos generales, una frecuencia cardíaca normal en reposo para personas mayores de 10 años oscila entre 60 y 100 pulsaciones por minuto Stephens & MacGill. (2023), estos autores definen “la frecuencia cardíaca como uno de los “signos vitales” o los indicadores importantes de la salud en el cuerpo humano”.

### **Monitoreo de la Frecuencia Cardiaca**

La monitorización de los patrones de la frecuencia cardíaca durante la noche ofrece información sobre la calidad del sueño, permitiendo la detección de problemas como la apnea del sueño o el insomnio; según Barragán-Bustamante et al. (2020) “durante actividades físicas no exigentes, como caminar, la frecuencia cardíaca puede oscilar entre 100 y 150 latidos por minuto; sin embargo, durante el sueño, se ha observado que la frecuencia cardíaca puede descender a valores inferiores a 60 latidos por minuto”.

### **Placas de Desarrollo**

Según Palma Castro Cristian David & Rodríguez Osorio. (2011) “una “tarjeta de desarrollo” es un circuito electrónico que incorpora un microcontrolador o dispositivo lógico, junto con elementos como puertos, conectores y reguladores, estos componentes permiten a los usuarios acceder fácil y rápida a los periféricos para realizar aplicaciones y

pruebas”; algunos ejemplos de placas de desarrollo son: Arduino, Raspberry Pi, ESP8266, entre otras, estas placas están diseñadas para conectarse a una variedad de sensores y actuadores, lo que las convierte en herramientas versátiles utilizadas en una amplia variedad de proyectos, desde la creación de dispositivos interactivos simples hasta la construcción de sistemas embebidos más complejos.

### **Arduino**

Es una compañía que desarrolla software y hardware libre, además diseña y fabrica placas de desarrollo de hardware los cuales permiten la interacción de la persona con dispositivos con el fin de detectar y controlar objetos o situaciones de la vida real, un ejemplo de estas placas es el Arduino Uno, que utiliza el microcontrolador ATmega3278, esta placa ofrece 14 entradas y salidas digitales, de las cuales seis tienen salidas analógicas y otras seis pueden generar una señal Modulación por ancho de pulsos (PWM), asimismo la compañía ha creado el Arduino Nano, que al igual que el Arduino Uno utiliza el microcontrolador ATmega3278, funcionando de la misma manera y gracias a su tamaño puede ser utilizado en proyectos que requieran poco espacio Kurniawan. (2019).

### **Raspberry Pi**

Es una serie de computadoras de placa única de bajo costo y tamaño reducido, fueron desarrolladas en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation; estas computadoras están diseñadas con el propósito de ser asequibles, educativas y versátiles. Según López Aldea. (2018):

La Raspberry Pi es un ordenador que utiliza un microprocesador con arquitectura ARM, memoria RAM y tarjeta gráfica (GPU) (Unidad de Procesamiento Gráfico) integrados en un solo chip, lo que lo convierte en un sistema SoC (System on a Chip, Sistema en un chip); utilizan tarjetas SD para el almacenamiento permanente del sistema operativo y datos, lo que facilita la reprogramación y la personalización. (p. 66).

### **NodeMCU V3 ESP8266**

Es un microcontrolador asequible y de código abierto que se construye en torno al chip ESP8266, diseñado en china y llamado Espressif Systems en Shanghai; a lo largo del tiempo, este chip ha evolucionado desde sus primeras versiones como el ESP-01 y ESP-02 hasta variantes como el ESP-12, ESP-12-E, ESP-12-F, ESP-13, ESP-14, ESP-WROOM, ESP-201, y el NodeMCU (basado en el ESP-12). El Nodemcu v3 ESP8266 permite la conexión a redes Wi-Fi, se puede programar tanto con el lenguaje Arduino como con Lua, proporciona varios pines de E/S generales (GPIO) para conectar diversos dispositivos y cuenta con memoria flash integrada para almacenar programas y datos.

Espejo Tuco. (2021) afirma que “no es una versión oficial de NodeMCU, sino una variante creada por Lolin que presenta mejoras, como un puerto USB aparentemente más robusto y el aprovechamiento de dos pines adicionales, que se utilizan para proporcionar una salida de 5V directamente desde el USB y un GND adicional”.

### **Comunicación entre Dispositivos**

Aborda los protocolos de comunicación, que son conjuntos de reglas y estándares esenciales para facilitar la interacción entre dos o más dispositivos electrónicos, las

pautas para la transmisión, recepción y procesamiento de datos durante la comunicación, desempeñando un papel crucial en diversas aplicaciones, como la interacción entre componentes en sistemas embebidos. Según Arias Martijena et al. (2021) indican que “los protocolos de comunicación son un conjunto de pautas que posibilitan el intercambio de datos entre dispositivos”.

En este contexto, dos formas principales de comunicación: el serial donde los bits se transmiten uno tras otro a través de un solo canal, y la paralela, donde múltiples bits se transmiten simultáneamente a través de varios canales. Algunos ejemplos de protocolos de comunicación en serie incluyen: I2C (Inter-Integrated Circuit) que es un protocolo síncrono; (Zachariah, 2021) menciona que “el protocolo de comunicación I2C utiliza dos líneas (modos estándar, rápido y rápido plus) para controlar otros dispositivos, una línea es de reloj (SCL), mientras que la otra es de datos (SDA)”; otro protocolo serial es UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) ampliamente utilizado y asíncrono, Zachariah (2021) destaca que “la comunicación UART (receptor-transmisor asíncrono universal) tiene similitudes con I2C, y ambas interfaces tienen una velocidad máxima de datos de alrededor de 5 Mbps”.

### **Desarrollo de Aplicaciones**

Engloba el proceso integral de creación, diseño, implementación y mantenimiento de software diseñado para cumplir con funciones o tareas específicas, este proceso abarca diversas plataformas, incluyendo aplicaciones web, móviles, de escritorio o empresariales, y puede requerir el uso de distintos lenguajes de programación y tecnologías de acuerdo con los requisitos del proyecto. Se tiene que Tatiana Velandia

Bernal et al. (2021) afirman que “las aplicaciones móviles son parte de un avance gradual en el ámbito del diagnóstico y la prevención en salud, atendiendo así a las demandas sociales”.

### **Sistemas de Alertas al Conductor**

Los sistemas de alerta son tecnologías de asistencia avanzada que se encargan de monitorizar tanto el entorno como el comportamiento del conductor, están específicamente diseñados para incrementar la seguridad durante la conducción, estos sistemas, equipados con sensores capaces de medir datos y captar señales en tiempo real, alertan al conductor sobre cualquier cambio en las variables monitoreadas; el objetivo principal de estos sistemas es reducir los riesgos de accidentes, mejorar la seguridad vial y proporcionar apoyo al conductor durante largos periodos al volante.

En el ámbito del transporte de mercancías, se han desarrollado diversas aplicaciones, dispositivos y sensores que facilitan el monitoreo de rutas y el seguimiento de los vehículos, estos no solo generan información útil y alertas en tiempo real, sino que también aportan inteligencia a los procesos y aseguran la disponibilidad de la información cuando las partes interesadas la necesitan.

Urquiza Cuellar. (2022), p. 67

### **Sensor**

Se define como un dispositivo capaz de medir y detectar magnitudes físicas o químicas para realizar un análisis de los datos recibidos, existen dos categorías principales de sensores: los analógicos, que proporcionan una salida analógica permitiendo valores continuos a lo largo del tiempo en relación con su rango de

medición, abarcando variables como temperatura y velocidad, y los digitales, que solo pueden asumir dos valores en su señal de salida a lo largo del tiempo, indicando únicamente si la variable cambia o no, sin proporcionar el valor específico. Serna Ruiz et al. (2010) que “un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde mide, emite una señal de salida transducible que está directamente relacionada con la variable medida”.

### **Estado del Arte**

Se realizó una investigación sobre el micro sueño y los cambios que experimenta el cuerpo humano al entrar en un episodio de fatiga, también se analizaron las tecnologías que se han desarrollado para detectarlo.

Como evidencian en su texto Soon et al. (2021a), los estudios y análisis retrospectivos de la conectividad funcional en estudios de resonancia magnética funcional (fMRI) en reposo de larga duración (>10 minutos) sugieren que más del 50% de estos estudios presentan intrusiones del sueño. Estas intrusiones afectan los estudios en reposo al modular la señal global media, las fluctuaciones de la señal global y las medidas de conectividad funcional. Durante la transición vigilia-sueño y el despertar, se observa un cambio multipásico y heterogéneo en la señal Blood Oxygenation Level Dependent (BOLD), que afecta la conectividad funcional. La disminución del estado de alerta se asocia con la ralentización de la respiración, frecuencia cardíaca, reducción del tono vascular y el cierre de los párpados. Aunque estos cambios fisiológicos tradicionalmente se consideran 'ruido', tienen orígenes neurales y afectan la señal neurovascular.

Estudios recientes han investigado cómo la disminución del estado de alerta afecta las señales de Electroencefalografía (EEG), Imagen por Resonancia Magnética Funcional (fMRI) y la conectividad funcional, pero aún falta una caracterización precisa de los cambios de comportamiento, fisiológicos y de la señal Blood Oxygenation Level Dependent (BOLD) durante los ciclos de sueño y despertar. El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la evolución temporal de la señal BOLD de fMRI asociada con episodios de micro sueños de diferentes duraciones, identificados por cierres sostenidos

de los párpados e informes post-despertar de pérdida de conciencia. Se examinaron episodios de micro sueños de diversas duraciones en relación con cambios en la respiración, la frecuencia cardíaca y el EEG, revelando posibles cambios cualitativos en las señales BOLD y fisiológicas a medida que aumentaba la duración del sueño.

Por otro lado, en el trabajo de Ipiates Ruiz. (2020) se desarrollará un sistema de detección que puede determinar si un conductor tiene los ojos abiertos o cerrados, utilizando modelos de clasificación entrenados con datos del dataset de The Closed Eyes in the Wild (CEW.) La exactitud se utilizará como métrica para evaluar y seleccionar el mejor modelo. Bajo ese análisis, en los últimos años se ha observado un notable aumento en la cantidad de accidentes automovilísticos, atribuido en parte a la imprudencia de los conductores causada por fatiga o somnolencia. Esta fatiga puede resultar del cansancio acumulado por esfuerzos prolongados, especialmente durante viajes largos, siendo la noche el período más propenso debido a la falta de sueño. En Perú, este incremento ha generado preocupación entre organismos como el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Las investigaciones sobre la detección de fatiga se centran en cuatro categorías: señales fisiológicas (como Electroencefalografía (EEG), Electrocardiograma (ECG) y Electrooculograma (EOG)), comportamiento del conductor, estado del vehículo y características fisiológicas como parpadeo y bostezo. Sin embargo, muchos de estos métodos son costosos e invasivos, lo que dificulta su implementación en situaciones reales. Por eso el autor en su estudio propone desarrollar un sistema de detección de fatiga utilizando técnicas de visión artificial y machine learning, basado en características

fisiológicas de los conductores, dado que la combinación de estas disciplinas permitiría automatizar la medición de la fatiga, mejorando la eficiencia y precisión del proceso. En ese sentido, la inteligencia artificial desempeña un papel fundamental en este sistema, ya que se busca construir agentes capaces de tomar decisiones ante situaciones específicas mediante técnicas de machine learning. Además, el procesamiento de imágenes es esencial para mejorar la calidad de las imágenes y obtener información precisa.

La metodología propuesta incluye el uso de Histogramas de Gradientes Orientados (HOG) para el procesamiento de imágenes y la obtención de vectores característicos, junto con clasificadores para el aprendizaje de datos sobre la presencia de fatiga. La exactitud de la detección se utilizará como métrica de evaluación del rendimiento del sistema.

También se cuenta con estudios como el de Medina-Aman et al. (2021) realizado en conductores de una cooperativa de transporte en Ecuador, empleó un enfoque cuantitativo, correlacional y descriptivo con un diseño transversal. Utilizó el Test de Yoshitake para evaluar la fatiga, junto con mediciones de presión arterial y glucemia. Se recolectaron datos de 194 conductores entre diciembre de 2019 y enero de 2020, analizados con SPSS.

Los resultados mostraron que la mayoría de los conductores tenían entre 35 y 44 años, sin antecedentes patológicos, y conducían entre 4 y 8 horas, con más de 10 años de experiencia. La fatiga física fue la más común, seguida de la mixta y la mental. Respecto a la glucemia y la presión arterial, la mayoría tenía valores normales.

Se destaca la importancia de abordar la fatiga como un factor clave en los accidentes de tráfico, dado su impacto en la seguridad vial. A pesar de una baja incidencia de accidentes, más de la mitad de los conductores experimentaron fatiga física, lo que subraya un riesgo potencial incluso en entornos con buenos registros de seguridad.

El estudio resalta la necesidad de considerar factores como la antigüedad y el estado de los vehículos, además de las condiciones laborales, en la manifestación de la fatiga. También señala preocupaciones adicionales sobre la salud de los conductores en relación con la presión arterial y los niveles de glucemia.

Además, los autores discuten las implicaciones de estos hallazgos en términos de regulaciones y políticas de seguridad vial, haciendo hincapié en la necesidad de medidas proactivas para abordar la fatiga del conductor y garantizar la salud y seguridad de todos los usuarios de la carretera.

Los autores Zaleha et al. (2021) mencionan que los micro sueños, pueden durar de 1 a 15 segundos, representan un peligro significativo durante actividades como conducir, leer o trabajar, surgiendo por fatiga u otros problemas de salud. Clasificados en distintos niveles de somnolencia, estos episodios contribuyen considerablemente a los accidentes de tráfico.

Para contrarrestar este riesgo, se investigan tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), vehículos SMART e Inteligencia Artificial (IA). El IoT facilita la recopilación y transmisión de datos entre sistemas, impulsando el desarrollo de vehículos SMART equipados con sensores y software avanzado para mejorar la

seguridad vial. La IA, en particular el Aprendizaje Automático, demuestra ser efectiva en la detección precisa de micro sueños, reduciendo así la probabilidad de errores.

Diversas estrategias preventivas han sido propuestas, entre ellas el Sistema de Orexina, Sistemas Automatizados de Detección de Micro sueños basados en video y Sistemas de Monitoreo de Conductores (DMS), todos dirigidos a mitigar los riesgos asociados con los micro sueños y la somnolencia en las carreteras.

Los autores Ale Ale & Fabián (2019) proponen la implementación de un dispositivo basado en tecnología Android y reconocimiento visual para prevenir accidentes de tránsito causados por la somnolencia del conductor, considerada una de las principales causas de choques. Se argumenta que aproximadamente el veinte por ciento de los accidentes de tránsito se deben al cansancio o fatiga del conductor, especialmente cuando excede el límite de horas permitidas de manejo.

La investigación descriptiva reveló los desafíos que enfrentan los conductores en viajes largos y durante la noche. La investigación documental proporcionó información relevante de fuentes bibliográficas y proyectos similares. Se aplicaron métodos analíticos para estudiar el comportamiento del conductor ante síntomas de micro sueño, y métodos sintéticos para determinar las herramientas necesarias para el reconocimiento visual en el dispositivo.

El dispositivo desarrollado alerta al conductor en caso de micro sueño y notifica a familiares y conocidos a través de una aplicación móvil sobre el percance sufrido. En resumen, el dispositivo permite identificar y prevenir la somnolencia del conductor, reduciendo así el riesgo de accidentes de tránsito.

El problema de investigación se centra en la alta incidencia de accidentes de tránsito causados por la somnolencia del conductor, que representa aproximadamente el veinte por ciento de los casos. El micro sueño, un síntoma involuntario que provoca la pérdida temporal de conciencia es especialmente peligroso, ya que durante este lapsus el vehículo puede quedar sin control, disminuyendo la capacidad de reacción del conductor y aumentando el riesgo de accidentes.

La justificación de la necesidad, actualidad e importancia radica en que el cansancio o somnolencia del conductor es una de las principales causas de accidentes viales, con consecuencias potencialmente letales. Aunque existen sistemas de detección de cansancio en vehículos y dispositivos como sensores de somnolencia, su costo es elevado y su importación implica gastos adicionales. Por lo tanto, se propone desarrollar una aplicación móvil para dispositivos Android que utilice tecnología de reconocimiento visual artificial mediante una cámara de video para detectar en tiempo real el micro sueño y alertar tanto al conductor como a los pasajeros, con el objetivo de prevenir accidentes de tránsito.

La fundamentación teórica y conceptual se centra en el uso del reconocimiento facial, principalmente en espacios públicos, donde una cámara de video captura imágenes que son analizadas por un sistema para identificar rostros. Sin embargo, se señala que las cámaras de baja resolución dificultan esta identificación, especialmente en condiciones de luz desfavorables o ángulos difíciles.

Se destaca el peligro de la fatiga en la conducción, que afecta los reflejos del conductor y puede pasar desapercibida hasta que es demasiado tarde. Se menciona que,

en Chile, la empresa GPS TEC ofrece un servicio de detección de somnolencia del conductor, que alerta al conductor ante síntomas de fatiga.

Los sistemas de advertencia de pérdida de atención se basan en la información recogida por sensores que monitorean el giro del volante, enviando una señal acústica cuando el nivel de atención del conductor desciende por debajo de un umbral crítico.

Sawatari et al. (2024) indican que el trastorno respiratorio del sueño (SDB) es común en la población general y entre conductores profesionales, con una prevalencia estimada del 15% al 50%. Se asocia con somnolencia diurna excesiva, disfunción cognitiva y riesgos de salud como enfermedades cardiovasculares y trastornos metabólicos. La presión positiva continua en las vías respiratorias (CPAP) se considera el tratamiento principal y ha demostrado reducir eventos cardiovasculares y accidentes de tránsito.

En este estudio, se evaluaron retrospectivamente los parámetros de oximetría nocturna y los informes de somnolencia en conductores profesionales de camiones para determinar su asociación con colisiones atribuidas a micro sueño (TC-MRBs). Se encontró que ni la oximetría nocturna ni los informes de somnolencia estaban significativamente asociados con TC-MRBs.

A pesar de que el índice de masa corporal (IMC) de los conductores estudiados fue menor que en investigaciones anteriores, la prevalencia sospechada de SDB fue del 44.4%, sugiriendo la necesidad de un cribado regular independientemente del IMC. Además, los estudios previos han mostrado dificultades en la evaluación de la

somnolencia y los riesgos asociados con la subinformación de los conductores profesionales.

Aunque este estudio cuenta con fortalezas como la verificación de TC-MRBs mediante imágenes de video y una muestra representativa, tiene limitaciones, como la definición de TC-MRBs basada en análisis conductuales en lugar de diagnóstico fisiológico de micro sueño mediante electroencefalografía. Se requiere más investigación para mejorar la precisión en la detección de TC-MRBs en conductores profesionales.

Como último documento a citar, se tiene que Skorucak et al. (2020) realizaron un estudio que se enfocó en investigar los episodios de micro sueño (MSEs) y su relación con el rendimiento en la conducción, así como la efectividad de un algoritmo para detectar automáticamente estos episodios en participantes con somnolencia severa. Se desarrollaron criterios y algoritmos para la detección de MSEs utilizando datos de pacientes con somnolencia moderada y se analizó la relación entre los MSEs detectados y el rendimiento en la conducción en un simulador, registrado simultáneamente con EEG.

