



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico
inalámbrico para la obtención de indicadores de riesgo
de salud ocupacional en respiradores de media cara
(EPP) utilizados en minería**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Cristhian Andree LUCAR MONZON

ASESOR

Teófilo Matías HUABLOCHO PÉREZ

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Lucar, C. (2025). *Diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico inalámbrico para la obtención de indicadores de riesgo de salud ocupacional en respiradores de media cara (EPP) utilizados en minería*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Cristhian Andree Lucar Monzon
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70037269
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Teófilo Matías Huablocho Pérez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	25420840
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-3357-8055
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Nicanor Raúl Benites Saravia
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10189914
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Celso Ysidro Gerónimo Huamán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191500
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jean Carlos Malca Fernández
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	45535181
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.6.3 Instrumentación Biomédica
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	No aplica.

Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Latitud: -12.055119689109297 Longitud: -77.08708737696162
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2020 - 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Ingeniería médica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.06.01 Salud ocupacional https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.03.10



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°001-EPIE-FIEE/2025

Los suscritos miembros del jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 20 de mayo del 2025, como presidente de jurado el **Dr. NICANOR RAÚL BENITES SARA VIA**, integrado por el miembro de jurado el **Dr. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN**, el miembro de jurado el **Mg. JEAN CARLOS MALCA FERNÁNDEZ** y miembro asesor el **Ing. TEÓFILO MATÍAS HUABLOCHO PÉREZ**.

Después de escuchar la Sustentación Presencial de Tesis del Bachiller **CRISTHIAN ANDREE LUCAR MONZON** código N° **14190127**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó la tesis titulada: **"DISEÑO Y DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO INALÁMBRICO PARA LA OBTENCIÓN DE INDICADORES DE RIESGO DE SALUD OCUPACIONAL EN RESPIRADORES DE MEDIA CARA (EPP) UTILIZADOS EN MINERÍA"**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle el calificativo de 15 (QUINCE)

Ciudad Universitaria, 20 de mayo del 2025

Dr. NICANOR RAÚL BENITES SARA VIA
Presidente Jurado

Dr. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN
Miembro Jurado

Mg. JEAN CARLOS MALCA FERNÁNDEZ
Miembro Jurado

Ing. TEÓFILO MATÍAS HUABLOCHO PÉREZ
Miembro Asesor



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **TEOFILO MATIAS HUABLOCHO PÉREZ** en mi condición de asesor acreditado con el Acta de Sustentación N°001-EPIE-FIEE/2025 de Tesis Modalidad Ordinaria N°001-EPIE-FIEE/2025 del trabajo de tesis profesional cuyo título es: "**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO INALÁMBRICO PARA LA OBTENCIÓN DE INDICADORES DE RIESGO DE SALUD OCUPACIONAL EN RESPIRADORES DE MEDIA CARA (EPP) UTILIZADOS EN MINERÍA**", presentado por el bachiller **CRISTHIAN ANDREE LUCAR MONZON** para optar al título profesional de Ingeniero Electrónico. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **14%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**. Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Firma del Asesor _____

DNI: 25420840

Ing. TEOFILO MATIAS HUABLOCHO PÉREZ

Ciudad Universitaria, 26 de mayo de 2025



DEDICATORIA

A Dios, quien guía mi camino.

A mis padres Manuel y María, quienes
me impulsaron a no rendirme en el andar
de este largo camino.

A Edgar y Marycielo, mis hermanos.

A toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, mi gloriosa alma máter, por ser la fuente principal de los conocimientos académicos adquiridos en las materias de la carrera profesional.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, quienes, con su experiencia y cátedra, motivaron en mí la ambición investigadora.

Al Ing. Teófilo Matías Huablocho Pérez, un excelente profesional, quien sin dudar brindó asesoría ininterrumpida para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Jeffrey Ademar Molina Mengoa, quien fue mi tutor de prácticas en EsSalud. Con amistad y amabilidad instó en mí, la ejecución de buenas prácticas para llegar a ser un buen profesional al servicio de la sociedad.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE GENERAL	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.2.1. Problema General	4
1.2.2. Problemas Específicos	4
1.2.3. Determinación del problema	4
1.2.4. Formulación del problema	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Importancia y alcance de la investigación	6
1.4.1. Importancia	7
1.4.2. Alcance	7
1.5. Limitaciones de la investigación	7
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	9
2.1. Marco teórico	9
2.2. Antecedentes del estudio	9
2.3. Bases teóricas	11
2.3.1. Aspectos generales de la respiración	11
2.3.2. Enfermedades ocupacionales respiratorias	12

Enfermedad por berilio	12
Neumoconiosis	12
2.3.3. Protección respiratoria en la actividad minera	13
2.3.4. Equipo de protección personal	14
2.3.5. Respirador	15
2.3.6. Tipos de respiradores	16
2.3.7. Criterios a considerar en la selección de respiradores	17
2.3.8. Parámetros fisiológicos de la respiración en el respirador	17
2.3.9. Sensor	17
2.3.10. Filtro IIR	18
2.4. Definición de términos	18
2.4.1. Factor de ajuste	19
2.4.2. Factor de protección	19
2.4.3. Límite de exposición ocupacional	19
2.4.4. Factor de protección asignado	19
2.4.5. Factor de protección requerido	20
2.4.6. Tiempo de utilización adecuado del respirador (Tu)	20
2.4.7. Tiempo de uso incorrecto del respirador (Tnu)	20
2.4.8. Factor Efectivo de Protección (FEP)	20
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	23
3.1. Hipótesis General	23
3.2. Hipótesis Específicas	23
3.3. Variables	25
3.3.1. Variable independiente	25
3.3.2. Variable dependiente	25
3.4. Operacionalización de las variables	25
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1. Área de estudio	27
4.2. Etapas de la investigación	27
4.2.1. Revisión de la literatura científica y técnica	27
4.2.2. Definición de requisitos del sistema	27
4.2.3. Selección y justificación de componentes	28
4.2.4. Diseño del sistema electrónico	28
4.2.5. Programación y desarrollo del software embebido	28

4.2.6.	Diseño e implementación de la base de datos y scripts	28
4.2.7.	Pruebas experimentales y recolección de datos	28
4.2.8.	Análisis y visualización de resultados	29
4.2.9.	Evaluación del dispositivo y validación	29
4.3.	Diseño de investigación	29
4.3.1.	Requisitos técnicos mínimos del sistema	29
	Requisitos técnicos mínimos del sensor.	29
	Requisitos técnicos mínimos del sistema de transmisión y del controlador	30
4.3.2.	Hardware: Selección del sensor	30
	Sensor DHT11	30
	Sensor BME280	31
	Sensor DHT22	31
4.3.3.	Hardware: De la transmisión inalámbrica y controlador de datos	33
	Wemos D1 Mini ESP8266	34
	NodeMCU V2 ESP8266 Wi-Fi	34
	ESP-01 ESP8266 WIFI - SERIAL	35
4.3.4.	Hardware: Alimentación eléctrica del sistema	36
4.3.5.	Software: Código para obtención de parámetros y registro en Base de datos	38
	Implementación del código en C: objetos, librerías y variables.	38
	Implementación del código en C: configuraciones.	42
	Implementación del código en C: algoritmo bucle de obtención de datos.	45
	Implementación del código en C: registro de datos.	45
	Implementación del código en C: configuración del host.	46
4.3.6.	Software: Implementación de Script para registro en Base de Datos	49
4.3.7.	Software: Implementación de la base de datos	49
4.3.8.	Software: Implementación del script de lectura de base de datos en Matlab	52
4.3.9.	Software: Visualización de las gráficas	53
4.3.10.	Software: Algoritmo para obtención de indicador	53
4.4.	Población y muestra	53
4.5.	Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información	55
4.5.1.	Método para análisis de datos	55
a.	No uso.	55

b. Uso en reposo o basal.	55
c. Mal uso con esfuerzo o trabajo.	55
d. Buen uso con esfuerzo o trabajo.	55
4.6. Análisis estadístico	67
4.6.1. Desarrollo del algoritmo para el indicador de uso del respirador	67
V. RESULTADOS	75
5.1. Presentación y análisis de los resultados	75
5.1.1. Indicador de uso de respirador	75
5.2. Integración del dispositivo en el respirador	76
5.2.1. Nivel de confiabilidad del dispositivo	81
VI. DISCUSIÓN	83
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
7.1. Conclusiones	86
7.2. Recomendaciones	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	90
Anexo 01	90
Anexo 02	91
Anexo 03	94
Anexo 04	95
Anexo 05	96
Anexo 06	97
Anexo 07	98
Anexo 08	104
Anexo 09	109
Anexo 10	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tabulación del Factor Efectivo de Protección</i>	21
Tabla 2 <i>DHT11 vs DHT22 vs BME280</i>	32
Tabla 3 <i>Bluetooth vs WI-FI</i>	33
Tabla 4 <i>ESP-01 vs Wemos D1 Mini ESP8266 vs NodeMCU V2 ESP8266</i>	35
Tabla 5 <i>Valores para la creación de la base de datos en phpMyAdmin</i>	52
Tabla 6 <i>Participantes del proyecto</i>	54
Tabla 7 <i>Clasificación previa de datos de la persona 1</i>	71
Tabla 8 <i>Clasificación previa de datos de la persona 2</i>	71
Tabla 9 <i>Clasificación previa de datos de la persona 3</i>	72
Tabla 10 <i>Tabla de datos iniciales de la Persona 2</i>	72
Tabla 11 <i>Cuadro de datos obtenidos durante el trabajo de la Persona 2</i>	73
Tabla 12 <i>Resultados del Factor de Uso</i>	75
Tabla 13 <i>Diferencias entre valor esperado y valor obtenido por el algoritmo</i>	81
Tabla 14 <i>Nivel de confiabilidad del dispositivo para cada caso</i>	82
Tabla 15 <i>Análisis de datos obtenidos para tres personas en el patrón “Buen Uso Basal”</i>	85
Tabla 16 <i>Parámetros generales del participante 1</i>	98
Tabla 17 <i>Parámetros específicos del participante 1</i>	98
Tabla 18 <i>Parámetros generales del participante 2</i>	104
Tabla 19 <i>Parámetros específicos del participante 2</i>	104
Tabla 20 <i>Parámetros generales del participante 3</i>	109
Tabla 21 <i>Parámetros específicos del participante 3</i>	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Proceso actual de prevención de enfermedades</i>	5
Figura 2 <i>Diagrama de bloques para Bases Teóricas</i>	9
Figura 3 <i>Tipos de Respiradores</i>	16
Figura 4 <i>Factor Efectivo de Protección vs Tiempo de No Uso</i>	22
Figura 5 <i>Proceso propuesto de prevención de enfermedades ocupacionales</i>	24
Figura 6 <i>Circuito inicial del dispositivo solución implementado en protoboard</i>	37
Figura 7 <i>Diagrama de bloques detallado del dispositivo solución</i>	37
Figura 8 <i>Librerías de Arduino</i>	39
Figura 9 <i>Variables y objetos de Arduino</i>	39
Figura 10 <i>Variables Wi-Fi</i>	40
Figura 11 <i>Variables de apoyo</i>	40
Figura 12 <i>Diagrama de flujo para implementación de código en Arduino: Objetos, librerías y variables</i>	41
Figura 13 <i>Conexión a la red Wi-Fi</i>	42
Figura 14 <i>Diagrama en Modo Normal del Sensor BME280</i>	43
Figura 15 <i>Configuración de parámetros del sensor BME280</i>	45
Figura 16 <i>Diagrama de flujo para implementación de código en Arduino: Configuraciones</i>	46
Figura 17 <i>Bucle de obtención de datos</i>	47
Figura 18 <i>Método httpRequest</i>	47
Figura 19 <i>Diagrama de flujo para implementación de código en Arduino: Bucle y registro</i>	48
Figura 20 <i>Software XAMPP</i>	49
Figura 21 <i>Página principal de phpMyAdmin</i>	50
Figura 22 <i>Interfaz gráfica de phpMyAdmin</i>	51
Figura 23 <i>Código en MATLAB para invocar Base de Datos</i>	52
Figura 24 <i>Código para invocar datos en MATLAB</i>	53

Figura 25 <i>Cantidad de bases de datos y tablas finales en phpMyAdmin</i>	56
Figura 26 <i>Gráfica de Temperatura de la Persona 1</i>	58
Figura 27 <i>Gráfica de Presión de la Persona 1</i>	59
Figura 28 <i>Gráfica de la Humedad de la Persona 1</i>	60
Figura 29 <i>Gráfica de la Temperatura de la Persona 2</i>	61
Figura 30 <i>Gráfica de la Presión de la Persona 2</i>	62
Figura 31 <i>Gráfica de la Humedad de la Persona 2</i>	63
Figura 32 <i>Gráfica de la Temperatura de la Persona 3</i>	64
Figura 33 <i>Gráfica de la Presión de la Persona 3</i>	65
Figura 34 <i>Gráfica de la Humedad de la Persona 3</i>	66
Figura 35 <i>Análisis de la Gráfica de Presión de la Persona 1</i>	68
Figura 36 <i>Análisis de la Gráfica de Presión de la Persona 2</i>	69
Figura 37 <i>Análisis de la gráfica de la Presión de la Persona 3</i>	70
Figura 38 <i>Diagrama de flujo del algoritmo final</i>	74
Figura 39 <i>Vista frontal esquemática del uso del dispositivo al interior del respirador de media cara</i>	77
Figura 40 <i>Gráfica final de la Presión de la Persona 1 con el Factor de Uso indicado</i>	78
Figura 41 <i>Gráfica final de la Presión de la Persona 2 con el Factor de Uso indicado</i>	79
Figura 42 <i>Gráfica final de la Presión de la Persona 3 con el Factor de Uso indicado</i>	80
Figura 43 <i>Remisión de perfil de tesis a empresa encargada del proyecto PULMOCHIP</i>	90
Figura 44 <i>Declaración Jurada de participante 1</i>	95
Figura 45 <i>Declaración jurada de participante 2</i>	96
Figura 46 <i>Declaración jurada de participante 3</i>	97

RESUMEN

Actualmente, existe una problemática social de salud que implica directamente a los trabajadores excavadores de la actividad minera en el Perú. Estos trabajadores, por la naturaleza de sus actividades, se encuentran constantemente expuestos a grandes cantidades de sustancias peligrosas que, a posteriori generarán enfermedades ocupacionales respiratorias (algunas irreversibles e incurables) como la silicosis, asbestosis, etc., que pueden estar seguidas de tuberculosis, fibrosis pulmonar o cáncer. Como método de prevención, se utilizan equipos de protección personal como los respiradores. Sin embargo, existen factores que merman la eficacia y eficiencia de estos equipos como la morfología facial, la sudoración o mal uso de dichos equipos. Constantemente, los profesionales de seguridad y salud en el trabajo realizan charlas de prevención y exámenes ocupacionales; esto no es suficiente según evidencian los números de casos de trabajadores con enfermedades respiratorias adquiridas. La ingeniería moderna está orientada a resolver las problemáticas de la población; en ese sentido, es necesario desarrollar una tecnología que permita identificar en tiempo real si los trabajadores mineros se encuentran expuestos a contraer una enfermedad ocupacional respiratoria como causa de la mala utilización del respirador de media cara y actuar con inmediatez, siendo ese el objetivo principal de la presente investigación.

Palabras claves: Enfermedad ocupacional respiratoria, prevención, tecnología, respirador y tiempo real.

ABSTRACT

Currently, there is a social health problem that directly involves mining workers in Peru. These workers, due to the nature of their activities, are constantly exposed to large quantities of hazardous substances that will subsequently generate occupational respiratory diseases (some irreversible and incurable) such as silicosis, asbestosis, etc., which may be followed by tuberculosis, pulmonary fibrosis or cancer. As a prevention method, personal protective equipment such as respirators are used. However, there are factors that reduce the effectiveness and efficiency of this equipment such as facial morphology, sweating or misuse of said equipment. Constantly, occupational health and safety professionals give prevention talks and occupational examinations; this is not enough as evidenced by the number of cases of workers with acquired respiratory diseases. Modern engineering is oriented to solve the problems of the population; In this sense, it is necessary to develop a technology that allows identifying in real time whether mining workers are exposed to contracting an occupational respiratory disease as a result of the incorrect use of the half-face respirator and to act immediately, which is the main objective of this research.

Keywords: Occupational respiratory disease, prevention, technology, respirator and real time.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Basados en los hallazgos históricos descubiertos por los distintos profesionales involucrados en la arqueología, se puede evidenciar, en la orfebrería de culturas peruanas como Chavín (900 a.C.), Vicus (900 a.C.), Paracas (700-500 a.C.) e Inca (1200 d.C.-1533 d.C. aprox.), que el poblador peruano ha estado inmerso en la adquisición de metales como oro, plata y cobre para fabricar adornos ceremoniales, armas, herramientas de trabajo, utensilios, entre otros. Posteriormente, la minería ha seguido siendo un sector importante, como en la etapa colonial con la explotación de mercurio en la mina Santa Bárbara, descubierta en 1564 en Huancavelica, o como en la etapa republicana con la explotación del guano y salitre. Actualmente, la minería se constituye en una pieza elemental para la sostenibilidad de la economía en el Perú generando divisas, impuestos, inversión y empleo; cuantitativamente, en el 2011 la minería representó cerca del 59% (US\$ 27,361 millones) de las exportaciones totales, y hoy en día aporta aproximadamente el 14% al PBI nacional. En otras palabras, la práctica minera en el Perú es una actividad antigua e importante en todas las etapas de su historia debido al gran impacto económico que continúa generando.

En vista del impacto socioeconómico que la minería ha generado, el Estado Peruano, a través de sus instancias normativas y reguladoras, ha implementado dispositivos legales para la correcta práctica de dicha actividad como son:

- Ley General de Minería (03 de junio de 1992)
- Ley N°27506 – Ley del Canon Minero (2001)
- Ley N°28271 – Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (06 de julio de 2004)
- Ley N°28611 – Ley general del ambiente
- Decreto Supremo N°023-2017 – Modificatoria de diversos artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería aprobado por

Decreto Supremo N°024-2016-EM, que establece por objetivo en su Artículo 1, el siguiente: “...prevenir la ocurrencia de incidente, incidentes peligrosos, accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales, promoviendo una cultura de prevención de riesgos laborales en la actividad minera. Para ello cuenta con la participación de los trabajadores, empleadores y el Estado, quienes velaran por su promoción, difusión y cumplimiento”.

De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2018), en su publicación “Anuario Minero 2018”, en el Perú existen más de 50 grandes empresas mineras y 201,547 trabajadores involucrados en esta actividad. Debido a las condiciones particulares de la minería en el Perú (por citar: minería subterránea o a más de 3500 m.s.n.m.), se evidencia que existe un sector importante de la población laborando en condiciones de alto riesgo. Asimismo, de acuerdo con las estadísticas del MINEM (2019), se sabe que en el año 2019 se han reportado 1149 casos de enfermedades ocupacionales de las cuales, 24 corresponden a casos de neumoconiosis y 21 de estas debido a polvo de silicosis.

Por otro lado, los gases de escape del equipamiento y maquinaria que cuentan con motores tipo diésel, contienen sustancias químicas nocivas que incluyen partículas tóxicas muy pequeñas y gases peligrosos tales como el monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂). Este tipo de maquinaria se encuentra operando en zonas mineras de gran altura o subterránea, las cuales tienen características de ser zonas de baja temperatura o de baja disponibilidad de oxígeno, lo que produce combustión incompleta que puede generar otras sustancias como el hollín. El hollín es el componente principal de las emisiones de los motores Diesel (60%-80%), el cual consiste en partículas muy pequeñas que, al inhalarse, se depositan fácilmente en la parte baja de los pulmones donde ocasionan varios efectos en la salud. Estar expuesto a estas emisiones durante periodos de tiempo cortos puede generar dolor de cabeza, náuseas, presión en el pecho, entre otros. Si la exposición es prolongada (generalmente años), la probabilidad de desarrollar cáncer aumenta. (Fundación UOCRA, 2009; Rojas, 2004)

Uno de los equipos de protección personal (EPP) que utilizan los trabajadores mineros para prevenir la ocurrencia de enfermedades ocupacionales respiratorias es el respirador. Sin embargo, un tipo inadecuado de respirador o su incorrecta utilización del mismo durante la jornada laboral, puede exponer al trabajador a la

inhalación de sustancias tóxicas y, por ende, adquirir dichas enfermedades. Para ello, entidades como la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), AIHA (American Industrial Hygiene Association), han establecido que los respiradores deberán contar con indicadores de riesgo que determinarán su confiabilidad, como el Factor de Protección Asignado, Factor de Protección Nominal, Factor de Protección en el lugar de trabajo, Factor de protección mínimo necesario, Factor de protección real, Factor de Ajuste, entre otros (dicho factor de protección se desarrollará con mayor detalle en el capítulo II de la presente tesis). Existen algunos parámetros que pueden afectar la hermeticidad del respirador y, por lo tanto, comprometer la calidad del mismo como la realización de actos subestándar, entendidos como prácticas inadecuadas que comprometen la efectividad del respirador, tales como un ajuste incorrecto, uso inadecuado del sello facial o manipulación indebida del equipo; además, factores individuales como la morfología facial, el vello facial y la sudoración también pueden afectar la hermeticidad del respirador y, por lo tanto, comprometer su calidad.

Actualmente, es posible evaluar la performance de los respiradores antes de usarlos o después de usarlos, mediante pruebas cualitativas y/o cuantitativas. Las pruebas cualitativas consisten en la detección de fugas en el respirador, mediante el uso de sustancias o reactivos que responden a la fuga mediante colores o sabores diferentes. Entre algunas de ellas, se tienen la prueba de la sacarina, Bitrex, acetato de amilio, humo irritante, entre otros. Las pruebas cuantitativas consisten en la evaluación numérica a través de indicadores de respuesta del respirador utilizando un sistema externo. Algunas pruebas cuantitativas son las que se realizan dentro de una cámara de ensayo, fuera de la cámara de ensayo, conteo de partículas, método de presión, entre otros. Sin embargo, estos métodos no pueden ser utilizados durante el uso del respirador, debido a que los sistemas externos son de grandes dimensiones, como el equipo PortaCount, por ello, estas pruebas se desarrollan únicamente en laboratorio (FREMAP, 2020)

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema General

Existe una deficiencia en la prevención de enfermedades respiratorias ocupacionales en trabajadores mineros debido a la falta de supervisión del uso correcto de los respiradores de media cara.

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los parámetros fisiológicos que pueden indicar el uso correcto o incorrecto de los respiradores de media cara en minería?
- ¿Qué tipo de sensor es el más adecuado para obtener estos parámetros fisiológicos?
- ¿Cómo desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real para evaluar el uso del respirador?
- ¿Cuál es el nivel de precisión del dispositivo desarrollado para determinar la correcta utilización del respirador?

1.2.3. Determinación del problema

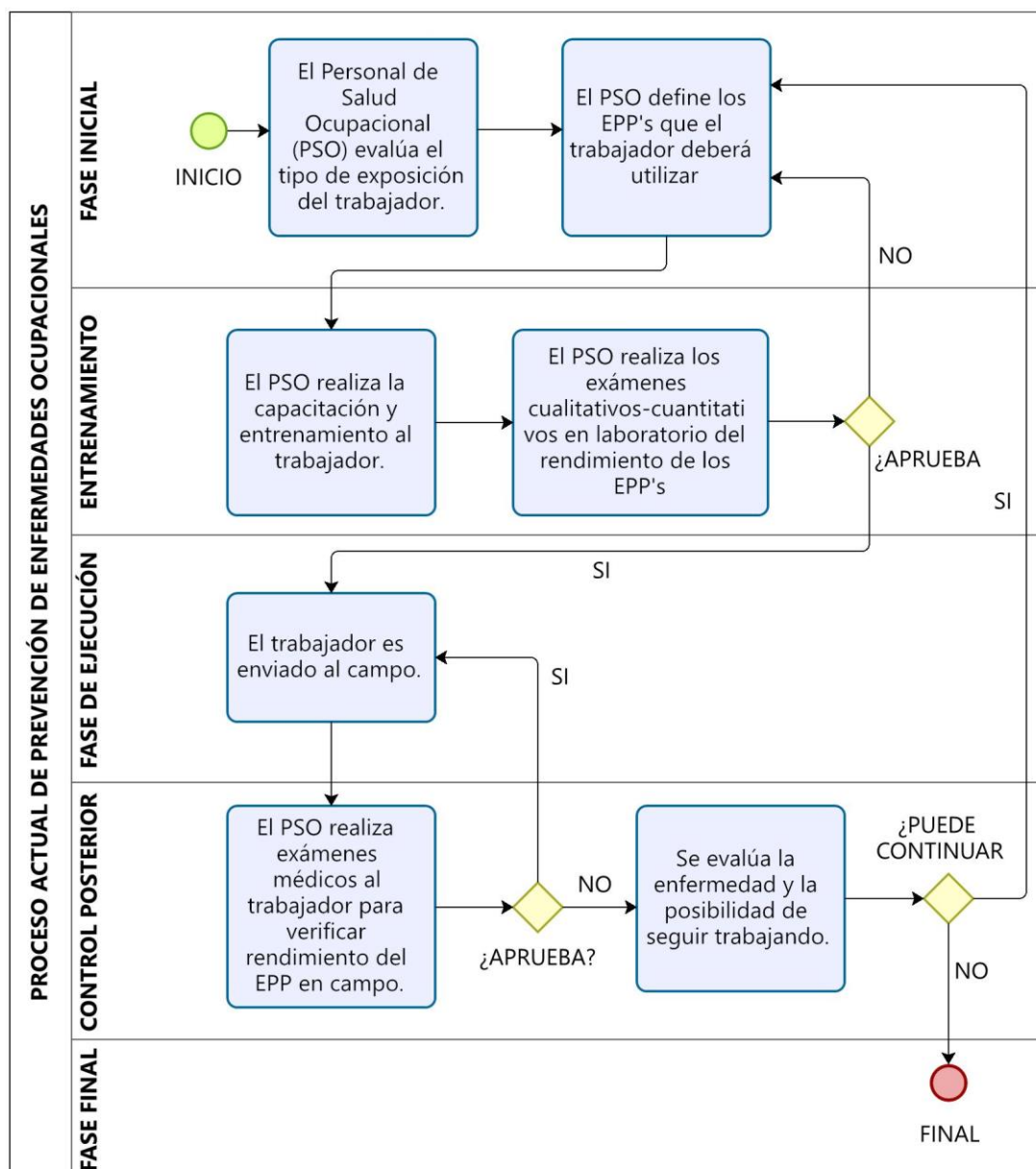
Para determinar si un trabajador se encuentra con alta exposición a adquirir estas enfermedades, el personal responsable de la salud ocupacional en la entidad minera, tendría que verificar constantemente la correcta utilización del respirador en cada uno de los trabajadores, exponiendo su propia salud, y con probabilidad de error y respuesta tardía ante alguna eventualidad. Asimismo, se identifica que las pruebas cuantitativas y cualitativas del respirador no representan el aporte suficiente para prevenir la adquisición de una enfermedad respiratoria.

La figura 1 muestra el diagrama de flujo de control de salud ocupacional que se viene aplicando actualmente.

Figura 1

Proceso actual de prevención de enfermedades.

Fuente: Elaboración propia basada en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería y en prácticas recomendadas por el Ministerio de Energía y Minas



1.2.4. Formulación del problema

Existe una deficiencia en el proceso de prevención de enfermedades respiratorias en trabajadores mineros por causa de la mala utilización del respirador

de media cara, toda vez que los profesionales encargados de la seguridad y salud en el trabajo no pueden supervisar su correcto uso in situ, y aunque se pudiera, no sería posible supervisar a todo el personal al mismo tiempo. Esto provoca desconocimiento de los instantes en los que el trabajador se encuentra expuesto a la enfermedad, lo que impide adoptar medidas correctivas inmediatas.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Diseñar y desarrollar un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real que permita evaluar la calidad de uso del respirador de media cara en minería, con fines educativos e investigativos.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- a. Identificar los parámetros fisiológicos relacionados con el uso de respiradores de media cara en minería.
- b. Seleccionar el sensor más adecuado para la obtención de estos parámetros fisiológicos.
- c. Diseñar y desarrollar un prototipo de sistema de monitoreo en tiempo real que permita evaluar la calidad de uso del respirador, destinado exclusivamente a fines educativos e investigativos.
- d. Evaluar la precisión del prototipo desarrollado para determinar el correcto uso del respirador.

1.4. Importancia y alcance de la investigación

1.4.1. Importancia

La presente investigación plantea una propuesta de mejora que incorpora tecnología para el monitoreo en tiempo real del uso de respiradores por parte de los trabajadores. El proceso actual de prevención, mostrado en la Figura 1, presenta limitaciones debido a la falta de centralización de la información en tiempo real, lo que dificulta la intervención rápida en caso de fallos en el uso de los respiradores. Para abordar esta problemática, se propone un nuevo proceso basado en tecnología, el cual se detalla en la Figura 5 (ubicada en el apartado 3.1.), donde se explican los cambios específicos y los beneficios esperados en comparación con el proceso actual.

1.4.2. Alcance

El alcance de la investigación abarca varios ámbitos significativos, comenzando por la salud pública, donde se espera que los resultados contribuyan al bienestar general de la sociedad. También se enfoca en las entidades mineras, que son el principal contexto de estudio, así como en aquellas instituciones que brindan servicios de salud ocupacional, ampliando así el impacto de los hallazgos en el ámbito de la seguridad laboral. Además, se considera a las entidades que ofrecen soluciones tecnológicas para la seguridad y salud en el trabajo, lo que sugiere que el trabajo puede tener aplicaciones comerciales en el mercado. Por último, la investigación se relaciona con la literatura actual y con estudios realizados a nivel internacional en ámbitos similares, lo que permitirá enriquecer el conocimiento existente y fomentar mejores prácticas en la prevención de enfermedades ocupacionales.

