



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES Y GEOLOCALIZACIÓN PARA ALPINISTAS DEL PARQUE NACIONAL COTOPAXI (PNC) MEDIANTE TECNOLOGÍA IOT

Trabajo de Integración Curricular Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

ÁREA: Programación y Redes

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Programación y Redes

AUTOR: Jeison Edwin Manobanda Guachamboza

TUTOR: Ing. Marco Antonio Jurado Lozada, Mg.

AMBATO – ECUADOR

marzo - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular con el tema: SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES Y GEOLOCALIZACIÓN PARA ALPINISTAS DEL PARQUE NACIONAL COTOPAXI (PNC) MEDIANTE TECNOLOGÍA IOT, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Jeison Edwin Manobanda Guachamboza, estudiante de la Carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 de las segundas reformas al Reglamento para la ejecución de la Unidad de Integración Curricular y la obtención del título de tercer nivel, de grado en la Universidad Técnica de Ambato y sus reformas y el numeral 7.4 del respectivo instructivo del reglamento.

Ambato, marzo 2023.

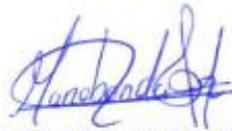
Ing. Marco Antonio Jurado Lozada, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de Integración Curricular titulado: SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES Y GEOLOCALIZACIÓN PARA ALPINISTAS DEL PARQUE NACIONAL COTOPAXI (PNC) MEDIANTE TECNOLOGÍA IOT, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2023.



Jeison Edwin Manobanda Guachamboza

C.C. 2000133963

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Integración Curricular como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Integración Curricular en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2023.



Jeison Edwin Manobanda Guachamboza

C.C. 2000133963

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Integración Curricular presentado por el señor Jeison Edwin Manobanda Guachamboza, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO DE SIGNOS VITALES Y GEOLOCALIZACIÓN PARA ALPINISTAS DEL PARQUE NACIONAL COTOPAXI (PNC) MEDIANTE TECNOLOGÍA IOT, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 de las segundas reformas al Reglamento para la ejecución de la Unidad de Integración Curricular y la obtención del título de tercer nivel, de grado en la Universidad Técnica de Ambato y sus reformas y al numeral 7.6 del respectivo instructivo del reglamento. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, marzo 2023.

Ing. Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Santiago Manzano, Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Dr. Freddy Benalcázar.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado a Dios, ya que gracias a él he logrado superar cada uno de los obstáculos que se me han presentado la vida.

A mis padres Héctor y Zoila porque ellos han dado razón a mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias ellos.

A todos aquellos que supieron darme un apoyo moral para que nunca me rinda y cumpla mi objetivo.

Jeison Manobanda

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a la prestigiosa Universidad Técnica de Ambato, particularmente a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial en donde pase gran parte de mi tiempo adquiriendo conocimiento para mi vida profesional.

A mis amigos, quienes por cuestiones del destino me los encontré en la vida universitaria y me formaron parte de su grupo, donde nunca faltó el apoyo y las ganas de superación para este logro personal, de corazón “Ingeniebríos”.

Al ingeniero Marco Jurado quien confió en mí y fue mi guía profesional para la realización de este proyecto de investigación.

Jeison Manobanda

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN EJECUTIVO	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Tema de investigación.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Antecedentes Investigativos	3
1.3 Fundamentación teórica	6
1.3.1 Alpinismo.....	6
1.3.2 Niveles técnicos de dificultad del alpinismo.....	7
1.3.3 Niveles de forma física para alpinismo.....	9
1.3.4 Riesgos médicos causados por las condiciones extremas.....	12
1.3.5 Hipoxia.....	13
1.3.6 Frecuencia cardiaca.....	14
1.3.7 Arritmia.....	16
1.3.8 Riesgos patológicos.....	17
1.3.9 Hipotermia.....	18
1.3.10 Indumentaria	19
1.3.11 Bioseñales	22
1.3.12 Geolocalización.....	23
1.3.13 Sistemas de adquisición de señales	28
1.3.14 Internet de las cosas (IoT)	30
1.3.15 Arquitectura IoT.....	31
1.3.16 Plataforma IoT	32