La somnolencia diurna excesiva (EDS) afecta aproximadamente al 20% de la población general y aumenta significativamente el riesgo de accidentes automovilísticos entre los conductores que la experimentan. Sin embargo, no existe un método estandarizado para cuantificar la somnolencia al volante ni un estándar legal al respecto. La prueba de mantenimiento de la vigilia (MWT) es comúnmente utilizada para evaluar la somnolencia clínicamente, pero su precisión para predecir el rendimiento real al conducir es limitada.

El objetivo principal del estudio fue evaluar las asociaciones entre los MSEs en la MWT y el simulador de conducción, y el rendimiento de conducción medido por la desviación estándar de la posición lateral y los eventos fuera de la carretera. Los resultados mostraron que los participantes presentaron MSEs tanto en la MWT como en el simulador de conducción después de la privación del sueño, pero con tasas y duraciones acumulativas mayores en la MWT. Se observaron correlaciones entre los MSEs y medidas de rendimiento al conducir, como eventos fuera de la carretera y desviación estándar de la posición lateral.

El estudio resalta la relevancia de los MSEs como marcador de somnolencia y sugiere su utilidad potencial en la evaluación del rendimiento y la seguridad al conducir, aunque se necesita más investigación para comprender completamente sus implicaciones en escenarios de conducción del mundo real.

A pesar de los numerosos estudios sobre la detección del micro sueño utilizando electrooculografía (EOG), electromiografía (EMG) y electroencefalografía (EEG), persisten vacíos en el conocimiento sobre los cambios en la actividad eléctrica del reloj circadiano humano. Los ritmos circadianos pueden ser observados desde perspectivas fisiológicas y de comportamiento para seguir indirectamente el ciclo circadiano. Este reloj, junto con el proceso homeostático del sueño, regula los períodos y la calidad del sueño, conectándose con los centros cerebrales que controlan los ciclos de sueño y vigilia, y afectando la duración del sueño REM. Durante una noche de sueño normal, los periodos más largos de sueño REM ocurren en los últimos ciclos no-REM, especialmente hacia la mañana.

Los documentos presentados revelan información crucial sobre los factores de riesgo asociados al micro sueño o fatiga, destacando la importancia de adoptar sistemas tecnológicos variados que han contribuido a mitigar los accidentes causados por estos problemas. Es importante reconocer que, aunque estos sistemas constituyen alertas eficaces, no representan una solución definitiva para eliminar por completo los accidentes derivados del micro sueño o la fatiga.

En línea con las investigaciones previas mencionadas, se destaca el desarrollo de sistemas de alarma que emplean inteligencia artificial y reconocimiento facial. Sin embargo, al profundizar en el análisis de las variables fisiológicas que influyen en el micro sueño, se descubre que el ritmo cardíaco y el nivel de oxígeno en la sangre también desempeñan un papel crucial. Por consiguiente, surge la necesidad de implementar el diseño de un prototipo que permita la medición y monitorización de estas variables, ampliando así el enfoque de detección y prevención de episodios de micro sueño y fatiga en los conductores.

### **Evaluación de las Variables**

Basado en el análisis de los diversos documentos registrados en el estado del arte, se encontró que los conductores experimentan cambios fisiológicos cuando entran en estado de micro sueño. La Tabla 1 incluye dichas variables, sus rangos y algunos de los sensores disponibles en el mercado que se pueden utilizar para medirlas.

Los autores que utilizan el método de reconocimiento facial mencionan que los sistemas basados en este enfoque requieren cámaras de alta resolución para detectar el cierre de los párpados, las cámaras de baja resolución dificultan esta identificación, especialmente en condiciones de luz desfavorables o ángulos difíciles, por otro lado, los autores que emplean pruebas como Electroencefalografía (EEG), Electrocardiograma (ECG) y Electrooculograma (EOG) indican que muchos de estos métodos son costosos e invasivos, lo que complica su implementación en situaciones reales, por ello, se propone crear un dispositivo de monitoreo de la frecuencia cardíaca y el nivel de oxígeno en la sangre.

**Tabla 1***Evaluación de las Variables Afectadas*

Variable	Sensor	Medida (rango)	Autor (es) que menciona la variable
Nivel de oxígeno en la sangre	MAX30100	70% <i>al</i> 100%	(Soon et al., 2021b) (Sawatari et al., 2024)
Frecuencia cardíaca	XD-58C SENPULSO	60 <i>lpm</i> a 100 <i>lpm</i>	(Soon et al., 2021b)
Reconocimiento facial	Cámaras IP / GV- BX2700-FD	El cierre de los párpados	(Soon et al., 2021b) (Ipiales Ruiz, 2020) (Ale Ale & Fabián, 2019)
EEG del cuero cabelludo	SENS-EEG-UCE6 EEG sensor	Ondas alfa 8 a 12 Hz y 50 <i>muV</i> Ondas beta > 12 Hz y 10 a 20 <i>muV</i> Ondas theta 4 a 7 Hz y 20 – 100 <i>muV</i>	(Soon et al., 2021b) (Ipiales Ruiz, 2020) (Skorucak et al., 2020)
ECG	Ad8232 Module Ecg Sensor	0.05 <i>mV</i> a 5 <i>mV</i>	(Ipiales Ruiz, 2020)
EOG	BioAmp EXG Pill	50 y 3500 $\mu$ <i>V</i> con un rango de frecuencias de DC – 35Hz	(Ipiales Ruiz, 2020)
Presión arterial	Honeywell ASDXACX015PAAA5	0 a 15 <i>psi</i>	(Medina-Aman et al., 2021)
Glucemia	Glucómetro	< 140 <i>mg</i> / <i>dL</i> (7,8 <i>mmol/L</i> )	(Medina-Aman et al., 2021)

*Nota.* Variables, rangos y algunos sensores disponibles en el mercado para su medición.

## **Evaluación y Selección de la Tecnología**

### **Evaluación de las Placas de Desarrollo**

En el contexto de la creciente demanda de soluciones tecnológicas innovadoras, es crucial seleccionar la placa adecuada para llevar a cabo la elaboración del prototipo; entre las opciones más populares se encuentran la placa Arduino Uno, la Raspberry Pi 4 y el módulo ESP8266, cada una de estas opciones posee características únicas que las hacen ideales para diferentes aplicaciones, la elección entre ellas depende de las necesidades y objetivos del proyecto en cuestión, incluyendo la complejidad del sistema, el costo, el consumo de energía y la facilidad de programación, las tres plataformas tienen sus ventajas y desventajas, incluyendo la complejidad del sistema, el costo, el consumo de energía y la facilidad de programación.

En este análisis, se explorarán las características cada una de estas placas.

Arduino es una plataforma de hardware libre que se utiliza para el desarrollo de proyectos electrónicos de bajo costo y fácil implementación, es ideal para proyectos que requieren el control de dispositivos electrónicos, como sensores y actuadores, y que no requieren mucha potencia de procesamiento. Arduino es muy fácil de programar, ya que utiliza un lenguaje de programación basado en C++ y una interfaz de programación muy intuitiva.

Por otro lado, Raspberry Pi es un miniordenador que se utiliza para el desarrollo de proyectos de mayor complejidad y que requieren más potencia de procesamiento. Raspberry Pi puede ejecutar sistemas operativos completos como Linux, lo que lo hace ideal para proyectos que requieren interacción con redes y servicios web. Raspberry Pi

también puede utilizarse como un servidor de medios, para ejecutar juegos o para programar aplicaciones de inteligencia artificial y machine learning.

La placa NodeMCU v3 ESP8266 es una plataforma de desarrollo extremadamente versátil y económica que ha ganado popularidad en el ámbito de la IoT (Internet de las cosas) y proyectos de electrónica, basa en el chip ESP8266, que integra un microcontrolador de bajo consumo y un módulo Wi-Fi, lo que la hace ideal para aplicaciones que requieren conectividad a internet, además, su tamaño compacto y su amplio conjunto de pines GPIO permiten una fácil integración con sensores, actuadores y otros dispositivos electrónicos, es compatible con el entorno de desarrollo Arduino y la gran cantidad de recursos y librerías disponibles hacen que sea una opción atractiva tanto para principiantes como para expertos en electrónica.

Teniendo en cuenta la información proporcionada anteriormente, la Tabla 2 presenta una comparación de las tres placas mencionadas.

**Tabla 2***Comparación Raspberry pi 4, Placa Arduino Uno y ESP8266*

Característica	Raspberry Pi 4	Arduino Uno	NodeMCU v3 ESP8266
Microcontrolador	Broadcom BCM2711	ATmega328P	Tensilica L106 de 32 bits
Velocidad de CPU	1.5 GHz (Quad-core)	16 MHz	Hasta 80 MHz
Memoria RAM	2 GB, 4 GB o 8 GB DDR4	2 KB SRAM (ATmega328P)	50 KB a 160 KB RAM
Memoria Flash	Tarjeta SD	32 KB Flash	512 KB a 4 MB Flash
GPIO	40 pines GPIO	14 pines GPIO	16 pines GPIO
Interfaz USB	2 x USB 3.0, 2 x USB 2.0	1 x USB	1 x UART, 1 x SPI, 1 x I2C, USB
Interfaz Ethernet	Gigabit Ethernet	No	No
Interfaz Wi-Fi	Integrado (802.11 b/g/n/ac)	No	Integrado (802.11 b/g/n)
Sistema Operativo	Linux (Raspbian, etc.)	No	No
Consumo de energía	~2.5 W (sin periféricos)	Variable	Variable
Dimensiones	85.60 mm x 53.98 mm	68.6 mm x 53.4 mm	10 × 10 × 5 cm

*Nota.* Comparación de algunas placas de desarrollo.

**Selección de la Placa de Desarrollo a Utilizar**

Después del análisis previamente planteado, en el que se evaluaron las ventajas y desventajas de diversas placas de desarrollo disponibles para la creación del prototipo, se ha decidido optar por la placa NodeMCU v3 ESP8266, esta decisión se fundamenta en varias razones, en primer lugar, el módulo Wi-Fi integrado en la NodeMCU v3 ESP8266, a diferencia de la placa Arduino Uno, proporciona una conectividad fiable, esencial para

la transmisión de datos en tiempo real y para facilitar la integración en redes inalámbricas, lo cual es crucial para nuestro proyecto.

Además, las dimensiones físicas de esta placa son adecuadas para el diseño, permitiendo una integración eficiente y compacta en el prototipo sin comprometer su funcionalidad, algo que no se puede lograr con la tarjeta Raspberry Pi 3 debido a sus mayores dimensiones, por otro lado, la NodeMCU v3 ESP8266 también cuenta con una cantidad considerable de puertos de conexión, incluyendo múltiples pines GPIO (General Purpose Input/Output), que son necesarios para la conexión de diversos sensores y actuadores que forman parte del sistema.

Adicionalmente, se han considerado la posibilidad de futuras expansiones del proyecto, por lo que la flexibilidad y la capacidad de la NodeMCU v3 ESP8266 para admitir módulos adicionales y la posibilidad de interconectar más dispositivos a través de sus puertos de comunicación permiten esa escalabilidad; esta característica asegura que el sistema puede adaptarse y crecer conforme evolucionen las necesidades del proyecto, sin requerir cambios significativos en la infraestructura del hardware.

### **Evaluación de los Sensores Disponibles**

En cuanto a la selección del sensor o módulo integrado (biosensor de pulso oximetría y monitor de frecuencia cardíaca), se ha llevado a cabo una comparación entre el sensor MAX30102 y el DFRobot Gravity: MAX30102 (SEN0518).

El sensor MAX30102, desarrollado por Maxim Integrated, combina un pulsioxímetro y un monitor de frecuencia cardíaca. El pulsioxímetro, un método no invasivo, permite medir el porcentaje de saturación de oxígeno en la hemoglobina (SaO<sub>2</sub>)

de la sangre del paciente mediante un circuito fotoeléctrico. El MAX30102 requiere dos voltajes para su funcionamiento: 1.8V para la circuitería y un voltaje entre 3.3V y 5V para los LED rojo e infrarrojo. Este sensor integra ambos reguladores de voltaje en la placa, lo que simplifica la alimentación, haciéndolo ideal para aplicaciones portátiles como equipos de monitoreo médico, dispositivos de estado físico y wearables en general, gracias a su bajo consumo de corriente.

Por otro lado, el DFRobot Gravity: MAX30102 (SEN0518) es un módulo que incluye el chip Maxim MAX30102 y una unidad central de medida (UCM) con algoritmos de frecuencia cardíaca y oximetría en la sangre. Utiliza la tecnología PPG (PhotoPlethysmoGraphy), capaz de adquirir señales biológicas y enviarlas al microcontrolador integrado para su procesamiento, convirtiéndolas en valores de frecuencia cardíaca y oximetría. Además, se comunica a través de los protocolos I2C o UART, lo que lo hace altamente compatible con la mayoría de los microcontroladores que admiten estos protocolos.

Teniendo en cuenta la información proporcionada anteriormente, la Tabla 3 presenta una comparación de los sensores mencionadas.

**Tabla 3**

*Comparación Sensor Max30102 y Chip Max30102*

Características	MAX30102	SEN0518
Fabricante	Maxim Integrated	DFRobot
Voltaje de Operación	5V DC	3.3V ~ 5V
Consumo de corriente	60mA	< 15mA.
Comunicación	I2C	I2C/UART.
Rango de temperatura	-40°C hasta +85°C	-40°C ~ +85°C

Características	MAX30102	SEN0518
Dimensiones	21 mm x 15mm	25.5 mm×32 mm
Microcontrolador	No	Microcontrolador con algoritmo integrado

*Nota.* Comparación de sensores de medición de la frecuencia cardiaca y el nivel de oxígeno en la sangre.

### **Elección del Sensor a Utilizar**

Dado lo mencionado anteriormente, se opta por el sensor SEN0518 debido a sus mejoras con respecto al sensor Max30102, entre las mejoras se incluye la capacidad de comunicación dual mediante I2C/UART, presenta un menor consumo de corriente, la incorporación de un microcontrolador contribuye a la estabilidad de los datos obtenidos, y al procesarse en el propio microcontrolador, lo que reduce significativamente la carga sobre los recursos del controlador principal; esto lo convierte en una opción más robusta.

Basado en lo expuesto, la elección de dispositivos para este proyecto se fundamenta en la necesidad de controlar dispositivos electrónicos de manera eficiente, en este contexto, los componentes principales seleccionados para el prototipo son la tarjeta NodeMCU (ESP8266) y el SEN0518; en la Tabla 4 se mencionan los elementos que proporcionaron las capacidades requeridas para lograr los objetivos del proyecto de manera efectiva y sencilla.

## Recursos Necesarios Para la Implementación

**Tabla 4**

*Recursos Necesarios para la Implementación*

Recurso	Descripción	Presupuesto
Equipo Humano	Autores de la propuesta	\$1'000.000
Equipos y Software		\$224.861
	NodeMCU v3 ESP8266	\$ 16.660
	Chip Max 30102 (SEN0518)	\$142.800
	Equipo de computo	\$0.0
	Leds	\$5.400
	Zumbador	\$4.200
	Baquela Virgen	\$13.000
	Wifi	\$21.000
	Cable USB	\$ 9.701
	Regleta Conector Macho	\$6.000
	Regleta Conector Hembra	\$1.100
	Guante de billar	\$5.000
Viajes y Salidas de Campo	Pruebas	\$150.000
Materiales y suministros	Accesorios varios	\$800.000
Bibliografía	Acceso base de datos	\$100.000
<b>TOTAL:</b>		<b>\$2'274.861</b>

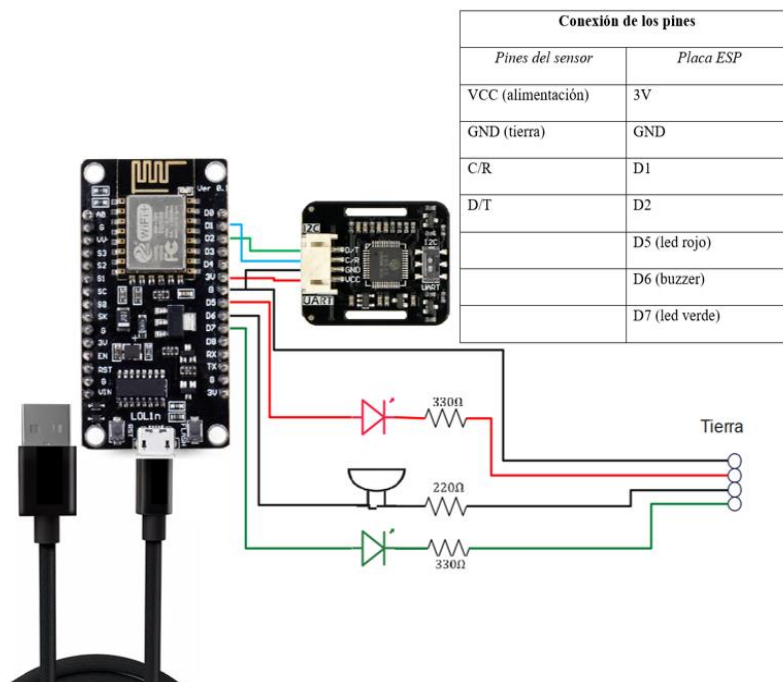
*Nota.* Relación de gastos de recursos para la implementación.

Para la alimentación de este prototipo de monitoreo de frecuencia cardíaca y nivel de oxígeno se utiliza el puerto USB que proporciona 5V de energía del Módulo Wifi NodeMCU V3 ESP8266, la visualización de los datos se llevará a cabo mediante el puerto serial de Arduino IDE, la plataforma web ThingSpeak, y una aplicación específica diseñada para el prototipo utilizando Blynk, en cuanto al control y el código serán gestionados por el software Arduino IDE, permitiendo que el módulo ESP8266 ejecute los comandos correspondientes; para este proyecto se emplea el sensor SEN0518, capaz de medir dos variables fisiológicas afectadas durante el inicio del sueño, por último, las conexiones físicas entre la tarjeta ESP8266, el sensor y los demás componentes se establecen mediante cables de conexión o jumpers, mientras que la comunicación interna entre la placa y el sensor se realiza a través del protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit).

### **Explicación Detallada del Funcionamiento de la Solución Implementada**

En este caso, se utiliza el protocolo I2C el cual permite la toma de datos por medio del puerto serial, implica conectar los pines de datos (SDA) y de reloj (SCL) del sensor a los pines correspondientes del ESP8266.