1.5. Limitaciones de la investigación

Las limitantes de la investigación incluyen, en primer lugar, las dificultades de acceso a elementos básicos, como respiradores y chips importados, debido a la

pandemia del COVID-19, lo que pudo haber retrasado el proceso de desarrollo del prototipo. Además, el desarrollo integral de la solución tecnológica requirió un conocimiento general en diversas disciplinas, como biología, redes y conectividad, programación y procesamiento de datos, lo que representa un desafío adicional en la ejecución del proyecto. Estas limitantes pueden haber influido en los resultados obtenidos y en la efectividad del prototipo desarrollado.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

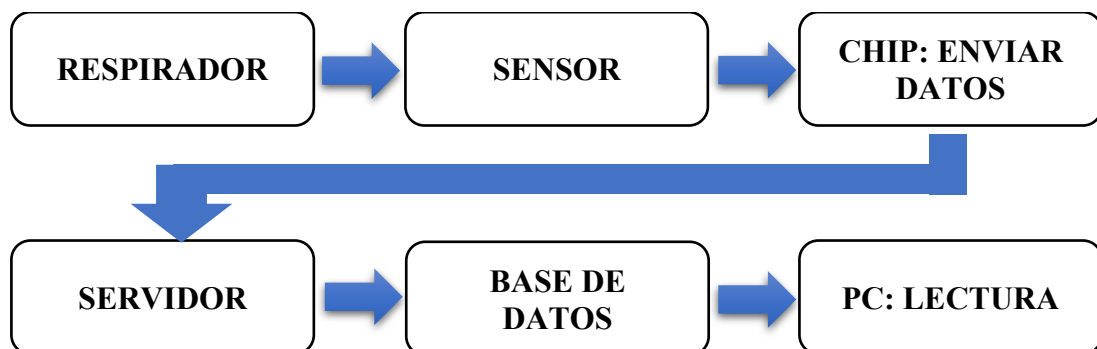
2.1. Marco teórico

El aporte de la ingeniería hacia el campo de la seguridad y salud en el trabajo consiste en implementar tecnología a sus procesos de control y seguimiento. Esta tecnología, para el presente caso, se encuentra basada en integrar un dispositivo electrónico (chip), enviar los datos en forma inalámbrica y procesarlo en una computadora. En ese sentido, en la Figura 2 se establece el diagrama de bloques para poder instaurar las bases teóricas del presente estudio:

Figura 2

Diagrama de bloques para Bases Teóricas.

Fuente: Elaboración propia



2.2. Antecedentes del estudio

Existen diversas investigaciones en el ámbito de la minería, industria química, salud, incendios, entre otros ámbitos, realizadas con la finalidad de evaluar el rendimiento de los respiradores mediante pruebas cualitativas y/o cuantitativas.

Las pruebas cualitativas consisten en procesos que exponen al portador de un respirador a un agente químico para comprobar su eficacia. Si el respirador no es el adecuado, el individuo percibirá un estímulo sensorial como un sabor u olor. Entre las pruebas reconocidas por la OSHA se encuentran las de sacarina, acetato de isoamilo, Bitrex y humo irritante.

Por otro lado, las pruebas cuantitativas miden el desempeño del respirador mediante un equipo al cual se conecta una sonda al interior del respirador. Estas pruebas permiten obtener resultados independientes de la capacidad del usuario para detectar estímulos sensoriales. Entre los métodos aceptados por la OSHA para este tipo de pruebas se encuentran el aerosol generado, aerosol ambiental y presión negativa controlada.

Como puede observarse, las pruebas cualitativas y cuantitativas se consideran pruebas de laboratorio debido a la complejidad de sus procedimientos, el tiempo necesario para su realización y la magnitud de los equipos utilizados.

Cherrie *et al.* (2018), publicaron en la revista *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* (JESEE), un estudio que evaluó el tiempo de uso e indicó el estado de salud de los pulmones mediante dos ensayos. El primero consistió en introducir un sensor de temperatura y humedad en el respirador y registrar estos valores para que luego mediante un algoritmo, se determine el tiempo de uso del respirador en un ambiente interior (oficina u hogar). El segundo fue realizado en un ambiente exterior por un periodo de cinco días. Además, los participantes detallaron su estado de salud, hábitos dañinos al sistema respiratorio y datos demográficos. En esta segunda etapa, concluyeron que la temperatura que se generaba dentro de la máscara está ampliamente asociada con la temperatura de la exhalación.

Viner *et al.* (2019), en una investigación solicitada por la compañía 3M Innovative Properties Company y publicada por la World Intellectual Property Organization (WIPO), describieron un método para evaluar el ajuste de un respirador a través de un sensor instalado dentro del respirador y otro fuera del mismo que miden la concentración de partículas; luego, se conectaban de forma inalámbrica a un lector que determina el indicador de factor de ajuste.

Spies *et al.* (2011), llevaron a cabo un estudio en Sudáfrica a fin de evaluar el ajuste a 29 personas de diferente sexo y morfología facial que se encontraban utilizando un respirador desechable tipo P2 mediante el equipo PortaCount. Como producto de este estudio, se obtuvo que solo el 13.8% de los participantes pasaron correctamente la prueba cuantitativa.

La Universidad de Lima y la empresa Dräger desarrollaron en 2021 el proyecto “Pulmochip: Sistema creado para la determinación del factor de protección efectivo de respiradores utilizados en la industria y minería”, el cual consiste en una tarjeta electrónica con sensores y memoria introducida al interior del respirador, la cual recogía datos fisiológicos obtenidos, que al finalizar la jornada de trabajo se procesaban en un sistema informático para la evaluación por parte del personal de seguridad y salud en el trabajo para una posterior toma de decisiones.

Con la finalidad de mejorar las condiciones laborales de cerca de 200 mil trabajadores mineros peruanos, y, en coordinación con el profesional a cargo del proyecto Pulmochip, se desarrolló paralela e independientemente a la creación de dicho proyecto, otra alternativa de solución incluyendo la mejora de introducir un sistema adicional de remisión de datos vía inalámbrica hacia la computadora para el monitoreo en tiempo real de la calidad de uso que se le brinda a los respiradores, lo cual es materia del presente trabajo de investigación. Ver Anexo 01.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Aspectos generales de la respiración

De acuerdo con Capítulo 10 de la Encyclopaedia of Occupational Health & Safety, el sistema respiratorio del cuerpo humano es el encargado de transportar el oxígeno hasta los alveolos, donde se produce el intercambio de gases con la sangre capilar. Asimismo, permite eliminar dióxido de carbono, mantener la temperatura corporal, la saturación de vapor de agua en la vía aérea, la esterilidad y eliminar el exceso de desechos inhalados. El sistema respiratorio cuenta con un régimen de trabajo continuo para poder preservar la vida, por lo que todos los órganos que la componen deben mantenerse en óptimas condiciones de salud. Sin embargo, existen

factores que afectan la integridad física de la vía aérea, los pulmones, los alveolos, entre otros, que no permiten un adecuado funcionamiento del sistema respiratorio y por ende de otros sistemas fisiológicos del cuerpo humano. Estos factores están básicamente orientados a conductas como el consumo de tabaco, inhalación de sustancias tóxicas, aunque también pueden incluir malformaciones congénitas de la nariz, quistes broncogénicos, entre otros. Aunque algunos de estos factores son inevitables, otros pueden prevenirse evitando estas prácticas o haciendo uso de protectores respiratorios.

2.3.2. Enfermedades ocupacionales respiratorias

De acuerdo con Capítulo 10 de la Encyclopaedia of Occupational Health & Safety (Stellman, 1998), estas enfermedades las podemos encontrar principalmente en aquellas labores en las cuales el trabajador está expuesto a inhalar sustancias que dañan los órganos y tejidos del sistema respiratorio. Algunas de estas labores son la minería, la avicultura, la medicina que trata enfermedades respiratorias infectocontagiosas, entre otras. El tiempo de exposición, las propiedades del agente dañino y la protección utilizada son factores que incrementan el riesgo de contraer enfermedades respiratorias ocupacionales.

Las enfermedades ocupacionales respiratorias más comunes derivadas de la actividad minera son las siguientes:

Enfermedad por berilio. El berilio es un elemento químico tóxico que es utilizado para endurecer aleaciones. Llamada también beriliosis, es una enfermedad causada por la inhalación de berilio que produce inflamación pulmonar, que puede presentarse en fase aguda o crónica

Neumoconiosis. Es un grupo de enfermedades respiratorias causadas por la inhalación de polvo mineral o vegetal. De acuerdo a la definición adoptada por la Tercera Conferencia Internacional de Expertos sobre neumoconiosis en 1950, esta “es una enfermedad pulmonar diagnosticable causada por la inhalación de polvo, entendiéndose como ‘polvo’ una materia particulada en fase sólida, excluyendo a los organismos vivos”.

La reacción de los pulmones depende del tipo de polvo que se inhala. Los polvos no fibrogénicos, como el dióxido de titanio, óxido de estaño, sulfato de bario,

entre otros, producen una mínima reacción de fibrosis. Los polvos fibrogénicos, como el sílice, producen cicatrices en los pulmones lo que provoca una reacción de fibrosis.

Asimismo, esta enfermedad puede clasificarse como colágena o no colágena. La neumoconiosis no colágena se produce por la exposición a polvo no fibrogénico. Sus características son las siguientes:

- a. Arquitectura alveolar integra
- b. Se evidencia fibras de reticulina
- c. Reacción estromal mínima
- d. Reversible.

Las neumoconiosis colagenosas se producen por polvo fibrogénico, siendo algunas de ellas la silicosis y la asbestosis. Sus características son:

- a. Alteración permanente o destrucción de la arquitectura alveolar
- b. Reacción estromal de grado moderado a máximo
- c. Cicatrización permanente del pulmón
- d. Silicosis.

La silicosis es una enfermedad profesional fibrótica pulmonar colagenosa producida por la inhalación de sílice cristalino. Esta enfermedad es potencialmente grave y mortal en todo el mundo. Los trabajadores de la minería, perforación, construcción, entre otros, están expuestos.

Dado que se trata de una enfermedad incurable, la prevención es la estrategia más efectiva para abordarla. Esta debe implementarse utilizando todos los recursos tecnológicos y científicos disponibles, como la mejora de los sistemas de ventilación, la selección de equipos adecuados de protección respiratoria y la capacitación del personal sobre las graves consecuencias de la exposición al polvo de sílice. Asimismo, es fundamental optimizar la vigilancia ocupacional, mediante la incorporación de tecnologías actuales, con el fin de proteger a los trabajadores mineros de esta enfermedad.

2.3.3. Protección respiratoria en la actividad minera

El Estado Peruano, mediante la Ley N°29783: “Ley de Seguridad y Salud en el trabajo”, establece en el Artículo 21 “las medidas de prevención y protección del

Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo”, medidas bajo un orden de prioridad, las cuales son los siguientes:

- a. Eliminar los peligros y riesgos: se deben combatir y controlar los riesgos en su origen, en el medio de transmisión y en el trabajador, privilegiando el control colectivo al individual;
- b. Tratamiento, control o aislamiento de los riesgos, adoptando medidas técnicas y/o administrativas;
- c. Minimizar los peligros y riesgos, adoptando sistemas de trabajo seguro que incluyan disposiciones administrativas de control;
- d. Programar la sustitución progresiva y en el menor tiempo posible, de los procedimientos, técnicas, medios, sustancias y productos peligrosos por aquellos que produzcan un menor o ningún riesgo para el trabajador;
- e. En último caso, facilitar equipos de protección personal adecuados, asegurándose que los trabajadores los utilicen y conserven en forma correcta.

De acuerdo con el análisis del ítem e) de la mencionada Ley N°29783, se concluye que el uso de equipos de protección personal en el sector minero es de estricta aplicación. Asimismo, en el Artículo 60 de la citada Ley, “Equipos para la protección”, se establece lo siguiente: “El empleador proporciona a sus trabajadores equipos de protección personal adecuados, según el tipo de trabajo y riesgos específicos presentes en el desempeño de sus funciones, cuando no se puedan eliminar en su origen los riesgos laborales o sus efectos perjudiciales para la salud este verifica el uso efectivo de los mismos”.

2.3.4. Equipo de protección personal

El Estado peruano define al equipo de protección personal (EPP), de la siguiente manera: “Son dispositivos, materiales, e indumentaria específicos o personales, destinados a cada trabajador, para protegerlo de uno o varios riesgos presentes en el trabajo que puedan amenazar su seguridad y salud. El EPP es una alternativa temporal, complementaria a las medidas preventivas de carácter colectivo.” (Ley 29783, 2012, p. 39)

Son algunos equipos de protección personal utilizados en minería, los siguientes:

- a. Casco: Se utiliza para protección de la cabeza en áreas donde existen riesgos de impacto contra objetos que caen u objetos fijos. También se utiliza para aislar al trabajador en áreas con líneas eléctricas suspendidas en el aire, evitando así descargas eléctricas o quemaduras
- b. Protector auditivo anatómico: Se utiliza para proteger la capacidad auditiva del trabajador mediante la atenuación del ruido, debiendo cumplir con el índice de reducción del ruido (NRR) mínimo necesario. Se utiliza en ambientes donde existan niveles de presión sonora por encima de los 80 dBA en todas las frecuencias
- c. Gafas de seguridad: Se utilizan para la protección de los ojos de partículas pequeñas que puedan impactar y dañar la capacidad visual del trabajador
- d. Respirador: Se utiliza para proteger el sistema respiratorio contra agentes orgánicos o inorgánicos como el polvo de sílice libre, fibra de vidrio, arcilla, arenas, carbón mineral, ácidos, fosforados, trabajos en alcantarillas, virus, bacterias, etc. Que puedan depositarse en los pulmones, provocando deterioro y enfermedades respiratorias agudas o crónicas, como neumoconiosis, silicosis, asfixias, asma, cáncer, tuberculosis, fibrosis pulmonar, entre otras.

2.3.5. Respirador

Como se mencionó, el respirador es un equipo de protección personal destinado a aquellos trabajadores que se encuentren expuestos a agentes contaminantes. Básicamente cuenta con una mascarilla que puede ser simple, de media cara o de cara completa y además, un filtro para los agentes contaminantes o una fuente externa de aire no contaminado. Existen diversos tipos de equipos de protección personal para el sistema respiratorio y la elección de uno en específico dependerá de los siguientes factores:

- a. Naturaleza del peligro y las propiedades fisicoquímicas del contaminante
- b. La concentración de los contaminantes
- c. Límite de exposición permisible u otro límite de exposición ocupacional
- d. Naturaleza de la operación o proceso de trabajo
- e. Duración del uso del respirador
- f. Actividades laborales y estrés físico y psicológico

- g. Prueba de ajuste
- h. Características físicas, capacidades funcionales y limitaciones de los respiradores
- i. Cumplimiento de la normatividad. Por ejemplo, según la OSHA, todos los respiradores deben contar con una Certificación NIOSH. Sin embargo, se permite el uso de respiradores sin dicha certificación si existe documentación que acredita la efectividad de los respiradores contra los contaminantes que se requieran bloquear.

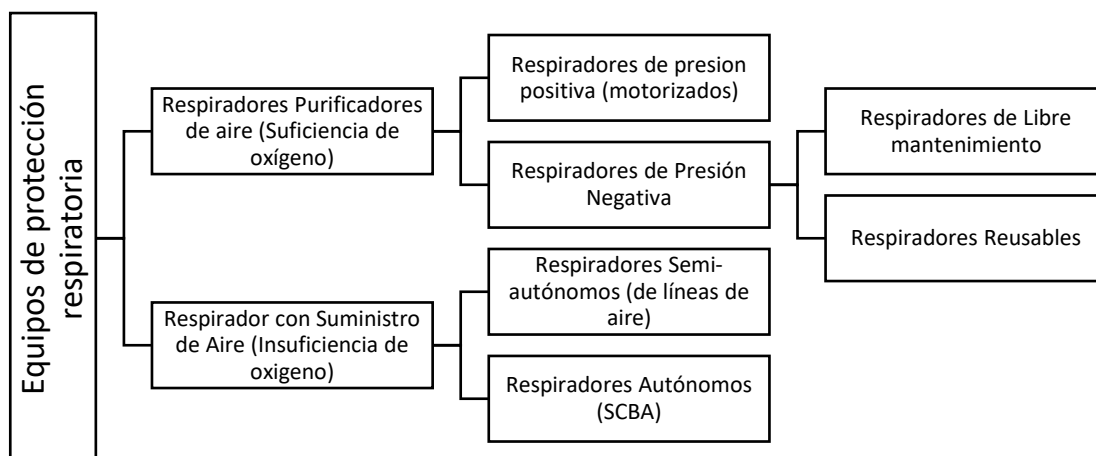
2.3.6. Tipos de respiradores

Según la OSHA, existen dos tipos de respiradores: los purificadores de aire (que cuentan con filtro) y los que reciben aire de una fuente externa. Se puede apreciar en la Figura 3 la clasificación de los respiradores.

Figura 3

Tipos de Respiradores

Fuente: Elaboración propia basada en OSHA (2020) y NIOSH (2021)



Nota: Los respiradores se dividen en dos tipos principales: respiradores de purificación de aire y respiradores de suministro de aire (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], n.d.).

2.3.7. Criterios a considerar en la selección de respiradores

Según la Guía para la Selección y Control de Equipos de Protección Respiratoria Versión 2.0 (Instituto de Salud Pública del Ministerio de Salud del Gobierno de Chile, 2020), se debe considerar lo siguiente:

- a. La actividad que se va a realizar: tiempo de exposición, frecuencia y demanda física
- b. Las condiciones ambientales del lugar de trabajo
- c. Comodidad del trabajador con el equipo seleccionado
- d. Morfología facial, vellos faciales, sudoración excesiva
- e. Sistema de ajuste del respirador
- f. Vida útil
- g. Factor de protección asignado.
- h. Realización de pruebas cualitativas y cuantitativas
- i. Indicadores importantes que intervienen en la selección de los respiradores.
- j. Otros criterios indicados en el numeral 2.4. del presente trabajo de investigación.

2.3.8. Parámetros fisiológicos de la respiración en el respirador

- a. Humedad relativa
- b. Temperatura
- c. Presión
- d. Volumen.

2.3.9. Sensor

Un sensor es un dispositivo que reacciona de forma cualitativa o cuantitativa ante un fenómeno dado. Actualmente, existen diversos tipos de sensores para diferentes fenómenos e incluso existen sensores que pueden medir más de una sola magnitud. Para el presente caso, se requiere un sensor de tamaño reducido que permita medir diversos parámetros fisiológicos para estudiarlos y determinar cuál es el más apropiado para resolver la problemática planteada. Asimismo, dadas las condiciones particulares de trabajo en el sector minero, es necesario que este sensor continúe siendo confiable en sus lecturas en grandes altitudes, bajas y altas temperaturas, entre otros, para lo cual se debe analizar la hoja técnica respectiva. Por otro lado, sería conveniente que el sensor solo contenga un pin de salida de tipo digital para reducir el espacio al máximo. Adicionalmente a ello, se deben verificar los costos a fin de reducir los precios en una eventual posterior fabricación con fines de lucro.

2.3.10. Filtro IIR

Llamado también Filtro de Respuesta Impulsional Infinita. Es un tipo de filtro en el cual la salida del sistema depende de las salidas previas. La ecuación que la define es la siguiente:

$$y(n) = b_0x(n) + b_1x(n-1) + \dots + b_Mx(n-M) - a_1y(n-1) - a_2y(n-2) - \dots - a_Ny(n-N)$$

$$y(n) = \sum_{k=0}^M b_k * x(n-k) - \sum_{k=1}^N a_k * y(n-k)$$

La función de transferencia en Z es el siguiente:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k * z^{-k}}{\sum_{k=0}^N a_k * z^{-k}}$$

2.4. Definición de términos

Considerando los conceptos indicados en la Guía para la Selección y Control de Equipos de Protección Respiratoria Versión 2.0 (Instituto de Salud Pública del Ministerio de Salud del Gobierno de Chile, 2020), se definen los siguientes términos relevantes:

2.4.1. Factor de ajuste

Es la proporción que existe entre la concentración de una sustancia en el ambiente y dentro del respirador considerando el sellado natural que existe entre el usuario y dicho respirador, el cual puede afectar su factor de protección.

2.4.2. Factor de protección

Es la proporción que existe entre la concentración de una sustancia en el ambiente y dentro del respirador mientras es utilizado en la zona de trabajo.

$$\text{Factor de ajuste} = \frac{\% \text{ sustancia en el ambiente}}{\% \text{ sustancia en el respirador}}$$

2.4.3. Límite de exposición ocupacional

Son valores numéricos que hacen referencia a la concentración máxima permitida de una determinada sustancia, de manera que la inhalación de esta sustancia no signifique riesgo de contraer enfermedades respiratorias.

2.4.4. Factor de protección asignado

Es un número asignado a un respirador específico que significa el nivel de protección que se espera obtener en la zona de trabajo. Por ejemplo, si un respirador

tiene un factor de protección asignado de 100, el usuario del respirador reducirá la exposición al 1% de la concentración del aire contaminado.

2.4.5. Factor de protección requerido

Es un número calculado mediante una fórmula que permite cuantificar el nivel de protección que se requiere que el respirador tenga para un ambiente de trabajo en específico. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Factor de protección requerido} = \frac{\% \text{ del contaminante en el aire}}{\text{Limite de Exposición Ocupacional}}$$

2.4.6. Tiempo de utilización adecuado del respirador (Tu)

Es el tiempo transcurrido acumulado durante el cual la calidad de uso que se le brinda al respirador, en cuanto a sellado y funcionamiento, permite la máxima eficiencia del respirador.

2.4.7. Tiempo de uso incorrecto del respirador (Tnu)

Es el tiempo transcurrido acumulado en el cual la calidad de uso que se le brinda al respirador en cuanto a sellado y funcionamiento, no permite su máxima eficiencia del respirador. Se considera utilización incorrecta tanto el no uso como el mal uso del respirador.

2.4.8. Factor Efectivo de Protección (FEP)

Es el nivel real de protección que brinda el respirador considerando todos los factores que influyen en él durante su uso en el lugar de trabajo. Es necesario precisar que, aunque se utiliza correctamente el respirador, la eficiencia no será del

cien por ciento, sino que dependerá del factor de protección. Se puede calcular a través de la siguiente fórmula:

$$FEP = \frac{\text{Tiempo total}}{\frac{\text{Tiempo de uso}}{\text{Factor de protección}} + \text{Tiempo de no uso}}$$

Si se considera que el Factor de Protección (real) es igual al Factor de Protección Asignado (teórico), se desprende la siguiente ecuación:

$$FEP = \frac{\text{Tiempo total}}{\frac{\text{Tiempo de uso}}{\text{Factor de protección asignado}} + \text{Tiempo de no uso}}$$

Asimismo, considerando una jornada laboral de ocho horas y tabulando con los siguientes datos, se obtiene:

Tabla 1

Tabulación del Factor Efectivo de Protección

Tu (h)	Tnu (h)	Tt (h)	FPA	FEP
0	8	8	50	1
1	7	8	50	1.13960113960114
2	6	8	50	1.32450331125828
3	5	8	50	1.58102766798419
4	4	8	50	1.96078431372549
5	3	8	50	2.58064516129032
6	2	8	50	3.77358490566038
7	1	8	50	7.01754385964912
8	0	8	50	50

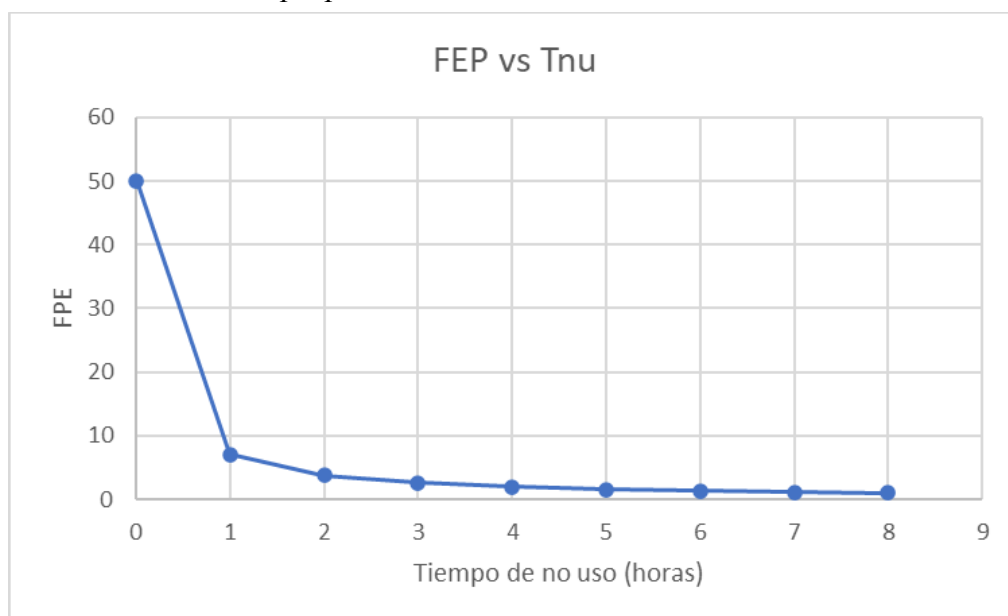
Nota. Se ha considerado una jornada laboral de ocho (8) horas de un trabajador minero, el cual se encuentra utilizando un respirador de media cara con un factor de protección asignado de 50, con la finalidad de hallar el factor de protección real del respirador a medida que el trabajador no usa correctamente este equipo de protección personal.

Graficando los valores obtenidos en la Tabla 1 se obtiene lo siguiente:

Figura 4

Factor Efectivo de Protección vs Tiempo de No Uso

Fuente: Elaboración propia



Como se puede observar en la Figura 4, a medida que aumenta el tiempo de no uso del respirador, el factor efectivo de protección disminuye de manera exponencial, por lo que el trabajador queda casi totalmente expuesto al riesgo de contraer la enfermedad respiratoria.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis General

Como se mencionó previamente en el apartado 1.4.1., el proceso propuesto busca mejorar la prevención de enfermedades ocupacionales mediante la centralización de información en tiempo real. En la Figura 5, se muestra el diagrama detallado de esta propuesta, resaltando que el cambio clave respecto al proceso actual, es la inclusión de la tecnología.

En ese sentido, se plantea la hipótesis de que es posible determinar en términos cuantitativos y en tiempo real la calidad de uso que el trabajador le da al respirador durante la jornada laboral mediante la adquisición, tratamiento y análisis de una o más señales fisiológicas obtenidas durante su uso.

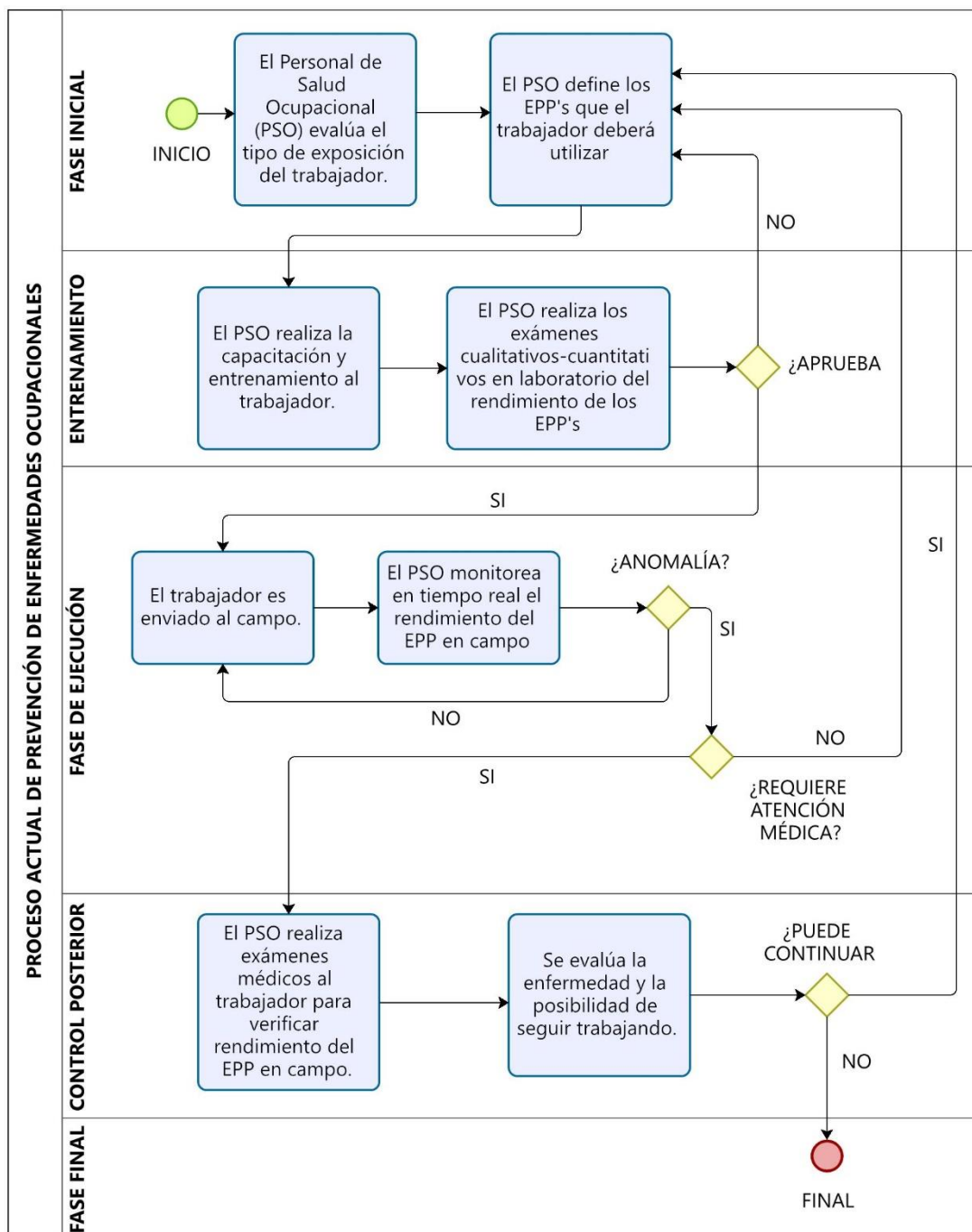
3.2. Hipótesis Específicas

- Si se identifican los parámetros fisiológicos adecuados, entonces se podrá medir la calidad de uso del respirador de manera objetiva.
- Si se selecciona un sensor con la precisión y características adecuadas, entonces será posible obtener datos confiables sobre el uso del respirador.
- Si se diseña e implementa un sistema de monitoreo en tiempo real con fines educativos e investigativos, entonces se podrá evaluar la correcta utilización del respirador sin interferir con el trabajo del usuario.
- Si se comparan los resultados del sistema con estándares de seguridad, entonces se podrá determinar el nivel de precisión del dispositivo desarrollado.