1.3.17	Redes de área amplia de baja potencia (LPWAN).....	37
1.3.18	Sigfox	37
1.3.19	LoRa.....	40
1.3.20	Narrowband (NB-IoT)	42
1.3.21	Lenguajes de programación	44
1.3.22	Plataforma Arduino	44
1.4	Objetivos	47
1.4.1	Objetivo general	47
1.4.2	Objetivos específicos	47
CAPITULO II		48
METODOLOGÍA		48
2.1	Materiales	48
2.2	Métodos	48
2.2.1	Modalidad de la Investigación	48
2.2.2	Recolección de información	49
2.2.3	Procesamiento y Análisis de Datos.....	49
2.2.4	Desarrollo del proyecto.....	50
CAPITULO III.....		51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		51
3.1	Análisis y discusión de resultados.....	51
3.1.1	Análisis de Factibilidad.....	51
3.2	Desarrollo de la propuesta.....	51
3.2.1	Requerimiento del sistema	51
3.2.2	Diagrama en bloques del sistema de monitoreo.....	52
3.2.3	Análisis de los dispositivos	53
3.2.4	Selección de los elementos hardware.....	55
3.2.5	Elementos hardware para la Etapa 1	55
3.2.6	Elementos hardware para la Etapa 2	61
3.2.7	Selección de los elementos de software	64
3.2.8	Elementos software para la Etapa 3	64
3.2.9	Elementos software para la Etapa 4	65
3.3	Diseño del sistema.....	65
3.4	Diseño e implementación del hardware para el circuito electrónico.....	66
3.4.1	Circuito de adquisición y envío de datos	67
3.4.2	Circuito de alimentación y carga.....	67
3.4.3	PCB del circuito del prototipo	69

3.4.4	Diseño de la caja contenedora.....	70
3.5	Programación.....	71
3.5.1	Funcionamiento de interfaz de la pantalla Oled.....	71
3.5.2	Alerta de emergencia y pantalla de envío de información.....	74
3.5.3	Sensor MAX30102	76
3.5.4	Acondicionamiento de los valores Max30102.....	76
3.5.5	GPS SKM53.....	88
3.5.6	Transmisión de datos mediante módulo con tecnología Sigfox	89
3.6	Diseño e implementación del software para el monitoreo	93
3.6.1	Sigfox Cloud	94
3.6.2	Callbacks	100
3.6.3	Servidor virtualizado de Microsoft Azure.....	101
3.6.4	Instalación del servidor LAMP	104
3.6.5	Node- RED.....	106
3.6.6	Conexión Node Red y Sigfox Cloud.....	108
3.6.7	Base de datos MySQL.....	110
3.6.8	Conexión Base de Datos MySQL con Node Red	113
3.6.9	Almacenamiento de datos Sigfox en MySQL mediante Node Red... ..	114
3.6.10	Alerta Telegram	116
3.6.11	Interfaz de Usuario	120
3.7	Pruebas de funcionamiento	127
3.7.1	Costos del prototipo y su implementación.....	144
CAPITULO IV.....		147
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		147
4.1	Conclusiones	147
4.2	Recomendaciones	148
BIBLIOGRAFÍA		149
ANEXOS		159
Anexo A:	Ficha técnica del sensor Max30102.....	160
Anexo B:	Ficha técnica del sensor GPS SKM53	161
Anexo C:	Ficha técnica del módulo de trasmisión TinyFox.	162
Anexo D:	Código Arduino principal de pantalla.....	163
Anexo H:	Código arduino para la transmisión de información Sigfox	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de graduación francés	7
Tabla 2. Presión atmosférica	12
Tabla 3. Presión parcial de oxígeno (PaO ₂).....	12
Tabla 4. Pulsaciones por minuto en actividad física.	15
Tabla 5. Frecuencia cardiaca según la altitud en actividad durante una ascensión... 16	
Tabla 6. Efectos que produce en los signos vitales las condiciones extremas	19
Tabla 7. Tipos de receptores GPS	27
Tabla 8. Tipos de sensores de Ritmo Cardiaco y Pulsioximetría.....	29
Tabla 9. Características principales de máquinas virtuales.....	37
Tabla 10. Parámetros de Sigfox	39
Tabla 11. Módulo de comunicación inalámbrica sigfox	40
Tabla 12. Características técnicas de las tecnologías de comunicación IoT.....	43
Tabla 13. Placas electrónicas programables basadas en arduino	45
Tabla 14. Tipos de Pantallas OLED.....	46
Tabla 15. Dispositivo para la adquisición de signos vitales y geolocalización.....	54
Tabla 16. Consumo de energía de los elementos del circuito.	68
Tabla 17. Lectura inicial de la saturación de oxígeno y ritmo cardiaco.....	78
Tabla 18. Segunda lectura de la saturación de oxígeno y ritmo cardiaco.	86
Tabla 19. Condiciones de notificación de la interfaz web.	124
Tabla 20. Datos de ruta de vehículo y ascenso al refugio José Ribas	131
Tabla 21. Datos de descenso y alertas del volcán Cotopaxi	139
Tabla 22. Confiabilidad del SpO ₂ y RC.....	141
Tabla 23 Confiabilidad del prototipo	142
Tabla 24. Costos del prototipo	144
Tabla 25. Costo de los servicios y recursos informáticos	145
Tabla 26. Costo total del proyecto	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Niveles de dificultad	8
Figura 2. Porcentaje de oxigenación de la sangre en relación a la altura	14
Figura 3. Primera capa	20
Figura 4. Segunda capa	20
Figura 5. Tercera capa	21
Figura 6. Tipos de calado	22
Figura 7. Crampones	22
Figura 8. Electrocardiograma	23
Figura 9. Pletismógrafo	23
Figura 10. Trilateración de satélites	25
Figura 11. Adquisición de señales	28
Figura 12. Internet de las cosas IoT	31
Figura 13. Etapas de Arquitectura IoT	31
Figura 14. Logotipo Amazon Web Services	32
Figura 15. Logotipo Microsoft Azure	34
Figura 16. Funcionamiento Sigfox	39
Figura 17. Esquema modo P2P (LoRa y LoRaWAN)	41
Figura 18. Servicio de Internet de las cosas de banda estrecha (NB IoT)	42
Figura 19. Plataforma Arduino	45
Figura 20. Diagrama en bloques del sistema electrónico.....	53
Figura 21. Sensor Max30102	56
Figura 22. Sensor GPS Skylab Skm53	58
Figura 23. Mini interruptor N/C	59
Figura 24. Tarjeta programable Esp32	59
Figura 25. Pantalla oled de 0,96 pulgadas	60
Figura 26. Ventajas de Sigfox, LoRa y NB-IoT en términos de factores de IoT. ...	61
Figura 27. Mapa de cobertura sigfox entre Cotopaxi y Pichincha.....	62
Figura 28. Módulo de comunicación IoT Tinyfox [114].....	64
Figura 29. Diseño del Sistema	65
Figura 30. Diseño del circuito electrónico de signos vitales y geolocalización.	67
Figura 31. Esquema del Circuito PCB.....	69