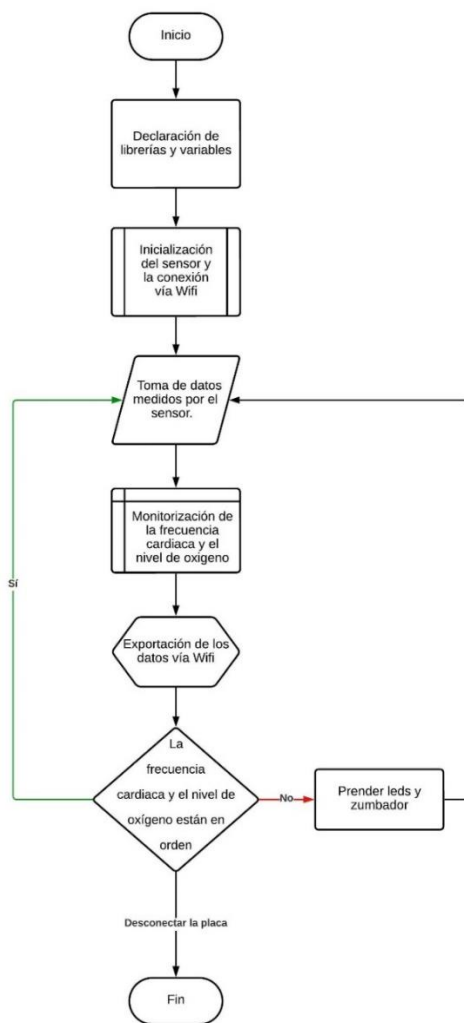
Además, se conectarán otros componentes para proporcionar alertas visuales y sonoras en caso de que se registren datos fuera de lo normal, estos componentes son 2 Leds para la alerta visual y un zumbador para la alerta sonora, se conectaron mediante jumpers a los puertos D5 (GPIO 14, puerto 14 para Arduino IDE), D7(GPIO 13, puerto 13 para Arduino ID) y D6 (GPIO 12, puerto 12 para Arduino IDE) respectivamente. En la Figura 1 se representan las conexiones de los componentes.

**Figura 1***Esquemático del Circuito*

*Nota.* Autoría propia. Diagrama del circuito.

Todos estos elementos se conectarán en un protoboard con sus respectivas resistencias y se conectarán a tierra a través de la placa ESP8266.

Para entender el funcionamiento del prototipo presentado en la Figura 2 se crea el siguiente diagrama de flujo:

**Figura 2***Diagrama de Flujo*

*Nota.* Autoría propia. Diagrama explicación del proceso.

A continuación, se ofrece una descripción general del código para visualizar los datos en el puerto serial y en la aplicación web ThingSpeak, (véase Apéndice C) del programa para Arduino IDE, en primera instancia se debe instalar la librería DFRobot\_BloodOxygen\_S, en el entorno de desarrollo Arduino IDE, esta librería incluye

un ejemplo de uso del sensor SEN0518, a partir del código ejemplo, se agrega la librería ESP8266WiFi.h para habilitar la compatibilidad con la placa ESP en el Arduino IDE, esta librería también posibilita la comunicación a través de WiFi.

La primera prueba de la conexión WiFi se realizó utilizando la página web ThingSpeak, lo que se añaden las líneas de código 4 a la 8 respecto al primer código (véase Apéndice B), además, se definen los pines a los que se conectarán los Leds y el zumbador, en base a las lecturas que recibe el sensor y los parámetros normales de las variables fisiológicas medidas, se colocan unos condicionales que verificarán que todo esté en orden, en caso de detectar alguna anomalía, se activarán los Leds correspondientes: el led rojo se encenderá si el nivel de oxígeno está por debajo del promedio, y el led verde indicará la frecuencia cardíaca, el zumbador emitirá un sonido si alguna o ambas mediciones están por debajo del nivel promedio.

Se crea un tercer código (véase Apéndice D) con el fin de visualizar los datos en la aplicación creada en Blynk, al igual que en el primer código, se parte del ejemplo que la biblioteca del sensor DFRobot\_BloodOxygen\_S tiene, se añade la librería ESP8266WiFi.h, y la librería BlynkSimpleEsp8266.h, la cual va a utilizar los datos de las líneas 17 a la 29 para realizar su conexión vía WiFi, en la línea 55 se le asignan dichos parámetros, en la línea 61 se inicializa y las líneas 62, 63, 64, sirven para definir que variables se están exportando y a que puerto van a llegar, también se colocan los condicionales para verificar que todos los datos recibidos estén en orden, para este código no se realiza el uso del puerto serial para visualizar los datos, pero se pueden ver desde el celular y desde un pc gracias a Blynk.

## **Resultados**

Se han identificado y analizado exhaustivamente las características humanas que influyen en la fatiga del conductor, estableciendo las variables de frecuencia cardiaca y el nivel de oxígeno en la sangre, parámetros que permiten la detección temprana del micro sueño, en base a la investigación realizada, se establece que estas variables son fundamentales para la efectividad del prototipo desarrollado.

Tras una exhaustiva investigación y evaluación de las tecnologías disponibles en el mercado, se ha seleccionado la más adecuada y compatible con las necesidades del proyecto, esta se basa en criterios de eficiencia, precisión y viabilidad técnica y económica.

Se ha logrado diseñar un prototipo innovador que integra tecnologías emergentes para la detección precisa de las variables fisiológicas asociadas al micro sueño en conductores de carga pesada.

Al inicio y durante el proceso de desarrollo del proyecto, se realizaron pruebas exhaustivas con ambos sensores mencionados para evaluar su desempeño en la detección de las variables seleccionadas que son frecuencia cardiaca y el nivel de oxígeno, se encontró que el chip Max 30102 SEN0518 ofrecía una lectura más estable de las variables en comparación con el sensor Max30102, también mencionar que se encontraron varias versiones del sensor Max30102, muchas de las cuales presentaban defectos de fábrica, esta situación y la estabilidad en la lectura de datos es fundamental para garantizar la precisión y fiabilidad del sistema en la detección oportuna del micro sueño, un factor crítico para la seguridad vial.

Por otra parte, se consideró la posibilidad de utilizar la Placa Arduino Uno en el prototipo, sin embargo, se descartó esta opción debido a las limitaciones en términos de tamaño y la falta de capacidad para la conexión Wi-Fi; en su lugar, se optó por la NodeMCU v3 ESP8266, que no solo proporciona las funcionalidades necesarias para la conexión Wi-Fi, sino que también es lo suficientemente compacta para integrarse eficientemente en el diseño del prototipo, la combinación del chip MAX30102 y la NodeMCU v3 ESP8266 permitió lograr una recolección y transmisión de datos eficiente, lo que es esencial para el correcto funcionamiento del sistema y su capacidad de enviar alertas en tiempo real a los conductores.

### **Figura 3**

*Foto Prototipo Inicial*



*Nota.* Autoría propia. Montaje inicial del circuito.

En la Figura 3 se visualiza el prototipo en donde se muestran las conexiones físicas realizadas, específicamente los puertos utilizados con el módulo ESP8266,

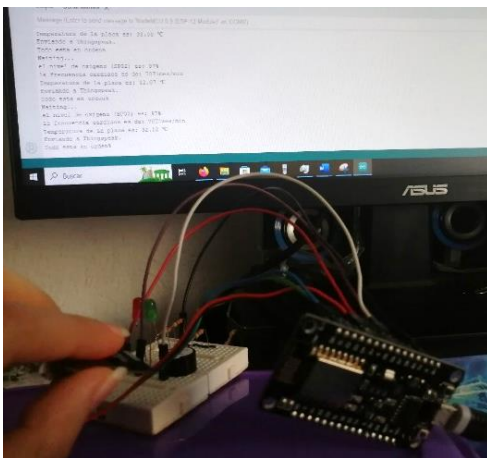
inicialmente, se usó una protoboard para verificar que el sistema funcionara correctamente, con el fin de evitar posibles errores en el prototipo final.

Las primeras pruebas realizadas utilizan un código (véase Apéndice B) que únicamente permite la visualización de los datos en el puerto serial del Arduino IDE, en la Figura 4 se observa el prototipo inicial con dicho código, el cual también posee los condicionales que corresponden a cada variable a medir, dependiendo de su valor, se encenderán las alertas visuales y sonoras, en este y los demás códigos utilizados para el proyecto, los condicionales son los siguientes:

- Nivel de oxígeno  $\leq 80\%$  : se enciende el led rojo.
- Frecuencia cardíaca  $\leq 60\%$ : se enciende el led verde.

#### Figura 4

##### *Visualización en el Puerto Serial*



*Nota.* Autoría propia. Montaje y visualización de datos.

En esta imagen (véase Figura 4) se ve el prototipo en la protoboard y los datos que el sensor está recibiendo, esto último se visualiza mediante el puerto serial, en este caso todas las mediciones realizadas están dentro del rango establecido anteriormente, se indica el nivel de oxígeno, la frecuencia cardíaca y la temperatura del sensor, en caso de que alguna de las dos primeras variables esté fuera de su rango, se indicará también con un mensaje.

Después de realizar las conexiones de los dispositivos y verificar su correcto funcionamiento, como se mencionó en la introducción de este documento, se empezará con la exportación de los datos; para ello, se llevó a cabo una prueba inicial utilizando la aplicación web de ThingSpeak.

ThingSpeak, fue desarrollada por MathWorks y es una plataforma ampliamente utilizada en proyectos de IoT; según la página oficial de (The MathWorks, 2024) “ThingSpeak es una plataforma IoT analytics la cual permite analizar, visualizar y agregar datos de sensores y dispositivos IoT (Internet de las Cosas) en tiempo real”, algunas de las características de esta plataforma son:

- Canales de datos Cada canal puede almacenar datos de hasta ocho campos.
- Gráficos en tiempo real Visualización de datos mediante gráficos.
- Análisis y procesamiento de datos Integración con MATLAB para análisis de datos.

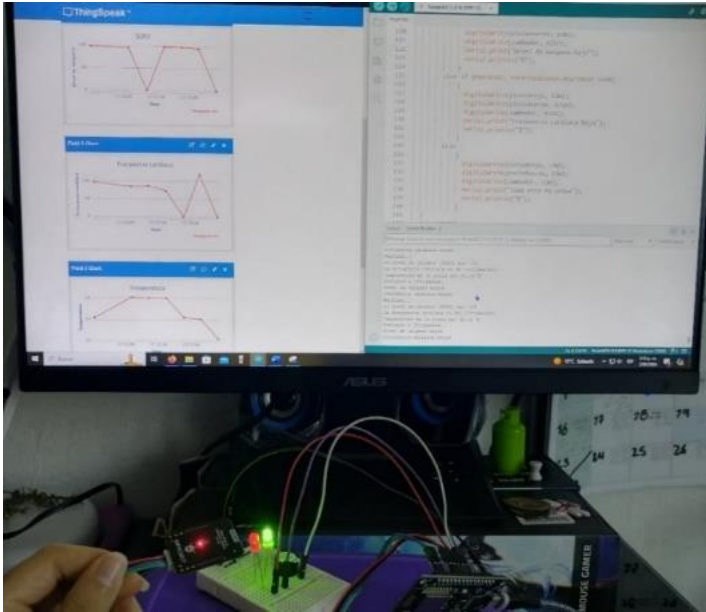
Ya teniendo un concepto sobre esta plataforma, en la prueba realizada se creó un canal donde se van a visualizar los datos que obtiene el sensor en tiempo real mediante

gráficas, cada variable cuenta con un campo específico dentro de ese canal, independiente de los otros campos, donde los datos se pueden enviar y almacenar.

En la Figura 5 se observan nuevamente las conexiones de todos los componentes y a su vez se muestran los datos que al encender el prototipo se están recibiendo tanto en el puerto serial como en la aplicación web de ThingSpeak.

### Figura 5

*Visualización en el Puerto Serial y en el Canal de ThingSpeak*



*Nota.* Autoría propia. Visualización datos.

Para ver los resultados obtenidos (véase Apéndice E) en donde se procede a realizar una prueba durante 10 minutos para verificar su funcionamiento, registrando los valores y analizando las perturbaciones que puedan existir, cabe decir que el sensor fue colocado en el dedo índice izquierdo y con una mañilla asegurando lo a este, esta prueba

fue realizada con el prototipo en protoboard y con el segundo código propuesto en el documento (véase Apéndice C).

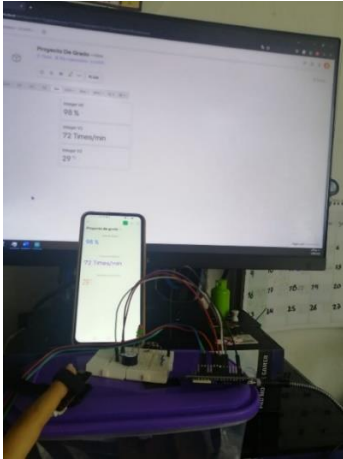
En este proyecto, se cuenta con una segunda opción para realizar la exportación de datos, realizando la modificación en el segundo código (véase Apéndice C y Apéndice D) y la utilización de la plataforma Blynk.

Según la página de (Blynk Inc, 2024), Blynk es una plataforma para la Internet de las Cosas (IoT) que permite la creación de aplicaciones móviles y web para controlar y monitorear dispositivos electrónicos conectados; facilita la visualización de datos de sensores y el control remoto con aplicaciones móviles y web, es compatible con microcontroladores como Arduino, Raspberry Pi, ESP8266, y los datos recibidos son visualizados tanto en la aplicación web como en la móvil, la creación de estas aplicaciones móviles se realiza de manera intuitiva mediante la técnica de arrastrar y soltar elementos, sin necesidad de escribir código.

El desarrollo de esta aplicación móvil dedicada, proporciona una mayor versatilidad y accesibilidad en la visualización y gestión de los datos recopilados, facilitando la monitorización del estado del conductor. En la Figura 6 se observa el resultado obtenido con el tercer código (véase Apéndice D) y la plataforma de Blynk.

## Figura 6

*Visualización en la Aplicación Web y la Aplicación Móvil*



*Nota.* Autoría propia. Visualización datos en aplicación.

Durante la medición de los datos en ambas plataformas y más a lo largo de la prueba de diez minutos, se observó que el sensor de frecuencia cardíaca y oximetría registraba datos erróneos en ciertos momentos, esto se debía a que la manilla que ajusta el sensor no lo sostenía adecuadamente, causando movimientos que afectaban la precisión de las lecturas, para obtener una lectura más estable, se ha decidido integrar el sensor en un guante, lo cual proporcionará una mayor estabilidad y eliminará las perturbaciones en los datos, e incluso da mayor comodidad.

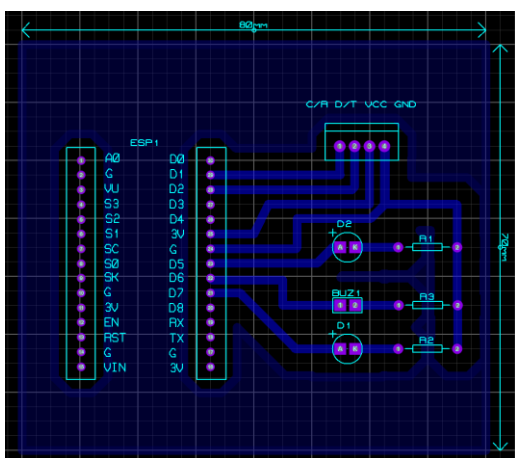
Ya con la creación de los diversos lugares para visualizar los datos y la comprobación de su correcto funcionamiento, se procede a crear el prototipo final de este proyecto el cual va a ser la creación de una baqueta con el circuito planteado en los planos, para ello se va a utilizar el programa de Proteus8 en donde se debe colocar el

circuito, este programa permite crear PCB e importar el archivo para impresión, incluso mirar el modelo 3D como quedaría

Para crear el circuito en la aplicación, se debe instalar la librería NODEMCU-ESP8266, luego seleccionar y organizar los demás según el circuito creado, luego se abre la pestaña de creación de PCB y se organizan los componentes, se procedió a realizar un corte de 8 cm X 8 cm en la baquela virgen, teniendo en cuenta las dimensiones de la Figura 7 obtenidas del programa Proteus8.

### Figura 7

#### Diseño de PCB



*Nota.* Autoría propia. PCB

Se realizó el planchado en la baquela para que la tinta de la impresión se quede en esta y se evidenció que el tamaño para los pines del ESP estaban mal ubicados, ya que el diseño de la librería en Proteus, a pesar de que en la descripción del componente dice la medida correcta, a la hora de la impresión los pines entre columnas están más unidos, por

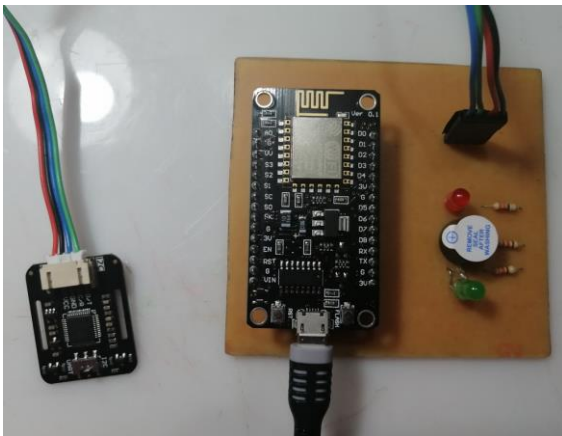
ello se procede a corregir esto en la baquela, luego se realiza el quemado de la PCB con ácido férrico en baño maría.

Ya quemada la baquela, con una esponja de alambre se quita a película negra que protege la pista de cobre, finalmente se abren los agujeros de la baquela y se sueldan los componentes como corresponden, teniendo en cuenta que en la ubicación del sensor y de la placa ESP se van a colocar una parte de la regleta de pines macho y hembra respectivamente

Ya soldados los componentes como lo muestra la Figura 8 se conectaron la aplaca ESP y el sensor a los pines correspondientes.

### **Figura 8**

*Prototipo Final (Sin Guante)*



*Nota.* Autoría propia. Montaje final.

Para mayor estabilidad de la lectura realizada se implementó el sensor en un guante, como lo muestra la Figura 9.

## Figura 9

### *Prototipo Final*



*Nota.* Autoría propia. Prototipo final.

A partir de este punto, se realizaron una serie de pruebas en las dos plataformas mencionadas en el documento (ThingSpeak y Blynk). Es importante tener en cuenta las limitaciones de ambas plataformas en su versión gratuita, por ejemplo, ThingSpeak solo permite la creación de cuatro canales por cuenta, tiene un intervalo de muestreo de 15 segundos y por canal se pueden guardar hasta 99 muestras priorizando las más recientes y descartando las más antiguas, por otro lado, Blynk ofrece un muestreo continuo, pero no permite el almacenamiento de datos anteriores, mostrando solo los datos actuales.

De las pruebas realizadas se puede destacar:

La primera prueba realizada (véase Apéndice E) posee errores en la lectura del sensor, el primer error de lectura se observa en el minuto 20:03:19 en donde el nivel de oxígeno en la sangre llega a un valor de -1, según los códigos realizados (véase Apéndice B, Apéndice C, Apéndice D), estos valores negativos son vistos cuando no hay una buena

lectura; esta prueba, como se mencionó antes es la que se realizó cuando el prototipo aún estaba en protoboard y el sensor era ajustado por una manilla y no por un guante.