Figura 5

Proceso propuesto de prevención de enfermedades ocupacionales.

Fuente: Elaboración propia



3.3. Variables

De acuerdo al objetivo principal de la presente investigación, se determina que se requieren señales fisiológicas para poder establecer el producto final, el cual es determinar la calidad de uso. En ese sentido, se definen las siguientes variables:

3.3.1. *Variable independiente*

Calidad de uso de los respiradores de media cara.

3.3.2. *Variable dependiente*

Indicador de salud ocupacional.

3.4. Operacionalización de las variables

Para obtener un resultado óptimo, dado que se requiere elaborar el dispositivo a nivel de hardware y software, que las variables sean las mínimas posibles. En ese sentido, para el caso de la variable independiente (calidad de uso del respirador), solo se establecerán dos posibles valores: Buen Uso y Mal Uso. Con esta variable y sus dos posibles valores, se determinará el factor de uso (indicador de salud ocupacional).

Las dimensiones de la variable independiente (calidad de uso del respirador), son las siguientes:

- a. Ajuste del respirador: Se refiere al sellado entre el respirador y la morfología facial del usuario.
- b. Tiempo de buen uso: Se refiere al tiempo en el que el respirador se encuentra siendo utilizado correctamente y el Factor de Protección Asignado es el real.

- c. Tiempo de Mal Uso: Se refiere al tiempo en el que el respirador se encuentra siendo utilizado incorrectamente y el Factor Efectivo de Protección es menor al Factor Protección Asignado es el real.
- d. Condiciones del respirador: Se refiere a las pruebas de laboratorio realizadas al respirador y al usuario con la finalidad de evaluar si el respirador conserva sus propiedades de protección, requiere mantenimiento o cambio.

Las dimensiones de la variable dependiente (indicador de salud ocupacional), son las siguientes:

- a. Estado de salud respiratoria del usuario: Se refiere a las condiciones físicas previas que afectan las lecturas del usuario.
- b. Problemas técnicos: Se refiere a las posibles fallas eléctricas, electrónicas o de conectividad que pueden darse en el campo.

En el presente estudio, se busca desarrollar un algoritmo que permita evaluar en tiempo real la calidad del uso del respirador por parte del trabajador. Para ello, se cuenta con indicadores como el Factor de Protección Estimado (FEP) o el Factor de Uso. Para el ajuste del algoritmo, se ha optado por utilizar el Factor de Uso en lugar del FEP debido a su mayor aplicabilidad en el monitoreo en tiempo real del uso del respirador. Mientras que el FEP se basa en mediciones estándar de laboratorio y proporciona una estimación general del nivel de protección bajo condiciones ideales, el Factor de Uso permite evaluar de manera directa y en campo cómo está siendo utilizado el respirador por el trabajador. Dado que el objetivo del algoritmo es detectar fallos en la colocación y uso del respirador en situaciones reales, el Factor de Uso se ajusta mejor a esta necesidad, ya que refleja con mayor precisión las condiciones reales de exposición y la eficacia del equipo de protección en cada jornada laboral.

No obstante, el FEP sigue siendo un valor de referencia importante en la evaluación de la efectividad global de los respiradores, pero para la optimización del algoritmo, el Factor de Uso proporciona datos más dinámicos y específicos para la toma de decisiones operativas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

Ingeniería aplicada a la Seguridad y Salud en el Trabajo en el campo de la protección respiratoria para trabajadores mineros.

4.2. Etapas de la investigación

La presente investigación se desarrolló en diversas etapas secuenciales, las cuales permitieron diseñar, implementar y validar el sistema de monitoreo en tiempo real para evaluar la calidad del uso del respirador. Estas etapas fueron las siguientes:

4.2.1. *Revisión de la literatura científica y técnica*

Se realizó la búsqueda de antecedentes, normativas y estudios previos sobre enfermedades ocupacionales respiratorias, equipos de protección personal, sensores y sistemas de monitoreo. Esto permitió identificar el vacío tecnológico existente en la supervisión del uso de respiradores.

4.2.2. *Definición de requisitos del sistema*

Se establecieron los parámetros fisiológicos a monitorear, las condiciones del entorno minero y las características mínimas que debía cumplir el sistema, tanto a nivel de hardware como de software.

4.2.3. Selección y justificación de componentes

A partir de los requisitos definidos, se evaluaron diversos sensores, microcontroladores y tecnologías de transmisión inalámbrica disponibles en el mercado. Se seleccionaron los componentes óptimos considerando precisión, costo, tamaño y compatibilidad.

4.2.4. Diseño del sistema electrónico

Se elaboraron los esquemas electrónicos del sistema, integrando sensor, microcontrolador y sistema de alimentación. El diseño fue probado inicialmente en protoboard.

4.2.5. Programación y desarrollo del software embebido

Se implementó el código en lenguaje C utilizando el entorno Arduino IDE para configurar el sensor, adquirir datos y enviarlos vía Wi-Fi a una base de datos.

4.2.6. Diseño e implementación de la base de datos y scripts

Se desarrollaron scripts en PHP y una base de datos en MySQL para registrar los datos enviados por el dispositivo y permitir su consulta.

4.2.7. Pruebas experimentales y recolección de datos

Se realizaron pruebas de campo con voluntarios utilizando el respirador en diferentes condiciones (reposo, esfuerzo, mal uso), y se recopilaron datos fisiológicos para su análisis.

4.2.8. *Análisis y visualización de resultados*

Se procesaron los datos en Matlab y se graficaron los parámetros recolectados. Asimismo, se desarrolló un algoritmo para estimar el indicador de uso del respirador (Factor de Uso).

4.2.9. *Evaluación del dispositivo y validación*

Finalmente, se evaluó el nivel de confiabilidad del dispositivo mediante la comparación entre los resultados esperados y los obtenidos, estableciendo su precisión y aplicabilidad.

4.3. *Diseño de investigación*

En el presente numeral se debe establecer lo que se requiere a nivel de software y hardware para implementar el dispositivo solución. Para esto se tomará en cuenta el diagrama de bloques indicado en la Figura 2.

4.3.1. *Requisitos técnicos mínimos del sistema*

Antes de seleccionar el sensor y los componentes electrónicos, es necesario establecer los requisitos técnicos mínimos que debe cumplir el sistema para asegurar la correcta adquisición de datos fisiológicos, bajo las condiciones particulares de la actividad minera.

Requisitos técnicos mínimos del sensor. Son los siguientes:

- Medición de temperatura, humedad y presión con alta resolución.
- Tamaño reducido que permita su inserción en un respirador de media cara sin afectar la comodidad del usuario.
- Rango amplio de operación (temperaturas extremas, alta humedad, presión atmosférica variable).

- Precisión mínima: ± 1 °C (temperatura), $\pm 3\%$ HR (humedad), ± 1 hPa (presión).
- Frecuencia de muestreo alta (mínimo 30 Hz) para captar variaciones durante el ciclo respiratorio (aproximadamente 1 segundo).
- Salida digital para facilitar la integración con microcontroladores.
- Bajo consumo energético.

Requisitos técnicos mínimos del sistema de transmisión y del controlador. Son los siguientes:

- Capacidad de conectarse inalámbricamente para envío en tiempo real.
- Compatible con sensores digitales por comunicación I2C.
- Al menos 2 GPIOs configurables como I2C.
- Dimensiones compactas para integración en espacios reducidos (respirador).
- Bajo consumo de energía (uso de pilas).
- Almacenamiento suficiente de memoria para ejecución de algoritmos simples.
- Facilidad de programación y depuración.
- Disponibilidad en el mercado local
- Confiable en ambientes industriales o mineros.

4.3.2. Hardware: Selección del sensor

Las opciones que brinda el mercado actual son las siguientes:

Sensor DHT11. Sus características son:

- a. Sensor de temperatura y humedad
- b. Una salida digital
- c. Uso sencillo y compatible con plataformas de programación comunes
- d. Alimentación de 3 a 5 VDC
- e. Lectura cada 2 segundos
- f. Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- g. Precisión de medida de temperatura: ± 2 °C
- h. Resolución de medida de temperatura: 0.1 °C
- i. Rango de medición de humedad: 20 a 90 %
- j. Precisión de medida de humedad: ± 5 %

- k. Resolución de medida de humedad: 1 %
- l. Dimensiones: 16 x 12 x 5 mm
- m. Peso: 1gr
- n. Costo aproximado: S/. 10.00.

Sensor BME280. Sus características son:

- a. Sensor de temperatura, presión y humedad
- b. Una salida digital
- c. Uso sencillo y compatible con plataformas de programación comunes
- d. Cuenta con filtros digitales internos tipo IIR los cuales se pueden programar con un controlador
- e. Alimentación de 1.8 a 3.3 VDC
- f. Rango de medición de temperatura: -40 a 85 °C
- g. Precisión de medida de temperatura: ± 1 °C
- h. Resolución de medida de temperatura: 0.01 °C
- i. Rango de medición de humedad: 0 a 100 %
- j. Precisión de medida de humedad: ± 3 %
- k. Rango de medición de presión: 300 a 1100 hPa (0.3-1.1 bar)
- l. Precisión de medida de presión: 1 hPa
- m. Resolución de medida de presión: 0.18 Pa
- n. Dimensiones: 16 x 12 x 5 mm
- o. Rango de altura para operación: 0 a 9100 metros
- p. Frecuencia de muestreo: 157 Hz (máximo)
- q. Dimensiones: 2.5 x 2.5 x 0.93 mm
- r. Costo aproximado: S/. 65.00.

Sensor DHT22. Sus características son:

- a. Sensor de temperatura y humedad
- b. Una salida digital
- c. Uso sencillo y compatible con plataformas de programación comunes
- d. Alimentación de 3 a 6 VDC
- e. Lectura cada 2 segundos
- f. Rango de medición de temperatura: -40 a 80 °C
- g. Precisión de medida de temperatura: $<\pm 0.5$ °C
- h. Resolución de medida de temperatura: 0.1 °C
- i. Rango de medición de humedad: 0 a 100 %

- j. Precisión de medida de humedad: ± 2 %
- k. Resolución de medida de humedad: 0.1 %
- l. Dimensiones: 20 x 15 x 8 mm
- m. Peso: 3 g
- n. Costo aproximado: S/. 35.00.

A partir de los requisitos establecidos en el numeral 4.2.1. y a lo que se ha descrito de los sensores que el mercado brinda, se tiene el siguiente análisis comparativo:

Tabla 2

DHT11 vs DHT22 vs BME280

CARACTERÍSTICA	DHT11	DHT22	BME280
Parámetros	Temperatura y humedad	Temperatura y humedad	Temperatura, humedad y presión
Rango de temperatura (°C)	0 a 50	-40 a 80	-40 a 85
Precisión temp. (°C)	± 2	$<\pm 0.5$	± 1
Precisión humedad (%)	± 5	± 2	± 3
Medición de presión	No	No	Si
Frecuencia de muestreo	~ 0.5 Hz	~ 0.5 Hz	Hasta 157 Hz
Tamaño físico	16 x 12 x 5 mm	20 x 15 x 8 mm	2.5 x 2.5 x 0.93 mm
Costo aprox. (S/.)	10.00	35.00	65.00

El sensor BME280 es el único que cumple con todos los requisitos: mide los tres parámetros deseados, tiene mayor resolución, opera en entornos extremos, posee filtros digitales programables y su frecuencia de muestreo es ideal para capturar ciclos respiratorios. Aunque su precio es más elevado, su versatilidad y precisión lo convierten en la mejor opción técnica.

4.3.3. Hardware: De la transmisión inalámbrica y controlador de datos

Para la transmisión inalámbrica de datos, actualmente, existen diversas formas y protocolos que se utilizan para transmitir datos inalámbricamente como el Wi-Fi, WiMax, LIFI y Bluetooth. A continuación, se realizará una comparación entre el Wi-Fi y el Bluetooth, a fin de fundamentar la elección de la tecnología para remitir los datos de forma inalámbrica.

Tabla 3

Bluetooth vs WI-FI

CARACTERÍSTICA	BLUETOOTH	WI-FI
Ancho de banda	Bajo	Alto
Conexión	Adaptador bluetooth	Adaptador inalámbrico y enrutado
Amigabilidad de uso	Fácil	Complicada
Alcance	10 metros	100 metros
Frecuencia	2.4 GHz a 2.483 GHZ	2.4 GHz a 5 GHz
Consumo	Bajo	Alto
Seguridad	Baja	Alta
Integración con redes	Limitada	Total
Idoneidad minera	Limitada	Aceptable (con repetidor)
Trabajos previos en minería	Si	Si

En el presente trabajo de investigación se utilizará la tecnología Wi-Fi, debido a que ofrece un mayor alcance, opera a frecuencias más altas y proporciona mejores niveles de seguridad. Además, en el mercado actual existen empresas especializadas en ofrecer soluciones tecnológicas, tanto de hardware como de

software, que permiten implementar la infraestructura necesaria para utilizar este dispositivo en entornos particulares del sector minero.

Para el caso del controlador de datos, y para los fines prácticos y el cumplimiento de los objetivos específicos planteados, es necesario seleccionar un dispositivo electrónico que controle los datos provenientes del sensor BME280 y enviarlos a una computadora vía Wi-Fi. En ese sentido, como resultado de la búsqueda de un microcontrolador capaz de remitir datos adquiridos por Wi-Fi, se encontraron los siguientes dispositivos:

Wemos D1 Mini ESP8266. Características:

- a. Plataforma orientada a Internet de las cosas (IoT)
- b. Voltaje de Alimentación: 5 VDC
- c. Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3 VDC
- d. SoM: ESP-12E (Ai-Thinker)
- e. SoC: ESP8266 (Espressif)
- f. RAM de instrucciones: 32 KB
- g. Data RAM: 96 KB
- h. Pines Digitales GPIO: 11 (3.3 V)
- i. Pin Analógico ADC: 1 (0-1 V)
- j. Antena en PCB
- k. Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
- l. Stack de Protocolo TCP/IP integrado
- m. Dimensiones: 35 x 26 x 12 mm
- n. Peso: 6 g.

NodeMCU V2 ESP8266 Wi-Fi. Características:

- a. Plataforma orientada a Internet de las cosas (IoT)
- b. Voltaje de Alimentación: 5 VDC
- c. Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3 VDC
- d. SoM: ESP-12E (Ai-Thinker)
- e. SoC: ESP8266 (Espressif)
- f. RAM de datos: 96 KB
- g. Pines Digitales GPIO: 17
- h. Pin Analógico ADC: 1 (0-1 V)
- i. Antena en PCB
- j. Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP

- k. Stack de Protocolo TCP/IP integrado
- l. Dimensiones: 49 x 26 x 12 mm
- m. Peso: 9 g.

ESP-01 ESP8266 WIFI - SERIAL. Características:

- a. Voltaje de Alimentación: 3.3 VDC
- b. Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3 VDC
- c. SoM: ESP-12E (Ai-Thinker)
- d. SoC: ESP8266 (Espressif)
- e. CPU: Tensilica Xtensa LX3 (32 bit)
- f. Frecuencia de Reloj: 80 MHz / 160 MHz
- g. Instrucción RAM: 32 KB
- h. Data RAM: 96 KB
- i. Memoria Flash Externa: 4 MB
- j. Pines Digitales GPIO: 4
- k. Antena en PCB
- l. Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
- m. Stack de Protocolo TCP/IP integrado
- n. Dimensiones: 25 x 15 x 12 mm
- o. Peso: 5 g.

A partir de los requisitos establecidos en el numeral 4.2.1. y a lo que se ha descrito de los microcontroladores que el mercado brinda, se tiene el siguiente análisis comparativo:

Tabla 4

ESP-01 vs Wemos D1 Mini ESP8266 vs NodeMCU V2 ESP8266

CARACTERÍSTICA	ESP-01	Wemos D1 Mini ESP8266	NodeMCU V2 ESP8266
Wi-Fi integrado	Si	Si	Si
Pines digitales GPIO	2	11	17
Pin analógico ADC	No tiene	1 (0 – 1 V)	1 (0 – 1 V)
Memoria RAM	80 KB (disponible)	96 KB	96 KB

CARACTERÍSTICA	ESP-01	Wemos D1 Mini ESP8266	NodeMCU V2 ESP8266
Voltaje alimentación	3.3 VDC	5 VDC	5 VDC
Comunicación I2C	Si	Sí	Sí
Tamaño (mm)	14.3 x 24.8 x 3	35 x 26 x 12	49 x 26 x 12
Peso	1.2 g	6 g	9 g
Facilidad de uso	Media (requiere adaptador para programación)	Alta	Alta
Precio aproximado	S/. 15.00	S/. 30.00	S/. 30.00

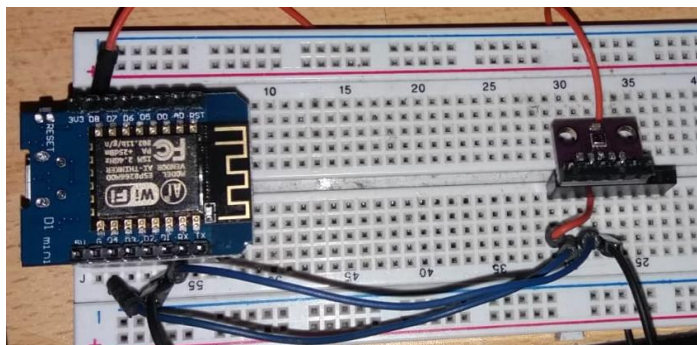
El ESP-01 fue seleccionado debido a su tamaño ultra compacto, bajo consumo energético y precio económico, lo que permite integrarlo fácilmente al interior del respirador sin comprometer espacio ni comodidad. Aunque cuenta con solo dos pines GPIO, estos son suficientes para el protocolo I2C utilizado por el sensor BME280. La desventaja en facilidad de programación se resolvió utilizando un módulo adaptador USB a ESP-01.

4.3.4. Hardware: Alimentación eléctrica del sistema

El sensor BME280 deberá ser alimentado por una fuente de 3.3 VDC y, asimismo, el microcontrolador también puede ser alimentado por el mismo voltaje. En ese sentido, se utilizarán dos pilas de 1.5 VDC para poder alimentar el sistema. El hardware inicial en protoboard se ve implementado según se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Circuito inicial del dispositivo solución implementado en protoboard

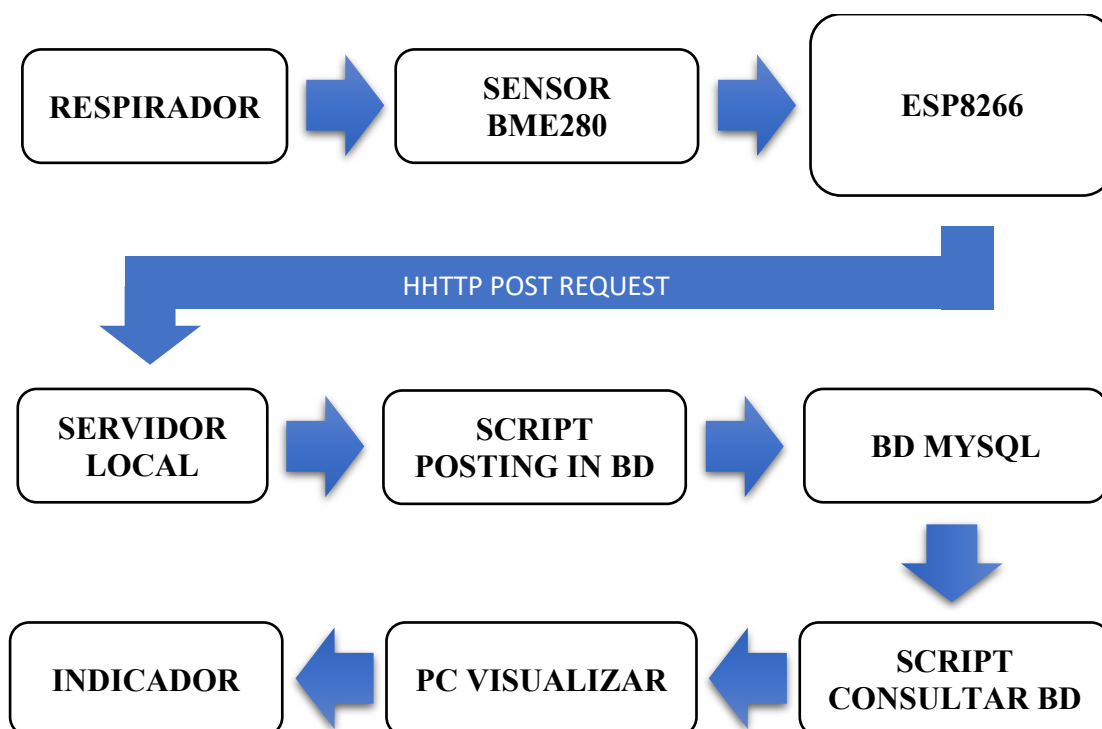


En ese sentido, el diagrama de bloques de la Figura 2, se modifica de acuerdo al detalle mostrado en la Figura 7.

Figura 7

Diagrama de bloques detallado del dispositivo solución

Fuente: Elaboración propia



4.3.5. Software: Código para obtención de parámetros y registro en Base de datos

El código será cargado en el módulo ESP-01 (en adelante, módulo Wi-Fi), en el cual se configurarán todos los parámetros del sensor BME280; así como el código que permitirá enviar y registrar los valores en la base de datos. El módulo Wi-Fi puede ser programado en el IDE de Arduino (Código C), de acuerdo al siguiente detalle:

Implementación del código en C: objetos, librerías y variables. Se detallan los aspectos más importantes del código. El código completo se detalla en el Anexo 02 y su diagrama de flujo en la Figura 12. Como primera parte, se definirán los recursos a utilizar. Esta sección incluye la declaración de librerías y variables que se requieren para la ejecución de órdenes del programa. Es necesaria la importación de la librería que manejará al sensor. Existen actualmente varias marcas que manejan este sensor como por ejemplo Adafruit, BlueDot, Tyler Glenn, SparkFun Electronics, entre otros. Para importar la librería con la que se ha de trabajar se deben seguir los siguientes pasos:

1. Haga clic en menú “Programa”.
2. Haga clic en submenú Librería.
3. Haga clic en “Administrar Bibliotecas”.
4. Escribir “BME280” en la sección donde dice “Filtre su búsqueda”.
5. Colocar el puntero sobre la librería que se requiera.
6. Haga clic en “Instalar”.

Luego, es necesario importar las librerías que permiten el uso de funciones en la lógica de la programación según se muestra en la Figura 8. Estas librerías son:

- a. La librería “ESP8266Wifi.h” está basada en el SDK de ESP8266, y es utilizada para las funciones Wi-Fi como conectar el dispositivo, enviar y recibir datos por este medio.
- b. La librería “WiFiClient.h” permite utilizar funciones para declarar un dispositivo como cliente y acceder a los datos de un servidor.
- c. La librería “Wire.h” contiene las funciones requeridas para controlar la comunicación I2C.
- d. La librería “SparkFunBME280” permite utilizar funciones para interactuar y configurar los parámetros del sensor BME280.

Figura 8

Librerías de Arduino.

Fuente: Elaboración propia

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <Wire.h>
#include "SparkFunBME280.h"
```

A su vez, es necesario crear variables y objetos que se utilizaran dentro del algoritmo según se muestra en la Figura 9. Estos son:

- a. Se crea el objeto “bme” para utilizarlo al momento de invocar a las funciones del sensor.
- b. Se definen las variables “temperature”, “humidity” y “pressure” de tipo float para adquirir los valores con coma flotante. Luego se definen otras variables temporales para realizar lógicas de programación que se detallarán más adelante.

Figura 9

Variables y objetos de Arduino

Fuente: Elaboración propia

```
BME280 bme;

float temperatura, humedad, presion;
String temperatura_previa="";
String temperatura_final="";
String humedad_previa="";
String humedad_final="";
String presion_previa="";
String presion_final="";
```

Por otro lado, es necesario invocar las variables Wi-Fi para su uso en las conexiones requeridas para la transmisión de datos según se muestra en la Figura 10. Estas son:

- a. Las variables ‘ssid’ y ‘password’, que se comportan como constantes, hacen referencia a la configuración necesaria para establecer la conexión del dispositivo a la red local Wi-Fi.

Figura 10

Variables Wi-Fi

Fuente: Elaboración propia

```
const char *ssid = "XXXXX";
const char *password = "XXXXX";
```

Adicionalmente, se deben crear variables de apoyo para obtener la lógica de conexión, bucle, registro, entre otras, según se muestra en la Figura 11. Estas son:

- a. Las variables “contconexion”, “ultimaConexion”, “ultimoEstado” y “intervaloConexion” están relacionadas con la lógica para el registro de los datos obtenidos a la base de datos.
- b. Las variables “host”, “strhost”, “strurl”, están referidas a la configuración del dispositivo para conectarse a un host, definiendo la ruta del script para ejecutar métodos POST y escribir los datos en la base de datos. La variable “chipid” es aquella que obtendrá la identificación única del dispositivo. Además, se inicia la librería “WifiClient”.

Figura 11

Variables de apoyo

Fuente: Elaboración propia

```
int contconexion = 0;
unsigned long ultimaConexion = 0;
boolean ultimoEstado = false;
const unsigned long intervaloConexion = 4000;

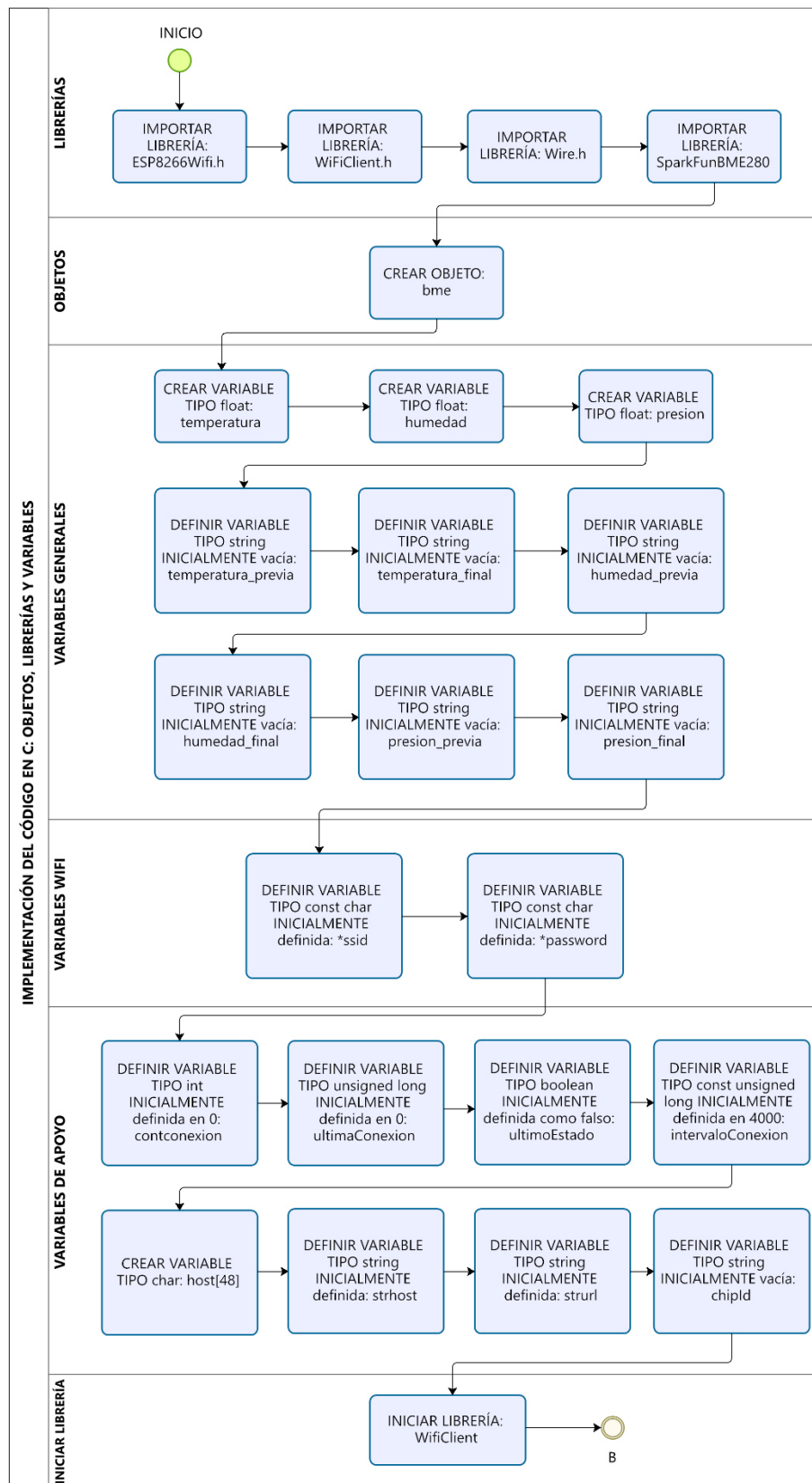
char host[48];
String strhost = "192.168.0.11";
String strurl = "/parametros/enviardatos.php";
String chipId = "";