Figura 32. Circuito PCB.	69
Figura 33. Diseño de caja contenedora 3D.	70
Figura 34. Implementación de los componentes en el prototipo.	70
Figura 35. Prototipo final.	71
Figura 36. Logotipo de inicio del prototipo.	72
Figura 37. Pantalla de registro de hora de ingreso.	72
Figura 38. Parámetros de lectura de la pantalla Principal.	73
Figura 39. Parámetros de lectura de la geolocalización.	73
Figura 40. Diagrama de flujo del programa principal para pantalla Oled	74
Figura 41. Diagrama de flujo de emergencia y pantalla Oled	75
Figura 42. Pantalla de envió de información emergente.	75
Figura 43. Diagrama de flujo del sensor Max30102.	76
Figura 44. Posición del sensor Max30102 para a lectura inicial de datos. [116].	77
Figura 45. Lecturas del SpO2 entre sensor Max30102 y Pulsioxímetro KI-100.	79
Figura 46. Lecturas del RC entre el sensor Max30102 y Pulsioxímetro KI-100.	79
Figura 47. Código de filtrado de señales rojo e infrarrojo.	81
Figura 48. Serial plóter del filtrado de señal roja.	81
Figura 49. Código suma de cuadrados de regresión (SRC) para el nivel de SpO2. .	83
Figura 50. Curva de calibración del oxímetro de pulso. [61]	83
Figura 51. Código de la linealización para la curva de calibración y Filtro Pasa Bajo a la saturación de oxígeno.	84
Figura 52. Posición del sensor Max30102 en la parte interna de la muñeca por debajo de la base del pulgar. [116].	84
Figura 53. Código de adquisición de Ritmo Cardíaco.	85
Figura 54. Diferencia de las lecturas de SpO2 entre el sensor Max30102 y Pulsioxímetro KI-100.	87
Figura 55. Diferencia de las lecturas de RC entre el sensor Max30102 y Pulsioxímetro KI-100.	87
Figura 56. Diagrama de flujo del sensor GPS.	88
Figura 57. Comparación de datos del Geoposicionamiento.	89
Figura 58. Diagrama de flujo para la transmisión de datos sigfox.	90
Figura 59. Código de variables para la trama de envió de un total de 12 bytes.	91
Figura 60. Código de adaptación de envió de variables.	92