En la segunda prueba realizada (véase Apéndice F), se utilizó el prototipo final (en baqueta y con guante), gracias a ello no se presencian datos erróneos en la lectura, además, se observa que en este caso se registró una frecuencia cardiaca de 58 lpm, mientras que el nivel de oxígeno se encontraba al 91%.

En el Apéndice G se registraron datos a partir de las 14:40:15 del día, horario en el que, para este caso, la frecuencia cardiaca indico valores por debajo de 60 lpm, estando en un rango de entre 73 lpm y 54 lpm.

La prueba documentada en el Apéndice H, inicio a partir de las 20:08:32, en esta prueba se evidencia en específico la frecuencia cardiaca oscilo entre 69 lpm y 96 lpm. Como se dijo en párrafos anteriores, la aplicación de Blynk solo muestra los datos registrados en ese momento, por ello para hacer una prueba de prototipo se optó por grabar la pantalla durante el tiempo de la prueba, la cual inicio a las 19:25:48.

En la séptima prueba ocurre un error en la gráfica de ThingSpeak, puesto que la prueba inicio a las 18:14:00, más sin embargo al colocar el cursor en alguno de los datos de las gráficas, indica que fue a las 13:14:00, para ver los datos correctos se debe realizar la exportación de los datos desde la página (Export recent data (JSON)).

El caso particular de la octava prueba registrada en el Apéndice N, indica una frecuencia cardiaca que durante toda la toma de los datos estuvo en el rango de 51 lpm y 66 lpm, donde 66 lpm fue la frecuencia cardiaca más alta obtenida, a diferencia de la siguiente

prueba (véase Apéndice O) la cual registro datos de la frecuencia cardiaca en un rango de 118 lpm y 74 lpm, en esta prueba sucede lo mismo que con la prueba anterior, los datos de la hora de inicio de la prueba en la gráfica están erróneos, indica que la prueba inicio a las 17:43:12 y termino a las 17:55:11, cuando realmente inicio a las 22:43:12 y termino a las 22:55:11.

La undécima y última prueba se realizó durante un periodo de tiempo de más de 30 minutos, en esta prueba se observó que ThingSpeak también posee un límite de la cantidad de registros que guarda, es decir 100; en caso en que un nuevo dato aparezca, ThingSpeak borrara el dato más antiguo para almacenar el nuevo registro. Esto se puede evidenciar ya que el inicio de la prueba fue a las 19:21:47 y el dato guardado más antiguo es el número 85 el cual está indicado en la hora 19:42:53, como se evidencia en la Figura 31, dando un límite de tiempo de muestreo de 30 minutos, durante el periodo de toma de estos datos se observó una recolección de datos estables y sin ninguna caída de la frecuencia cardiaca por debajo de 60 lpm.

## Conclusiones

El desarrollo del prototipo para la detección del micro sueño mediante el monitoreo de variables fisiológicas en conductores de carga pesada a nivel nacional representa una herramienta capaz de identificar tempranamente los episodios de micro sueño, este sistema tiene el potencial de reducir mínimamente la accidentalidad relacionada con la fatiga al volante.

El aprovechamiento de los conocimientos de ingeniería electrónica en conjunto con tecnologías emergentes presenta una oportunidad única para desarrollar soluciones innovadoras y efectivas que aborden diversas problemáticas, como los accidentes causados por el micro sueño. Al combinar la capacidad de detección de sensores avanzados, el procesamiento de datos mediante placas de desarrollo y la conectividad para la comunicación y respuesta rápida, es posible crear un sistema integral que contribuya a mejorar esta situación.

Además, la integración de esta innovadora solución tecnológica en la gestión del transporte establece un nuevo estándar de seguridad y responsabilidad en el sector de carga pesada. Este desarrollo subraya la importancia de abordar proactivamente los riesgos asociados con el micro sueño, destacando la necesidad de soluciones avanzadas para garantizar la seguridad y bienestar de los conductores y otros usuarios de las vías.

Se identificaron y analizaron diversas características humanas que influyen en la fatiga, tales como la variabilidad de la frecuencia cardíaca y los niveles de oxígeno en la sangre. A partir de estos estudios, se han definido parámetros específicos que permiten la detección de micro sueños. Estos parámetros se han integrado en el prototipo de

monitoreo, proporcionando una base científica robusta para la identificación temprana de la fatiga y los episodios de micro sueño en conductores.

Tras una exhaustiva evaluación de las tecnologías disponibles en el mercado, se seleccionaron los dispositivos más adecuados para la medición de la frecuencia cardíaca y el nivel de oxígeno en la sangre. Los criterios de selección incluyeron precisión, fiabilidad, facilidad de uso y compatibilidad con las necesidades específicas de los conductores de carga pesada.

Se diseñó un prototipo innovador que utiliza sensores avanzados para medir la frecuencia cardíaca y el nivel de oxígeno en la sangre en tiempo real. Este prototipo integra tecnologías emergentes de procesamiento de datos y conectividad. El diseño del prototipo se centró en la facilidad de uso y la fiabilidad.

Se llevaron a cabo pruebas del prototipo en condiciones controladas para evaluar su funcionamiento y precisión a la hora de obtener los datos de las variables. Los resultados obtenidos demostraron que el prototipo es capaz de detectar las alteraciones en las lecturas y así proporcionar alertas oportunas.

Este proyecto representa un pequeño aporte hacia la prevención de accidentes viales relacionados con la fatiga del conductor y el micro sueño, al abordar esta problemática desde una perspectiva multidisciplinaria y con un enfoque en la detección temprana, se espera contribuir a la seguridad vial y salvar vidas en las carreteras.

## **Recomendaciones**

### **Plan de Mejoras a Mediano Plazo**

Diseñar interfaces de usuario más intuitivas y fáciles de usar para los usuarios, de modo que las alertas de micro sueño sean comprensibles y de fácil interpretación, esto podría incluir la implementación de interfaces visuales, auditivas y táctiles que sean efectivas y no intrusivas.

Continuar investigando y explorando nuevas tecnologías emergentes que puedan mejorar aún más la eficacia y la usabilidad del dispositivo de detección de micro sueño, esto podría incluir el uso de realidad aumentada, sistemas de procesamiento de señales avanzados o técnicas de detección biométrica mejoradas.

Al implementar estas mejoras sugeridas, el proyecto podría avanzar significativamente en su capacidad para prevenir los accidentes causados por el micro sueño, mejorando la seguridad vial y protegiendo la vida de los conductores y otros usuarios de la carretera.

### **Plan de Mejoras a Largo Plazo**

Implementar sistemas de comunicación que permitan la conexión del dispositivo con otros sistemas de seguridad en el vehículo o con centros de monitoreo externos, esto facilitaría la coordinación de respuestas en tiempo real, como la activación de sistemas de asistencia a la conducción o la notificación a servicios de emergencia en caso de detección de fatiga extrema o micro sueño.

Llevar a cabo el desarrollo iterativo de prototipos que integren estas tecnologías emergentes y realizar pruebas exhaustivas en entornos controlados y reales para validar

su efectividad y fiabilidad en la detección y prevención de accidentes causados por micro sueño.

Utilizar algoritmos de IA para analizar los datos recopilados por los sensores en tiempo real y detectar patrones que indiquen la presencia de micro sueño o fatiga; la IA puede aprender de las características individuales de cada conductor y adaptarse para proporcionar alertas más precisas y personalizadas.

En cuanto a mejoras a largo plazo se sugiere la implementación un sistema de telemetría que permita exportar los datos a una aplicación diseñada para este proyecto.

Iniciar con pruebas de prototipo en conductores de transporte de carga pesada en un ambiente controlado, donde se simule el recorrido que ellos debe realizar.

Analizar el potencial del prototipo para ser utilizado por otros usuarios de vehículos, no solo de transporte de carga, sino también transportes pasajeros, usuarios de vehículo particular, entre otros.

## **Plan de Mantenimiento**

### **Plan de mantenimiento correctivo**

Identificación de la falla.

Aislamiento de la causa.

Reparación o reemplazo de componentes.

Pruebas y verificación.

Actualización de registros.

Análisis de causa raíz.

**Plan de mantenimiento preventivo**

Inspección visual regular.  
Limpieza.  
Calibración.  
Pruebas de funcionamiento.  
Actualizaciones de software.  
Capacitación y entrenamiento.  
Registro de mantenimiento.

**Plan de mantenimiento predictivo**

Establecer parámetros de referencia.  
Monitoreo en tiempo real.  
Análisis de tendencias.  
Alarmas y notificaciones.  
Mantenimiento programado.  
Seguimiento y documentación.  
Mejora continua.

## Referencias

- Ale Ale, N., & Fabián, J. (2019). Computer vision techniques for detection of physiological status eyes drivers. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 27(4), 564–572. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000400564>
- ANSV. (2024, August 8). *Cifras año en curso / Agencia Nacional de Seguridad Vial*. <https://ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/cifras-ano-en-curso>
- Arias Martijena, A., Alexander Castillo Ruíz, A., Isaac Roa Arias, Á., Bidó Cuello, E., García Maimó, J., Mariano-Hernández Miguel Euclides Aybar Mejía, D., citar, C., Mejía, A., Martijena, A., Ruíz, C., Arias, R., Cuello, B., & Maimó, G. (2021). Protocolos y topologías utilizadas en los sistemas de comunicación de las microrredes eléctricas. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 4(1), 81–95. <https://doi.org/10.22206/CYAP.2021.V4I1.PP81-95>
- Barragán-Bustamante, E., Blanco-Ochoa, M., Rosales-Iriarte, C., Díaz-Charris, L., Citar, P., Barragán Bustamante, E., Ochoa, M. B., Rosales Iriarte, C., & Diaz, L. (2020). Aplicaciones de Monitoreo de Frecuencia Cardiaca sobre plataformas Open Source: Una revisión sistemática. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 2(2), 1–9. <https://doi.org/10.17981/BILO.2.2.2020.1>
- Blynk Inc. (2024). *Blynk: a low-code IoT software platform for businesses and developers*. <https://blynk.io/>
- Briones-Mera Angela, Barreto-Rosado Miriam Enriqueta, Zambrano-Loor Liricis Yamara, & Briones-Bermeo Narciza Paulina. (2021). *Politraumatismos por*

*Accidentes de Tránsito Multiple Trauma from Traffic Accidents Trauma múltiplo de accidentes de tránsito.* <https://doi.org/10.23857/pc.v6i11.3288>

Cadavid, D. I. V., & Garrido, P. A. F. (2019). *Fisiología del sueño.*

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjS3Z\\_TjYr-](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjS3Z_TjYr-AhXpfjABHUopAWEQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fsc.org.co%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F09%2FFisiolog%25C3%25ADa-del-sue%25C3%25B1o-1.pdf&usg=AOvVaw0LM8LbNta_IH5qZE8hTewv)

[AhXpfjABHUopAWEQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fsc.org.co%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F09%2FFisiolog%25C3%25ADa-del-sue%25C3%25B1o-1.pdf&usg=AOvVaw0LM8LbNta\\_IH5qZE8hTewv](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjS3Z_TjYr-AhXpfjABHUopAWEQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fsc.org.co%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F09%2FFisiolog%25C3%25ADa-del-sue%25C3%25B1o-1.pdf&usg=AOvVaw0LM8LbNta_IH5qZE8hTewv)

Caracol Radio. (2017). *Accidentes causados por el microsueño ¡No se duerma! Vea los impresionantes accidentes causados por el microsueño : ¡No se duerma! Vea los impresionantes accidentes causados por el microsueño.*

[https://caracol.com.co/radio/2017/10/13/nacional/1507922473\\_902628.html](https://caracol.com.co/radio/2017/10/13/nacional/1507922473_902628.html)

cesvicolombia. (2022, January 19). *FATIGA AL VOLANTE: UNA DE LAS*

*PRINCIPALES CAUSAS DE ACCIDENTALIDAD VIAL - Cesvi Colombia.*

Comunicado, Prevención Vial. <https://www.cesvicolombia.com/fatiga-al-volante-una-de-las-principales-causas-de-accidentalidad-vial/>

DFRobot. (n.d.). *Gravity: MAX30102 Heart Rate and Oximeter Sensor Wiki - DFRobot.*

Retrieved July 2, 2024, from

[https://wiki.dfrobot.com/SKU\\_SEN0518\\_Gravity\\_MAX30102\\_Heart\\_Rate\\_and\\_Oximeter\\_Sensor](https://wiki.dfrobot.com/SKU_SEN0518_Gravity_MAX30102_Heart_Rate_and_Oximeter_Sensor)

- Electronilab. (2024a). *Baquela Virgen Una Cara Fibra de Vidrio PCB Sin Perforar FR-4 10cm x 15cm* - Electronilab. <https://electronilab.co/tienda/baquela-virgen-una-cara-fibra-de-vidrio-pcb-sin-perforar-fr-4-10cm-x-15cm/>
- Electronilab. (2024b). *Regleta Conector Hembra 2.54mm 40x1 pines* - Electronilab. <https://electronilab.co/tienda/regleta-hembra-2-54mm-40-pines/>
- Electronilab. (2024c). *Regleta Conector Macho 2.54mm 40x1 pines* - Electronilab. <https://electronilab.co/tienda/regleta-conector-macho-2-54mm-40-x-1-pines/>
- Espejo Tuco, G. (2021). *Sistema domótico para personas con discapacidad visual mediante el NODEMCU ESP8266 y reconocimiento de voz*. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/30639>
- Espressif Systems IOT Team. (2015). *ESP8266EX Datasheet*. <http://bbs.espressif.com/>
- Estefanía, S. T. (2015). *Sueño y condiciones de salud y trabajo en conductores de transporte especial, ciudad de Bogotá, 2012-2013*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56015>
- Fox, S. I. (2023). *Fisiología humana, 15e* | AccessMedicina | McGraw Hill Medical. <https://accessmedicina.mhmedical.com/book.aspx?bookid=3384>
- ICAO. (2020). *Doc 9966 - Manual para la supervisión de los enfoques de gestión de la fatiga*. <https://elibrary.icao.int/product/234627>
- Ipiiales Ruiz, S. D. (2020). *Tecnología de reconocimiento visual con android para la prevención de accidentes de tránsito causados por somnolencia en el conductor*. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/11219>

- Kurniawan, A. (2019). *Arduino Nano A Hands-On Guide for Beginner - Agus Kurniawan - Google Libros*.  
[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=pfiaDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=arduino+nano&ots=vVVw86bFWZ&sig=YffOGyeF\\_hOpn4CJ5V5AHri43ik&redir\\_esc=y#v=onepage&q=arduino%20nano&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=pfiaDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=arduino+nano&ots=vVVw86bFWZ&sig=YffOGyeF_hOpn4CJ5V5AHri43ik&redir_esc=y#v=onepage&q=arduino%20nano&f=false)
- Lenis, G., Reichensperger, P., Sommer, D., Heinze, C., Golz, M., & Dössel, O. (2016). Detection of microsleep events in a car driving simulation study using electrocardiographic features. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 2(1), 283–287. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2016-0063>
- López Aldea, E. (2018). *Raspberry Pi Fundamentos y Aplicaciones - Eugenio López Aldea - Google Libros*.  
[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=Zae6EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA82&dq=que+es+raspberry+pi&ots=yPTtVkjyhg&sig=5uz\\_ALFIHEMRzBT1NwAJEhKsBn8&redir\\_esc=y#v=onepage&q=que%20es%20raspberry%20pi&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=Zae6EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA82&dq=que+es+raspberry+pi&ots=yPTtVkjyhg&sig=5uz_ALFIHEMRzBT1NwAJEhKsBn8&redir_esc=y#v=onepage&q=que%20es%20raspberry%20pi&f=false)
- López Ballesteros, D. K., & Castro Assef, M. J. (2019). *DETERMINACIÓN DE LA INTERFASE VIGILIA/SOMNOLENCIA EN*.
- Lota, L. (2020). *ANSV recomienda abc para evitar micro sueños al volante en tiempos de aislamiento preventivo*.  
<https://mintransporte.gov.co/publicaciones/8310/ansv-recomienda-abc-para-evitar-micro-suenos-al-volante-en-tiempos-de-aislamiento-preventivo/>

Medina-Aman, G., Escobar-Segovia, K. F., & Arias-Ulloa, C. (2021). Factores de riesgo y su relación con la fatiga en conductores de una cooperativa de transporte interprovincial del Ecuador. *Revista San Gregorio*, 1(46).

<https://doi.org/10.36097/rsan.v1i46.1477>

Ministerio de Transporte. (2020). *Informe anual sobre el estado del transporte en Colombia*.

Ministerio de Transporte. (2024, September 2). *Transporte en Cifras*.

<https://mintransporte.gov.co/publicaciones/9443/transporte-en-cifras/>

Palma Castro Cristian David, & Rodríguez Osorio, S. (2011). *Vista de Tarjetas de Desarrollo: Herramientas para el diseño*. [https://itc-](https://itc-ojs.metabiblioteca.org/index.php/letras/article/view/104/100)

[ojs.metabiblioteca.org/index.php/letras/article/view/104/100](https://itc-ojs.metabiblioteca.org/index.php/letras/article/view/104/100)

Paredes Paz, J. E. (2021, November 9). *Tecnología que detecta microsueño en conductores: así funciona*. <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/tecnologia-que-detecta-microsueno-en-conductores-asi-funciona-631161>

pro-SIGNAL. (2016). *Buzzer Datasheet*. <https://components101.com/misc/buzzer-pinout-working-datasheet>

*Resolución 315 de 2013 Ministerio de Transporte*. (2013).

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51704>

Sawatari, H., Kumagai, H., Kawaguchi, K., Kiyohara, Y., Konishi, N., Arita, A., Hayashi, M., & Shiomi, T. (2024). Risk factors for collisions attributed to microsleep-related behaviors while driving in professional truck drivers.

*Scientific Reports* 2024 14:1, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57021-1>

Serna Ruiz, A., Ros García, F. A., & Rico Noguera, J. C. (2010). *GUÍA PRÁCTICA DE SENSORES* - Google Libros.

<https://books.google.com.co/books?id=CuoXCd6ZZqwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Skorucak, J., Hertig-Godeschalk, A., Achermann, P., Mathis, J., & Schreier, D. R.

(2020). Automatically Detected Microsleep Episodes in the Fitness-to-Drive Assessment. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 497967.

<https://doi.org/10.3389/FNINS.2020.00008/BIBTEX>

Soon, C. S., Vinogradova, K., Ong, J. L., Calhoun, V. D., Liu, T., Zhou, J. H., Ng, K.

K., & Chee, M. W. L. (2021a). Respiratory, cardiac, EEG, BOLD signals and functional connectivity over multiple microsleep episodes. *NeuroImage*, 237,

118129. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2021.118129>

Soon, C. S., Vinogradova, K., Ong, J. L., Calhoun, V. D., Liu, T., Zhou, J. H., Ng, K.