WiFiClient client;
```

Figura 12

Diagrama de flujo para implementación de código en Arduino: Objetos, librerías y variables

Fuente: Elaboración propia



Implementación del código en C: configuraciones. En esta sección se describen las inicializaciones de las librerías, uso de las variables y configuración de parámetros del sensor BME280. Su diagrama de flujo se detalla en la Figura 16.

Para configurar la conectividad a la red local Wi-Fi se debe considerar lo siguiente:

- a. Se inicia la librería Wi-Fi. Cuando no se encuentre conectado y la variable “contconexion”, que ha sido inicializado en 0, y sea menor que 50 ms esperará hasta que se establezca conexión. Cuando se logre establecer la conexión, se configurará el dispositivo con la IP, la gateway y la subnet que se indican en la figura 13. Si no se establece la conexión, se mostrará un mensaje de error y el proceso se repetirá.

Figura 13

Conexión a la red Wi-Fi

Fuente: Elaboración propia

```
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED and contconexion <50) {
    ++contconexion;
    delay(500);
}

if (contconexion <=50) {
    IPAddress ip(192,168,0,30);
    IPAddress gateway(192,168,0,1);
    IPAddress subnet(255,255,255,0);
    WiFi.config(ip, gateway, subnet);
}
```

Para configurar los parámetros de trabajo del sensor BME280 se deberá considerar lo siguiente:

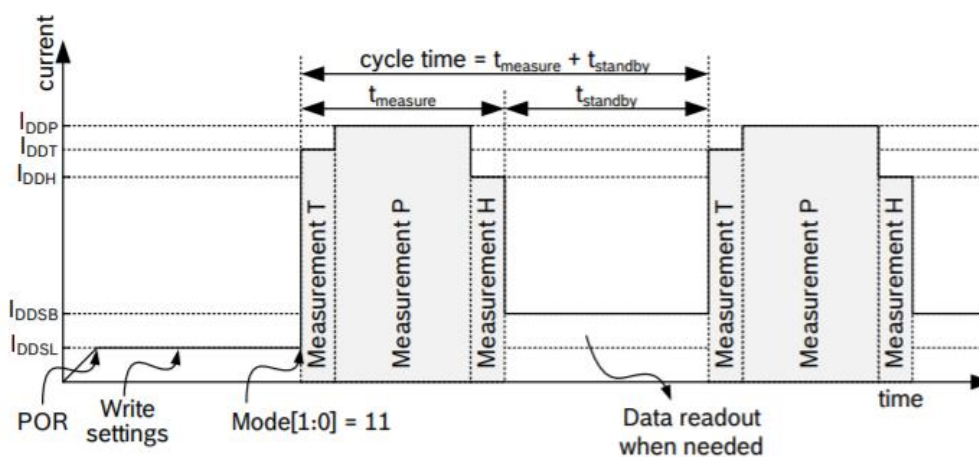
- a. Para establecer los parámetros del sensor como la dirección I2C, coeficiente del filtro, el tiempo de Standby, el sobremuestreo de la temperatura, la humedad, la presión y el modo del sensor.
- b. En primer lugar, se establece la dirección a la que se va a conectar el sensor siendo esta la 0x76, luego, se inicia el protocolo I2C.

- c. De acuerdo con la Hoja de Datos del sensor BME280, se establece el filtro con un indicador 4, para su coeficiente de nivel 16.
- d. Para definir los demás parámetros, se debe considerar que el modo normal debe establecerse ya que se requiere un ciclo perpetuo de medición automatizado considerando un periodo de medición activo y un periodo de espera inactivo. En ese sentido, la mecánica de medida del sensor se comportará obedeciendo lo indicado en la Figura 14.

Figura 14

Diagrama en Modo Normal del Sensor BME280.

Fuente: Bosch Sensortec, 2018



- e. Además, considerando que un ciclo respiratorio puede durar aproximadamente 1 segundo con esfuerzo, se requiere una frecuencia de muestreo que se encuentre entre 30 y 50 Hz (tiempo de medición entre 20 y 33,33 ms) con el fin de obtener suficientes muestras para que puedan ser analizadas posteriormente y, además, considerar, de acuerdo con la gráfica anterior mostrada, que se requiere mayor sobremuestreo (oversampling) en las mediciones de presión que en las de temperatura y/o humedad. Por ello, utilizando las fórmulas dadas en la sección de selección de filtros digitales, se obtienen los siguientes parámetros:
 - Tiempo de medición

Estableciendo Oversampling x 2 (2), Poversampling x 8 (4) y Hoversampling x 2 (2), se obtienen los siguientes valores:

$$t_{\text{measure,typ}} = 1 + 2 \times 2 + 2 \times 8 + 0.5 + 2 \times 2 + 0.5 = 26 \text{ ms}$$

$$t_{\text{measure,max}} = 1.25 + 2.3 \times 2 + 2.3 \times 8 + 0.575 + 2.3 \times 2 + 0.575 = 30 \text{ ms}$$

- Tasa de medición en modo normal

Considerando el tiempo de standby más bajo (0.5 ms), se obtiene la siguiente tasa de medición:

$$\text{ODR}_{\text{max,normal}} = \frac{1000}{26 + 0.5} = 37.74 \text{ Hz}$$

Como se observa, se encuentra dentro de lo que se requiere.

- Tiempo de respuesta usando el filtro IIR

$$t_{\text{resp,75 \%}} = \frac{1000 \times 22}{37.74} = 582.94 \text{ ms}$$

- Consumo

$$I_{\text{DD,normal}} = 0.2 \times (1 - 0.026 \times 37.74) + \frac{37.74}{1000} \times (205 + 350 \times 2 \times 2 + 714 \times (2 \times 8 + 0.5) + 340 \times (2 \times 2 + 0.5))$$

$$I_{\text{DD,normal}} = 0.2 \times 0.01876 + 0.03774 \times (205 + 1400 + 11781 + 1530)$$

$$I_{\text{DD,normal}} = 0.003752 + 562.92984 = 562.933592$$

$$I_{\text{DD,normal}} = 562.93 \mu\text{A}$$

- f. De esa manera, se establece la configuración para el sensor BME280 según se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Configuración de parámetros del sensor BME280

Fuente: Elaboración propia

```
Serial.begin(115200);
Wire.begin(2,0);
Wire.setClock(115200);

bme.setI2CAddress(0X76);
bme.beginI2C();
bme.setFilter(4);
bme.setStandbyTime(0);
bme.setTempOverSample(2);
bme.setPressureOverSample(4);
bme.setHumidityOverSample(2);
bme.setMode(MODE_NORMAL);
```

Implementación del código en C: algoritmo bucle de obtención

de datos. En esta sección se describen las líneas de código que se ejecutan para obtener el bucle de lectura de datos. Este bucle sirve para obtener los datos del sensor y luego acondicionarlos para su envío a la base de datos. Debido a que no es posible transmitir los datos a la misma velocidad que los datos son obtenidos del sensor, se implementa una lógica para formar una cadena de texto con 20 muestras para su posterior registro en la base de datos. La lógica se encuentra detallada en la Figura 17.

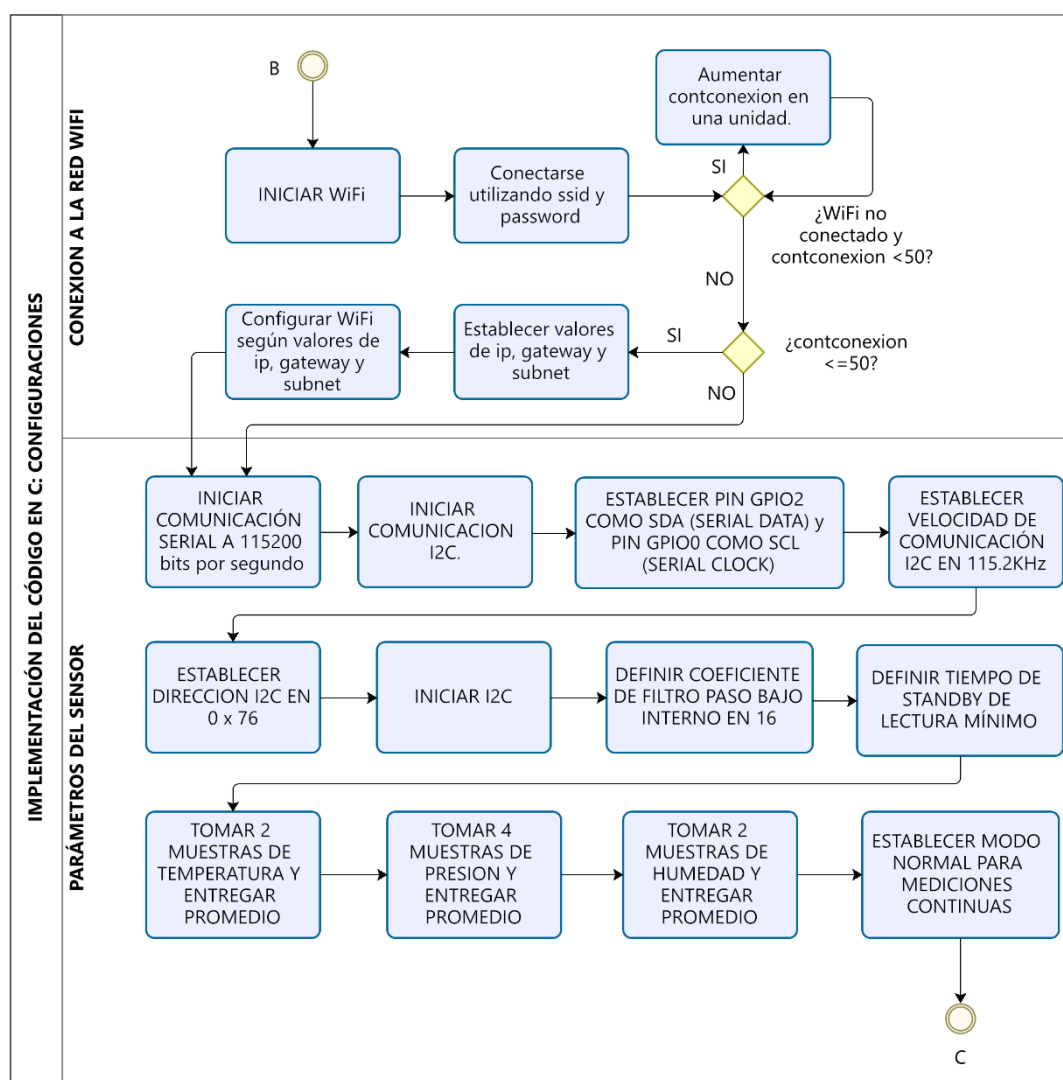
Implementación del código en C: registro de datos.

En esta sección se describen las líneas de código necesarias para su registro en la base de datos. Al culminar la elaboración del paquete de 20 muestras, se procede a enviar los datos a través del método `httpRequest` según se detalla en la Figura 18. En dicha figura se puede observar en el código que se invoca la variable declarada como “`strurl`” que contiene la dirección del archivo script para el registro en la base de datos.

Figura 16

Diagrama de flujo para implementación de código en Arduino: Configuraciones

Fuente: Elaboración propia



Implementación del código en C: configuración del host. Para esta implementación, es necesario indicar que el host cuente con una IP estática, la cual estará registrada también en el código del microcontrolador.

El diagrama de flujo de estas tres últimas implementaciones se encuentra detallado en la Figura 19.

Figura 17

Bucle de obtención de datos

Fuente: Elaboración propia

```
void loop() {
    int i=0;
    for (i;i<20;i++){
        if(i!=20){
            temperatura=bme.readTempC();
            presion=bme.readFloatPressure()/100.0F;
            humedad=(bme.readFloatHumidity())/100.00;
            temperatura_previa=String(temperatura);
            humedad_previa=String(humedad);
            presion_previa=String(presion);

            if(i==0){
                temperatura_final=temperatura_previa;
                presion_final=presion_previa;
                humedad_final=humedad_previa;
            }

            else{
                temperatura_final=temperatura_final+";"+temperatura_previa;
                presion_final=presion_final+";"+presion_previa;
                humedad_final=humedad_final+";"+humedad_previa;
            }
        }
    }
}
```

Figura 18

Método httpRequest

Fuente: Elaboración propia

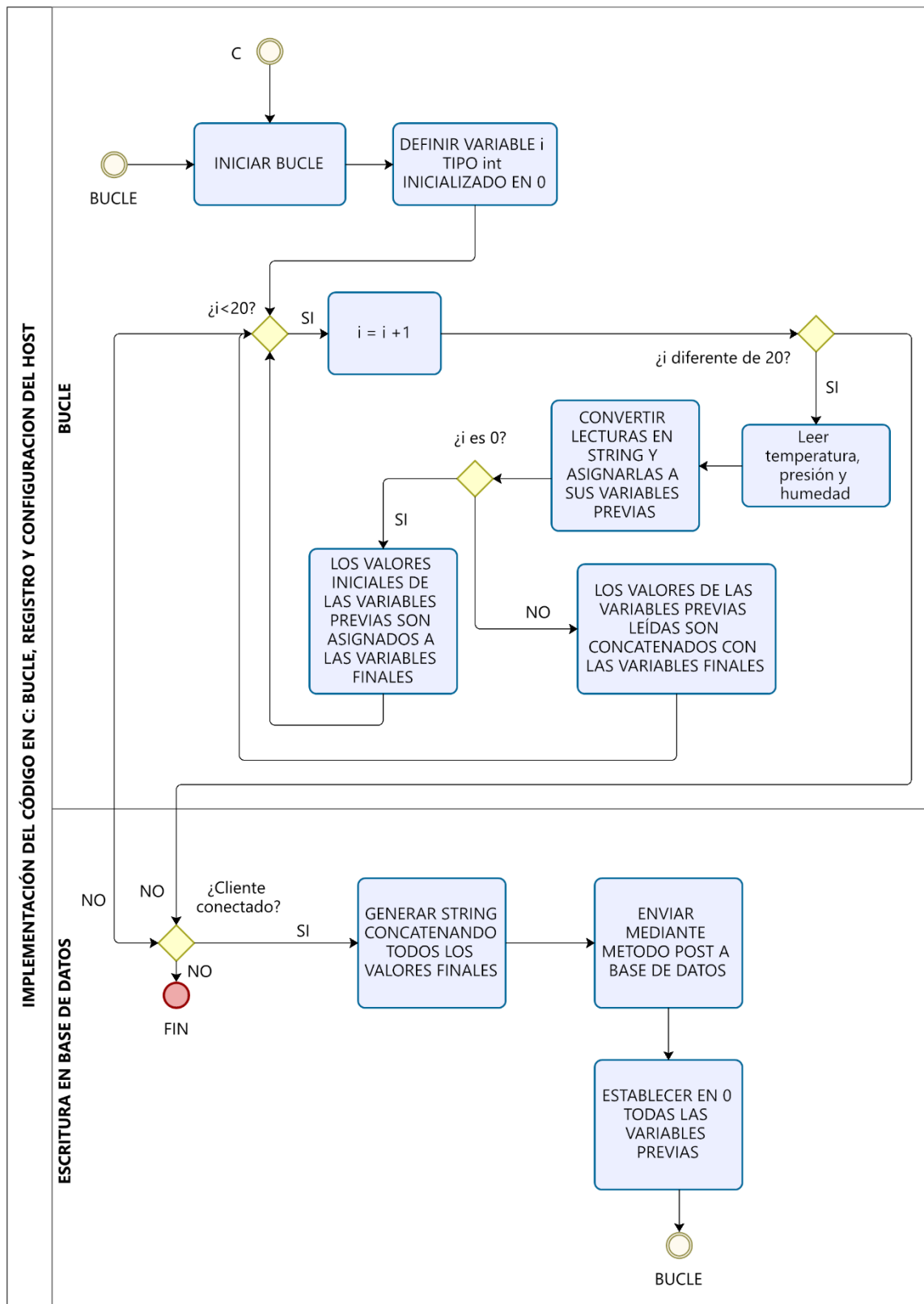
```
void httpRequest() {
    strhost.toCharArray(host, 49);
    if (client.connect(host, 80)) {

        String datos="chipId=" + chipId + "&temperatura=" + temperatura_final+ "&presion=" + presion_final+"&humedad=" + humedad_final;
        client.print(String("POST ") + strurl + " HTTP/1.1" + "\r\n" +
            "Host: " + strhost + "\r\n" +
            "Accept: /" + "*" + "\r\n" +
            "Content-Length: " + datos.length() + "\r\n" +
            "Content-Type: application/x-www-form-urlencoded" + "\r\n" +
            "\r\n" + datos);
    }
}
```

Figura 19

Diagrama de flujo para implementación de código en Arduino: Bucle y registro

Fuente: Elaboración propia



4.3.6. **Software: Implementación de Script para registro en Base de Datos**

Es necesario indicar que el archivo de este script debe estar ubicado en la misma carpeta en la que se encuentran guardados los archivos del software gestor de base de datos. En este caso, se utiliza el software libre XAMPP, y el código es implementado en lenguaje de programación PHP. Aquí se ingresan los datos obtenidos por el sensor y son publicados en la base de datos. Nótese que aquí se ingresa el nombre de la base de datos, la tabla de la base de datos y las columnas de las mismas. El código se encuentra detallado en el Anexo 03.

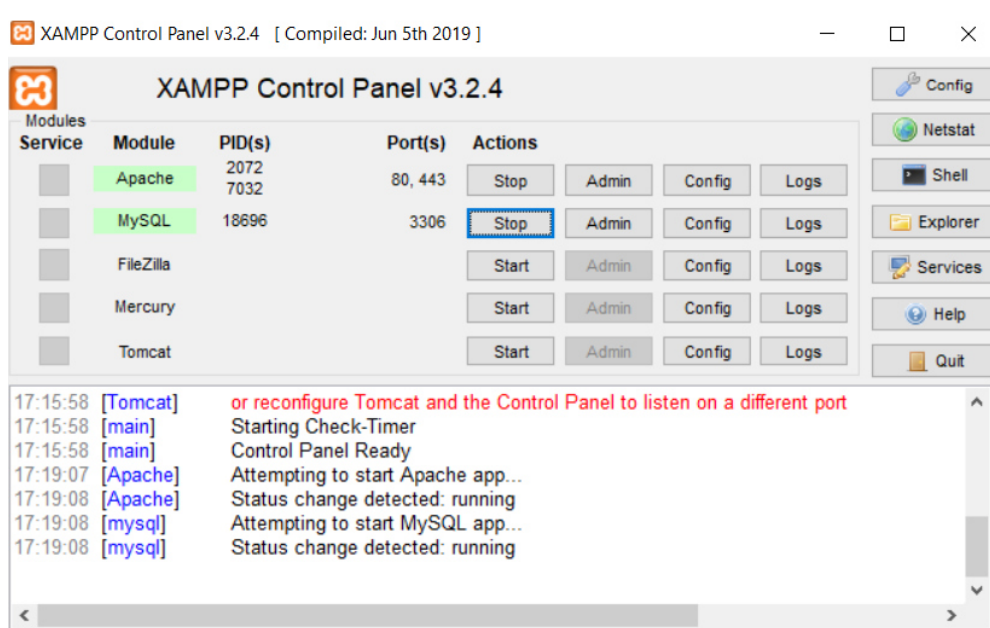
4.3.7. **Software: Implementación de la base de datos**

A través del gestor XAMPP (ver figura 20), se debe configurar en primer lugar el puerto de conexión, en concordancia con el código del Anexo 02. Se deben seguir los siguientes pasos para implementar la base de datos en MySQL:

Figura 20

Software XAMPP

Fuente: Elaboración propia

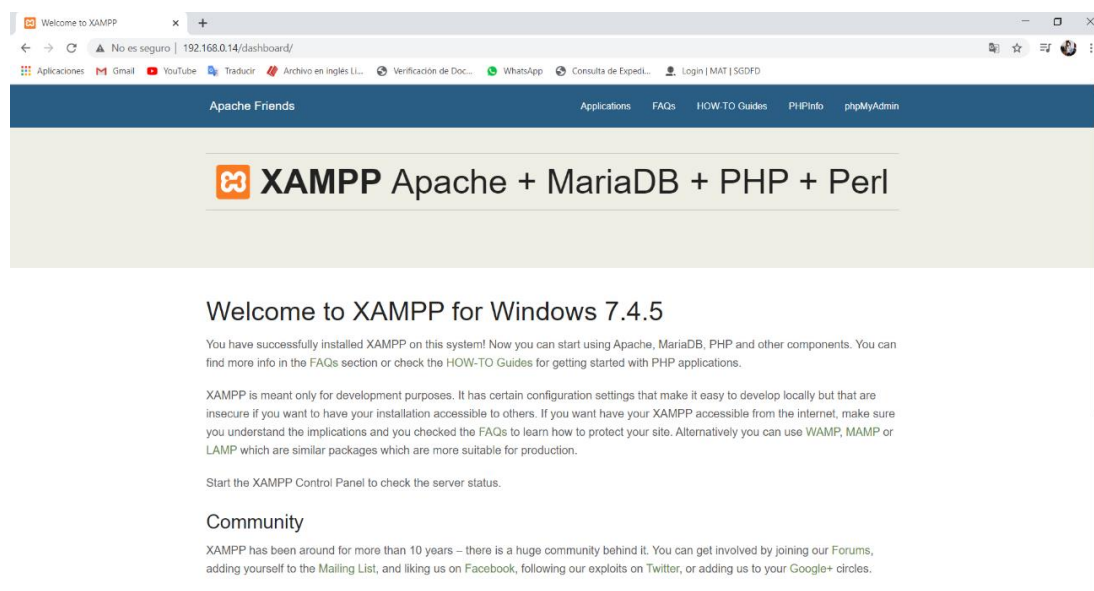


1. Abrir la aplicación y dar clic en el botón “Start” del módulo Apache y MySQL. Se sombrearán de color verde cuando estén activados y se completarán los valores de PID(s) y Puertos.
2. Dar clic en el botón “Config” del módulo Apache y luego en “httpd.conf”. Allí se debe modificar las siguientes líneas y posteriormente guardar el archivo:
 - a. Listen 80
 - b. ServerName localhost:80
3. En una ventana de Internet, deberá colocar el link: <http://localhost/dashboard/>, la cual abrirá la página principal de XAMPP o para verificar la conectividad, reemplazar el termino localhost por la IP estática de su computador o host, según se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Página principal de phpMyAdmin

Fuente: Elaboración propia



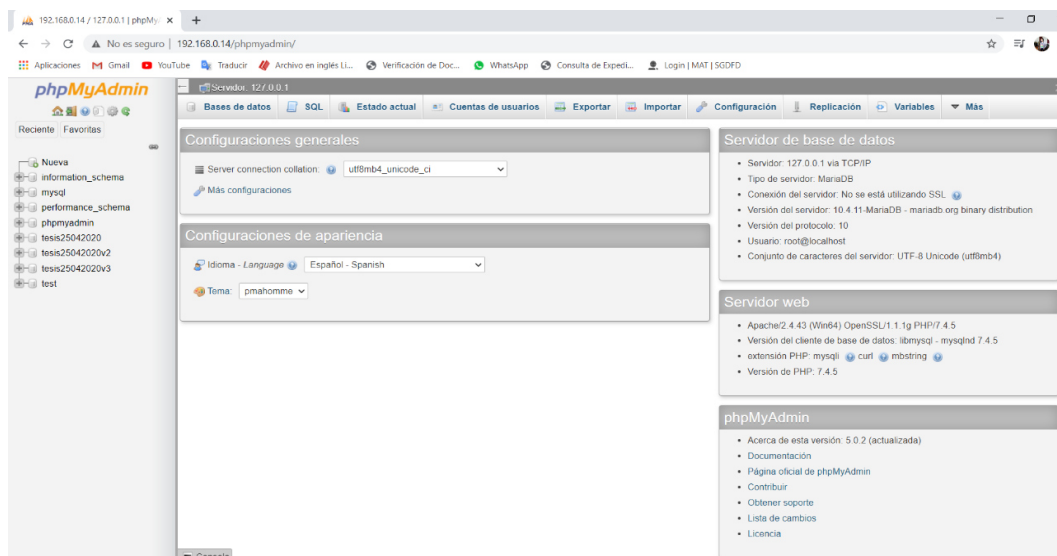
4. Se utilizará la herramienta phpMyAdmin para utilizar MySQL a través del navegador web y crear la base de datos. Para ello se deberá hacer clic en la

opción ubicada en la esquina superior derecha denominada “phpMyAdmin”, lo cual redirigirá al usuario a la interfaz para la base de datos (ver Figura 22).

Figura 22

Interfaz gráfica de phpMyAdmin

Fuente: Elaboración propia



5. Crear una nueva base de datos con el siguiente procedimiento:
 1. Hacer clic en el menú superior “Bases de datos”.
 2. Ingresar el nombre de la base de datos determinado en la sección 3.
 3. Hacer clic en botón “Crear”.
 4. Ingresar el nombre de la tabla determinado en la sección 3.
 5. Ingresar el número de columnas. En este caso se ingresaron 6 columnas.
 6. Ingresar los nombres de las columnas determinadas en la sección 3.

En este caso se procedió de la siguiente manera:

Tabla 5

Valores para la creación de la base de datos en phpMyAdmin

Nº	NOMBRE	TIPO	COTEJAMIENTO	NU LO	PREDETERMINADO	EXTRA
1	Id	int(11)	-	No	Ninguna	AUTO_INCREMENT
2	chipId	int(11)	-	No	Ninguna	-
3	fecha	timesta mp	-	No	Current_timesta mp()	ON UPDATE CURRENT_TI MESTAMP()
4	tempera tura	text	utf8mb4_gen eral_ci	No	Ninguna	-
5	humeda d	text	utf8mb4_gen eral_ci	No	Ninguna	-
6	presión	text	utf8mb4_gen eral_ci	No	Ninguna	-

4.3.8. Software: Implementación del script de lectura de base de datos en Matlab

En este caso, se utilizará la interfaz de Matlab para importar en dicho software toda la data obtenida. Para este fin, se utilizará también la función de Matlab que interrelaciona este software con bases de datos MySQL, mediante el siguiente script:

Figura 23

Código en MATLAB para invocar Base de Datos

Fuente: Elaboración propia

```
datos_p1_nouso = database('datos_iniciales','root','');
curs_p1_nouso = exec(datos_p1_nouso,'SELECT * FROM tabla_p1_nouso');
curs_p1_nouso = fetch(curs_p1_nouso);
curs_p1_nouso.Data;
```

Para el presente trabajo de investigación, se necesitaron tres tablas; sin embargo, esto será explicado en el numeral 4.4. El código mencionado en la figura 23 es la misma para todos los casos, acondicionando los nombres de las tablas y bases de datos.

4.3.9. Software: Visualización de las gráficas

A través del código mostrado en la Figura 24 se obtendrá el conjunto de datos registrados para el parámetro de presión durante la jornada laboral de un trabajador.

Figura 24

Código para invocar datos en MATLAB

Fuente: Elaboración propia