Figura 61. Código de cadena de envío de datos Sigfox.....	93
Figura 62. Diseño del monitoreo de signos vitales y geolocalización	94
Figura 63. Conexión del módulo IoT de Sigfox para extraer ID/PAC	95
Figura 64. Panel WisolModemDEV	96
Figura 65. Organización y Jerarquía en Sigfox Cloud [121]	97
Figura 66. Formulario para registrar un dispositivo Sigfox en TECA.....	97
Figura 67. Login Sigfox	98
Figura 68. Página principal de sigfox	98
Figura 69. Información del dispositivo TinyFox	99
Figura 70. Mensajes en formato Hexadecimal en el Bakend de Sigfox	100
Figura 71. Callback del dispositivo TinyFox.....	101
Figura 72. Características de máquina virtual en Microsoft Azure	103
Figura 73. Interfaz PuTTY para conexión SSH.....	103
Figura 74. Recurso de seguridad de conexión de puertos.....	104
Figura 75. Servicio de Apache	105
Figura 76. Version de MySQL.....	105
Figura 77. Servicio PHP	106
Figura 78. Versión Node Red	107
Figura 79. Ejecución de Node Red	108
Figura 80. Panel de flujo en Node Red	108
Figura 81. Parametros de Conexión Node Red y Sigfox Cloud	109
Figura 82. Nodo de comunicación HTTP	109
Figura 83. Servicio phpMyAdmin	110
Figura 84. Base de Datos MySQL	111
Figura 85. Tabla de base datos.....	111
Figura 86. Tipos de variables de la tabla de datos	112
Figura 87. Propiedades de la base de datos.....	113
Figura 88. Configuración de base de datos en Node Red.	113
Figura 89. Datos del Bakend sigfox en Node Red.....	114
Figura 90. Código JavaScript.....	115
Figura 91. Sentencia SQL para envío de datos a MySQL	115
Figura 92. Diagrama para el almacenamiento de datos Sigfox en MySQL mediante Node Red.....	115

Figura 93. Registro de datos en MySQL.....	116
Figura 94. BotFather de Telegram	116
Figura 95. Creacion de Boot	117
Figura 96. Conexión Node Red y Telegram	118
Figura 97. Información única del chat Boot	118
Figura 98. Código JavaScript para el mensaje de notificación.	119
Figura 99. Diagrama de flujo en Node Red	119
Figura 100. Mensaje de texto de la notificación de alerta	119
Figura 101. Código de Conexión de la base de datos MySQL.....	120
Figura 102. Peticiones de datos a las tablas de MySQL.....	121
Figura 103. Código JavaScript de integración para herramientas de Google chart.....	121
Figura 104. Generación de la Api Key de Google.....	122
Figura 105. Código JavaScript para alerta de zona segura.....	123
Figura 106. Código JavaScript para alerta de emergencia.....	123
Figura 107. Código JavaScript para alerta de signos vitales.....	124
Figura 108. Loguin de la plataforma.....	125
Figura 109. Registro de la plataforma.....	126
Figura 110. Panel de control	126
Figura 111. Cobertura en el volcán Cotopaxi y parte de la ruta de acceso en vehiculo al refugio José Ribas	127
Figura 112. Coordenada Inicial en Java Script	128
Figura 113. Punto inicial en la interfaz web del PNC.....	129
Figura 114. Datos del prototipo al ingresar al PNC.....	129
Figura 115. Datos del prototipo en la ruta del vehículo.....	130
Figura 116. Ruta de ascenso al volcán Cotopaxi	131
Figura 117. Pulsaciones por minuto.....	132
Figura 118. Saturación de Oxígeno.	132
Figura 119. Bakend Sigfox con mensajes de ascenso en hexadecimal.....	133
Figura 120. Referencia del área del volcán Cotopaxi	134
Figura 121. Pruebas de experimentación en el refugio José Ribas.....	134
Figura 122. Panel de control con alerta de emergencia de signos vitales bajos	135
Figura 123. Saturación de oxígeno con principios de hipoxia cerebral	136
Figura 124. Pulsaciones por minuto con problemas de taquicardia.....	136