K., & Chee, M. W. L. (2021b). Respiratory, cardiac, EEG, BOLD signals and functional connectivity over multiple microsleep episodes. *NeuroImage*, 237.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118129>

StarTech. (2024). *2m Micro USB Cable-A to Micro B*. [www.startech.com/uk](http://www.startech.com/uk)

Stephens, C., & MacGill, M. (2023). *Heart rate: What is a normal heart rate?*

<https://www.medicalnewstoday.com/articles/235710>

- SURA. (2022, February 14). *Principales causas de accidentalidad en Colombia - Seguros SURA Colombia*. Blog Seguros SURA.  
<https://segurossura.com/co/blog/movilidad/principales-causas-de-accidentalidad-en-colombia/>
- Tatiana Velandia Bernal, Z., Lozano Rodríguez, M., & Katherine Baquero Mujica, G. (2021). *Aplicaciones móviles en salud, una revisión sistemática cualitativa*.  
<https://ciencia.lasalle.edu.co/optometria>
- The MathWorks, Inc. (2024). *ThingSpeak Documentation - MathWorks América Latina*.  
<https://la.mathworks.com/help/thingspeak/>
- Transurcar. (n.d.). *La importancia del transporte de carga en Colombia*.
- Urquiza Cuellar, M. L. (2022). *Importancia de la implementación de sistemas inteligentes, como apoyo a la gestión del transporte terrestre automotor de carga en Colombia*.  
<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11655>
- Vishay Semiconductors. (2017). *Vishay Semiconductors*. [www.vishay.com/doc?91000](http://www.vishay.com/doc?91000)
- Zachariah, P. (2021). *I2C, SPI y UART: Diferencias y cómo hacer el layout | Altium*.  
<https://resources.altium.com/es/p/i2c-vs-spi-vs-uart-how-layout-these-common-buses>
- Zaleha, S. H., Wahab, N. H. A., Ithnin, N., Ahmad, J., Zakaria, N. H., Okereke, C., & Huda, A. K. N. (2021). Microsleep Accident Prevention for SMART Vehicle via Image Processing Integrated with Artificial Intelligent. *Journal of Physics:*

*Conference Series*, 2129(1), 012082. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2129/1/012082>

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Especificaciones Técnicas*

##### ***Caracterización de los dispositivos:***

##### **Tarjeta NodeMCU v3 ESP8266:**

Datos obtenidos de Espressif Systems IOT Team. (2015).

Especificaciones técnicas:

Chip conversor USB-serial: CH340.

Velocidad de reloj: 16 MHz.

Voltaje de Alimentación: 5V DC.

Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3V DC.

Memoria Flash Externa: 4MB.

Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP.

Puertos de entrada y de salida:

10 GPIO, every GPIO can be PWM, I2C, 1-wire.

Pines Digitales GPIO: 17 (pueden configurarse como PWM a 3.3V).

Pin Analógico ADC: 1 (0-1V).

Otras 6 como entradas analógicas.

Alimentación:

Conexión USB:5V.

**Figura 10**

*Módulo Wifi NodeMCU V3 ESP8266 Esp12e WiFi CH340*



*Nota.* Sigma Electrónica, 2024. <https://www.sigmaelectronica.net/wp-content/uploads/2017/12/New-Wireless-Module-CH340-NodeMcu-V3-600x600.jpg>

**Chip Max 30102 SEN0518:**

Datos obtenidos de DFRobot. (s.f).

Especificaciones:

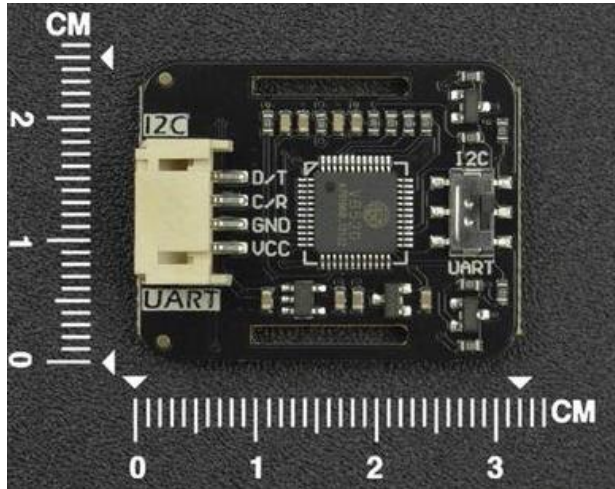
Voltaje de Operación: 3.3V - 5V DC.

Consumo de corriente: < 15 mA.

Protocolo de comunicación: I2C UART.

Temperatura de trabajo: -40°C hasta +85°C.

Dimensiones: 25.5 mm x 32mm.

**Figura 11***Chip Max 30102 SEN0518*

*Nota.* Sigma Electrónica, 2024. <https://www.sigmaelectronica.net/wp-content/uploads/2022/03/SEN0518-600x400.jpg>

**Equipo de cómputo:**

Nombre del dispositivo DESKTOP-B8O06N0.

Procesador Intel(R) Core (TM) i5-8250U CPU 1.60GHz 1.80 GHz.

RAM instalada 4,00 GB (3,88 GB utilizable).

Tipo de sistema: sistema operativo de 64 bits, procesador x64.

Lápiz y entrada táctil la entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla.

Edición: Windows 10 Home Single Language.

Versión: 21H2.

**Leds:**

Datos obtenidos de (Vishay Semiconductors, 2017).

Referencia y color:

Verde: BL-B2141.

Rojo: BL-B5141.

Cápsula (diámetro):

Verde: 3mm:

Rojo: 3mm:

Luminosidad:

Verde: 40 mcd.

Rojo: 10 mcd.

Longitud de onda:

Verde: 568 nm.

Rojo: 700 nm.

Ángulo:

Verde: 35°.

Rojo: 40°.

Corriente de alimentación:

Verde: 20 mA.

Rojo: 20 mA.

Tensión de alimentación:

Verde: 2,2 – 2,6 VDC.

Rojo: 2,2 – 2,6 VDC.

### **Figura 12**

*Diodo Led*



*Nota.* AV Electronics, 2024. <https://avelectronics.cc/wp-content/uploads/2023/10/LD002.jpg>

### **Zumbador:**

Datos obtenidos de pro-SIGNAL. (2016).

Marca A&t.

Modelo 3036.

Microcontrolador: Buzzer.

Voltaje de funcionamiento: 3-24v.

Voltaje mínimo de entrada recomendado - Voltaje máximo de entrada recomendado: 3V - 24V.

Voltaje mínimo de entrada límite - Voltaje máximo de entrada límite: 3V - 24V.

**Figura 13**

*Zumbador Buzzer 5VDC*



*Nota.* Sigma Electrónica, 2024. <https://www.sigmaelectronica.net/wp-content/uploads/2021/01/BUZZER-5V-600x600.png>

**Cable de datos USB:**

Datos obtenidos de StarTech. (2024).

Especificaciones:

Marca Genérica.

Modelo Microusb A Usb.

Conector de entrada: USB.

Conector de salida: Micro-USB.

Tipo de cable de datos USB.

Largo del cable 1m.

**Figura 14**

*Cable de Datos*



*Nota.* Mercado libre, 2024. [https://http2.mlstatic.com/D\\_NQ\\_NP\\_663125-MLM47726740815\\_102021-O.webp](https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_663125-MLM47726740815_102021-O.webp)

**Baquela Virgen:**

Datos obtenidos de Electronilab. (2024a)

Especificaciones:

PCB Virgen Una Cara.

Espesor: 1.5mm.

Material: FR-4 (fibra de vidrio).

Dimensión: 10 x 15 cm.

PCB Sin Perforar.

**Figura 15**

*Baquela Virgen una Cara*



*Nota.* Electronilab, 2024. <https://electronilab.co/wp-content/uploads/2022/11/Baquela-Virgen-Una-Cara-Fibra-de-Vidrio-PCB-Sin-Perforar-FR-4-10cm-x-15cm-1.jpg>

**Regleta Conector Macho:** Datos obtenidos de Electronilab. (2024c).

Especificaciones:

Regleta Conector Macho.

Modelo: 40P.

40×1 pines.

Espesor: 1.5mm.

Largo: 6mm.

Corto: 3mm.

Separación de 2.54mm.

**Figura 16**

*Regleta Conector Macho 2.54mm 40×1 Pines*



*Nota.* Electronilab, 2024. <https://electronilab.co/wp-content/uploads/2017/01/Regleta-Conector-Macho-2.54mm-40-x-1-pines.jpg>

**Regleta Conector Hembra:** Datos obtenidos de Electronilab. (2024b)

Especificaciones:

Regleta Conector Hembra.

40×1 pines.

Separación de 2.54mm.

**Figura 17**

*Regleta Conector Hembra 2.54mm 40×1 Pines*



*Nota.* Electronilab, 2024. <https://electronilab.co/wp-content/uploads/2017/01/Regleta-Conector-Hembra-2.54mm-40x1-pines.jpg>

## Apéndice B

*Código Arduino IDE Puerto Serial*

```
#include "DFRobot_BloodOxygen_S.h"

#define I2C_COMMUNICATION

#ifndef I2C_COMMUNICATION

#define I2C_ADDRESS 0x57

  DFRobot_BloodOxygen_S_I2C MAX30102(&Wire ,I2C_ADDRESS);

#else

#if defined(ARDUINO_AVR_UNO) || defined(ESP8266)

SoftwareSerial mySerial(4, 5);

DFRobot_BloodOxygen_S_SoftWareUart MAX30102(&mySerial, 9600);

#else

DFRobot_BloodOxygen_S_HardWareUart MAX30102(&Serial1, 9600);

#endif

#endif

int pinledrojo = 14; //D5 en placa

int pinledverde = 13; //D7 en placa

int zumbador = 12; //D6 en placa

void setup()

{

  Serial.begin(115200);
```

```
while (false == MAX30102.begin())
{
  Serial.println("init fail!");
  delay(1000);
}

Serial.println("init success!");
Serial.println("start measuring...");
MAX30102.sensorStartCollect();

pinMode(pinledrojo, OUTPUT); //definir pin como salida
pinMode(pinledverde, OUTPUT); //definir pin como salida
pinMode(zumbador, OUTPUT); //definir pin como salida
digitalWrite(pinledrojo, LOW);
digitalWrite(pinledverde, LOW);
digitalWrite(zumbador, LOW);
}

void loop()
{
  Serial.println("%");
  Serial.println("%");
  MAX30102.getHeartbeatSPO2();
}
```

```

Serial.print("el nivel de oxigeno (SPO2) es: ");
Serial.print(MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2);
Serial.println("%");
Serial.print("la frecuencia cardiaca es de: ");
Serial.print(MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat);
Serial.println("Times/min");
Serial.print("Temperatura de la placa es: ");
Serial.print(MAX30102.getTemperature_C());
Serial.println(" °C");
if ((MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2 <=80) &&
(MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat <=60)){
  Serial.print("Nivel de oxigeno bajo");
  Serial.println("%");
  Serial.print("Frecuencia cardiaca baja");
  digitalWrite(pinledrojo, HIGH);
  digitalWrite(pinledverde, HIGH);
  digitalWrite(zumbador, HIGH);
  Serial.println("%");
}
else if (MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2 <=80){
  Serial.print("Nivel de oxigeno bajo");
  digitalWrite(pinledrojo, HIGH);

```

```
digitalWrite(pinledverde, LOW);  
digitalWrite(zumbador, HIGH);  
Serial.println("%");  
}  
else if (MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat <=60){  
    Serial.print("Frecuencia cardiaca baja");  
    digitalWrite(pinledrojo, LOW);  
    digitalWrite(pinledverde, HIGH);  
    digitalWrite(zumbador, HIGH);  
    Serial.println("%");  
}  
else {  
    Serial.print("Todo esta en orden");  
    Serial.println("%");  
    digitalWrite(pinledrojo, LOW);  
    digitalWrite(pinledverde, LOW);  
    digitalWrite(zumbador, LOW);  
}  
  
    //The sensor updates the data every 4 seconds  
    delay(4000);  
}
```

## Apéndice C

*Código Arduino IDE para ThingSpeak*

```
#include <ESP8266WiFi.h>

#include "DFRobot_BloodOxygen_S.h"

String apiKey = " API key "; // Enter your Write API key from ThingSpeak

const char *ssid = "*****"; // replace with your wifi ssid and wpa2 key

const char *pass = "*****";

const char* server = "api.thingspeak.com";

WiFiClient client;

#define I2C_COMMUNICATION //use I2C for communication, but use the serial
port for communication if the line of codes were masked

#ifdef I2C_COMMUNICATION

#define I2C_ADDRESS 0x57

DFRobot_BloodOxygen_S_I2C MAX30102(&Wire ,I2C_ADDRESS);

#else

#ifdef(ARDUINO_AVR_UNO) || defined(ESP8266)

SoftwareSerial mySerial(4, 5);

DFRobot_BloodOxygen_S_SoftWareUart MAX30102(&mySerial, 9600);
```

```
#else

DFRobot_BloodOxygen_S_HardWareUart MAX30102(&Serial1, 9600);

#endif

#endif

int pinledrojo = 14; //D5 en placa

int pinledverde = 13; //D7 en placa

int zumbador = 12; //D6 en placa

void setup()

{

  Serial.begin(115200);

  while (false == MAX30102.begin())

  {

    Serial.println("init fail!");

    delay(1000);

  }

  Serial.println("init success!");

  Serial.println("start measuring...");

  MAX30102.sensorStartCollect();

  pinMode(pinledrojo, OUTPUT); //definir pin como salida
```

```
pinMode(pinledverde, OUTPUT); //definir pin como salida
pinMode(zumbador, OUTPUT); //definir pin como salida
digitalWrite(pinledrojo, LOW);
digitalWrite(pinledverde, LOW);
digitalWrite(zumbador, LOW);

Serial.println("Connecting to ");
Serial.println(ssid);

WiFi.begin(ssid, pass);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
}
```

```
void loop()
{
  //Serial.println("%");
  //Serial.println("%");

  MAX30102.getHeartbeatSPO2();

  if (client.connect(server,80) // "184.106.153.149" or api.thingspeak.com
  {
    String postStr = apiKey;
    postStr += "&field1=";
    postStr += String(MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2);
    postStr += "&field2=";
    postStr += String(MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat);
    postStr += "&field3=";
    postStr += String(MAX30102.getTemperature_C());
    postStr += "\r\n\r\n";

    client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
    client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
    client.print("Connection: close\n");
    client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: "+apiKey+"\n");
    client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
    client.print("Content-Length: ");
```

```
client.print(postStr.length());

client.print("\n\n");

client.print(postStr);

Serial.print("el nivel de oxigeno (SPO2) es: ");

Serial.print(MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2);

Serial.println("%");

Serial.print("la frecuencia cardiaca es de: ");

Serial.print(MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat);

Serial.println("Times/min");

Serial.print("Temperatura de la placa es: ");

Serial.print(MAX30102.getTemperature_C());

Serial.println(" °C");

Serial.println("Enviando a Thingspeak.");

    if ((MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2 <=80) &&
(MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat <=60))
    {
        digitalWrite(pinledrojo, HIGH);
        digitalWrite(pinledverde, HIGH);
        digitalWrite(zumbador, HIGH);
        Serial.print("Nivel de oxigeno bajo");
```

```
Serial.println("");

Serial.print("Frecuencia cardiaca baja");

Serial.println("");

}

else if (MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2 <=80)

{

digitalWrite(pinledrojo, HIGH);

digitalWrite(pinledverde, LOW);

digitalWrite(zumbador, HIGH);

Serial.print("Nivel de oxigeno bajo");

Serial.println("");

}

else if (MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat <=60)

{

digitalWrite(pinledrojo, LOW);

digitalWrite(pinledverde, HIGH);

digitalWrite(zumbador, HIGH);

Serial.print("Frecuencia cardiaca baja");

Serial.println("");

}

else

{
```

```
        digitalWrite(pinledrojo, LOW);  
        digitalWrite(pinledverde, LOW);  
        digitalWrite(zumbador, LOW);  
        Serial.print("Todo esta en orden");  
        Serial.println("%");  
    }  
}  
delay(1000);  
client.stop();  
Serial.println("Waiting...");  
}
```

## Apéndice D

*Código Arduino IDE para Blynk*

```
#include "DFRobot_BloodOxygen_S.h"

#define I2C_COMMUNICATION //use I2C for communication, but use the serial
port for communication if the line of codes were masked

#ifdef I2C_COMMUNICATION

#define I2C_ADDRESS 0x57

  DFRobot_BloodOxygen_S_I2C MAX30102(&Wire ,I2C_ADDRESS);

#else

#if defined(ARDUINO_AVR_UNO) || defined(ESP8266)

SoftwareSerial mySerial(4, 5);

DFRobot_BloodOxygen_S_SoftWareUart MAX30102(&mySerial, 9600);

#else

DFRobot_BloodOxygen_S_HardWareUart MAX30102(&Serial1, 9600);

#endif

#endif

#define BLYNK_PRINT Serial

#define BLYNK_TEMPLATE_ID "T*****"

#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Proyecto de grado"

#define BLYNK_AUTH_TOKEN "2*****"

#include <ESP8266WiFi.h>

#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
```

```
// Your WiFi credentials.

// Set password to "" for open networks.

char ssid[] = "*****";

char pass[] = "*****";

int pinledrojo = 14; //D5 en placa

int pinledverde = 13; //D7 en placa

int zumbador = 12; //D6 en placa

void setup()
{

  Serial.begin(9600);

  while (false == MAX30102.begin())
  {

    Serial.println("init fail!");

    delay(1000);

  }

  MAX30102.sensorStartCollect();

  pinMode(pinledrojo, OUTPUT); //definir pin como salida

  pinMode(pinledverde, OUTPUT); //definir pin como salida

  pinMode(zumbador, OUTPUT); //definir pin como salida

  digitalWrite(pinledrojo, LOW);

  digitalWrite(pinledverde, LOW);

  digitalWrite(zumbador, LOW);
```

```
Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);

}

void loop()
{
  MAX30102.getHeartbeatSPO2();

  Blynk.run();

  Blynk.virtualWrite(V0,String(MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2) + " %");
  Blynk.virtualWrite(V1,String(MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat) + "
Times/min");

  Blynk.virtualWrite(V2,MAX30102.getTemperature_C());

  if ((MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2 <=80) &&
(MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat <=60))
  {
    digitalWrite(pinledrojo, HIGH);
    digitalWrite(pinledverde, HIGH);
    digitalWrite(zumbador, HIGH);
  }

  else if (MAX30102._sHeartbeatSPO2.SPO2 <=80)
  {
    digitalWrite(pinledrojo, HIGH);
    digitalWrite(pinledverde, LOW);
```

```
        digitalWrite(zumbador, HIGH);
    }
else if (MAX30102._sHeartbeatSPO2.Heartbeat <=60)
{
    digitalWrite(pinledrojo, LOW);
    digitalWrite(pinledverde, HIGH);
    digitalWrite(zumbador, HIGH);
}
else
{
    digitalWrite(pinledrojo, LOW);
    digitalWrite(pinledverde, LOW);
    digitalWrite(zumbador, LOW);
}
}
```

## Apéndice E

### *Prueba Inicial en ThingSpeak*

En la Tabla 5 se encuentra la muestra de datos tomada el 14 de junio del 2024 durante 10 minutos seguidos, datos tomados con el prototipo en protoboard, inicio de la prueba 20:02:02, fin de la prueba 20:12:15, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 47, enlace de acceso:

<https://thingspeak.com/channels/2490665>

**Tabla 5**

### *Prueba Inicial ThingSpeak en Protoboard*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
20:02:02	97	73	33.07
20:02:17	97	78	33.05
20:02:33	97	77	33.06
20:02:48	98	92	33.03
20:03:03	98	77	33.07
20:03:19	-1	99	33.01
20:03:34	97	94	34.03
20:03:50	97	81	34.08
20:04:05	95	-1	34.04
20:04:21	96	-1	34.15
20:04:36	98	76	35.06

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
20:04:51	98	79	35.02
20:05:07	98	76	35.01
20:05:23	98	85	35.04
20:05:38	98	74	34.09
20:05:53	98	82	34.07
20:06:09	-1	95	34.07
20:06:24	98	82	34.04
20:06:39	98	69	34.04
20:06:54	97	68	34.07
20:07:10	98	73	34.06
20:07:25	96	70	34.01
20:07:40	98	81	34.06
20:07:55	96	69	33.11
20:08:11	97	72	34.09
20:08:26	98	95	34.06
20:08:41	98	110	35.04
20:08:56	96	81	34.13
20:09:12	98	96	34.12
20:09:27	97	82	34.08
20:09:42	95	90	35.05
20:09:57	97	84	34.13

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
20:10:13	96	82	35.12
20:10:28	98	71	34.13
20:10:43	97	87	35.04
20:10:59	95	87	35.08
20:11:14	97	87	35.03
20:11:29	97	70	35.14
20:11:44	98	74	35.14
20:12:00	97	96	35.13
20:12:15	-1	72	35.15
20:12:30	96	72	35.11
20:13:14	95	86	35.09
20:13:29	95	107	35.05
20:13:45	96	101	34.15
20:14:00	98	113	35.02
20:14:15	95	113	35.02

*Nota.* Prueba Inicial en ThingSpeak

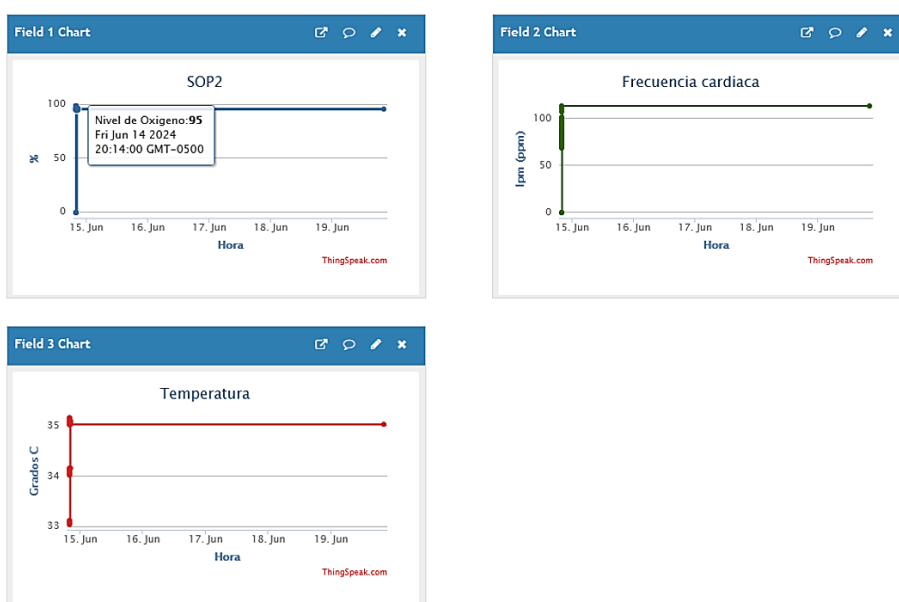
En la Figura 18 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 5.

## Figura 18

### *Gráfica Prueba Inicial ThingSpeak en Protoboard*

#### Channel Stats

Created: 4 months ago  
Last entry: about a month ago  
Entries: 47



*Nota.* Autoría Propia. Gráfica ThingSpeak Prueba inicial.

## Apéndice F

### *Primera Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

En la Tabla 6 se encuentra la muestra de la Prueba tomada el 15 de junio del 2024 durante 11 minutos seguidos, inicio de la prueba 4:54:31, fin de la prueba 5:05:29, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 44, enlace de acceso <https://thingspeak.com/channels/2566648>

**Tabla 6**

### *Primera Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
4:54:31	97	86	35.12
4:54:46	97	76	36.07
4:55:02	97	61	36.04
4:55:17	97	61	36.01
4:55:32	98	67	36.01
4:55:47	96	63	37
4:56:02	96	61	37.02
4:56:18	96	64	36.1
4:56:33	97	58	36.14
4:56:48	97	63	37
4:57:03	96	74	37.01
4:57:19	95	73	37.02

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
4:57:37	97	63	36.08
4:57:52	97	62	36.1
4:58:07	97	62	37.03
4:58:23	96	62	37.01
4:58:38	95	59	36.1
4:58:53	96	59	36.04
4:59:09	97	64	36.13
4:59:24	97	66	36.1
4:59:39	96	83	37.04
4:59:54	97	86	36.14
5:00:09	97	59	36.08
5:00:25	97	60	37.02
5:00:40	97	61	37.04
5:00:55	96	62	37.02
5:01:10	96	70	36.12
5:01:26	95	61	36.09
5:01:41	96	57	37.04
5:01:56	96	66	37.02
5:02:11	96	72	36.13
5:02:27	97	61	36.09
5:02:42	97	54	36.04

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
5:02:57	97	61	36.15
5:03:12	96	60	37
5:03:28	96	66	36.11
5:03:43	97	67	36.11
5:03:58	97	69	36.14
5:04:13	97	66	37.03
5:04:28	97	92	36.11
5:04:44	97	81	36.04
5:04:59	97	70	36.13
5:05:14	97	66	36.07
5:05:29	97	81	37.03

*Nota.* Prueba ThingSpeak prototipo final.

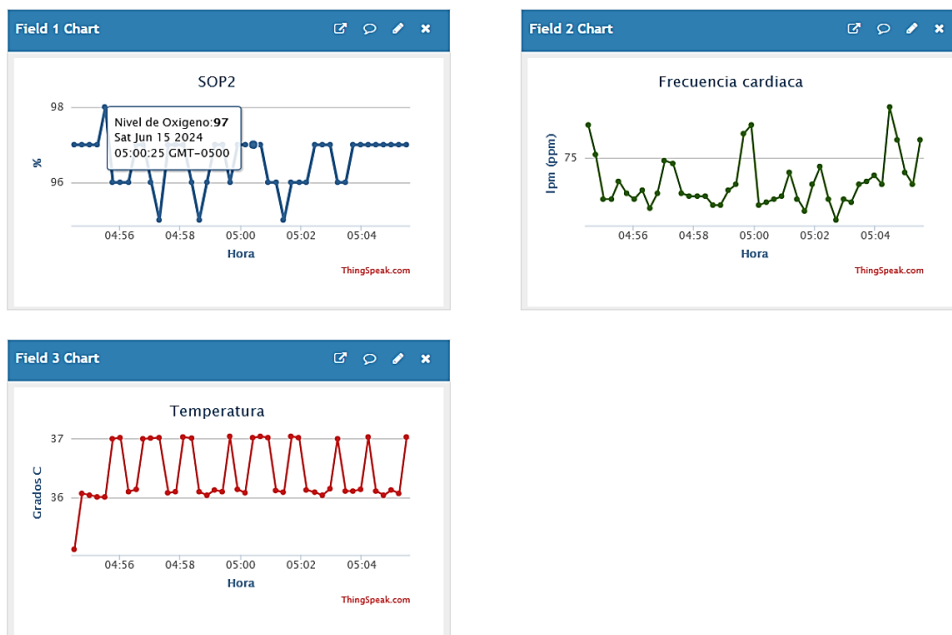
En la Figura 19 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 6.

## Figura 19

### *Grafica Primera Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

#### Channel Stats

Created: 2 months ago  
 Last entry: about a month ago  
 Entries: 44



*Nota.* Autoría Propia. Grafica primera prueba ThingSpeak

## Apéndice G

### *Segunda Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

En la Tabla 7 se encuentra la muestra de la prueba tomada el 15 de junio del 2024 durante 10 minutos seguidos, inicio de la prueba 14:40:15, fin de la prueba 14:50:59, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 43, enlace de acceso <https://thingspeak.com/channels/2578081>

**Tabla 7**

### *Segunda Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
14:40:15	100	65	26.04
14:40:30	100	54	26.05
14:40:45	100	61	26.1
14:41:01	100	64	26.07
14:41:16	100	67	26.06
14:41:31	100	62	26.15
14:41:46	100	62	27.14
14:42:02	100	57	26.15
14:42:17	100	55	27.07
14:42:32	100	62	27.04
14:42:48	100	64	28
14:43:03	100	64	27.12

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
14:43:18	100	59	28.09
14:43:34	100	57	28.05
14:43:50	100	63	28.08
14:44:06	99	58	28.12
14:44:21	100	54	28.1
14:44:36	99	56	28.02
14:44:51	99	60	28.1
14:45:07	100	60	28.13
14:45:22	100	66	29
14:45:37	100	66	28
14:45:53	100	58	28.05
14:46:08	100	64	28.1
14:46:23	99	57	28.07
14:46:39	99	55	28.08
14:46:54	99	56	28.14
14:47:09	99	64	29.05
14:47:24	99	57	29.02
14:47:40	99	55	28.15
14:47:55	99	58	28.15
14:48:10	99	62	28.15
14:48:26	99	56	29.06

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
14:48:41	99	59	28.15
14:48:56	99	59	29.09
14:49:12	99	75	28.12
14:49:27	100	71	29.03
14:49:43	99	70	29.02
14:49:58	100	73	29.08
14:50:13	100	66	29.04
14:50:29	99	70	29.09
14:50:44	99	68	29.01
14:50:59	99	64	28.1

*Nota.* Segunda prueba ThingSpeak

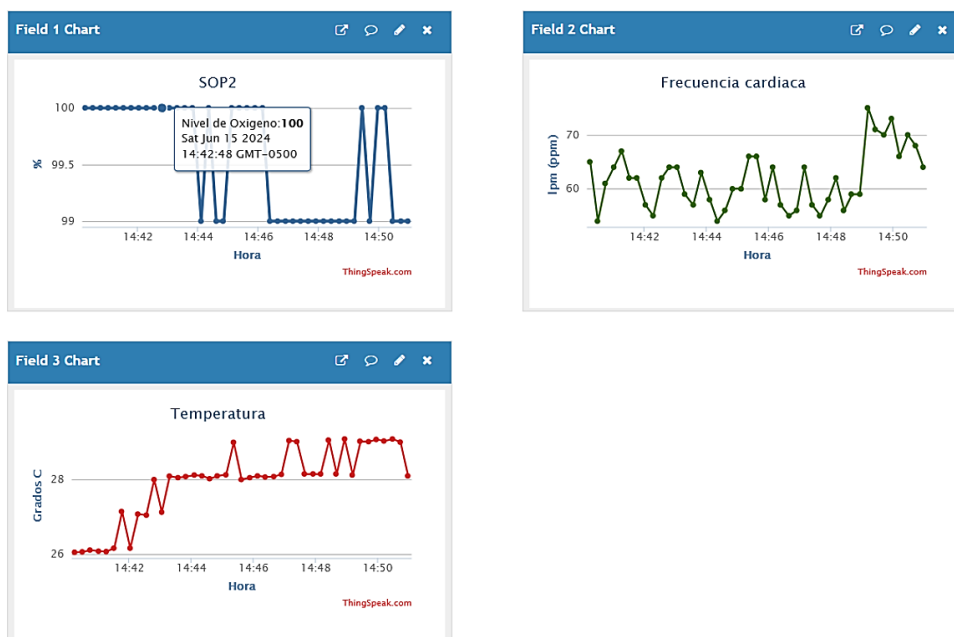
En la Figura 20 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 7.

## Figura 20

### Gráfica de la Segunda Prueba en ThingSpeak Prototipo Final

#### Channel Stats

Created: [about a month ago](#)  
 Last entry: [about a month ago](#)  
 Entries: 43



*Nota.* Autoría Propia. Grafica segunda prueba ThingSpeak

## Apéndice H

### *Tercer Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

En la Tabla 8 se encuentra la muestra de la prueba tomada el 16 de octubre del 2024 durante 11 minutos seguidos, inicio de la prueba 20:08:32, fin de la prueba 20:19:47, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 45, enlace de acceso <https://thingspeak.mathworks.com/channels/2697704>

**Tabla 8**

### *Tercera Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
20:08:32	99	82	32.06
20:08:48	99	82	31.08
20:09:03	99	81	32.08
20:09:19	99	78	32.06
20:09:34	99	75	31.15
20:09:49	99	69	32.03
20:10:05	99	79	31.06
20:10:20	99	77	31.15
20:10:35	99	81	32.00
20:10:53	99	79	32.00
20:11:08	99	82	31.07
20:11:23	99	79	31.04

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
20:11:39	99	82	31.11
20:11:54	99	84	31.14
20:12:09	99	79	31.09
20:12:24	99	74	31.10
20:12:40	99	75	31.08
20:12:55	99	79	31.05
20:13:10	99	78	31.00
20:13:26	99	71	31.00
20:13:41	99	75	31.02
20:13:56	99	71	31.12
20:14:11	99	79	31.03
20:14:27	99	83	31.09
20:14:42	99	81	31.05
20:14:58	99	84	31.10
20:15:13	100	83	31.1
20:15:28	99	82	31.07
20:15:43	99	96	31.07
20:15:59	99	88	31.08
20:16:14	99	79	30.15
20:16:29	99	86	31.11
20:16:44	99	87	31.05

---

Toma de datos

---

Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
20:17:00	99	84	31.03
20:17:15	99	77	31.07
20:17:30	99	76	30.10
20:17:45	99	76	31.02
20:18:01	99	78	31.03
20:18:16	99	79	31.06
20:18:31	99	76	30.10
20:18:46	99	79	31.07
20:19:02	99	85	31.04
20:19:17	99	83	30.15
20:19:32	99	77	31.02
20:19:47	99	74	30.12

---

*Nota.* Tercera prueba ThingSpeak.

En la Figura 21 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 8.

## Figura 21

### *Gráfica de la Tercera Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

Created: [a day ago](#)  
 Last entry: [about an hour ago](#)  
 Entries: 45



*Nota.* Autoría Propia. Grafica tercera prueba ThingSpeak.

## Apéndice I

### *Primera Prueba en Blynk Prototipo Final*

En la Tabla 9 se encuentra la muestra de la prueba tomada el 15 de junio del 2024 durante 11 minutos seguidos, inicio de la prueba 19:25:48, fin de la prueba 19:36:33, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 44, para esta prueba, como lo indicado en el desarrollo de este documento, la aplicación de Blynk no guarda todos los datos recibidos anteriormente, solo muestra los actuales, por ello se optó por grabar la pantalla durante el tiempo de la prueba, enlace de acceso <https://youtu.be/7ufRL3wRfL0>

### **Tabla 9**

#### *Primera Prueba Blynk Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
19:25:48	99	76	36
19:26:03	99	80	36
19:26:18	99	79	36
19:26:33	99	76	36
19:26:48	99	74	37
19:27:03	99	76	37
19:27:18	99	77	37
19:27:33	99	79	37
19:27:48	99	81	36

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
19:28:03	99	86	37
19:28:18	99	84	37
19:28:33	99	76	37
19:28:48	99	79	36
19:29:03	98	75	37
19:29:18	98	74	37
19:29:33	99	76	37
19:29:48	99	78	37
19:30:03	99	79	37
19:30:18	99	76	36
19:30:33	99	75	37
19:30:48	99	75	37
19:31:03	99	74	37
19:31:18	99	73	36
19:31:33	99	78	37
19:31:48	99	77	37
19:32:03	99	78	37
19:32:18	98	75	37
19:32:33	98	76	37
19:32:48	98	82	36
19:33:03	98	76	37

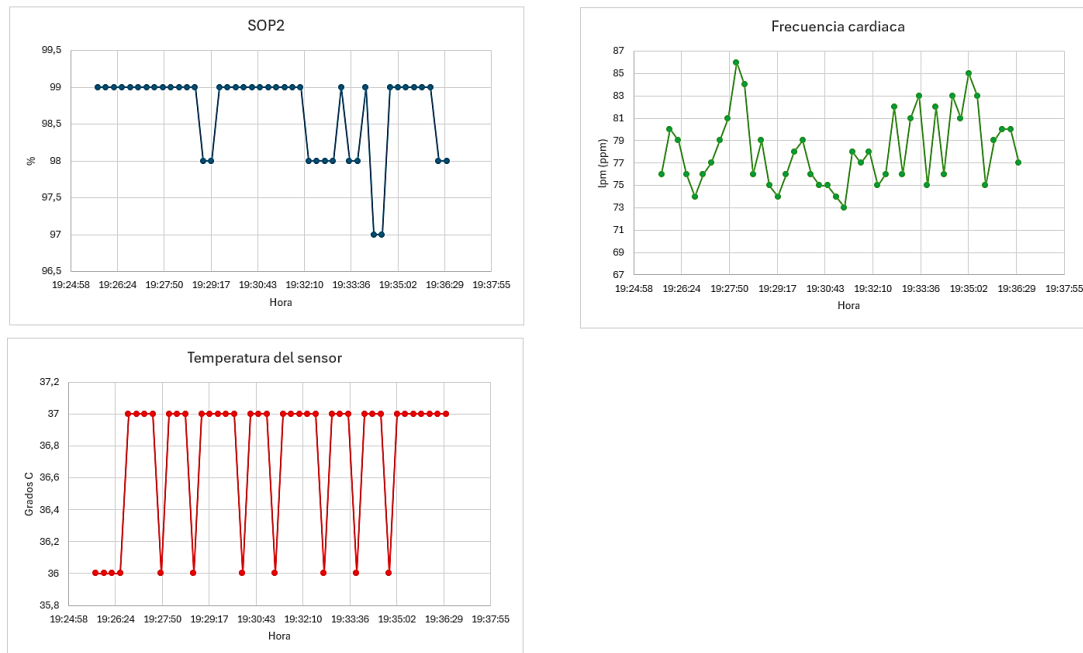
Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
19:33:18	99	81	37
19:33:33	98	83	37
19:33:48	98	75	36
19:34:03	99	82	37
19:34:18	97	76	37
19:34:33	97	83	37
19:34:48	99	81	36
19:35:03	99	85	37
19:35:18	99	83	37
19:35:33	99	75	37
19:35:48	99	79	37
19:36:03	99	80	37
19:36:18	98	80	37
19:36:33	98	77	37

*Nota.* Primera prueba Blynk.

En la Figura 22 se muestra el gráfico creado con los valores de la Tabla 9 mediante el programa de Excel.

## Figura 22

*Gráfica de la Primera Prueba en Blynk Prototipo Final*



*Nota.* Autoría Propia. Primera prueba Blynk.