```
%PRESION

pres_p1=transpose(split([curs_p1.Data(:,4),],","));
presion_p1={pres_p1{:}};
presion_p1=cellfun(@str2double,presion_p1);
```

4.3.10. Software: Algoritmo para obtención de indicador

El desarrollo del algoritmo o del Script se desarrolló bajo el método del ensayo y error en base a los datos experimentales obtenidos, por lo que se detallará en el numeral 4.5.

4.4. Población y muestra

Para la presente investigación, se recolectaron muestras de tres personas a quienes se les explicó el procedimiento a seguir. Las tres participantes aceptaron participar de forma voluntaria y certificaron la veracidad de la recolección de los

datos para lo cual firmaron la Declaración Jurada adjunta en las Figuras 44, 45 y 46 de los Anexos 04, 05 y 06. Estas personas presentaron las siguientes características:

Tabla 6

Participantes del proyecto

Nº	PERSONA	EDAD	CANTIDAD DE MUESTRAS
1	Persona 1	26	5200
2	Persona 2	20	4450
3	Persona 3	39	3600

Debido a que la presente investigación tiene un carácter exploratorio, educativo y experimental, no se trabajó directamente con trabajadores del sector minero, sino con voluntarios seleccionados para la evaluación del prototipo desarrollado. La población se definió como personas mayores de edad, sin distinción de género, que pudieran colaborar voluntariamente en la simulación del uso de respiradores de media cara en condiciones similares a las del trabajo en minería.

La muestra estuvo conformada por tres personas: dos hombres y una mujer, seleccionados por disponibilidad y con criterios que permitieran representar diversos tipos de características faciales y condiciones físicas que influyen en la hermeticidad del respirador. Estas características incluyeron forma del rostro, presencia o ausencia de barba, antecedentes respiratorios y estado nutricional.

El primer participante fue un hombre de 26 años, con rostro redondo, sobre peso, barba y antecedentes de problemas respiratorios por COVID-19. El segundo participante fue una mujer de 20 años, con rostro redondo, peso normal, sin antecedentes respiratorios y cabello largo. El tercer participante fue un hombre de 39 años, con rostro de forma regular, sin barba ni antecedentes respiratorios graves.

Las pruebas se realizaron en los domicilios de cada participante, donde se simularon condiciones de trabajo físico para emular el esfuerzo realizado en labores mineras. Esta diversidad en las características de los participantes permitió observar

el desempeño del prototipo en distintos contextos de uso, lo cual aporta valor investigativo al análisis del ajuste y sellado de los respiradores, así como a la efectividad del monitoreo en tiempo real propuesto por el sistema desarrollado.

4.5. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información

4.5.1. Método para análisis de datos

1. Para obtener el indicador de uso del respirador se deben obtener patrones que se puedan identificar en la gráfica obtenida. Los patrones que se deben identificar son los siguientes:
 - a. No uso.** Representa el intervalo en el que el dispositivo obtiene datos en el espacio de trabajo mientras el respirador no está siendo utilizado.
 - b. Uso en reposo o basal.** Representa el intervalo en el que el dispositivo obtiene datos en el espacio de trabajo mientras el respirador está siendo utilizado correctamente por el trabajador; sin embargo, el trabajador no realiza esfuerzo o trabajo.
 - c. Mal uso con esfuerzo o trabajo.** Representa el intervalo en el que el dispositivo obtiene datos en el espacio de trabajo mientras el respirador se encuentra siendo utilizado incorrectamente por el trabajador; asimismo, el trabajador se encuentra realizando esfuerzo o trabajo.
 - d. Buen uso con esfuerzo o trabajo.** Representa el intervalo en el que el dispositivo obtiene datos en el espacio de trabajo mientras el respirador se encuentra siendo utilizado correctamente por el trabajador; asimismo, el trabajador se encuentra realizando esfuerzo o trabajo.
2. De acuerdo con el objetivo general de la investigación, los patrones que deben identificarse son aquellos que ocurren o pueden presentarse durante la jornada laboral. Es menos probable que los patrones “Buen uso basal” y “No uso” se presenten durante la jornada laboral; además, el patrón “Buen uso basal” podría ser incorrectamente interpretado como otro patrón y el patrón “No uso” puede confundirse como desconexión del sistema o ruido. Por otro lado, el análisis

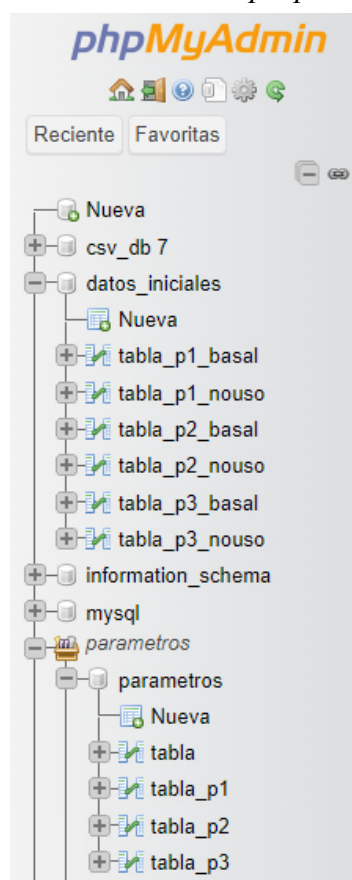
previo del patrón “Buen uso basal” podría reflejar el estado inicial del sistema respiratorio del trabajador. Es por ello que, para los fines de esta investigación, se optó por registrar previamente la información de no uso y basal de cada trabajador. Luego, esta información se integró al algoritmo que se ejecutará cuando el trabajador sea sometido al esfuerzo o trabajo.

3. En ese sentido, para cada trabajador, se deberán crear dos bases de datos. Una para los datos basales y de no uso (2 tablas) y otra para ser analizado por el algoritmo (1 tabla). Se analizaron tres personas, para esto, se crearon 9 tablas en phpmyAdmin, tal como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Cantidad de bases de datos y tablas finales en phpMyAdmin

Fuente: Elaboración propia



4. Una vez creadas las tablas, estas pueden ser completadas con los datos obtenidos del dispositivo agregando las nuevas tablas al código base de Arduino.
5. Los datos fueron registrados en intervalos predefinidos durante la ejecución de los siguientes patrones controlados, en el orden indicado:
 - a. No uso
 - b. Buen uso basal
 - c. No uso
 - d. Buen uso forzado
 - e. Mal uso.
6. Una vez que se obtiene la información en el software, esta puede ser procesada y graficada de acuerdo a lo que se requiera obtener. Asimismo, se obtienen las gráficas de los parámetros de humedad y temperatura.
7. Las Figuras 26, 27 y 28 muestran las gráficas obtenidas para la Persona 1.
8. Las Figuras 29, 30 y 31 muestran las gráficas obtenidas para la Persona 2.
9. Las Figuras 32, 33 y 34 muestran las gráficas obtenidas para la Persona 3.

Figura 26

Gráfica de Temperatura de la Persona 1

Fuente: Elaboración propia

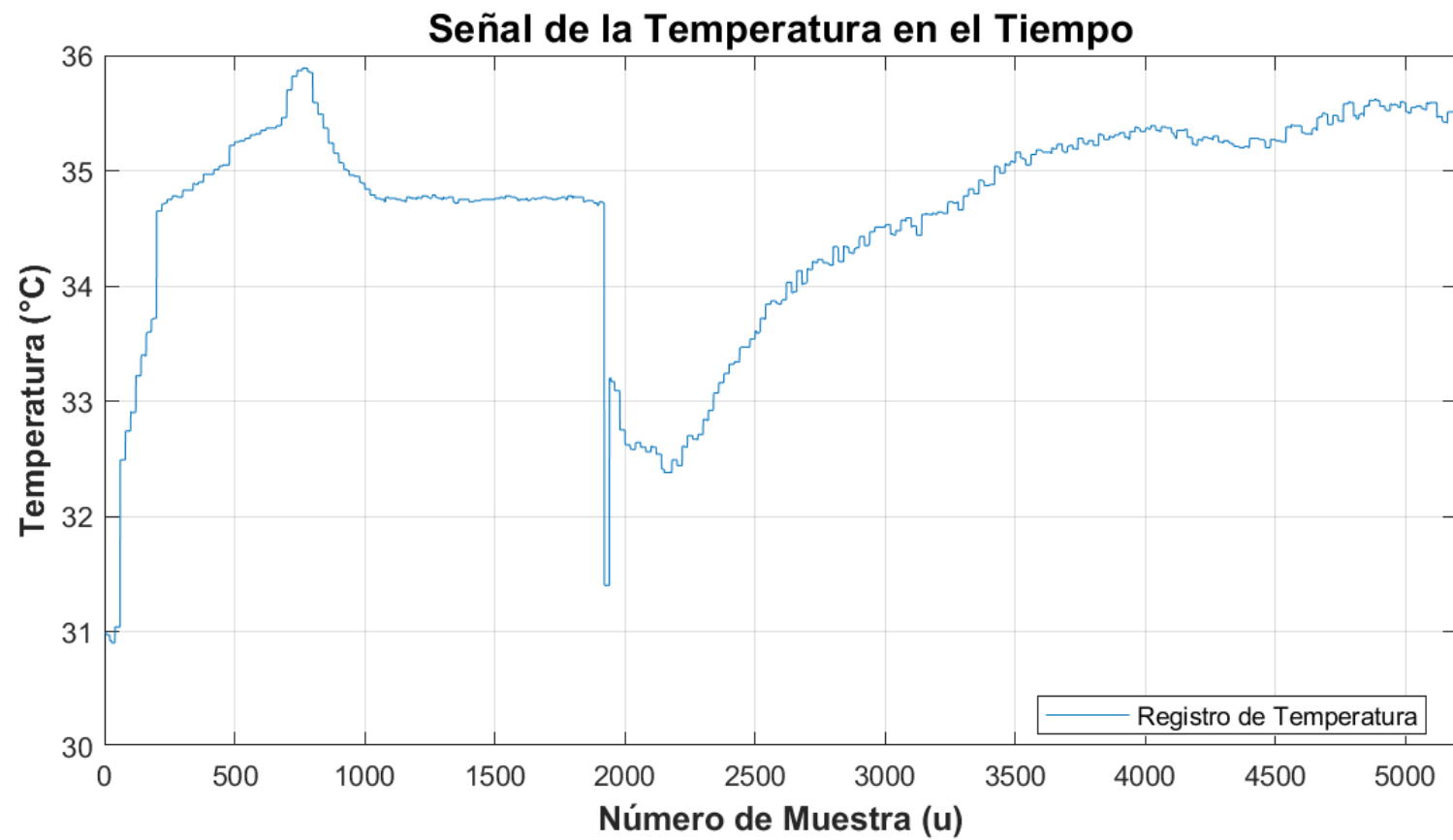


Figura 27

Gráfica de Presión de la Persona 1

Fuente: Elaboración propia

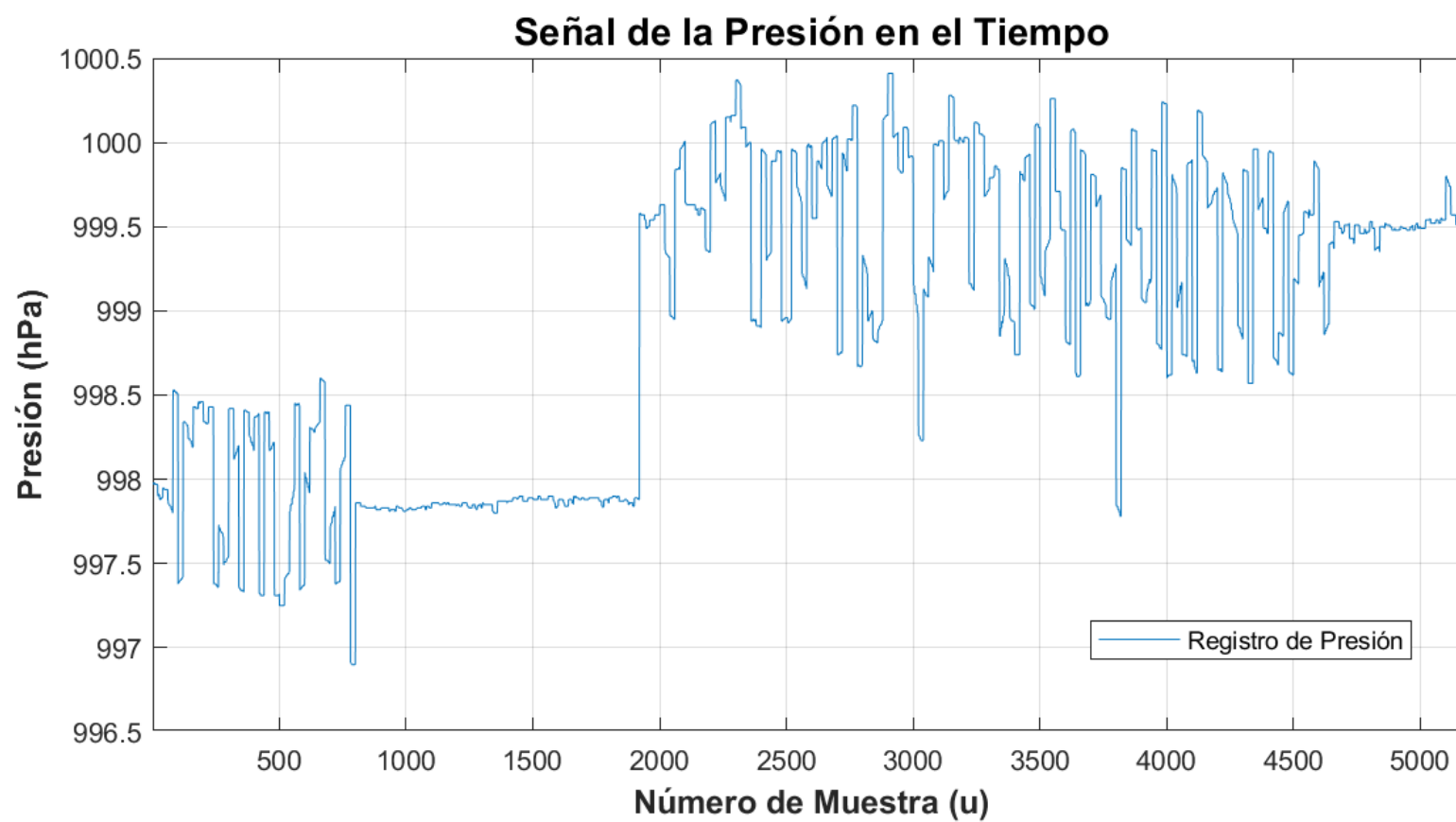


Figura 28

Gráfica de la Humedad de la Persona 1

Fuente: Elaboración propia

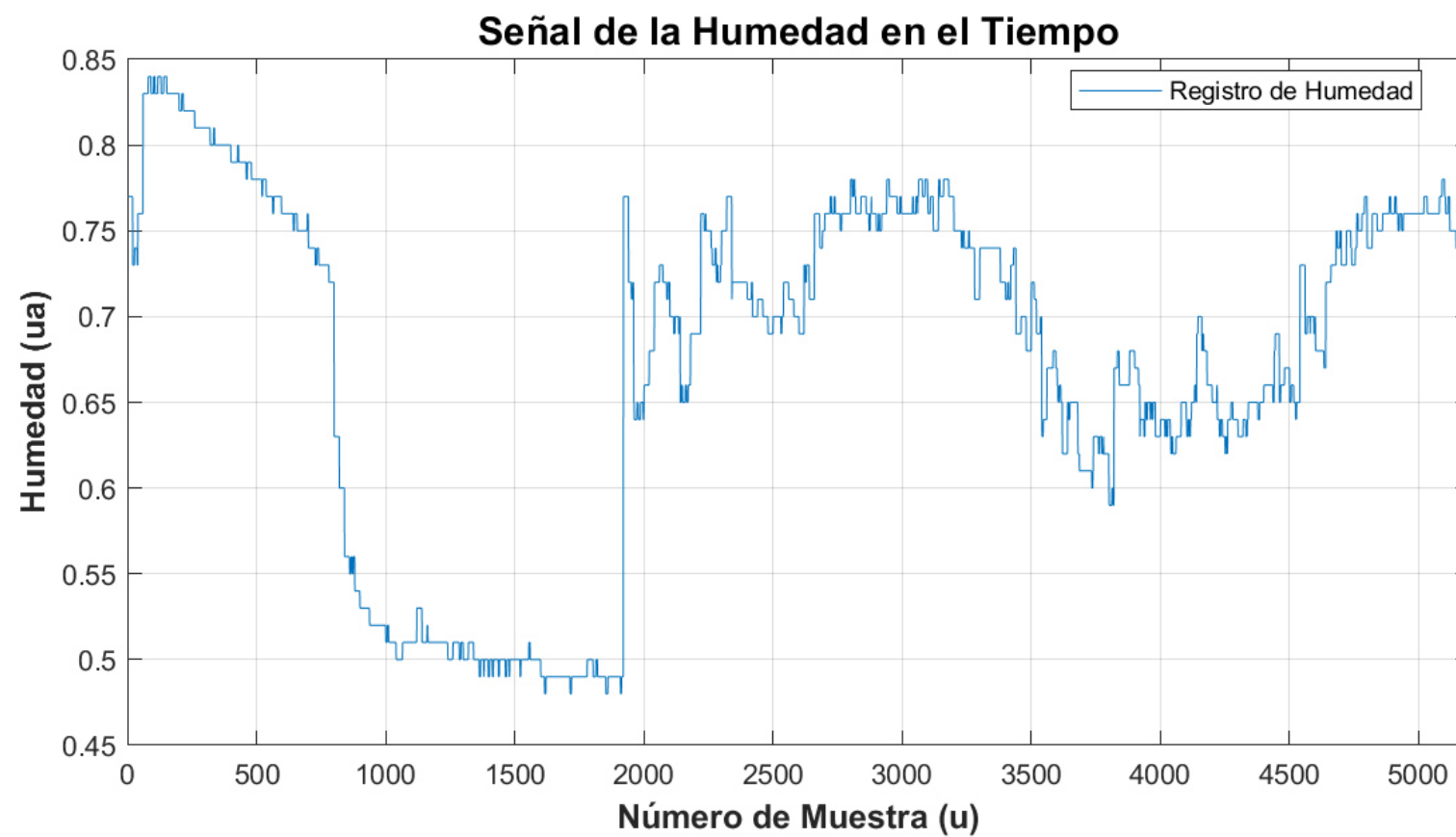


Figura 29

Gráfica de la Temperatura de la Persona 2

Fuente: Elaboración propia

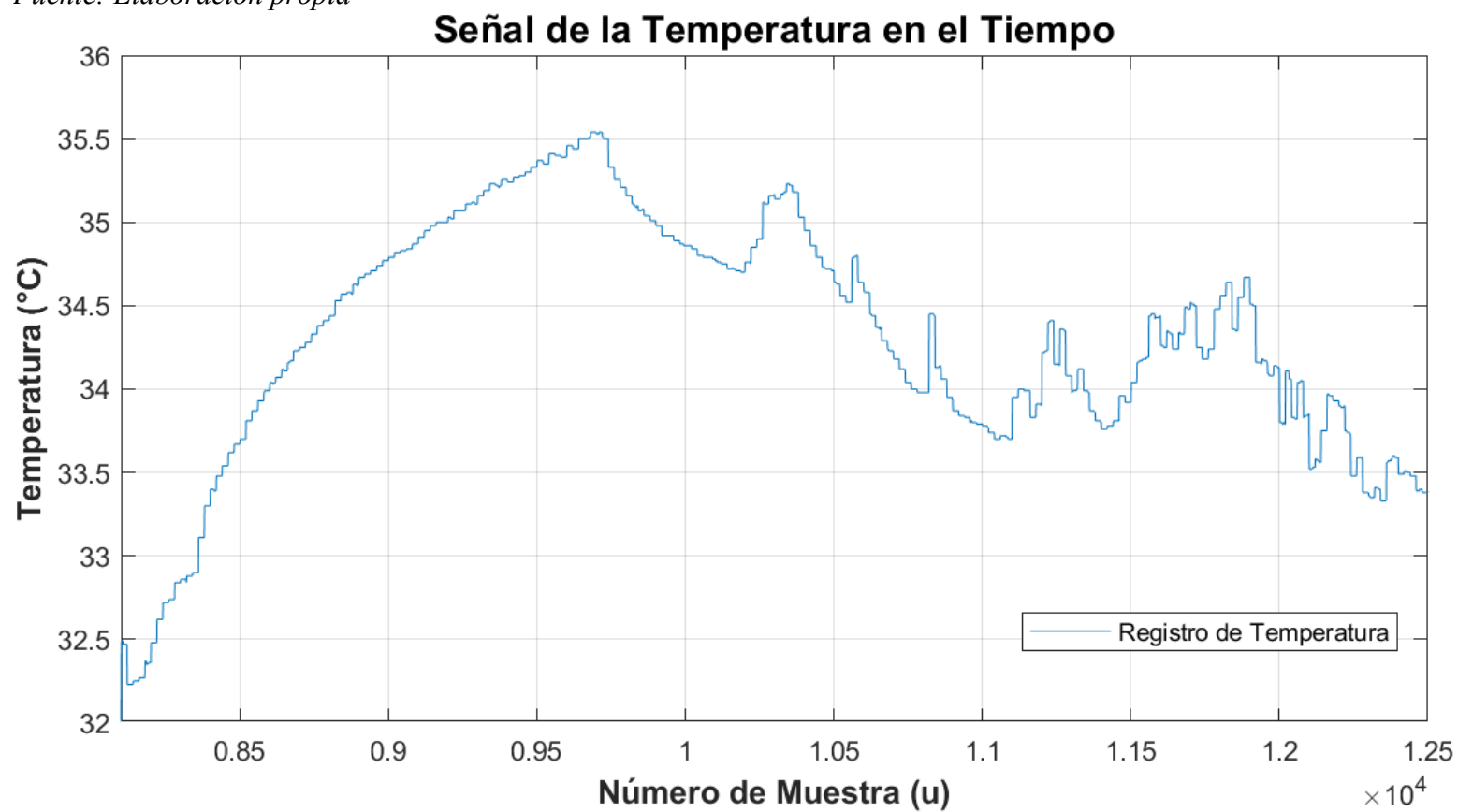


Figura 30

Gráfica de la Presión de la Persona 2

Fuente: Elaboración propia

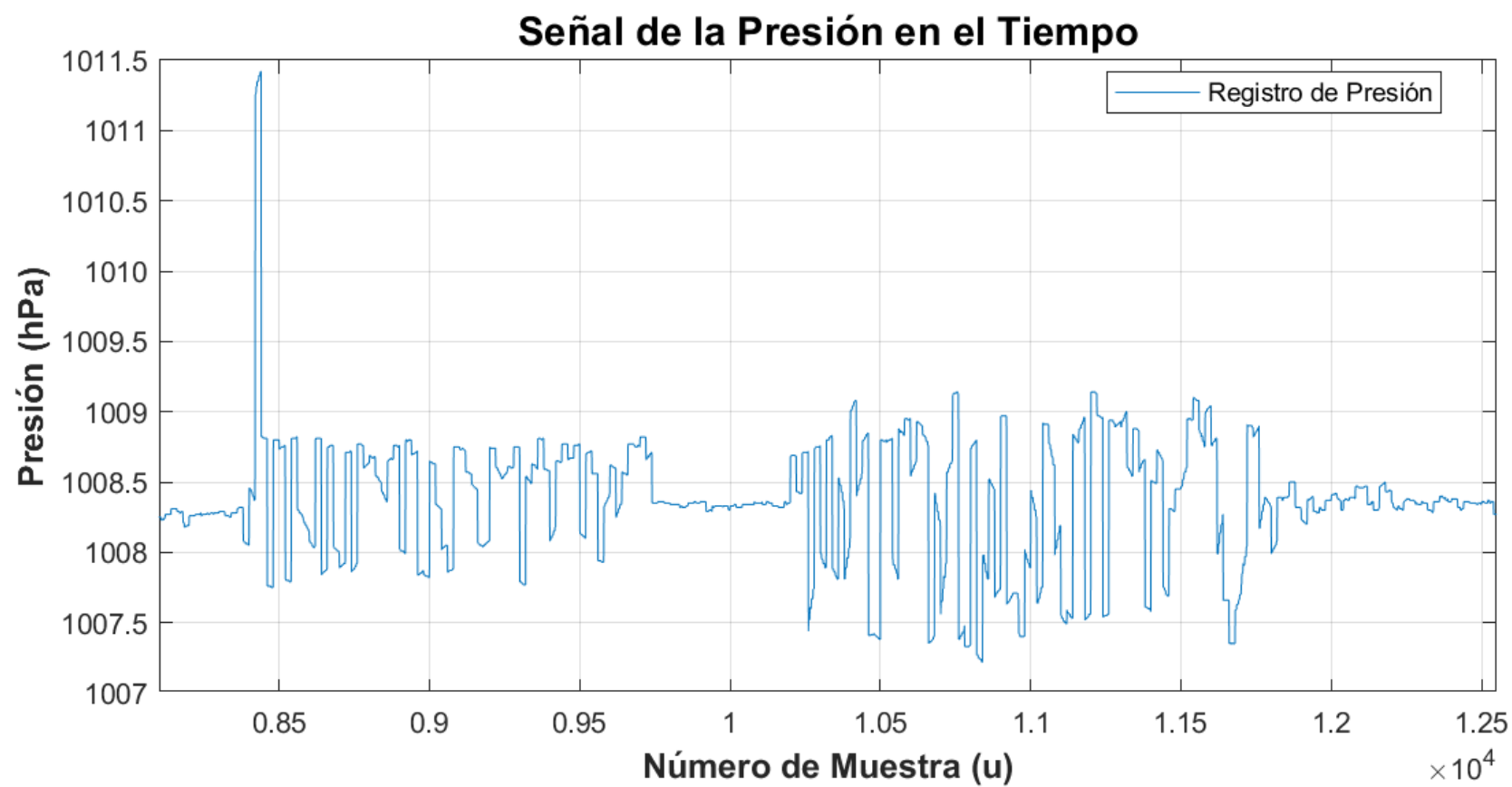


Figura 31

Gráfica de la Humedad de la Persona 2

Fuente: Elaboración propia

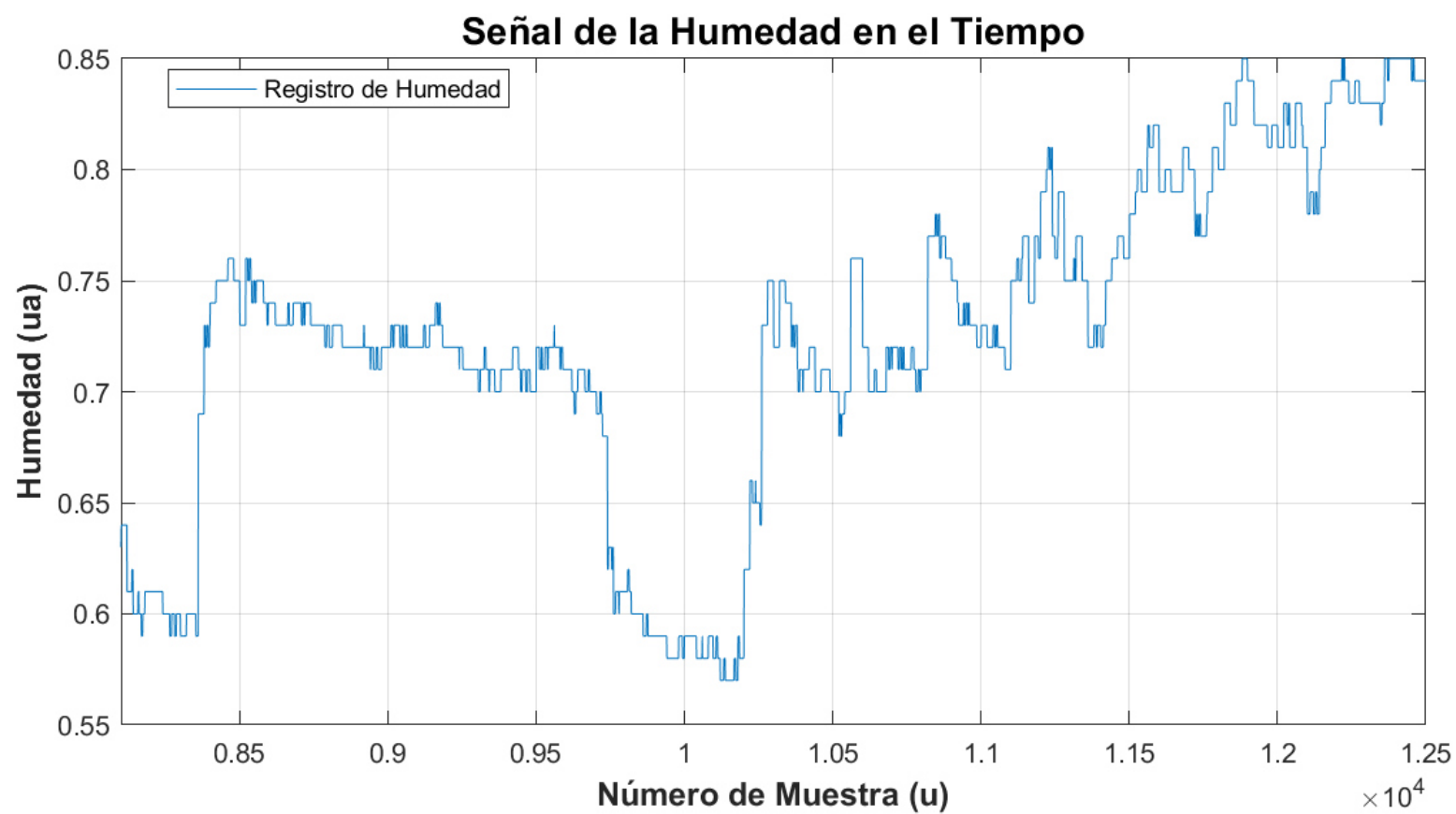


Figura 32

Gráfica de la Temperatura de la Persona 3

Fuente: Elaboración propia

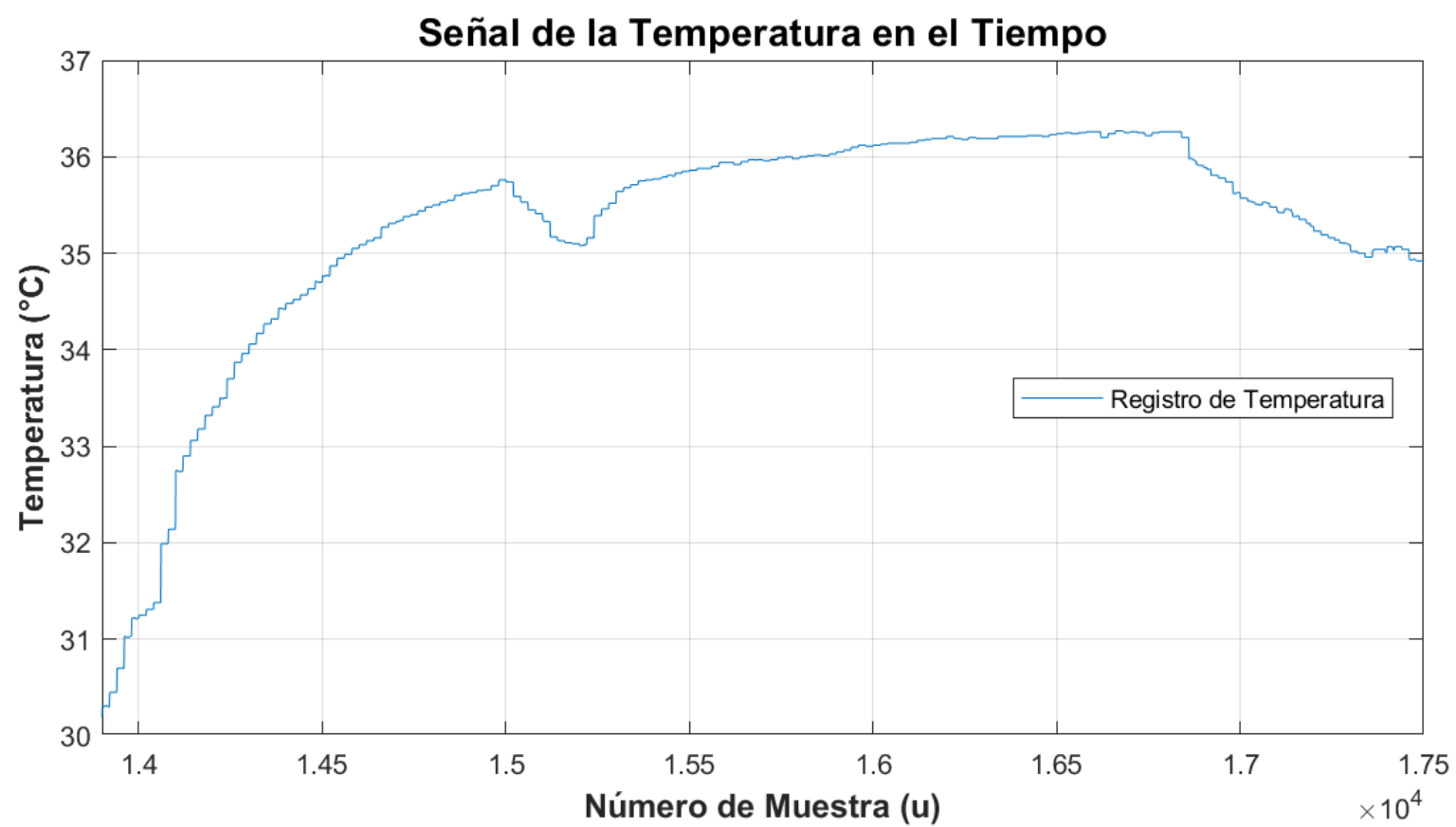


Figura 33

Gráfica de la Presión de la Persona 3

Fuente: Elaboración propia

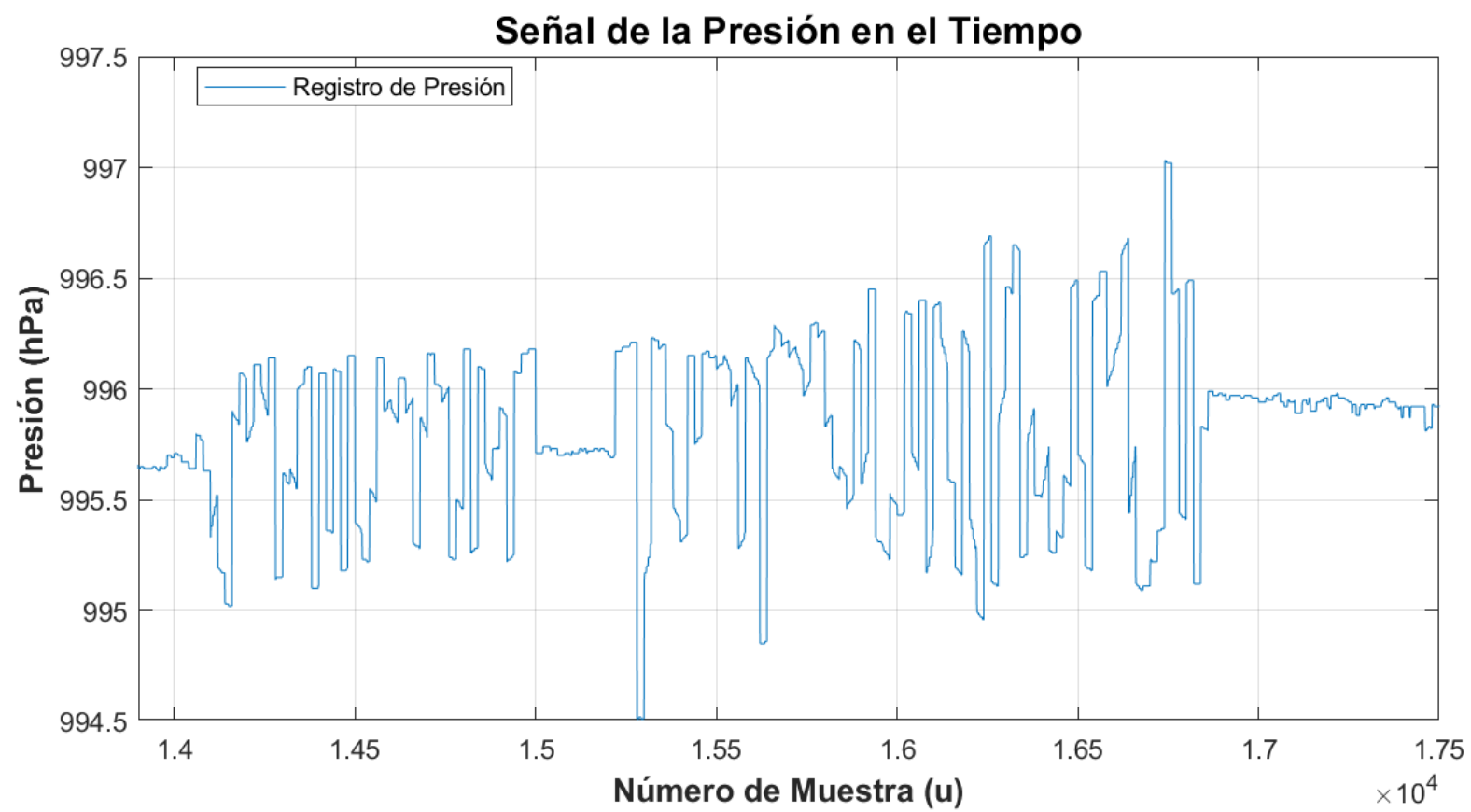
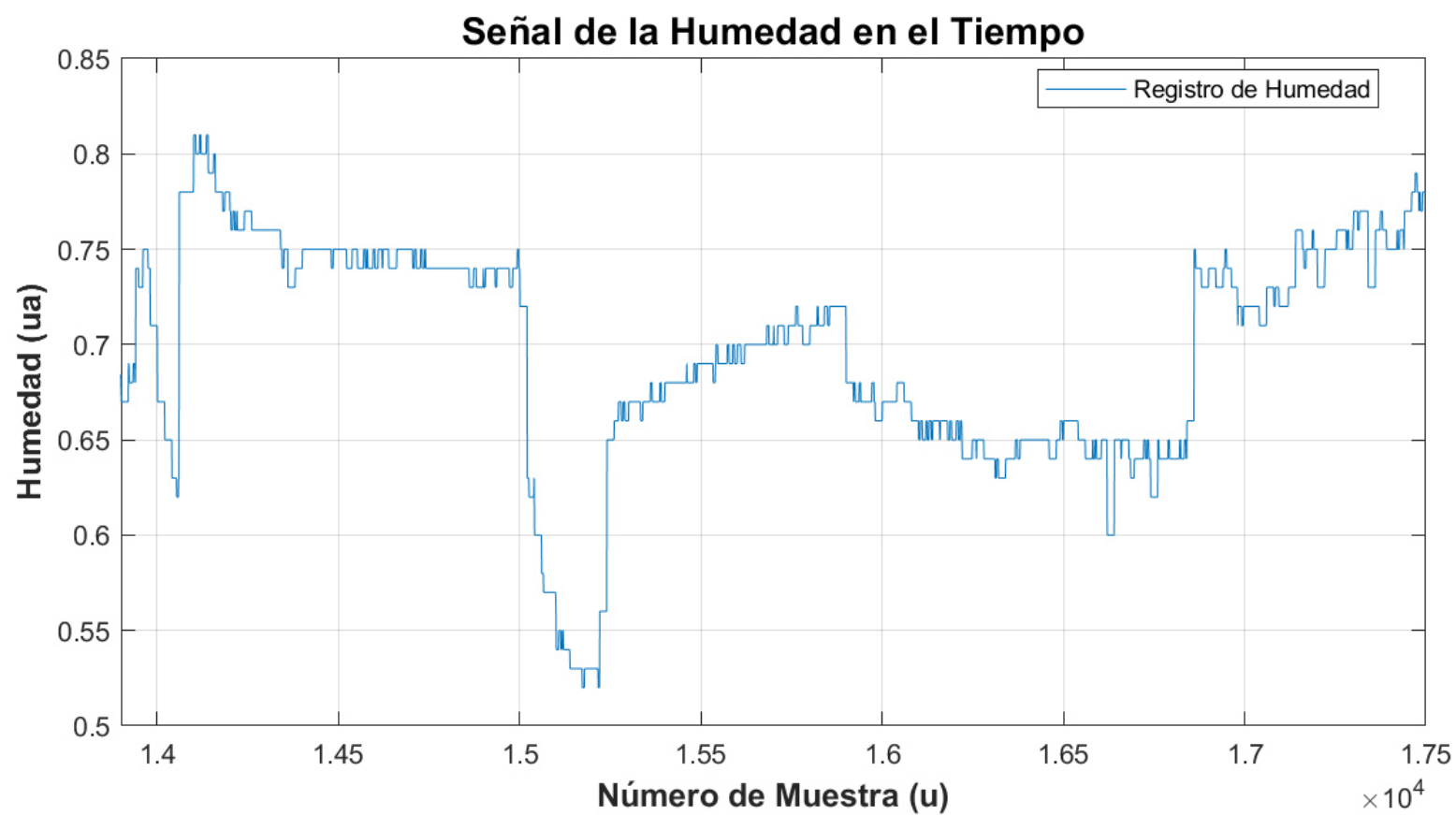


Figura 34

Gráfica de la Humedad de la Persona 3

Fuente: Elaboración propia



4.6. Análisis estadístico

Como se ha señalado anteriormente, la determinación del algoritmo que permite obtener el indicador se fundamenta en un enfoque de ensayo y error, lo que hace necesario llevar a cabo el análisis estadístico correspondiente. Este análisis se basa en la observación del comportamiento de las gráficas de presión, humedad y temperatura, en función del tipo de patrón que el participante está ejecutando. A partir de estas observaciones, se generan manualmente algoritmos que permiten al software determinar si el respirador está siendo utilizado correctamente o incorrectamente. A medida que se incremente la cantidad de lecturas, el algoritmo puede ser refinado de forma manual.

4.6.1. *Desarrollo del algoritmo para el indicador de uso del respirador*

- De las gráficas obtenidas se observa que, con una simple inspección, es posible detectar patrones recurrentes en el parámetro de presión. Al analizar las gráficas de presión de las tres personas se obtiene lo mostrado en la Figura 35, 36 y 37.

Figura 35

Análisis de la Gráfica de Presión de la Persona 1

Fuente: Elaboración propia

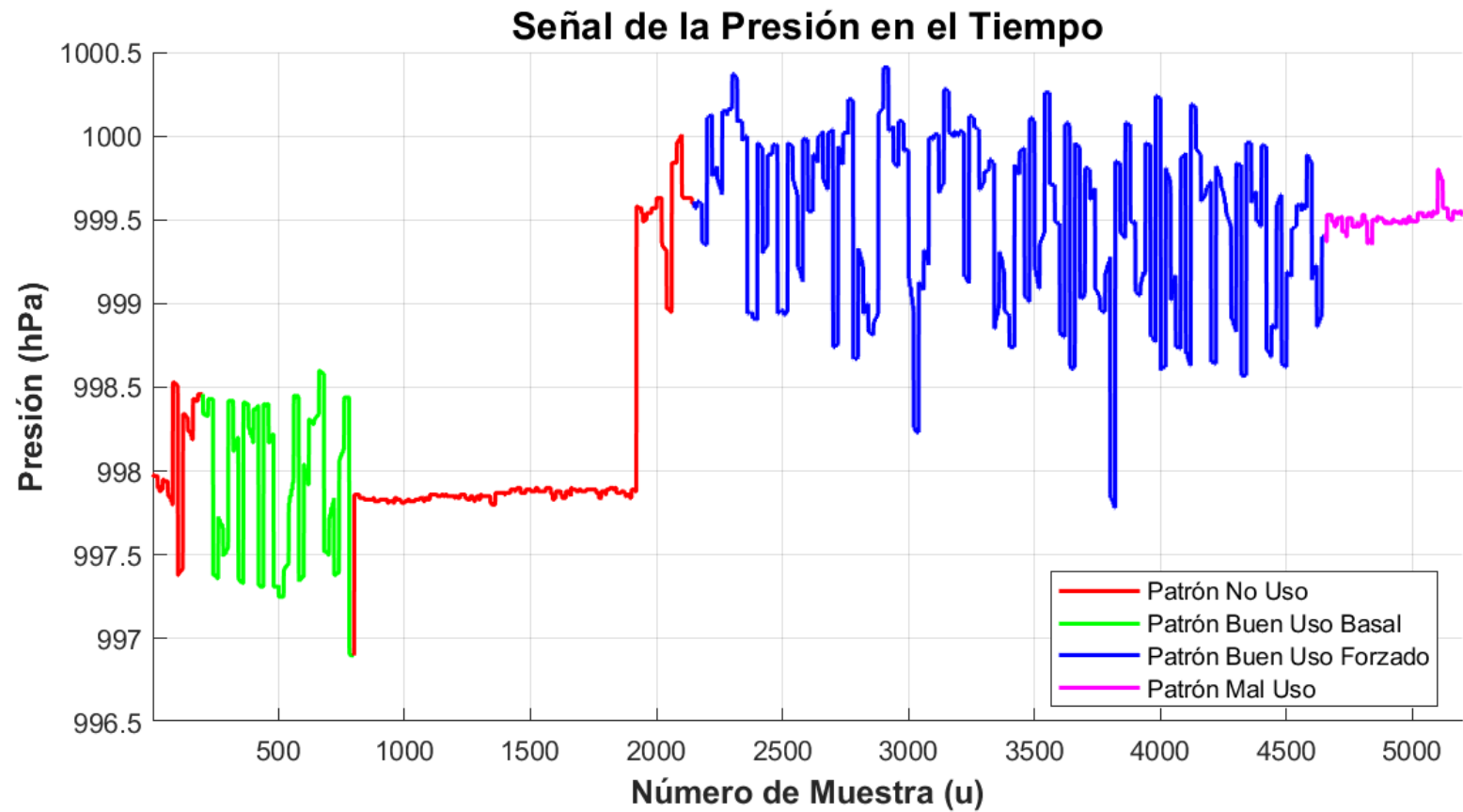


Figura 36

Análisis de la Gráfica de Presión de la Persona 2

Fuente: Elaboración propia

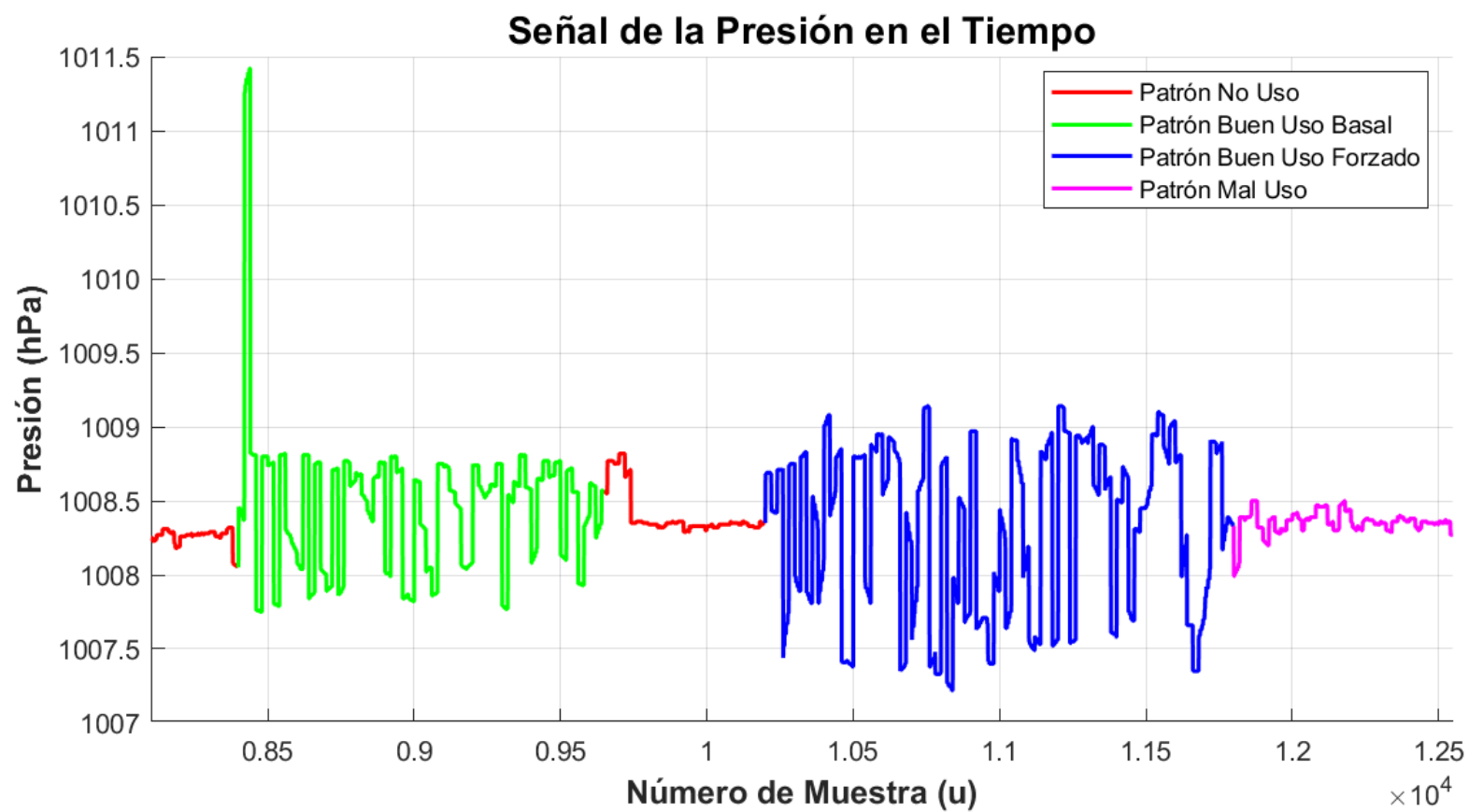
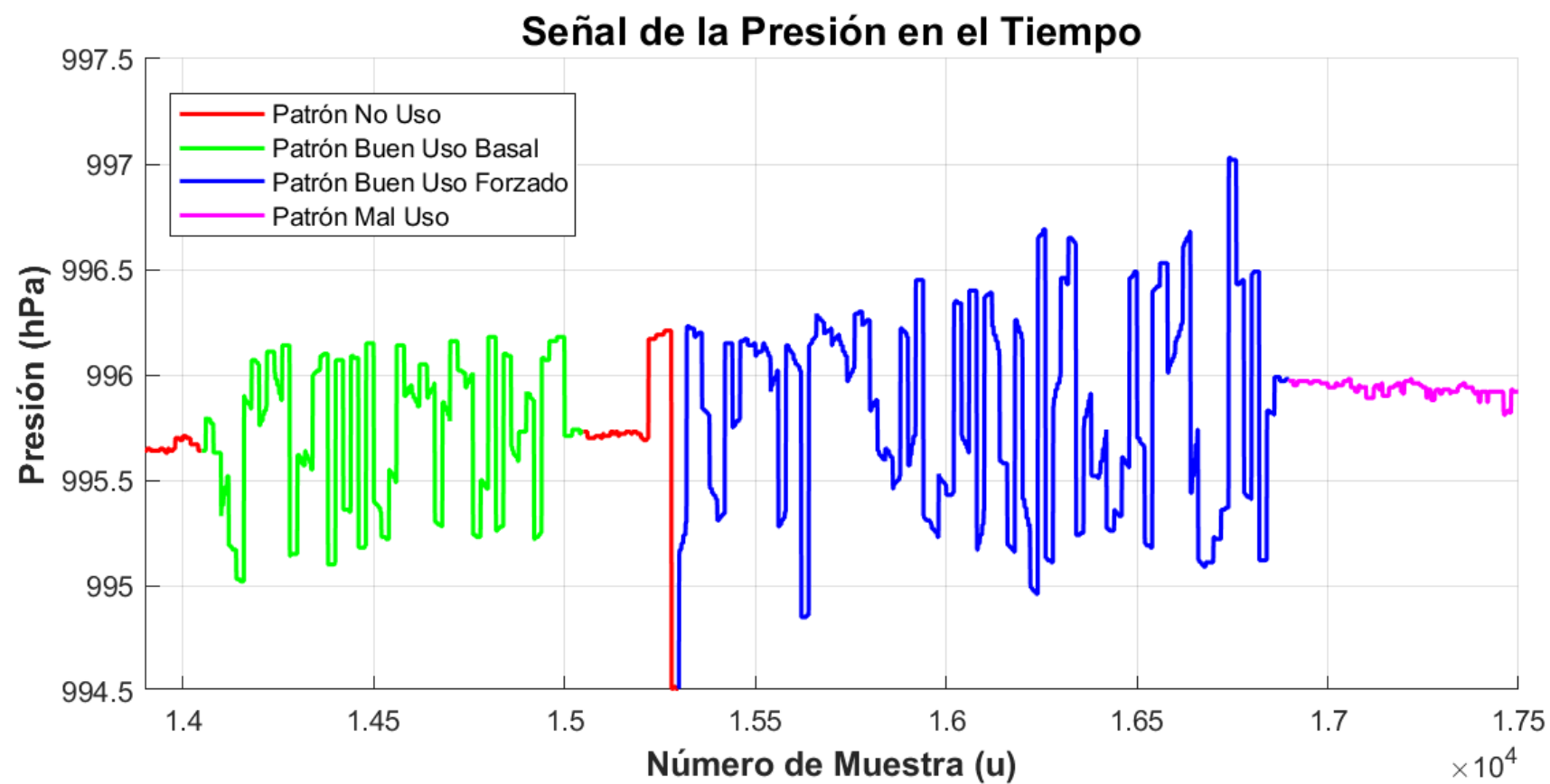


Figura 37

Análisis de la gráfica de la Presión de la Persona 3

Fuente: Elaboración propia



- De las tres gráficas se observa que los patrones parecen repetitivos, las amplitudes de las ondas de cada patrón difieren. A partir de estos indicios, se procedió a desarrollar el algoritmo mediante el método del ensayo y error.
- Se debe considerar que, previamente, los datos se encontraban clasificados según el periodo en el que fueron obtenidos, conforme a los parámetros establecidos en el numeral 5 del apartado 4.4.1. Estos son los siguientes:

Tabla 7

Clasificación previa de datos de la persona 1

Nº	Patrón	Dato Inicial	Dato Final
1	No Uso	1	200
2	Buen Uso Basal	201	800
3	No Uso	801	2150
4	Buen Uso Forzado	2151	4650
5	Mal Uso	4651	5200

Tabla 8

Clasificación previa de datos de la persona 2

Nº	Patrón	Dato Inicial	Dato Final
1	No Uso	1	300
2	Buen Uso Basal	301	1550
3	No Uso	1551	2100
4	Buen Uso Forzado	2101	3700
5	Mal Uso	3701	4450

Tabla 9*Clasificación previa de datos de la persona 3*

Nº	Patrón	Dato Inicial	Dato Final
1	No Uso	1	150
2	Buen Uso Basal	151	1150
3	No Uso	1151	1400
4	Buen Uso Forzado	1401	3000
5	Mal Uso	3001	3600

- Posteriormente, en una hoja de cálculo, los datos se clasificaron en paquetes de cincuenta; asimismo, se calcularon valores como el máximo, mínimo, amplitud, promedio y desviación estándar de cada paquete de datos para obtener toda la información posible y armar el algoritmo. Para fines de minimizar errores, solo se consideraron dos posibles resultados: buen y mal uso. El buen uso las condiciones basal y forzada, mientras que el mal uso incluye tanto la ausencia de uso como el uso inadecuado. Las clasificaciones se encuentran en los Anexos 07, 08 y 09.

Para el caso de la Persona 2:

Tabla 10*Tabla de datos iniciales de la Persona 2*

Patrón	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Valor Máximo	Valor Mínimo
Buen uso basal	1.04	1008.4468	0.3239	1008.81	1007.77
No uso	0.13	1008.2651	0.0307	1008.31	1008.18

Tabla 11*Cuadro de datos obtenidos durante el trabajo de la Persona 2*

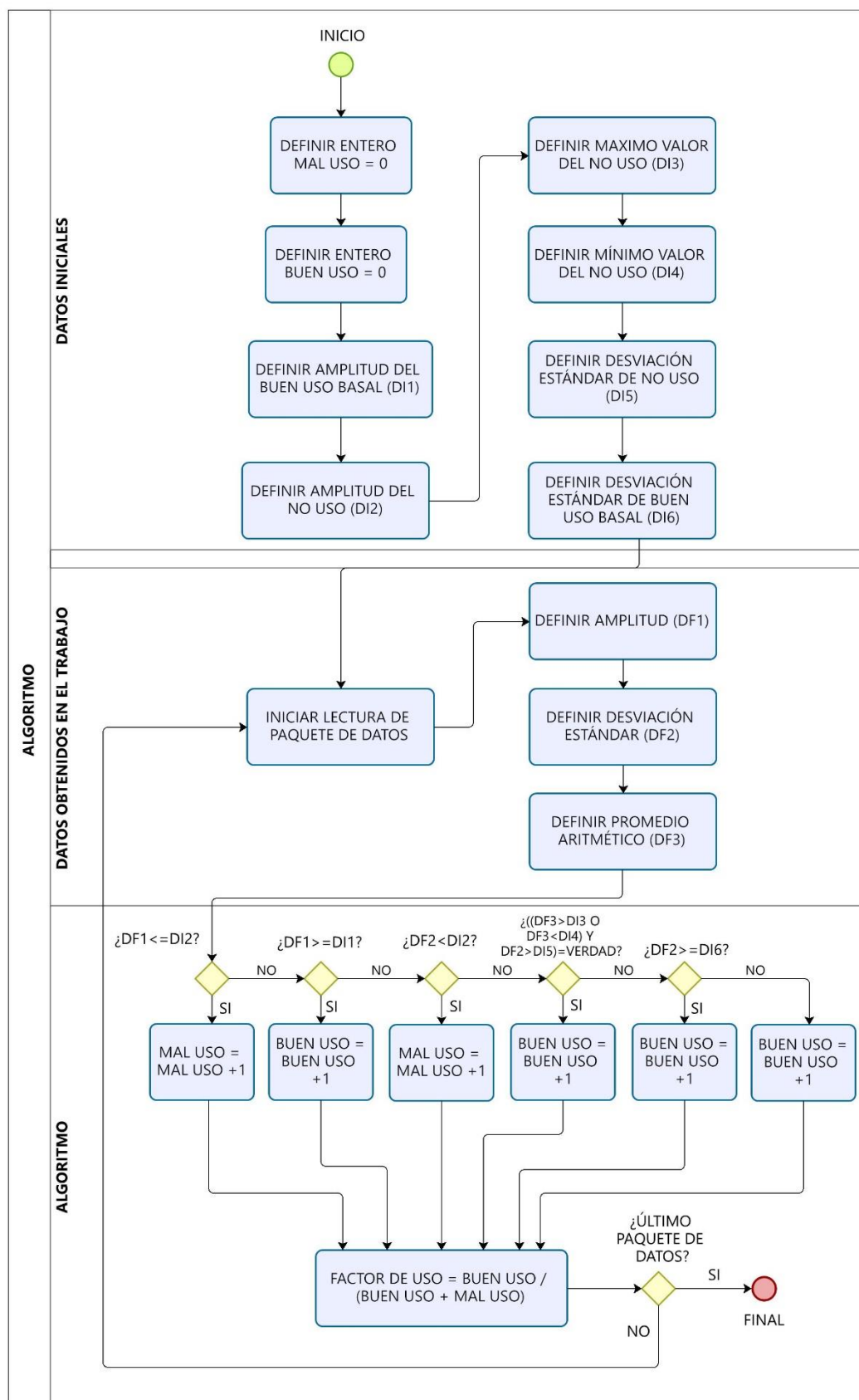
Nº	Numero de dato inicial	Numero de dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Real
1	1	50	0.08	1008.2654	0.027196	MAL USO
2	51	100	0.13	1008.253	0.052382	MAL USO
3	101	150	0.02	1008.2656	0.0057711	MAL USO
...						
4	1201	1250	0.86	1008.242	0.38458	BUEN USO
5	1251	1300	0.69	1008.4632	0.28138	BUEN USO
6	1301	1350	0.62	1008.4436	0.2744	BUEN USO
...						
7	1701	1750	0.02	1008.3332	0.0091339	MAL USO
8	1751	1800	0.04	1008.3466	0.010616	MAL USO
...						
9	4151	4200	0.04	1008.3602	0.015713	MAL USO
10	4201	4250	0.08	1008.3312	0.029941	MAL USO
...						

A partir de esos datos, se desarrolló un algoritmo mediante ensayo para coincidir con el resultado real. El diagrama de flujo del algoritmo es el que se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Diagrama de flujo del algoritmo final

Fuente: Elaboración propia



V. RESULTADOS

5.1. Presentación y análisis de los resultados

5.1.1. Indicador de uso de respirador

Una vez obtenido el algoritmo, se tradujo a código en un script de Matlab. Dicho código se encuentra detallado en el Anexo 10.

El objetivo es determinar el tiempo de uso correcto, por lo que bastaría con contar los paquetes de datos con un uso correcto e incorrecto, de manera que la fórmula final sería la siguiente:

$$\text{Factor de uso} = \frac{\text{Buen Uso}}{(\text{Buen Uso} + \text{Mal Uso})}$$

En el caso de las tres personas evaluadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 12

Resultados del Factor de Uso

Nº	Persona	Factor de Uso (%)
1	Persona 1	63.462
2	Persona 2	35.955
3	Persona 3	25.00

Es importante destacar que la gráfica obtenida indica el Factor de Uso en tiempo real y se actualiza constantemente.

Asimismo, este factor puede ser corroborado con las clasificaciones de los datos indicadas en los Anexos 07, 08 y 09.

En la Figura 40, 41 y 42 se presentan las gráficas finales con el Factor de Uso Indicado.

5.2. Integración del dispositivo en el respirador

En la Figura 39 se muestra una imagen ilustrativa del sistema implementado al interior del respirador de media cara, ubicado detrás de la válvula exhalatoria. Se puede observar la distribución de los componentes internos: el sensor BME280 al frente, directamente orientado hacia la zona de respiración; detrás de este, el microcontrolador ESP-01; y a los lados, dos baterías AAA que proporcionan la alimentación necesaria para el funcionamiento continuo del sistema. Esta integración permite el monitoreo en tiempo real sin interferir con la comodidad ni la funcionalidad del equipo de protección personal, cumpliendo con los requisitos de portabilidad y no invasividad.

Figura 39

Vista frontal esquemática del uso del dispositivo al interior del respirador de media cara

Fuente: Elaboración propia



Figura 40

Gráfica final de la Presión de la Persona 1 con el Factor de Uso indicado

Fuente: Elaboración propia

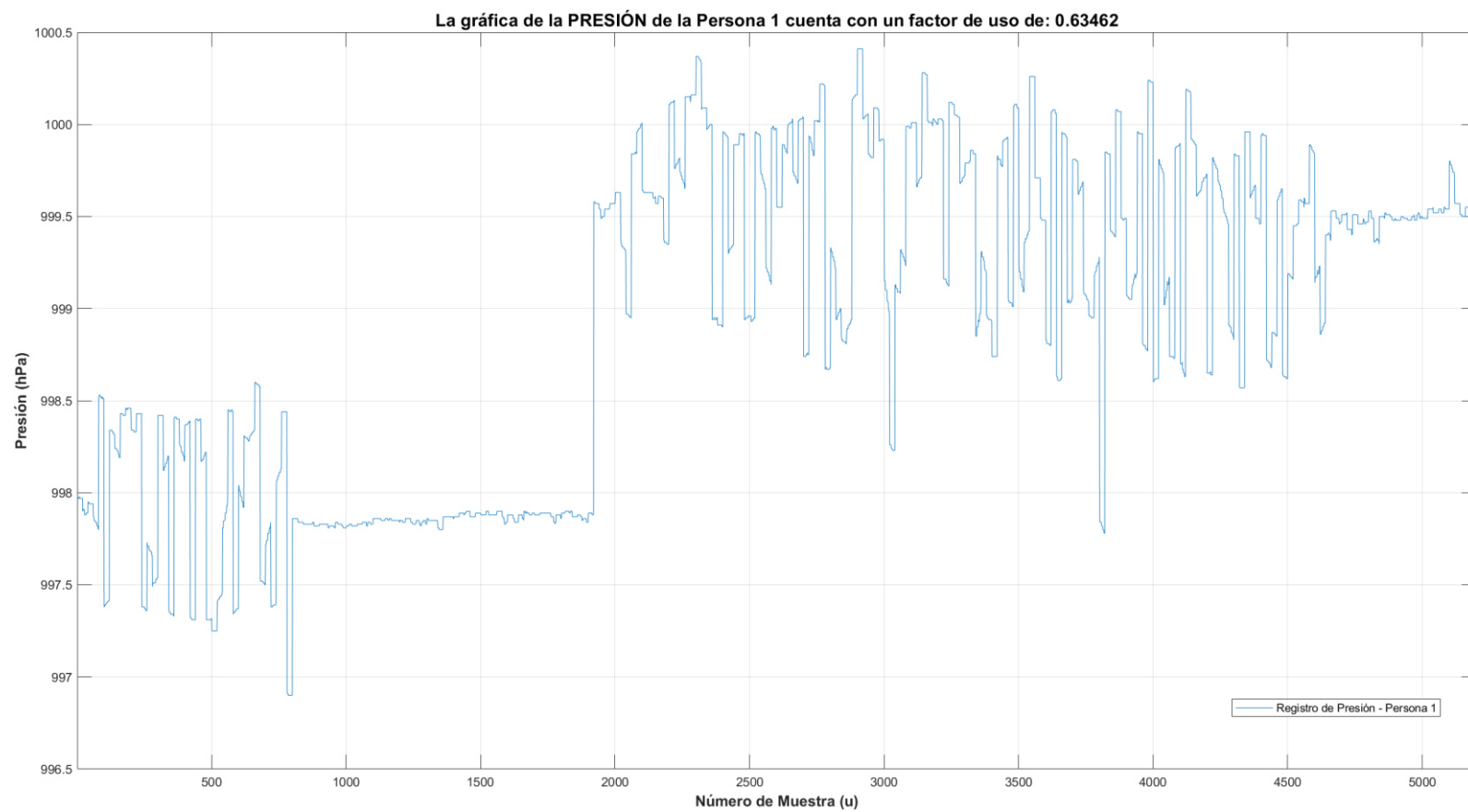


Figura 41

Gráfica final de la Presión de la Persona 2 con el Factor de Uso indicado

Fuente: Elaboración propia

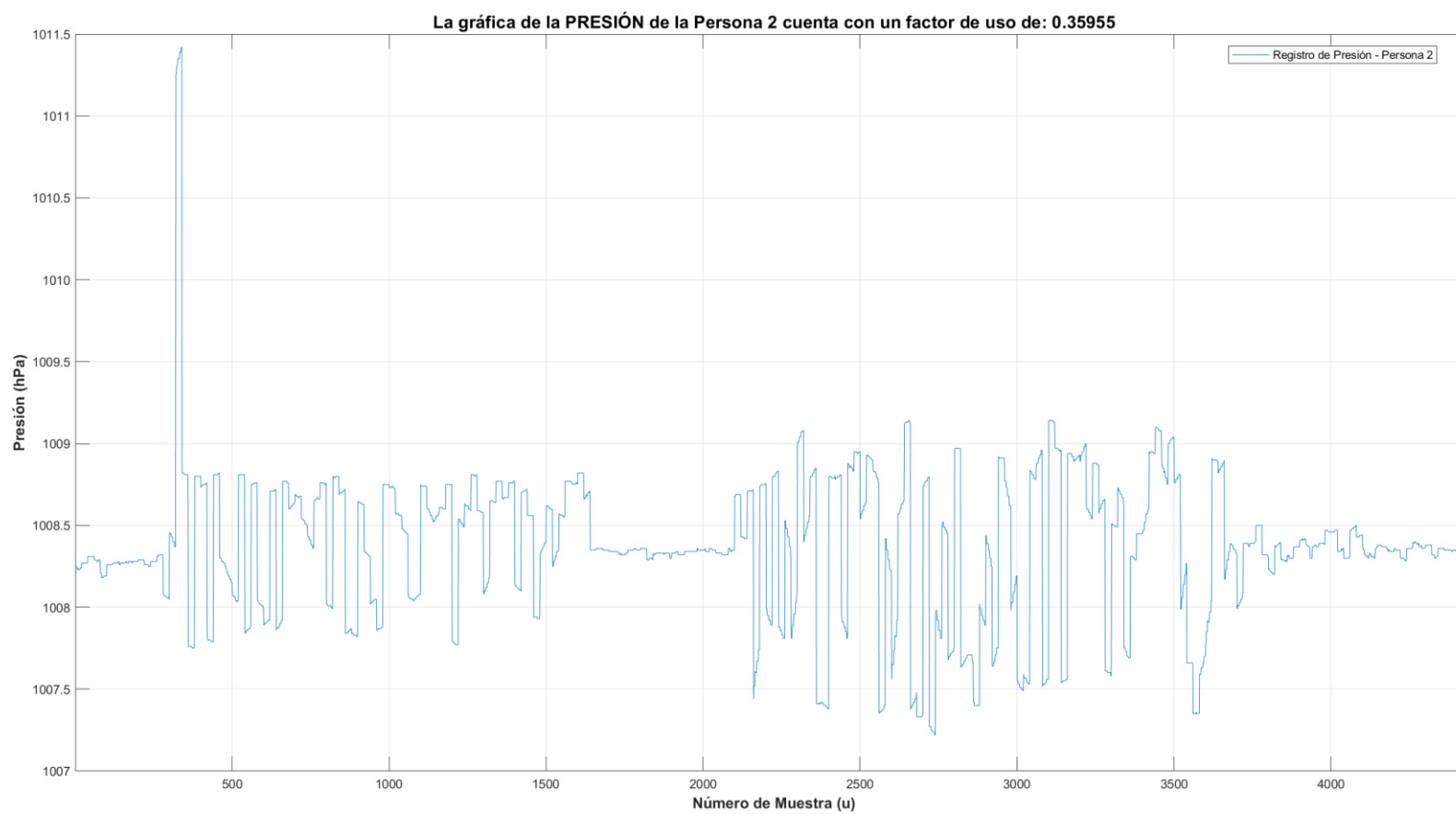
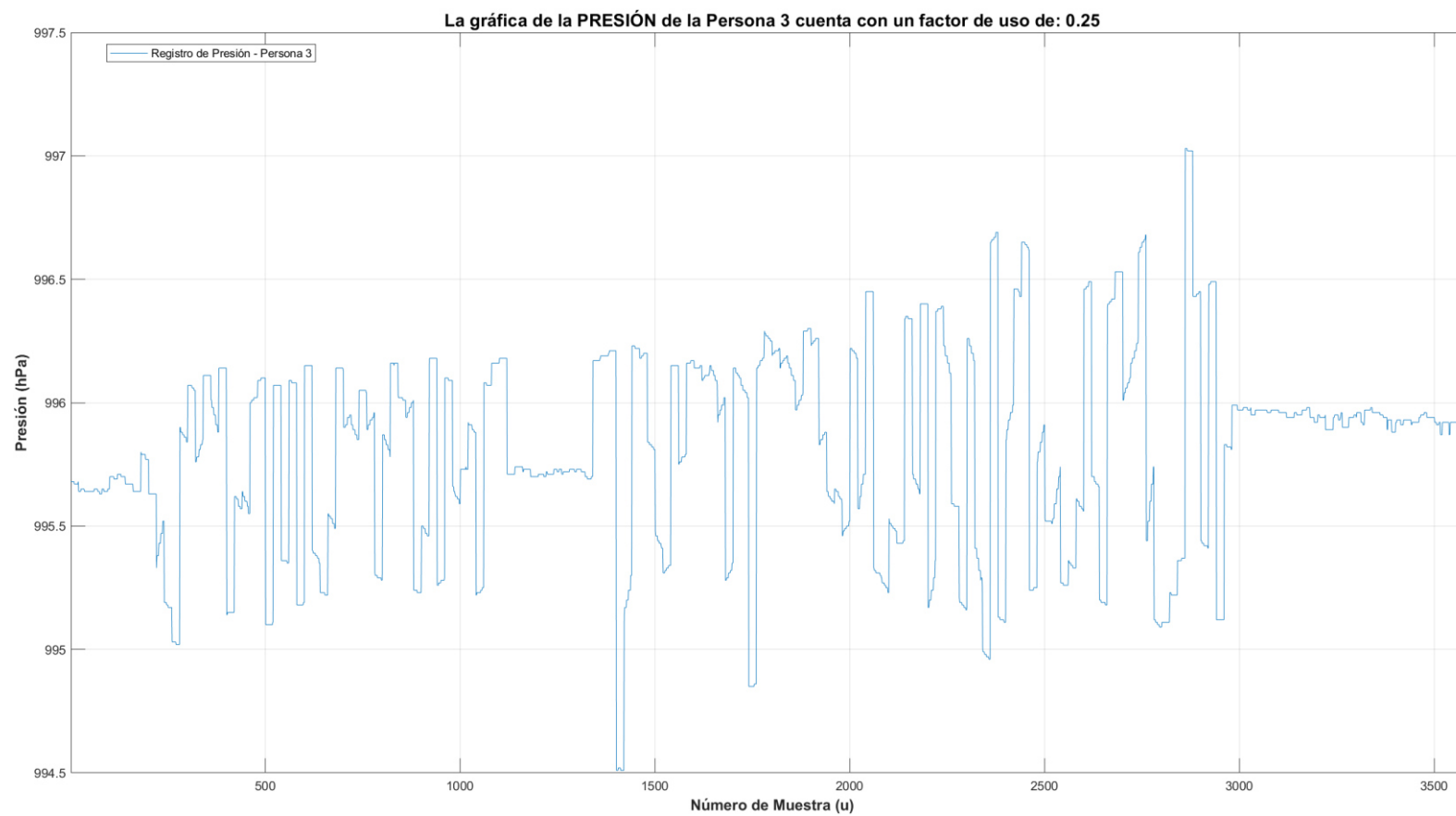


Figura 42

Gráfica final de la Presión de la Persona 3 con el Factor de Uso indicado

Fuente: Elaboración propia



5.2.1. Nivel de confiabilidad del dispositivo