Figura 125. Clasificación de zonas de experimentación.....	137
Figura 126. Pruebas de campo con envío de alertas	137
Figura 127. Panel de control con alertas activadas fuera de la muñeca del usuario.	138
Figura 128. Notificación de alerta de emergencia al operario	139
Figura 129. Tracker GPS de la Ruta cumplida por el alpinista.....	140
Figura 130. Información de la última comunicación con el dispositivo.....	140
Figura 131. Comparación de distancia de geolocalización.....	143
Figura 132. Reloj TicWatch S2	146

RESUMEN EJECUTIVO

El alpinismo es una actividad deportiva habitual en las montañas y volcanes del Ecuador que al efectuarse sin las debidas medidas de prevención y guías especializados en el entorno puede ocasionar accidentes y emergencias, por esta razón el presente proyecto de investigación se enfoca en monitorear las llamadas de emergencia generados por alpinistas en el Parque Nacional Cotopaxi para alertar a las autoridades correspondientes y coordinar la ayuda inmediata al lugar de emergencia. El diseño e implementación del sistema electrónico de monitoreo para alpinistas del Parque Nacional Cotopaxi es desarrollado mediante el uso de una red de área amplia de baja potencia (LPWAN), debido a su ubicación geográfica en una zona rural donde la comunicación es limitada, además se integra la tecnología OG de Sigfox basado en el internet de las cosas (IoT) con elementos como dispositivos de transmisión de datos, estaciones base y nube de Sigfox.

El sistema electrónico de monitoreo se encarga de obtener información sobre los signos vitales, tales como la saturación de oxígeno en la sangre (SpO2), el ritmo cardíaco (RC) y la adquisición de datos de localización, incluyendo la latitud, longitud, velocidad en kilómetros por hora y altura sobre el nivel del mar a través del protocolo de comunicación de la Asociación Nacional de Electrónica Marina (NMEA) utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en tiempo real, por medio de un prototipo físico ubicado en la muñeca del usuario con el fin de enviar información a intervalos de tiempo conforme el soporte de transmisión de datos de la tecnología Sigfox. Además, se compone de un botón de emergencia para alertar de manera inmediata al operario. El sistema se implementó en un servidor LAMP en Microsoft Azure con una infraestructura como servicio (IaaS) con una suscripción mensual de aproximadamente 13 USD esto facilita la incorporación del sitio web diseñado en lenguajes de programación como HTML, CSS, PHP y JavaScript. El sitio web se conecta con la nube de Sigfox por medio del Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP) mediante el método Post en formato Json a fin de presentar la información en un panel de control con todas las variables de monitoreo provenientes del prototipo

Palabras clave: Sigfox, panel de control, SpO2, ppm, geolocalización, LPWAN.

ABSTRACT

Mountaineering is a common sporting activity in the mountains and volcanoes of Ecuador that can cause accidents and emergencies when carried out without proper prevention measures and specialized guides on the environment. For this reason, this research project focuses on monitoring emergency calls generated by mountaineers in Cotopaxi National Park to alert the appropriate authorities and coordinate immediate assistance to the emergency site.

The design and implementation of the electronic monitoring system for mountaineers in Cotopaxi National Park are developed through a low power wide area network (LPWAN), due to its geographical location in a rural area where communication is limited. In addition, Sigfox's OG technology based on the Internet of Things (IoT) is integrated with elements such as data transmission devices, base stations and Sigfox's cloud.

The operation of the electronic monitoring system consists of obtaining information on vital signs such as blood oxygen saturation (SpO₂), heart rate (HR) and data acquisition such as latitude, longitude, kilometers per hour, meters above sea level from the Global Positioning System (GPS) through the communication protocol of the National Marine Electronics Association (NMEA) in real time, through a physical prototype located on the user's wrist in order to send information at intervals of time according to the data transmission support of Sigfox technology. It also includes an emergency button to immediately alert the operator. The system was implemented on a LAMP server in Microsoft Azure with an infrastructure as a service (IaaS) through a monthly subscription of approximately 13 USD this facilitates the incorporation of the website designed programming languages such as HTML, CSS, PHP and JavaScript.

The website connects to the Sigfox cloud via Hypertext Transfer Protocol (HTTP) using the Post Json format method in order to present the information in a dashboard with all the monitoring variables coming from the prototype.

Keywords: Sigfox, dashboard, SpO₂, ppm, geolocation, LPWAN.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

Sistema electrónico de monitoreo de signos vitales y geolocalización para alpinistas del Parque Nacional Cotopaxi (PNC) mediante tecnología IoT.