## Apéndice J

### *Cuarta Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

En la Tabla 10 se encuentra la muestra de la prueba tomada el 17 de julio del 2024 durante 11 minutos seguidos, inicio de la prueba 21:14:25, fin de la prueba 21:25:36, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 44, enlace de acceso <https://thingspeak.com/channels/2601500>

**Tabla 10**

### *Cuarta Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
21:14:25	99	84	33.11
21:14:41	98	79	33.08
21:14:56	98	92	33.09
21:15:12	98	85	33.04
21:15:27	98	80	33.01
21:15:42	97	89	33.02
21:15:58	97	104	33
21:16:15	99	91	33
21:16:31	98	80	32.08
21:16:47	97	96	33.1
21:17:03	98	94	33.05
21:17:18	99	75	32.14

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
21:17:33	99	71	33.02
21:17:49	99	74	33.01
21:18:04	99	80	33.03
21:18:22	99	84	33.01
21:18:37	99	78	33.01
21:18:53	99	80	33.03
21:19:09	99	91	33
21:19:25	99	80	32.13
21:19:40	99	81	33.06
21:19:56	100	84	33.02
21:20:11	99	83	32.08
21:20:27	99	85	33.04
21:20:42	99	83	33.08
21:20:58	99	87	33.13
21:21:13	99	86	33.1
21:21:28	99	86	33.11
21:21:44	99	85	33.1
21:21:59	99	85	34.03
21:22:14	99	76	34.01
21:22:30	99	76	34
21:22:45	100	86	33.04

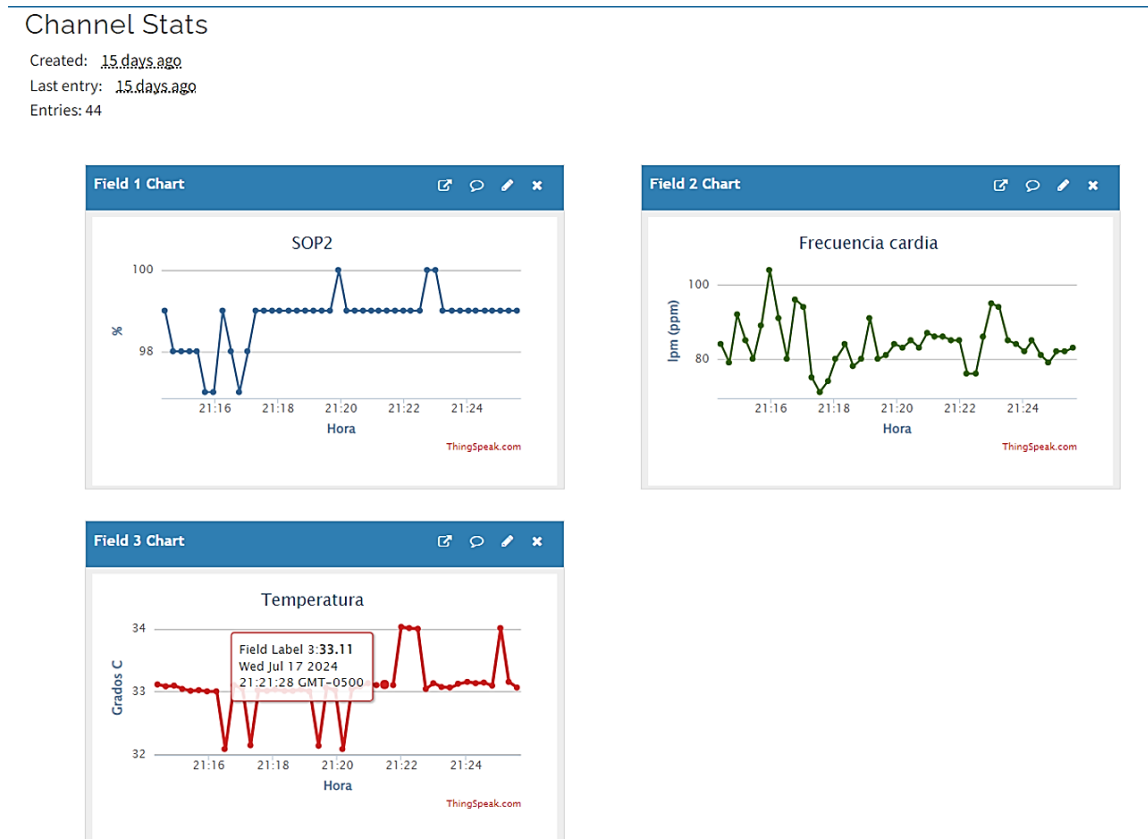
Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
21:23:00	100	95	33.13
21:23:15	99	94	33.07
21:23:31	99	85	33.06
21:23:47	99	84	33.12
21:24:03	99	82	33.15
21:24:18	99	85	33.13
21:24:34	99	81	33.14
21:24:49	99	79	33.09
21:25:05	99	82	34.01
21:25:20	99	82	33.15
21:25:36	99	83	33.06

*Nota.* Cuarta prueba ThingSpeak.

En la Figura 23 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 10.

### Figura 23

#### Gráfica de la Cuarta Prueba ThingSpeak Prototipo Final



Nota. Autoría Propia. Gráfica cuarta prueba ThingSpeak.

## Apéndice K

### *Quinta Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

En la Tabla 11 se encuentra la muestra de la prueba tomada el 18 de julio del 2024 durante 10 minutos seguidos, inicio de la prueba 13:55:02, fin de la prueba 14:05:48, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 43, enlace de acceso <https://thingspeak.com/channels/2602533>

**Tabla 11**

### *Quinta Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
13:55:02	99	85	29.04
13:55:17	99	84	29.02
13:55:32	98	90	29.09
13:55:47	99	88	29.15
13:56:03	99	92	29.07
13:56:19	99	83	30.05
13:56:34	99	85	29.04
13:56:50	99	93	29.1
13:57:05	99	105	29.06
13:57:21	99	102	29.08
13:57:36	99	73	29.12
13:57:51	98	76	29.07

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
13:58:06	99	100	29.07
13:58:22	99	87	29.12
13:58:37	99	109	29.14
13:58:52	99	104	30.04
13:59:08	99	92	30.12
13:59:23	98	96	30.05
13:59:38	98	96	30.05
13:59:54	98	118	30.06
14:00:09	98	109	31.02
14:00:24	98	87	30.13
14:00:40	99	87	31.13
14:00:55	99	85	31.09
14:01:10	99	94	32.1
14:01:26	99	100	32.12
14:01:41	98	90	33.02
14:01:57	99	92	33
14:02:12	98	93	33.06
14:02:28	98	97	32.06
14:02:43	98	89	32.14
14:02:58	98	95	32.06
14:03:14	98	87	33

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
14:03:29	98	99	32.07
14:03:44	97	94	32.13
14:04:00	97	90	33.03
14:04:15	97	87	32.14
14:04:31	98	91	32.1
14:04:46	98	87	32.03
14:04:02	98	88	33.02
14:05:17	99	94	32.11
14:05:33	99	87	32.03
14:05:48	99	87	31.15

*Nota.* Quinta prueba ThingSpeak.

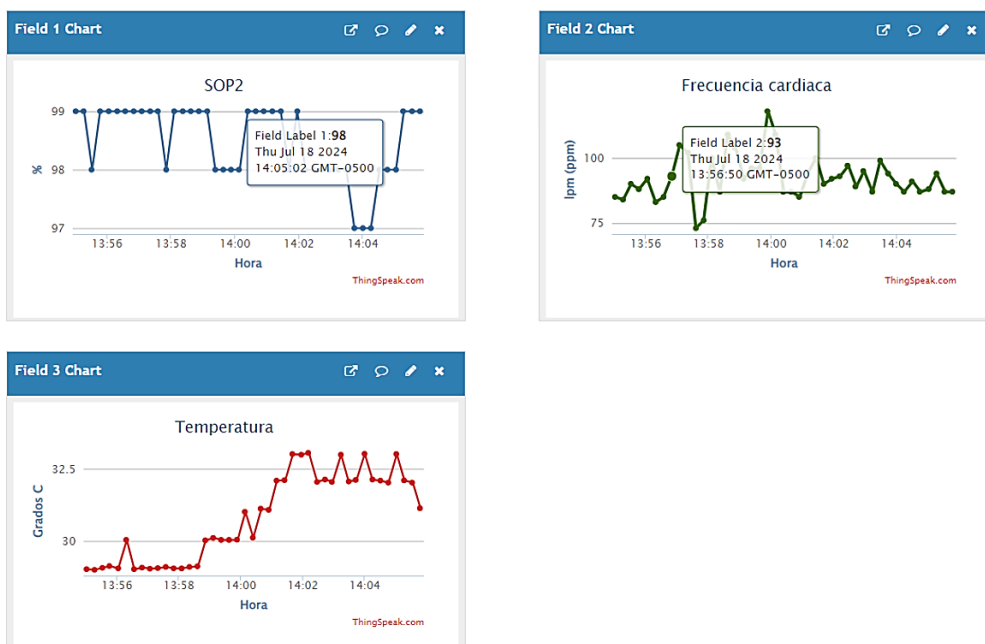
En la Figura 24 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 11.

## Figura 24

### Gráfica de la Quinta Prueba ThingSpeak Prototipo Final

#### Channel Stats

Created: 15.days.ago  
Last entry: 15.days.ago  
Entries: 43



*Nota.* Autoría Propia. Gráfica quinta prueba ThingSpeak.

## Apéndice L

### *Sexta Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

Prueba tomada el 18 de julio del 2024 durante 12 minutos seguidos, inicio de la prueba 19:05:32, fin de la prueba 19:17:01, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 45, enlace de acceso

<https://thingspeak.com/channels/2602595>

**Tabla 12**

### *Sexta Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
19:05:32	98	86	30.13
19:05:48	98	86	31.09
19:06:04	99	84	31.02
19:06:20	98	78	31.00
19:06:35	98	78	31.07
19:06:51	98	83	31.15
19:07:07	97	86	31.10
19:07:22	97	77	32.01
19:07:38	98	78	32.02
19:07:54	98	75	32.07
19:08:10	98	73	32.10
19:08:25	98	79	33.03

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
19:08:40	98	82	32.12
19:08:56	98	89	33.06
19:09:12	98	81	32.09
19:09:28	98	80	33.00
19:09:43	99	82	32.12
19:09:59	98	83	33.04
19:10:15	99	78	33.01
19:10:30	98	78	33.03
19:10:46	98	76	33.04
19:11:02	98	75	33.07
19:11:18	98	80	33.09
19:11:33	98	81	33.09
19:11:48	98	85	33.10
19:12:04	97	92	33.06
19:12:20	97	88	34.01
19:12:35	98	85	34.06
19:12:51	98	83	34.00
19:13:07	98	88	33.13
19:13:23	98	86	34.02
19:13:38	98	94	33.15
19:13:54	99	76	34.06

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
19:14:10	98	85	34.12
19:14:26	98	82	34.09
19:14:41	98	82	34.14
19:14:57	97	83	34.14
19:15:13	98	88	34.04
19:15:28	99	85	34.15
19:15:43	98	84	35.01
19:15:59	97	82	34.12
19:16:15	98	90	34.13
19:16:30	98	83	34.07
19:19:46	97	98	34.10
19:17:01	97	89	34.10

*Nota.* Sexta prueba ThingSpeak.

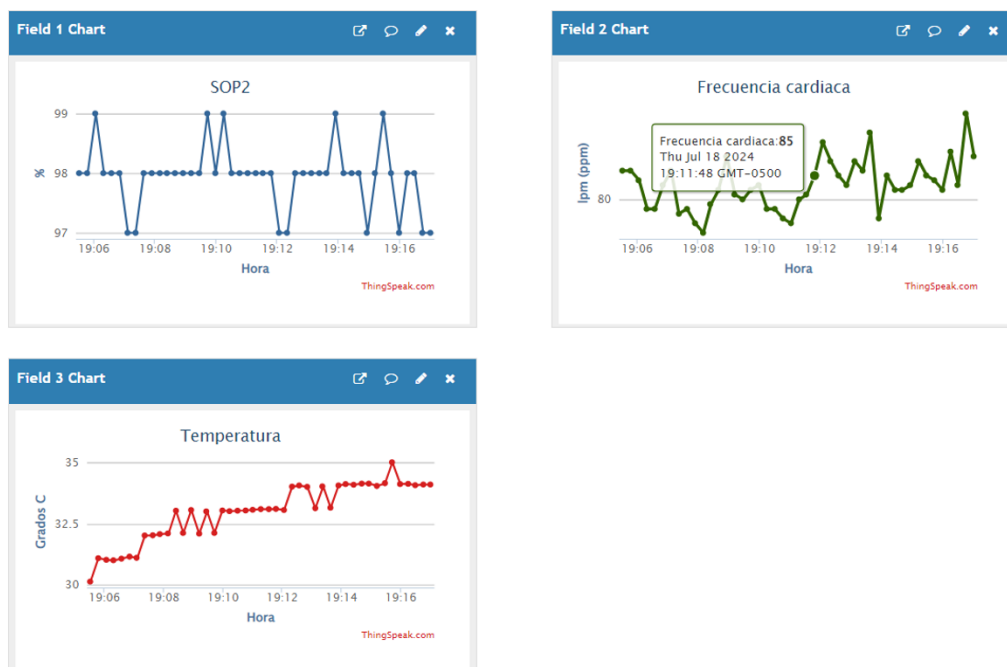
En la Figura 25 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 12.

## Figura 25

### Gráfica de la Sexta Prueba ThingSpeak Prototipo Final

#### Channel Stats

Created: 14.days.ago  
Last entry: 14.days.ago  
Entries: 45



*Nota.* Autoría Propia. Gráfica sexta prueba ThingSpeak.

## Apéndice M

### *Séptima Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

En la Tabla 13 se encuentra la muestra de la prueba tomada el 20 de julio del 2024 durante 11 minutos seguidos, inicio de la prueba 18:14:00, fin de la prueba 18:25:14, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 45, enlace de acceso <https://thingspeak.com/channels/1958135>

**Tabla 13**

### *Séptima Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
18:14:00	99	80	34.10
18:14:15	99	72	34.04
18:14:31	99	73	34.02
18:14:46	99	81	33.15
18:15:01	99	84	34.01
18:15:17	99	80	34.03
18:15:32	99	81	34.01
18:15:47	98	78	33.06
18:16:02	99	79	33.05
18:16:18	99	86	33.04
18:16:33	98	82	34.04
18:16:49	98	80	34.04

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
18:17:04	98	82	33.10
18:17:19	98	84	33.13
18:17:34	98	83	33.10
18:17:50	98	82	34.01
18:18:05	98	74	33.08
18:18:20	98	77	33.06
18:18:36	98	79	33.02
18:18:51	98	79	33.10
18:19:06	98	81	33.14
18:19:22	98	82	33.13
18:19:37	98	82	34.02
18:19:52	98	89	31.13
18:20:07	98	81	34.09
18:20:23	98	79	34.10
18:20:38	98	84	34.07
18:20:53	97	77	35.02
18:21:09	98	84	35.06
18:21:24	98	80	35.04
18:21:39	97	81	35.11
18:21:55	97	82	35.13
18:22:10	97	88	35.11

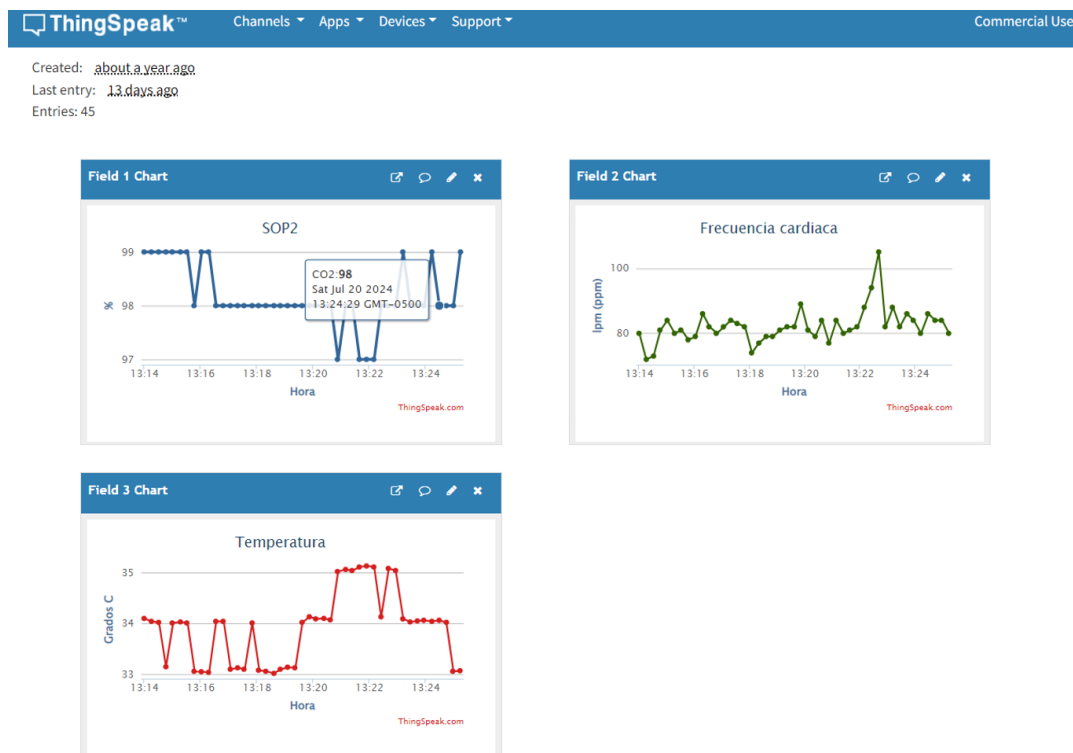
Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
18:22:25	98	94	34.13
18:22:41	98	105	35.08
18:22:56	98	82	35.04
18:23:12	99	88	34.09
18:23:27	98	82	34.03
18:23:42	98	86	34.05
18:23:57	98	84	34.06
18:24:13	99	80	34.04
18:24:29	98	86	34.06
18:24:44	98	84	34.02
18:24:59	98	84	33.06
18:25:14	99	80	33.07

*Nota.* Séptima Prueba ThingSpeak.

En la Figura 26 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 13.

## Figura 26

### Gráfica de la Séptima Prueba ThingSpeak Prototipo Final



*Nota.* Autoría Propia. Gráfica séptima prueba ThingSpeak.