Para evaluar la confiabilidad se contrastarán los resultados obtenidos a través del algoritmo con los resultados reales de cada patrón.

Por ejemplo, para el caso de la Persona 1:

Tabla 13

Diferencias entre valor esperado y valor obtenido por el algoritmo

Nº	Patrón	Dato Inicial	Dato Final	Resultado Real	Resultado Algoritmo
1	No Uso	151	200	MAL USO	MAL USO
2	Buen Uso Basal	201	250	BUEN USO	BUEN USO
3	Buen Uso Basal	751	800	BUEN USO	BUEN USO
4	No Uso	801	850	MAL USO	MAL USO
5	No Uso	1951	2000	MAL USO	MAL USO
6	No Uso	2101	2150	MAL USO	MAL USO
7	Buen Uso Forzado	2151	2200	BIEN USO	BUEN USO
8	Buen Uso Forzado	2201	2250	BIEN USO	BUEN USO
9	Mal Uso	5051	5100	MAL USO	MAL USO
10	Mal Uso	5101	5150	MAL USO	BUEN USO

Los resultados de la evaluación de confiabilidad son los siguientes:

Tabla 14

Nivel de confiabilidad del dispositivo para cada caso

Nº	Persona	Resultados iguales	Total de resultados	Nivel de Confiabilidad
1	Persona 1	98	104	94.23%
2	Persona 2	79	89	88.76%
3	Persona 3	65	72	90.27%

La confiabilidad final sería la siguiente:

$$\text{Confiabilidad}_{\text{final}} = \frac{94.23 \% \times 104 + 88.76 \% \times 89 + 90.27 \% \times 72}{104 + 89 + 72} = 91.32 \%$$

VI. DISCUSIÓN

En el desarrollo del prototipo, los datos iniciales recopilados fueron utilizados tanto para el diseño del algoritmo como para su validación. Dado que el objetivo del estudio es educativo e investigativo, se priorizó el análisis basado en una única fuente de datos, asegurando que el sistema cumpliera con los parámetros establecidos desde el inicio. No se realizó una separación tradicional entre conjuntos de entrenamiento y validación, ya que la finalidad no era generar un modelo predictivo generalizable, sino desarrollar y evaluar un sistema de monitoreo en tiempo real.

Los resultados obtenidos han demostrado que es posible mitigar la incidencia de las enfermedades ocupacionales respiratorias en el sector minero mediante el uso de tecnología existente. La capacidad de los dispositivos para monitorear adecuadamente el uso de respiradores durante la jornada laboral ofrece un enfoque prometedor para la prevención de estas enfermedades. Este avance tecnológico podría tener un impacto significativo en la salud de los trabajadores y en la reducción de riesgos asociados con la exposición a ambientes contaminados.

De acuerdo con las gráficas obtenidas, se sugiere la posibilidad de utilizar los parámetros de humedad y temperatura como una alternativa para evaluar si se pueden obtener los mismos resultados que con el parámetro de presión. Los datos indican que una señal fisiológica de la respiración puede servir para determinar si un trabajador está usando correctamente o incorrectamente el respirador. Esta observación subraya el potencial de utilizar múltiples parámetros para mejorar la precisión del monitoreo, lo que podría fortalecer el diseño y la eficacia del sistema propuesto.

Por otro lado, de los resultados obtenidos respecto al buen uso basal, se ha observado que este patrón tiende a ser más constante en ciertos momentos de la jornada laboral, lo que sugiere que podría usarse como un indicador temprano de que el trabajador está empleando correctamente el respirador. Este hallazgo es relevante, ya que podría servir como referencia inicial antes de que el trabajador comience a

realizar mayores esfuerzos físicos. Sin embargo, este patrón también podría ser interpretado erróneamente como inactividad en algunos casos, lo que requeriría un análisis más preciso para evitar confusiones en los resultados del algoritmo.

Si bien es cierto que en el presente trabajo de investigación no se consideró el criterio comercial para el diseño, sino exclusivamente el criterio técnico, es importante destacar la viabilidad económica del proyecto. La implementación del hardware tuvo un costo de S/. 90.00, mientras que el software no implicó inversión, ya que se utilizaron herramientas de código libre o versiones gratuitas para estudiantes. Esto pone de relieve que, además de ser técnicamente factible, el sistema es también económicamente accesible, lo que facilita su implementación en el contexto minero.

El trabajo presentado se basa en el Proyecto PULMOCHIP, previamente mencionado, que en su concepción inspiró el desarrollo de esta tesis (ver figura 43). Sin embargo, ambos proyectos cuentan con sus propias soluciones alternativas. En particular, este trabajo de tesis ha añadido la funcionalidad de enviar los datos de manera inalámbrica, lo que permite una intervención rápida en caso de uso incorrecto del respirador. Esta característica es clave para abordar el problema central: actuar correctivamente y con inmediatez ante una situación de riesgo.

El sistema diseñado tiene un nivel de confiabilidad del 91.32%. Sin embargo, en los casos en que el resultado obtenido por el algoritmo no coincide con el resultado real, existen posibles explicaciones. Una de ellas es que el paquete de datos evaluado podría no representar el valor preestablecido, debido a que el usuario pudo haber realizado alguna maniobra inusual en ese instante particular. En tales casos, el algoritmo podría estar actuando de manera adecuada, aportando información valiosa para que el responsable de seguridad y salud en el trabajo evalúe comportamientos inapropiados que ocurren en momentos específicos de la jornada laboral.

Es necesario, además, pulir el algoritmo con más información y mejorar el procedimiento de recolección de datos. Esto implica realizar experimentos adicionales en un laboratorio controlado, utilizando los métodos descritos en la introducción del presente trabajo de investigación. Estas mejoras permitirán aumentar la precisión y efectividad del sistema, garantizando resultados más confiables y útiles para su aplicación en el campo.

Por otro lado, de los resultados obtenidos para el caso del buen uso basal del presente trabajo de investigación, se ha podido observar lo siguiente:

Tabla 15

Análisis de datos obtenidos para tres personas en el patrón “Buen Uso Basal”.

Nº	Patrón	Persona	Edad	Promedio de datos
1	Buen Uso Basal	Persona 1	26	997.882
2		Persona 2	20	1008.4468
3		Persona 3	39	995.6853

De acuerdo con la tabla anterior, se comprueba que la capacidad pulmonar se ve afectada con la edad de la persona. Desde otra perspectiva, el responsable de la seguridad y salud en el trabajo podrá, a través del uso de este dispositivo, analizar el estado previo y continuo de la capacidad pulmonar de cada trabajador.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

1. Se logró diseñar y desarrollar un prototipo funcional de monitoreo en tiempo real que permite evaluar la calidad del uso del respirador de media cara, cumpliendo con los fines educativos e investigativos planteados en el estudio.
2. Se identificó que la presión generada por la respiración dentro del respirador es un parámetro fisiológico confiable para determinar el uso correcto o incorrecto del mismo.
3. Se selecciono y utilizó un sensor de presión adecuado, lo que permitió la adquisición precisa de datos relevantes sobre la respiración del usuario.
4. La evaluación del sistema mediante el algoritmo desarrollado mostró una confiabilidad ponderada del 91.32%, lo que valida su precisión para monitorear el uso del respirador. Además, los resultados obtenidos confirmaron que el sistema puede detectar variaciones en la capacidad pulmonar asociadas a la edad, un comportamiento ampliamente documentado en estudios médicos previos, lo que refuerza su fiabilidad.

7.2. Recomendaciones

1. Implementar el dispositivo solución, considerando criterios comerciales, con el objetivo de reducir su tamaño, costo y márgenes de error. Desarrollar exámenes de recolección de datos en un ambiente controlado, utilizando métodos como el PortaCount, para mitigar los errores. Tras recolectar los datos nuevamente con un mayor número de usuarios, realizar los ajustes

necesarios para elaborar el algoritmo final, evaluando su nivel de confiabilidad.

2. Aplicar la presente solución en otros sectores, como el sector salud. Después de haber enfrentado la crisis sanitaria provocada por la pandemia del COVID-19, el dispositivo solución podría emplearse para monitorizar el uso de respiradores en una central de monitoreo dentro de las salas de Unidades de Cuidados Intensivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cherrie, J. W., Apsley, A., Cowie, H., Steinle, S., Mueller, W., Lin, C., ... & Heal, M. R. (2018). Effectiveness of face mask used to protect Beijing residents against particulate air pollution. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 28 (4), 392-397.
- Escribano Dueñas, A. M., & Vaquero Barrios, J. M. (s.f.). *Enfermedades por agentes inorgánicos. Neumoconiosis. Mesotelioma*. Neumosur.
https://www.neumosur.net/files/publicaciones/ebook/54-NEUMOCONIOSIS-Neumologia-3_ed.pdf
- Fundación UOCRA. (2009). *Contaminantes generados por motores diésel*. Fundación de la Unión Obrera de la Construcción de la República Argentina.
- FREMAP. (2020). *Guía de protección respiratoria: Manual de selección de equipos respiratorios*. FREMAP Prevención. <https://www.fremap.es>
- Instituto de Salud Pública del Ministerio de Salud del Gobierno de Chile. (2019). *Guía para la selección y control de equipos de protección respiratoria*.
<https://www.ispch.cl/sites/default/files/D052-PR-500-02-001%20Guia%20para%20la%20seleccion%20y%20control%20de%20EPR.pdf>
- International Labour Office. (2011). *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. <https://www.iloencyclopaedia.org>
- Naranjo Orellana, J. (s.f.). *Valoración respiratoria*. Federación Española de Medicina del Deporte.
<http://femede.es/documentos/Valoracion%20rendimiento%20deportista-muestra.pdf>
- Occupational Safety and Health Administration. (s.f.). *Respiratory Protection eTool*. United States Department of Labor. <https://www.osha.gov/respiratory-protection>

- Occupational Safety and Health Administration. (s.f.). *Mantenimiento y cuidado de los respiradores*. <https://www.osha.gov/video/respiratory-protection/maintenance/transcript-sp>
- Occupational Safety and Health Administration. (s.f.). *Tipos de respiradores*. <https://www.osha.gov/video/respiratory-protection/resp-types/transcript-sp>
- Rojas, M. (2004). *Contaminación del aire y salud humana*. Fondo Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Spies, A., Wilson, K., Ferrie, R., & Naidoo, R. (2011). Respirator fit and facial dimension in South African gold miners. *Occupational Health Southern Africa*, 17 (3), 6-10.
- Universidad de Lima & Dräger. (2021). *Pulmochip: Sistema creado para la determinación del factor de protección efectivo de respiradores utilizados en la industria y minería* [Informe técnico no publicado].
- Viner, R. T., Richert, A. M., & Campbell, D. M. (2019). *System and method for assessing fit of a respiratory protection device*. *World Intellectual Property Organization*. WO2019020143A1. <https://patentscope.wipo.int>
- 3M (2024). *Selección del respirador*. https://www.3m.com.pe/3M/es_PE/respiradores-la/soporte/centro-proteccion-respiratoria/como-seleccionar-respiradores/

ANEXOS

Anexo 01

Figura 43

Remisión de perfil de tesis a empresa encargada del proyecto PULMOCHIP

Fuente: Elaboración propia



Cristhian Lucar <electrolucar@gmail.com>

SOLICITUD DE INFORMACIÓN - EXPEDIENTE

Cristhian Lucar <electrolucar@gmail.com>
Para: angela.flores@draeger.com

14 de marzo de 2022, 10:33 p.m.

Buenas noches Angela
Adjunto toda la documentación que tengo al respecto.
Atte.

Cristhian Lucar
[Texto citado oculto]

3 archivos adjuntos

-  **Perfil de Tesis - Cristhian Andree Lucar Monzon.pdf**
1298K
-  **Expediente - Inscripcion de Perfil de Tesis - Lucar.pdf**
8979K
-  **RESOLUCIÓN DECANAL N° 000167-2022-D-FIEE-UNMSM.pdf**
188K

Anexo 02

El código completo es el siguiente:

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <Wire.h>
#include "SparkFunBME280.h"

BME280 bme;

float temperatura, humedad, presion;
String temperatura_previa="";
String temperatura_final="";
String humedad_previa="";
String humedad_final="";
String presion_previa="";
String presion_final="";

const char *ssid = "XXXXXX";
const char *password = "XXXXXX";

int contconexion = 0;
unsigned long ultimaConexion = 0;
boolean ultimoEstado = false;
const unsigned long intervaloConexion = 4000;

char host[48];
String strhost = "192.168.0.11";
String strurl = "/parametros/enviardatos.php";
String chipId = "";

WiFiClient client;

void setup() {

  Serial.begin(115200);
  Wire.begin(2,0);
  Wire.setClock(115200);

  bme.setI2CAddress(0X76);
  bme.beginI2C();
  bme.setFilter(4);
  bme.setStandbyTime(0);
  bme.setTempOverSample(2);
  bme.setPressureOverSample(4);
```

```

bme.setHumidityOverSample(2);
bme.setMode(MODE_NORMAL);

chipId = String(ESP.getChipId());

WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED and contconexion <50) {
  ++contconexion;
  delay(500);
}

if (contconexion <=50) {
  IPAddress ip(192,168,0,30);
  IPAddress gateway(192,168,0,1);
  IPAddress subnet(255,255,255,0);
  WiFi.config(ip, gateway, subnet);
}
}

void loop() {
  int i=0;
  for (i;i<20;i++){
    if(i!=20){
      temperatura=bme.readTempC();
      presion=bme.readFloatPressure()/100.0F;
      humedad=(bme.readFloatHumidity())/100.00;
      temperatura_previa=String(temperatura);
      humedad_previa=String(humedad);
      presion_previa=String(presion);

      if(i==0){
        temperatura_final=temperatura_previa;
        presion_final=presion_previa;
        humedad_final=humedad_previa;
      }

      else{
        temperatura_final=temperatura_final+";"+temperatura_previa;
        presion_final=presion_final+";"+presion_previa;
        humedad_final=humedad_final+";"+humedad_previa;
      }
    }
  }

  if (client.available()) {
    char c = client.read();
  }

  if(!client.connected() && (millis() - ultimaConexion > intervaloConexion)) {

```

```

    httpRequest();
}

ultimoEstado = client.connected();

}

void httpRequest() {

    strhost.toCharArray(host, 49);
    if (client.connect(host, 80)) {

        String datos="chipId=" + chipId + "&temperatura=" + temperatura_final+ "&presion=" +
        presion_final+"&humedad=" + humedad_final;
        client.print(String("POST ") + strurl + " HTTP/1.1" + "\r\n" +
            "Host: " + strhost + "\r\n" +
            "Accept: /" + "*" + "\r\n" +
            "Content-Length: " + datos.length() + "\r\n" +
            "Content-Type: application/x-www-form-urlencoded" + "\r\n" +
            "\r\n" + datos);

        temperatura_previa="";
        temperatura_final="";
        humedad_previa="";
        humedad_final="";
        presion_previa="";
        presion_final="";

        ultimaConexion = millis();

        delay(200);

    }

    else {
        client.stop();
    }
}

```

Anexo 03

El código completo es el siguiente:

```
<?php
$conexion = mysqli_connect("localhost", "root", "");
mysqli_select_db($conexion, "parametros");
mysqli_set_charset($conexion, "utf8");

if (isset($_POST['temperatura']))

{
    $chipId=$_POST['chipId'];
    $temperatura=$_POST['temperatura'];
    $presion=$_POST['presion'];
    $humedad=$_POST['humedad'];

    mysqli_query($conexion, "INSERT INTO tabla(id, chipId, fecha, temperatura, presion, humedad)
    VALUES (NULL, '$chipId', CURRENT_TIMESTAMP, '$temperatura', '$presion', '$humedad');");
}

mysqli_close($conexion);
echo "Datos ingresados correctamente.";
?>
```

Anexo 04

Figura 44

Declaración Jurada de participante 1

Fuente: Elaboración propia

DECLARACIÓN JURADA

Yo, **CRISTHIAN ANDREE LUCAR MONZON**, identificado con DNI N°70037269 de nacionalidad peruana, declaro bajo juramento lo siguiente:

- Haber participado de manera voluntaria y sin cargo alguno, en los ensayos llevados a cabo por el Bach. **CRISTHIAN ANDREE LUCAR MONZON**, para el desarrollo de la tesis “**Diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico inalámbrico para la obtención de indicadores de riesgo de salud ocupacional en respiradores de media cara (EPP) utilizados en minería**”.
- Los ensayos realizados fueron constantemente supervisados y consistieron en colocar dentro del respirador un dispositivo y utilizar dicho respirador durante varias etapas: no uso, reposo, esfuerzo y mal uso, mientras se registraba la información en una computadora de manera inalámbrica.
- Previamente a la ejecución de los ensayos, se me detalló la finalidad del trabajo, los procedimientos que se realizarían y las consideraciones que se debían tomar en cuenta para garantizar el éxito de los ensayos.
- Haber ejecutado los ensayos en octubre de 2023 cuando contaba con 26 años de edad.

Doy fe de lo declarado y suscribo en señal de conformidad,



CRISTHIAN ANDREE LUCAR
MONZON
DNI N°70037269

Anexo 05

Figura 45

Declaración jurada de participante 2

Fuente: Elaboración propia

DECLARACIÓN JURADA

Yo, MARYCIELO FIORELLA LUCAR MONZON, identificada con DNI N°72030790 de nacionalidad peruana, declaro bajo juramento lo siguiente:

- Haber participado de manera voluntaria y sin cargo alguno, en los ensayos llevados a cabo por el Bach. CRISTHIAN ANDREE LUCAR MONZON, para el desarrollo de la tesis “Diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico inalámbrico para la obtención de indicadores de riesgo de salud ocupacional en respiradores de media cara (EPP) utilizados en minería”.
- Los ensayos realizados fueron constantemente supervisados y consistieron en colocar dentro del respirador un dispositivo y utilizar dicho respirador durante varias etapas: no uso, reposo, esfuerzo y mal uso, mientras se registraba la información en una computadora de manera inalámbrica.
- Previamente a la ejecución de los ensayos, se me detalló la finalidad del trabajo, los procedimientos que se realizarían y las consideraciones que se debían tomar en cuenta para garantizar el éxito de los ensayos.
- Haber ejecutado los ensayos en octubre de 2023 cuando contaba con 20 años de edad.