## Apéndice N

### *Octava Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

En la Tabla 14 se encuentra la muestra de la prueba tomada el 15 de octubre del 2024 durante 12 minutos seguidos, inicio de la prueba 22:43:12, fin de la prueba 22:55:11, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 48, enlace de acceso <https://thingspeak.mathworks.com/channels/2697695>

**Tabla 14**

### *Octava Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
22:43:12	98	57	32.03
22:43:27	98	53	31.13
22:43:43	98	57	32.09
22:43:58	98	53	33.00
22:44:13	99	54	33.07
22:44:28	98	55	33.11
22:44:44	98	56	33.06
22:44:59	98	59	33.02
22:45:14	98	59	32.13
22:45:29	99	56	33.00
22:45:45	98	51	33.07
22:46:00	98	51	33.03
22:46:15	98	55	32.14
22:46:31	98	54	33.10
22:46:46	98	51	33.03

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
22:47:01	98	52	33.04
22:47:17	98	55	32.10
22:47:32	98	55	32.13
22:47:47	98	59	33.02
22:48:02	98	55	32.06
22:48:18	98	56	33.05
22:48:33	99	59	33.00
22:48:48	98	54	32.14
22:49:03	98	52	33.04
22:49:19	98	55	33.06
22:49:34	98	57	33.08
22:49:49	98	57	32.15
22:50:04	98	55	33.00
22:50:20	98	56	32.11
22:50:35	98	53	33.04
22:50:50	98	55	32.08
22:51:06	98	59	33.09
22:51:21	98	60	33.11
22:51:36	98	55	33.11
22:51:52	98	66	32.13
22:52:07	98	56	33.06
22:52:22	98	59	32.09
22:52:37	98	57	33.04
22:52:53	98	58	33.05
22:53:08	98	58	32.06
22:53:23	98	53	33.00

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
22:53:39	98	58	32.15
22:53:54	98	57	32.13
22:54:09	98	55	33.05
22:54:25	98	56	33.06
22:54:40	98	54	33.01
22:54:56	98	56	33.00
22:55:11	98	61	32.13

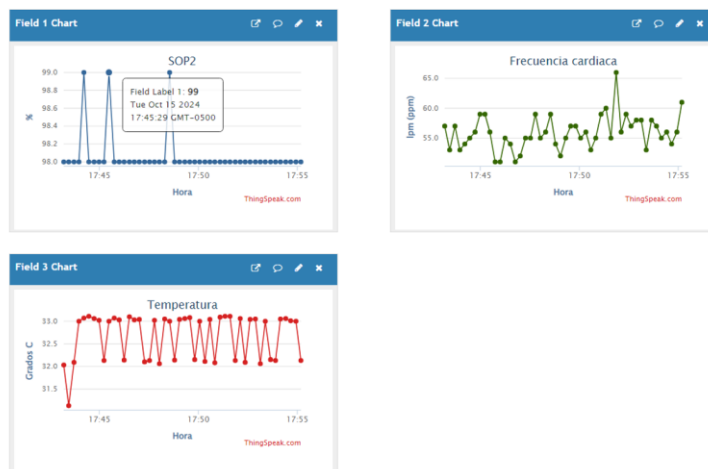
*Nota.* Octava prueba ThingSpeak.

En la Figura 27 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 14.

### Figura 27

#### *Gráfica de la Octava Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Created: about 3.hours.ago  
Last entry: about 2.hours.ago  
Entries: 48



*Nota.* Autoría Propia. Gráfica octava prueba ThingSpeak.

## Apéndice O

### *Novena Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

En la Tabla 15 se encuentra la muestra de la prueba tomada el 17 de octubre del 2024 durante 11 minutos seguidos, inicio de la prueba 08:45:55, fin de la prueba 08:57:17, intervalo de muestreo de 15 segundos, cantidad de muestras tomadas 45, enlace de acceso <https://thingspeak.mathworks.com/channels/2701376>

**Tabla 15**

### *Novena Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
08:45:55	99	105	33.04
08:46:10	99	95	32.15
08:46:26	99	85	33.10
08:46:41	98	78	33.02
08:46:57	98	80	33.12
08:47:13	99	87	33.10
08:47:28	99	87	34.02
08:47:44	99	87	33.14
08:47:59	99	81	34.10
08:48:15	99	83	34.11
08:48:30	99	86	34.11
08:48:46	99	85	35.01

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
08:49:01	99	104	34.04
08:49:16	99	95	34.03
08:49:32	99	89	34.14
08:49:47	99	88	34.09
08:50:03	99	80	34.10
08:50:18	99	83	35.06
08:50:34	99	82	35.02
08:50:50	99	89	35.04
08:51:06	99	74	34.15
08:51:21	99	78	35.10
08:51:37	99	80	35.14
08:51:52	99	77	35.04
08:52:07	98	92	36.04
08:52:22	98	90	35.13
08:52:38	99	80	35.14
08:52:53	99	103	35.09
08:53:09	99	89	35.08
08:53:25	99	93	35.02
08:53:40	99	94	35.13
08:53:56	99	104	36.00
08:54:11	98	109	35.10

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
08:54:26	99	101	35.03
08:54:42	99	94	35.01
08:54:58	99	77	35.05
08:55:13	99	89	35.13
08:55:29	99	85	35.09
08:55:44	99	75	35.08
08:56:00	99	81	35.07
08:56:15	99	89	35.00
08:56:30	98	89	35.03
08:56:46	99	103	35.07
08:57:01	99	118	35.06
08:57:17	99	83	35.07

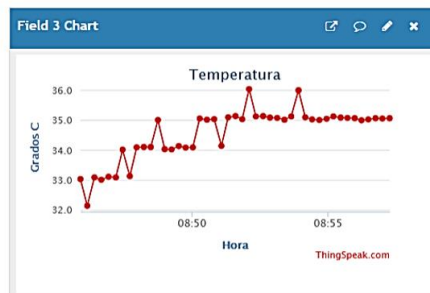
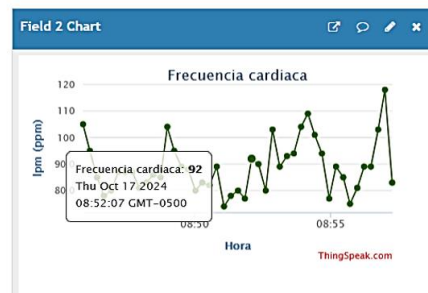
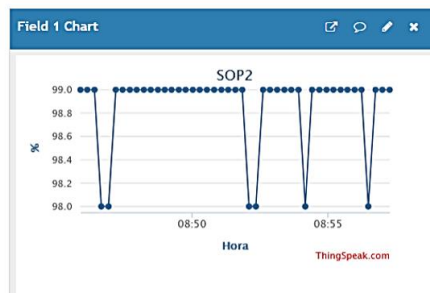
*Nota.* Novena prueba ThingSpeak.

En la Figura 28 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 15.

## Figura 28

### Gráfica de la Octava Prueba ThingSpeak Prototipo Final

Created: about 7 hours ago  
 Last entry: about 7 hours ago  
 Entries: 45



*Nota.* Autoría Propia. Gráfica novena prueba ThingSpeak.

## Apéndice P

### *Decima Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

La Tabla 16 muestra de la prueba tomada el 17 de octubre del 2024 durante 14 minutos seguidos, inicio de la prueba 15:29:30, fin de la prueba 15:43:18, cantidad de muestras registradas en el documento 53, enlace de acceso

<https://thingspeak.mathworks.com/channels/2701424>

**Tabla 16**

### *Decima Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
15:29:30	96	77	35.10
15:29:46	96	80	34.13
15:30:02	96	71	35.02
15:30:17	97	68	35.05
15:30:33	96	72	35.02
15:30:49	97	67	35.01
15:31:05	97	82	35.10
15:31:20	97	79	35.10
15:31:36	96	92	35.09
15:31:51	97	71	35.06
15:32:06	97	78	35.01
15:32:22	97	69	35.10

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
15:32:37	96	69	36.00
15:32:53	96	71	35.11
15:33:08	96	65	36.00
15:33:24	96	70	35.11
15:33:39	97	73	35.13
15:33:54	97	74	35.09
15:34:10	97	71	35.15
15:34:25	96	69	36.02
15:34:41	96	68	35.15
15:34:56	96	74	35.13
15:35:12	97	73	35.11
15:35:27	96	67	36.01
15:35:42	96	70	36.00
15:35:58	96	73	35.07
15:36:14	96	75	35.10
15:36:29	96	77	36.03
15:36:46	96	73	35.11
15:37:01	96	75	36.00
15:37:17	96	66	35.15
15:37:32	95	70	36.02
15:37:47	96	81	35.04

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
15:38:03	97	100	35.06
15:38:18	97	71	35.04
15:38:34	96	71	36.02
15:38:49	97	74	35.06
15:39:05	97	74	35.13
15:39:20	98	68	35.07
15:39:35	98	63	35.13
15:39:51	98	69	36.05
15:40:06	99	71	35.09
15:40:22	98	72	35.12
15:40:37	98	68	36.01
15:40:52	98	67	35.11
15:41:08	98	66	36.05
15:41:27	99	71	36.04
15:41:46	99	68	36.00
15:42:01	98	69	36.01
15:42:17	98	71	36.04
15:42:32	97	69	35.10
15:42:50	98	65	36.05
15:43:18	98	62	36.05

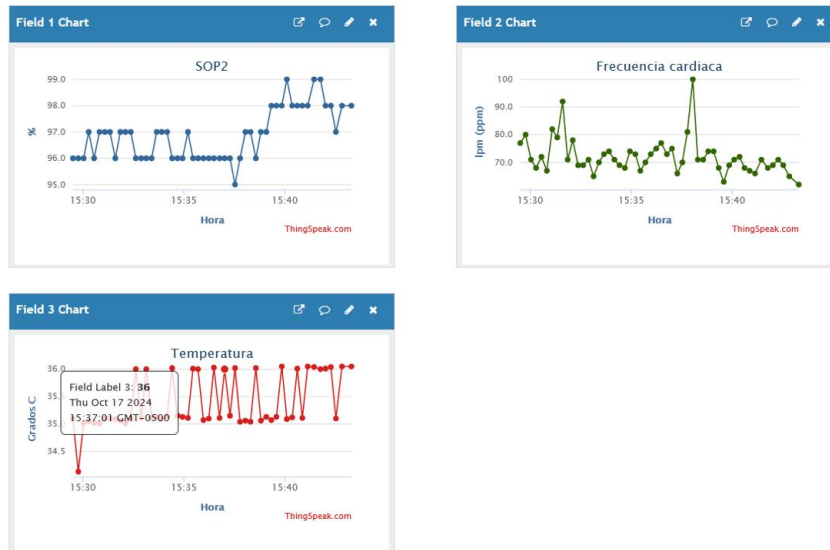
*Nota.* Decima prueba ThingSpeak.

En la Figura 29 se muestra el gráfico creado con los valores de la Tabla 16.

## Figura 29

### Gráfica de la Décima Prueba ThingSpeak Prototipo Final

Enviados: 53



*Nota.* Autoría Propia. Gráfica decima prueba ThingSpeak.

## Apéndice Q

### *Undécima Prueba en ThingSpeak Prototipo Final*

En la Tabla 17 se hace el registro de los datos de la prueba tomada el 17 de octubre del 2024 durante más de 30 minutos seguidos, inicio de la prueba 19:21:47, hora primer dato guardado 19:42:53, fin de la prueba 20:08:07, cantidad de muestras registradas 100, cantidad de muestras tomadas 184 enlace de acceso

<https://thingspeak.mathworks.com/channels/2701425>

**Tabla 17**

### *Undécima Prueba ThingSpeak Prototipo Final*

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
19:42:53	98	102	35.15
19:43:08	98	106	35.05
19:43:23	98	89	35.11
19:43:38	99	76	36.01
19:43:54	99	82	35.15
19:44:09	99	85	35.14
19:44:24	99	87	36.00
19:44:40	99	89	35.11
19:44:55	99	86	35.10
19:45:10	99	86	36.05
19:45:26	99	83	35.13

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
19:45:41	99	93	35.09
19:45:56	99	87	35.15
19:46:12	99	88	35.09
19:46:27	99	84	36.01
19:46:42	99	87	35.11
19:46:58	99	89	36.07
19:47:13	99	86	36.00
19:47:28	99	87	36.09
19:47:43	99	83	36.09
19:47:59	99	91	36.12
19:48:14	99	89	35.15
19:48:29	99	89	36.00
19:48:44	99	91	35.13
19:49:00	99	89	35.03
19:49:15	99	89	35.08
19:49:30	99	91	35.08
19:49:45	99	93	35.13
19:50:01	99	99	35.12
19:50:16	98	119	35.01
19:50:31	98	93	35.03
19:50:46	98	88	35.02

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
19:51:01	99	84	35.05
19:51:17	99	90	36.00
19:51:32	99	88	35.15
19:51:47	99	81	35.11
19:52:02	99	80	35.09
19:52:18	99	85	35.06
19:52:33	99	85	36.03
19:52:48	99	87	36.02
19:53:03	99	89	35.10
19:53:18	99	92	35.11
19:53:34	99	90	35.15
19:53:49	99	88	35.11
19:54:04	99	86	35.07
19:54:19	99	86	35.10
19:54:35	99	91	36.00
19:54:50	99	89	35.12
19:55:05	99	87	35.09
19:55:20	99	86	36.03
19:55:36	99	84	36.02
19:55:51	99	87	35.09
19:56:06	99	93	35.10

Toma de datos			
Minuto	SOP2	Frecuencia cardiaca	Temperatura del sensor
(Hora, minuto, segundo)	(%)	(Latidos por minuto lpm)	(°C)
19:56:21	99	93	36.07
19:56:37	99	88	35.11
19:56:52	99	82	35.12
19:57:07	99	85	35.05
19:57:22	99	87	35.10
19:57:38	99	90	35.11
19:57:53	99	93	35.11
19:58:09	99	89	35.10
19:58:24	99	87	35.11
19:58:41	99	91	36.00
19:58:56	99	88	35.10
19:59:12	99	86	35.08
19:59:27	99	89	35.07
19:59:42	99	87	35.14
19:59:58	99	87	36.01
20:00:13	99	89	35.10
20:00:29	99	86	35.14
20:00:44	99	87	35.11
20:00:59	99	86	35.12
20:01:14	99	87	35.11
20:01:30	99	81	36.02

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
20:01:45	99	86	35.07
20:02:00	99	86	35.13
20:02:16	99	87	35.13
20:02:31	99	85	35.15
20:02:46	99	84	35.07
20:03:02	99	83	35.10
20:03:17	99	87	35.03
20:03:33	99	85	36.00
20:03:48	99	88	35.08
20:04:03	99	92	35.02
20:04:18	99	90	35.04
20:04:34	99	93	35.11
20:04:49	99	89	35.05
20:05:04	99	95	35.02
20:05:19	99	89	35.11
20:05:35	99	86	34.13
20:05:50	99	88	35.05
20:06:05	99	91	35.04
20:06:21	99	93	35.01
20:06:36	99	92	35.00
20:06:51	99	94	35.02

Toma de datos			
Minuto (Hora, minuto, segundo)	SOP2 (%)	Frecuencia cardiaca (Latidos por minuto lpm)	Temperatura del sensor (°C)
20:07:06	99	87	34.13
20:07:22	99	98	34.12
20:07:37	99	106	34.14
20:07:52	99	112	34.03
20:08:07	99	111	34.06

*Nota.* Undécima prueba ThingSpeak.

En la Figura 30 se muestra el gráfico creado por el programa de ThingSpeak con los valores de la Tabla 17.

### Figura 30

#### Gráfica de la Undécima Prueba ThingSpeak Prototipo Final

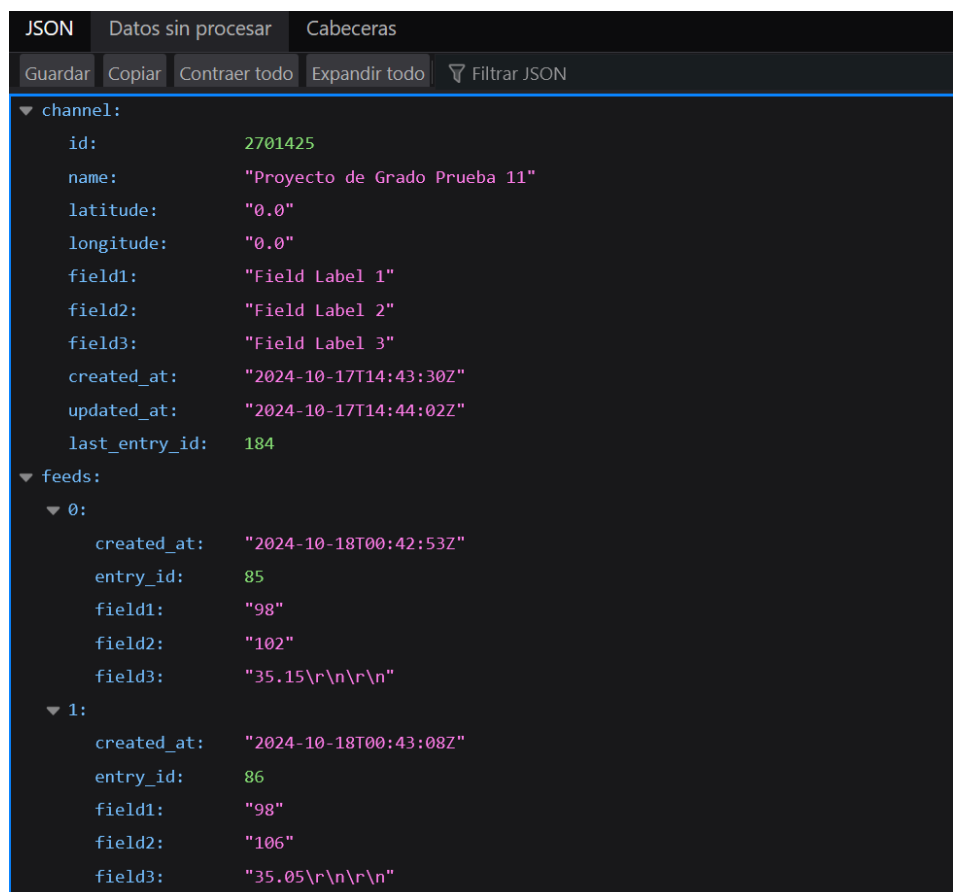
Created: about 11 hours ago  
Last entry: 17 minutes ago  
Entries: 184



*Nota.* Autoría Propia. Gráfica undécima prueba ThingSpeak.

**Figura 31**

*Verificación Cantidad Datos Tomados en la Undécima Prueba*



The image shows a JSON viewer interface with a dark theme. At the top, there are tabs for 'JSON', 'Datos sin procesar', and 'Cabeceras'. Below the tabs are buttons for 'Guardar', 'Copiar', 'Contraer todo', 'Expandir todo', and a search icon labeled 'Filtrar JSON'. The main area displays a JSON object with the following structure:

```
▼ channel:
  id: 2701425
  name: "Proyecto de Grado Prueba 11"
  latitude: "0.0"
  longitude: "0.0"
  field1: "Field Label 1"
  field2: "Field Label 2"
  field3: "Field Label 3"
  created_at: "2024-10-17T14:43:30Z"
  updated_at: "2024-10-17T14:44:02Z"
  last_entry_id: 184
▼ feeds:
  ▼ 0:
    created_at: "2024-10-18T00:42:53Z"
    entry_id: 85
    field1: "98"
    field2: "102"
    field3: "35.15\r\n\r\n"
  ▼ 1:
    created_at: "2024-10-18T00:43:08Z"
    entry_id: 86
    field1: "98"
    field2: "106"
    field3: "35.05\r\n\r\n"
```

*Nota.* Autoría Propia. Recopilación datos ThingSpeak.