Doy fe de lo declarado y suscribo en señal de conformidad,



MARYCIELO FIORELLA LUCAR
MONZON
DNI N°72030790

Anexo 06

Figura 46

Declaración jurada de participante 3

Fuente: Elaboración propia

DECLARACIÓN JURADA

Yo, **NILTON BRUNO ALIAGA**, identificado con DNI N°**42112259** de nacionalidad peruana, declaro bajo juramento lo siguiente:

- Haber participado de manera voluntaria y sin cargo alguno, en los ensayos llevados a cabo por el Bach. **CRISTHIAN ANDREE LUCAR MONZON**, para el desarrollo de la tesis “**Diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico inalámbrico para la obtención de indicadores de riesgo de salud ocupacional en respiradores de media cara (EPP) utilizados en minería**”.
- Los ensayos realizados fueron constantemente supervisados y consistieron en colocar dentro del respirador un dispositivo y utilizar dicho respirador durante varias etapas: no uso, reposo, esfuerzo y mal uso, mientras se registraba la información en una computadora de manera inalámbrica.
- Previamente a la ejecución de los ensayos, se me detalló la finalidad del trabajo, los procedimientos que se realizarían y las consideraciones que se debían tomar en cuenta para garantizar el éxito de los ensayos.
- Haber ejecutado los ensayos en octubre de 2023 cuando contaba con 39 años de edad.

Doy fe de lo declarado y suscribo en señal de conformidad,


NILTON BRUNO ALIAGA
DNI N°42112259

Anexo 07

CLASIFICACION DE LA BASE DE DATOS DE LA PERSONA 1

Tabla 16

Parámetros generales del participante 1

Patrón	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo
Buen Uso Basal	1.2	997.882	0.4635	998.45	997.25
No Uso	0.1	997.9357	0.0337	997.98	997.88

Tabla 17

Parámetros específicos del participante 1

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
1	50	0.1	997.9348	0.03688	MAL	MAL	SI
51	100	0.73	998.1304	0.32345	MAL	BIEN	NO
101	150	0.96	997.9402	0.44661	MAL	MAL	SI
151	200	0.27	998.3944	0.096641	MAL	MAL	SI
201	250	1.05	998.1824	0.40751	BIEN	BIEN	SI
251	300	0.37	997.557	0.12517	BIEN	BIEN	SI
301	350	1.08	998.1014	0.39824	BIEN	BIEN	SI
351	400	1.08	998.1182	0.403	BIEN	BIEN	SI
401	450	1.09	997.955	0.52961	BIEN	BIEN	SI
451	500	1.09	997.8806	0.47629	BIEN	BIEN	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
501	550	0.6	997.4388	0.21586	BIEN	BIEN	SI
551	600	1.11	997.905	0.49059	BIEN	BIEN	SI
601	650	0.4	998.1712	0.16214	BIEN	BIEN	SI
651	700	1.1	998.108	0.4987	BIEN	BIEN	SI
701	750	0.71	997.6792	0.2669	BIEN	BIEN	SI
751	800	1.54	997.7604	0.71791	BIEN	BIEN	SI
801	850	0.03	997.846	0.12122	MAL	MAL	SI
851	900	0.02	997.827	0.0064681	MAL	MAL	SI
901	950	0.02	997.8254	0.0067643	MAL	MAL	SI
951	1000	0.03	997.8232	0.011328	MAL	MAL	SI
1001	1050	0.01	997.8236	0.048487	MAL	MAL	SI
1051	1100	0.02	997.834	0.067006	MAL	MAL	SI
1101	1150	0.01	997.8568	0.0047121	MAL	MAL	SI
1151	1200	0.02	997.8522	0.0050669	MAL	MAL	SI
1201	1250	0.03	997.8492	0.010069	MAL	MAL	SI
1251	1300	0.03	997.8384	0.010568	MAL	MAL	SI
1301	1350	0.06	997.842	0.01906	MAL	MAL	SI
1351	1400	0.07	997.8554	0.028082	MAL	MAL	SI
1401	1450	0.03	997.8822	0.010746	MAL	MAL	SI
1451	1500	0.03	997.884	0.012122	MAL	MAL	SI
1501	1550	0.02	997.8836	0.0077618	MAL	MAL	SI
1551	1600	0.07	997.8748	0.026049	MAL	MAL	SI
1601	1650	0.04	977.866	0.018183	MAL	MAL	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
1651	1700	0.05	997.8844	0.011634	MAL	MAL	SI
1701	1750	0.01	997.886	0.0049487	MAL	MAL	SI
1751	1800	0.06	997.8714	0.01738	MAL	MAL	SI
1801	1850	0.03	997.8902	0.011156	MAL	MAL	SI
1851	1900	0.04	997.8638	0.013076	MAL	MAL	SI
1901	1950	1.7	998.8878	0.82576	MAL	BIEN	NO
1951	2000	0.08	999.544	0.026419	MAL	MAL	SI
2001	2050	0.67	999.3792	0.24687	MAL	BIEN	NO
2051	2100	1.06	999.72	0.39156	MAL	BIEN	NO
2101	2150	0.04	999.6252	0.012656	MAL	MAL	SI
2151	2200	0.26	999.4988	0.11821	BIEN	BIEN	SI
2201	2250	0.43	999.9074	0.17629	BIEN	BIEN	SI
2251	2300	0.51	1000.0594	0.19137	BIEN	BIEN	SI
2301	2350	0.4	1000.1762	0.15687	BIEN	BIEN	SI
2351	2400	1.1	999.1412	0.43357	BIEN	BIEN	SI
2401	2450	0.66	999.6872	0.29761	BIEN	BIEN	SI
2451	2500	1.01	999.5368	0.48406	BIEN	BIEN	SI
2501	2550	1.03	999.5028	0.4677	BIEN	BIEN	SI
2551	2600	0.86	999.5994	0.36168	BIEN	BIEN	SI
2601	2650	0.46	999.769	0.18702	BIEN	BIEN	SI
2651	2700	0.36	999.8992	0.15521	BIEN	BIEN	SI
2701	2750	1.28	999.4574	0.58895	BIEN	BIEN	SI
2751	2800	1.55	999.5602	0.73506	BIEN	BIEN	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
2801	2850	0.51	999.065	0.18492	BIEN	BIEN	SI
2851	2900	1.35	999.388	0.63005	BIEN	BIEN	SI
2901	2950	0.58	1008.1482	0.22924	BIEN	BIEN	SI
2951	3000	0.27	999.965	0.10702	BIEN	BIEN	SI
3001	3050	0.92	998.7452	0.4186	BIEN	BIEN	SI
3051	3100	0.91	999.5262	0.38681	BIEN	BIEN	SI
3101	3150	0.62	999.9372	0.22475	BIEN	BIEN	SI
3151	3200	0.29	1000.0648	0.105	BIEN	BIEN	SI
3201	3250	1	999.6936	0.45263	BIEN	BIEN	SI
3251	3300	0.44	999.9208	0.18442	BIEN	BIEN	SI
3301	3350	1.01	999.6336	0.37982	BIEN	BIEN	SI
3351	3400	0.38	999.0706	0.15288	BIEN	BIEN	SI
3401	3450	1.18	999.3982	0.54469	BIEN	BIEN	SI
3451	3500	1.1	999.637	0.50574	BIEN	BIEN	SI
3501	3550	1.17	999.4692	0.41494	BIEN	BIEN	SI
3551	3600	0.78	999.729	0.28723	BIEN	BIEN	SI
3601	3650	1.47	999.2766	0.65993	BIEN	BIEN	SI
3651	3700	1.35	999.3168	0.541	BIEN	BIEN	SI
3701	3750	0.74	999.5994	0.27229	BIEN	BIEN	SI
3751	3800	0.33	999.0812	0.12416	BIEN	BIEN	SI
3801	3850	2.07	998.9476	0.9466	BIEN	BIEN	SI
3851	3900	0.69	999.7038	0.30673	BIEN	BIEN	SI
3901	3950	0.91	999.277	0.34583	BIEN	BIEN	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
3951	4000	1.47	999.5996	0.67554	BIEN	BIEN	SI
4001	4050	1.21	999.1632	0.52151	BIEN	BIEN	SI
4051	4100	1.17	999.274	0.52176	BIEN	BIEN	SI
4101	4150	1.56	999.5246	0.71154	BIEN	BIEN	SI
4151	4200	0.3	999.7138	0.099137	BIEN	MAL	NO
4201	4250	1.18	999.308	0.54673	BIEN	BIEN	SI
4251	4300	0.81	999.2746	0.32986	BIEN	BIEN	SI
4301	4350	1.39	999.353	0.64752	BIEN	BIEN	SI
4351	4400	0.5	999.6396	0.17765	BIEN	BIEN	SI
4401	4450	1.27	999.2332	0.58824	BIEN	BIEN	SI
4451	4500	1.03	999.0708	0.46089	BIEN	BIEN	SI
4501	4550	0.43	999.3702	0.16728	BIEN	BIEN	SI
4551	4600	0.34	999.6924	0.14465	BIEN	BIEN	SI
4601	4650	0.55	999.113	0.19871	BIEN	BIEN	SI
4651	4700	0.16	999.4824	0.049839	MAL	MAL	SI
4701	4750	0.12	999.4766	0.042743	MAL	MAL	SI
4751	4800	0.05	999.4742	0.019388	MAL	MAL	SI
4801	4850	0.18	999.4514	0.069371	MAL	MAL	SI
4851	4900	0.04	999.4996	0.012771	MAL	MAL	SI
4901	4950	0.02	999.4868	0.0076772	MAL	MAL	SI
4951	5000	0.04	999.4942	0.013864	MAL	MAL	SI
5001	5050	0.06	999.5162	0.022936	MAL	MAL	SI
5051	5100	0.03	999.5334	0.010994	MAL	MAL	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
5101	5150	0.3	999.636	0.11032	MAL	BIEN	NO
5151	5200	0.05	999.5356	0.019077	MAL	MAL	SI

Anexo 08

CLASIFICACION DE LA BASE DE DATOS DE LA PERSONA 2

Tabla 18

Parámetros generales del participante 2

Patrón	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo
Buen Uso Basal	1.04	1008.4468	0.3239	1008.81	1007.77
No Uso	0.13	1008.2651	0.0307	1008.31	1008.18

Tabla 19

Parámetros específicos del participante 2

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
1	50	0.08	1008.2654	0.027196	MAL	MAL	SI
51	100	0.13	1008.253	0.052382	MAL	MAL	SI
101	150	0.02	1008.2656	0.0057711	MAL	MAL	SI
151	200	0.01	1008.2764	0.0048487	MAL	MAL	SI
201	250	0.04	1008.2742	0.01553	MAL	MAL	SI
251	300	0.27	1008.209	0.11973	MAL	MAL	SI
301	350	3.05	1009.6702	1.3947	BIEN	BIEN	SI
351	400	1.06	1008.3844	0.51832	BIEN	BIEN	SI
401	450	1.02	1008.3804	0.48135	BIEN	BIEN	SI
451	500	0.67	1008.35	0.23882	BIEN	BIEN	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
501	550	0.97	1008.3158	0.41447	BIEN	BIEN	SI
551	600	0.9	1008.2846	0.39268	BIEN	BIEN	SI
601	650	0.86	1008.2228	0.40377	BIEN	BIEN	SI
651	700	0.89	1008.5354	0.32506	BIEN	BIEN	SI
701	750	0.28	1008.5642	0.10218	BIEN	MAL	NO
751	800	0.4	1008.642	0.14198	BIEN	BIEN	SI
801	850	0.81	1008.4614	0.3762	BIEN	BIEN	SI
851	900	0.9	1008.0156	0.35197	BIEN	BIEN	SI
901	950	0.63	1008.3906	0.22951	BIEN	BIEN	SI
951	1000	0.89	1008.2578	0.41123	BIEN	BIEN	SI
1001	1050	0.28	1008.6134	0.10287	BIEN	MAL	NO
1051	1100	0.42	1008.1382	0.15988	BIEN	BIEN	SI
1101	1150	0.23	1008.6328	0.091474	BIEN	MAL	NO
1151	1200	0.2	1008.6546	0.080387	BIEN	MAL	NO
1201	1250	0.86	1008.242	0.38458	BIEN	BIEN	SI
1251	1300	0.23	1008.6782	0.10707	BIEN	MAL	NO
1301	1350	0.69	1008.4632	0.28138	BIEN	BIEN	SI
1351	1400	0.11	1008.726	0.048487	BIEN	MAL	NO
1401	1450	0.62	1008.4436	0.2744	BIEN	BIEN	SI
1451	1500	0.63	1008.2326	0.25583	BIEN	MAL	NO
1501	1550	0.37	1008.4786	0.14581	BIEN	BIEN	SI
1551	1600	0.22	1008.7208	0.084124	MAL	MAL	SI
1601	1650	0.47	1008.6718	0.17387	MAL	BIEN	NO

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
1651	1700	0.01	1008.3544	0.0050143	MAL	MAL	SI
1701	1750	0.02	1008.3332	0.0091339	MAL	MAL	SI
1751	1800	0.04	1008.3466	0.010616	MAL	MAL	SI
1801	1850	0.07	1008.3266	0.029871	MAL	MAL	SI
1851	1900	0.03	1008.3262	0.0094524	MAL	MAL	SI
1901	1950	0.02	1008.3294	0.0086685	MAL	MAL	SI
1951	2000	0.02	1008.3444	0.0057711	MAL	MAL	SI
2001	2050	0.03	1008.3452	0.01015	MAL	MAL	SI
2051	2100	0.04	1008.3342	0.014721	MAL	MAL	SI
2101	2150	0.29	1008.5868	0.13419	BIEN	BIEN	SI
2151	2200	1.32	1008.2918	0.55244	BIEN	BIEN	SI
2201	2250	0.97	1008.2726	0.44659	BIEN	BIEN	SI
2251	2300	0.72	1008.1176	0.27571	BIEN	BIEN	SI
2301	2350	0.68	1008.7728	0.25734	BIEN	BIEN	SI
2351	2400	1.47	1007.691	0.57894	BIEN	BIEN	SI
2401	2450	0.93	1008.6196	0.35759	BIEN	BIEN	SI
2451	2500	1.14	1008.691	0.42855	BIEN	BIEN	SI
2501	2550	0.39	1008.7718	0.14796	BIEN	BIEN	SI
2551	2600	1.47	1008.0268	0.56929	BIEN	BIEN	SI
2601	2650	1.57	1008.3744	0.54326	BIEN	BIEN	SI
2651	2700	1.81	1007.7256	0.71305	BIEN	BIEN	SI
2701	2750	1.58	1007.9958	0.68851	BIEN	BIEN	SI
2751	2800	0.84	1008.0474	0.36388	BIEN	BIEN	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
2801	2850	1.34	1008.1948	0.63975	BIEN	BIEN	SI
2851	2900	0.62	1007.6788	0.24563	BIEN	BIEN	SI
2901	2950	1.28	1008.1976	0.46722	BIEN	BIEN	SI
2951	3000	0.93	1008.4984	0.34563	BIEN	BIEN	SI
3001	3050	1.35	1007.7926	0.52099	BIEN	BIEN	SI
3051	3100	1.44	1008.3392	0.6599	BIEN	BIEN	SI
3101	3150	1.6	1008.7504	0.61328	BIEN	BIEN	SI
3151	3200	1.39	1008.6488	0.55265	BIEN	BIEN	SI
3201	3250	0.46	1008.7884	0.1793	BIEN	BIEN	SI
3251	3300	1.3	1008.2666	0.55592	BIEN	BIEN	SI
3301	3350	1.03	1008.4236	0.35807	BIEN	BIEN	SI
3351	3400	0.76	1008.2396	0.28363	BIEN	MAL	NO
3401	3450	0.63	1008.8128	0.23487	BIEN	BIEN	SI
3451	3500	0.33	1008.9494	0.1167	BIEN	MAL	NO
3501	3550	1.15	1008.2954	0.44332	BIEN	BIEN	SI
3551	3600	0.35	1007.5298	0.14984	BIEN	BIEN	SI
3601	3650	1.14	1008.4946	0.47791	BIEN	BIEN	SI
3651	3700	0.73	1008.4304	0.23145	BIEN	BIEN	SI
3701	3750	0.4	1008.2458	0.17602	MAL	MAL	SI
3751	3800	0.19	1008.4064	0.082059	MAL	MAL	SI
3801	3850	0.2	1008.2966	0.075663	MAL	MAL	SI
3851	3900	0.09	1008.326	0.037471	MAL	MAL	SI
3901	3950	0.12	1008.3774	0.038482	MAL	MAL	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
3951	4000	0.1	1008.4162	0.040952	MAL	MAL	SI
4001	4050	0.17	1008.3844	0.068873	MAL	MAL	SI
4051	4100	0.2	1008.4276	0.066932	MAL	MAL	SI
4101	4150	0.07	1008.3276	0.024122	MAL	MAL	SI
4151	4200	0.04	1008.3602	0.015713	MAL	MAL	SI
4201	4250	0.08	1008.3312	0.029941	MAL	MAL	SI
4251	4300	0.04	1008.3748	0.01555	MAL	MAL	SI
4301	4350	0.08	1008.3488	0.031664	MAL	MAL	SI
4351	4400	0.02	1008.3506	0.0058589	MAL	MAL	SI
4401	4450	0.1	1008.34	0.035914	MAL	MAL	SI

Anexo 09

CLASIFICACION DE LA BASE DE DATOS DE LA PERSONA 3

Tabla 20

Parámetros generales del participante 3

Patrón	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo
Buen Uso Basal	1.05	995.6853	0.3839	996.15	995.1
No Uso	0.05	995.6492	0.0142	995.6799	995.63

Tabla 21

Parámetros específicos del participante 3

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
1	50	0.04	995.6558	0.016548	MAL	MAL	SI
51	100	0.02	995.6426	0.0066425	MAL	MAL	SI
101	150	0.04	995.694	0.013553	MAL	MAL	SI
151	200	0.16	995.703	0.066831	MAL	BIEN	NO
201	250	0.45	995.4654	0.16878	MAL	BIEN	NO
251	300	0.88	995.3912	0.39703	BIEN	BIEN	SI
301	350	0.35	995.9684	0.13925	BIEN	BIEN	SI
351	400	0.26	996.0552	0.09679	BIEN	BIEN	SI
401	450	0.5	995.4212	0.22515	BIEN	BIEN	SI
451	500	0.55	995.9586	0.19812	BIEN	BIEN	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
501	550	0.97	995.5404	0.44714	BIEN	BIEN	SI
551	600	0.91	995.577	0.42265	BIEN	BIEN	SI
601	650	0.92	995.6574	0.41008	BIEN	BIEN	SI
651	700	0.92	995.7096	0.37181	BIEN	BIEN	SI
701	750	0.2	995.9314	0.066055	BIEN	BIEN	SI
751	800	0.77	995.6962	0.33638	BIEN	BIEN	SI
801	850	0.38	996.0026	0.14715	BIEN	BIEN	SI
851	900	0.79	995.6856	0.37264	BIEN	BIEN	SI
901	950	0.92	995.7172	0.38992	BIEN	BIEN	SI
951	1000	0.82	995.743	0.31641	BIEN	BIEN	SI
1001	1050	0.7	995.697	0.24884	BIEN	BIEN	SI
1051	1100	0.93	995.9418	0.35564	BIEN	BIEN	SI
1101	1150	0.47	995.904	0.22791	MAL	BIEN	NO
1151	1200	0.04	995.7196	0.016777	MAL	MAL	SI
1201	1250	0.03	995.713	0.0088641	MAL	MAL	SI
1251	1300	0.02	995.7236	0.0063116	MAL	MAL	SI
1301	1350	0.48	995.802	0.18642	MAL	BIEN	NO
1351	1400	0.04	996.194	0.014286	MAL	MAL	SI
1401	1450	1.72	995.1374	0.63663	BIEN	BIEN	SI
1451	1500	0.41	996.0514	0.18638	BIEN	BIEN	SI
1501	1550	0.84	995.5354	0.31483	BIEN	BIEN	SI
1551	1600	0.42	996.0048	0.19188	BIEN	BIEN	SI
1601	1650	0.06	996.127	0.018979	BIEN	MAL	NO

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
1651	1700	0.83	995.734	0.35439	BIEN	BIEN	SI
1701	1750	1.29	995.837	0.49986	BIEN	BIEN	SI
1751	1800	1.44	995.942	0.55063	BIEN	BIEN	SI
1801	1850	0.11	996.1802	0.027367	BIEN	MAL	NO
1851	1900	0.33	996.1388	0.13422	BIEN	BIEN	SI
1901	1950	0.65	995.9692	0.24801	BIEN	BIEN	SI
1951	2000	0.19	995.5686	0.065372	BIEN	BIEN	SI
2001	2050	0.88	996.0304	0.33093	BIEN	BIEN	SI
2051	2100	1.22	995.5186	0.4712	BIEN	BIEN	SI
2101	2150	0.92	995.6408	0.3575	BIEN	MAL	NO
2151	2200	0.77	996.0976	0.35042	BIEN	BIEN	SI
2201	2250	1.22	995.89	0.53999	BIEN	BIEN	SI
2251	2300	1	995.5322	0.35583	BIEN	BIEN	SI
2301	2350	1.28	995.6238	0.51136	BIEN	BIEN	SI
2351	2400	1.73	995.7092	0.79456	BIEN	BIEN	SI
2401	2450	0.8	996.283	0.29989	BIEN	BIEN	SI
2451	2500	1.4	995.7596	0.51679	BIEN	BIEN	SI
2501	2550	0.48	995.51	0.13762	BIEN	BIEN	SI
2551	2600	0.35	995.4224	0.13831	BIEN	BIEN	SI
2601	2650	1.3	995.9012	0.50637	BIEN	BIEN	SI
2651	2700	1.35	996.2134	0.52223	BIEN	BIEN	SI
2701	2750	0.64	996.2284	0.21136	BIEN	BIEN	SI
2751	2800	1.59	995.6052	0.57794	BIEN	BIEN	SI

Dato inicial	Dato final	Amplitud	Promedio	Desviación Estándar	Resultado Esperado	Resultado Algoritmo	¿Igualdad?
2801	2850	0.25	995.2048	0.093334	BIEN	BIEN	SI
2851	2900	1.67	996.458	0.61016	BIEN	BIEN	SI
2901	2950	1.37	995.7888	0.58715	BIEN	BIEN	SI
2951	3000	0.87	995.7466	0.32486	BIEN	BIEN	SI
3001	3050	0.03	995.968	0.010498	MAL	MAL	SI
3051	3100	0.01	995.968	0.0040406	MAL	MAL	SI
3101	3150	0.02	995.9512	0.0096129	MAL	MAL	SI
3151	3200	0.06	995.952	0.020702	MAL	MAL	SI
3201	3250	0.06	995.226	0.027166	MAL	MAL	SI
3251	3300	0.06	995.9284	0.021699	MAL	MAL	SI
3301	3350	0.07	995.9568	0.020548	MAL	MAL	SI
3351	3400	0.08	995.9296	0.029064	MAL	MAL	SI
3401	3450	0.02	995.9242	0.007848	MAL	MAL	SI
3451	3500	0.04	995.9406	0.012521	MAL	MAL	SI
3501	3550	0.05	995.9108	0.018277	MAL	MAL	SI
3551	3600	0.11	995.8806	0.048965	MAL	MAL	SI

Anexo 10

```

clc;
clear;

fprintf('Bienvenido al Sistema de Monitoreo de Uso de Respiradores\n');

Nombre= input('Ingrese el nombre del usuario: ','s');
fprintf('Estimado(a) %s, siga atentamente las siguientes instrucciones: \n',Nombre);

pause (1)

%nouso

fprintf('1. Coloque el respirador en la zona de trabajo y al aire libre. Esta etapa representara el NO
USO del respirador. Cuando este listo, solicite la confirmación al operador para dar inicio a la lectura
de los datos por tres minutos\n');

Confirmacion_no_uso=input('Ingrese SI o NO, para confirmar el inicio del registro de datos NO
USO:','s');

while Confirmacion_no_uso~="SI"

    Confirmacion_no_uso=input('Ingrese SI o NO, para confirmar el inicio del registro de datos NO
USO:','s');

end

if Confirmacion_no_uso=="SI"

    for i=1:5

        datos_p1_nouso = database('datos_iniciales','root','');
        curs_p1_nouso = exec(datos_p1_nouso,'SELECT * FROM tabla_p1_nouso');
        curs_p1_nouso = fetch(curs_p1_nouso);
        curs_p1_nouso.Data;

        %presion
        pres_p1_nouso=transpose(split([curs_p1_nouso.Data(:,4),],","));
        presion_p1_nouso={pres_p1_nouso{}};
        presion_p1_nouso=cellfun(@str2double,presion_p1_nouso);

        cantidad_p1_nouso=length(presion_p1_nouso);

        t1_p1_nouso=1;
        t2_p1_nouso=cantidad_p1_nouso;

        No_uso_p1=presion_p1_nouso();
        format long;
        Amplitud_no_uso_p1= max(No_uso_p1)-min(No_uso_p1);
        Promedio_no_uso_p1=mean(No_uso_p1);
        Desviacion_no_uso_p1=std2(No_uso_p1);

        pause(1)
    end
end
end

```

```

pause (1)

%basal

fprintf('2. Coloque el respirador en el usuario, verificando que se encuentre correctamente colocado. Esta etapa representara el BUEN USO BASAL del respirador. Cuando se encuentre listo, indique al usuario no realizar esfuerzo fisico y respirar con normalidad; asimismo, solicite la confirmación al operador para dar inicio a la lectura de los datos por cinco minutos\n');
Confirmacion_buen_uso=input('Ingrese SI o NO, para confirmar el inicio del registro de datos BUEN USO BASAL:','s');

while Confirmacion_buen_uso~="SI"

Confirmacion_buen_uso=input('Ingrese SI o NO, para confirmar el inicio del registro de datos BUEN USO BASAL:','s');

end

if Confirmacion_buen_uso=="SI"

for i=1:5

    datos_p1_buenuso = database('datos_iniciales','root','');
    curs_p1_buenuso = exec(datos_p1_buenuso,'SELECT * FROM tabla_p1_basal');
    curs_p1_buenuso = fetch(curs_p1_buenuso);
    curs_p1_buenuso.Data;

    %presion
    pres_p1_buenuso=transpose(split([curs_p1_buenuso.Data(:,4),],","));
    presion_p1_buenuso={pres_p1_buenuso{}};
    presion_p1_buenuso=cellfun(@str2double,presion_p1_buenuso);

    cantidad_p1_buenuso=length(presion_p1_buenuso);

    t1_p1_buenuso=1;
    t2_p1_buenuso=cantidad_p1_buenuso;

    Buenuso_p1=presion_p1_buenuso();
    format long;
    Amplitud_buen_uso_p1= max(Buenuso_p1)-min(Buenuso_p1);
    Promedio_buen_uso_p1=mean(Buenuso_p1);
    Desviacion_buen_uso_p1=std2(Buenuso_p1);

    pause(1)
end

end

pause (1)

%lectura de datos

fprintf('3. Coloque el respirador en el usuario de forma correcta e inicie la jornada laboral. Si el sistema detecta un mal uso, tomar las acciones correctivas de inmediato\n');
Confirmacion_inicio_jornada=input('Ingrese SI o NO, para confirmar el inicio del registro de datos de la JORNADA LABORAL:','s');

while Confirmacion_inicio_jornada~="SI"

```



```

        fprintf('En este momento, existe un uso inadecuado del respirador. Tomar accion
inmediata\n');
        fprintf('Del dato: %s al dato: %s \n',string(j-49),string(j));
        fprintf('Amplitud %s \n',string(Amplitud));
        fprintf('Promedio %s \n',string(Promedio));
        fprintf('Desviacion %s \n',string(Desviacion));
        Mal_uso_p1 = Mal_uso_p1 + 50;

    else

        if
((Promedio>max(No_uso_p1)||Promedio<min(No_uso_p1))&&(Desviacion>Desviacion_no_uso_p1)
)==1

            fprintf('En este momento, existe un buen uso del respirador\n');
            fprintf('Del dato: %s al dato: %s \n',string(j-49),string(j));
            fprintf('Amplitud %s \n',string(Amplitud));
            fprintf('Promedio %s \n',string(Promedio));
            fprintf('Desviacion %s \n',string(Desviacion));
            Buen_uso_p1= Buen_uso_p1 + 50;

        else

            if Desviacion>=Desviacion_buen_uso_p1

                fprintf('En este momento, existe un buen uso del respirador\n');
                fprintf('Del dato: %s al dato: %s \n',string(j-49),string(j));
                fprintf('Amplitud %s \n',string(Amplitud));
                fprintf('Promedio %s \n',string(Promedio));
                fprintf('Desviacion %s \n',string(Desviacion));
                Buen_uso_p1= Buen_uso_p1 + 50;

            else

                fprintf('En este momento, existe un uso inadecuado del respirador. Tomar accion
inmediata\n');

                fprintf('Del dato: %s al dato: %s \n',string(j-49),string(j));
                fprintf('Amplitud %s \n',string(Amplitud));
                fprintf('Promedio %s \n',string(Promedio));
                fprintf('Desviacion %s \n',string(Desviacion));
                Mal_uso_p1 = Mal_uso_p1 + 50;

            end

        end

    end

end

end

end

Factor_de_uso_p1=Buen_uso_p1/j;

fprintf('El factor de uso actual es de: %s \n\n',string(Factor_de_uso_p1));

t1_p1=1;
t2_p1=j;

```

```

        plot(presion_p1(1:j)),title(['La grafica de la PRESION de la Persona 1 cuenta con un factor de
uso de: ' num2str(Factor_de_uso_p1) "]);
        xlim([t1_p1 t2_p1]);
        grid on

        pause(1)

    else

        datos_p1 = database('parametros','root','');
        curs_p1 = exec(datos_p1,'SELECT * FROM tabla_p1');
        curs_p1 = fetch(curs_p1);
        curs_p1.Data;

        %PRESION

        pres_p1=transpose(split([curs_p1.Data(:,4),],";"));
        presion_p1={pres_p1{}};
        presion_p1=cellfun(@str2double,presion_p1);

    end
end
end

```