1.1.1 Planteamiento del problema

Las limitaciones de cobertura para transmisión de información frente a las condiciones extremas que presenta la naturaleza en altas montañas dificultan adquirir dispositivos de posicionamiento y monitoreo del estado de salud de un alpinista a bajo costo, protegiendo así la vida humana, o en el peor de los casos, asegurar la extracción de un cuerpo sin vida de las altas montañas.

A nivel mundial, sin duda, una de las ascensiones más difíciles para los alpinistas de alta montaña, se encuentra en el continente asiático a 8848 m ubicado en la cordillera del Himalaya entre China y Nepal, el Everest la montaña más alta del planeta. La revista científica PLOS ONE afirma que unos 4346 escaladores han alcanzado la cima de la gran montaña de 1922 hasta la primavera del 2019. Sin embargo los datos estadísticos también reflejan intentos fallidos 23917 y muertos 291. Esta realidad responde a la gran actividad económica de explotación en la que se ha convertido el Everest, que en muchos casos no tiene en cuenta los verdaderos peligros que encierra el desafío de escalarlo [1].

En Latinoamérica las opciones para practicar el alpinismo son altas, México con la cordillera de Anáhuac, mientras que en la zona occidental de América del Sur la cordillera de los Andes la segunda más alta y larga del mundo. Debido a las condiciones climáticas y accidentes provocadas por situaciones desafortunadas en los deportistas como avalanchas, desorientación de la ruta por caída de neblina, o simplemente inexperiencia de las personas ante lugares desconocidos; entes reguladores de la seguridad ciudadana responden a llamadas de rescate o personas desaparecidas en estos ambientes, por lo que las telecomunicaciones ejercen un papel fundamental en caso de situaciones de emergencia tanto en las acciones preventivas como en la puesta en marcha de planes de emergencias. “En situaciones de

emergencia, las telecomunicaciones salvan vidas”, como afirma Yoshio Utsumi, secretario general de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. [2]

Ecuador forma parte de la cordillera de los Andes, por lo que para muchos es un gran atractivo las diferentes montañas que tiene el país, según la revista Turismo Patrimonio y Desarrollo (TURPADE) tras el análisis de las “Características y razones por las que turistas locales y extranjeros frecuentan nevados y lagos ecuatorianos” permitió evidenciar que un 67% de turistas deciden visitar montañas del Ecuador porque son únicos en el mundo, el 33% decide visitar lagos que posee el Ecuador debido a que son de renombre a nivel mundial. Por lo que se informa que del total de visitantes que frecuentan los nevados del Ecuador, el volcán Cotopaxi es uno de los más visitados con un 33,5 %, seguido del volcán Chimborazo con un 13,4 %, dejando a los volcanes Ilinizas, Cayambe, Guagua Pichincha, Pasochoa y Cerro Negro Fuya Fuya Mojanda un 20,1 % de visitantes. Por ende, entre el 1 de enero y el 10 de noviembre del año 2020, La Central Ecuatoriana de Emergencias (ECU911) coordinó 136 operaciones a escala nacional para la búsqueda y rescate de personas extraviadas y el 2019 fueron 166 los casos similares [3] [4].

En la zona centro y noroeste del Ecuador se encuentran las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Pastaza respectivamente, donde en los últimos cinco años se han presentado llamadas de emergencias relacionados con incidentes de montaña. En la actualidad desde el 1 de enero del año 2022 se han reportado al ECU911 105 llamadas informando sobre personas extraviadas del total de alertas por este tipo de casos la provincia de Cotopaxi representa el 34 %; es decir, 36 avisos. En el volcán Cotopaxi, al desarrollarse el alpinismo o también conocido como montañismo, trae consigo complicaciones al exponerse a situaciones climáticas abruptas y lugares inhóspitos, lo que ocasiona desorientación y pérdidas en el lugar e incluso fallecimientos. Uno de los casos se presentó el 23 de octubre del 2017 cuando un grupo de exploradores habrían perdido la ruta mientras descendían en el volcán Cotopaxi, ubicado en el Parque Nacional Cotopaxi. La mala condición climática fue uno de los inconvenientes, la familia alertó al ECU911 en Quito y miembros de la Policía Nacional, personal de guardaparques y grupos especializados emprendieron las labores de búsqueda y localización de los extraviados. Pasaron aproximadamente 8 horas después del suceso para que sea encontrado el grupo de exploradores. Es

importante entender que los accidentes de montaña no producen únicamente secuelas físicas, también producen secuelas psicológicas y para la sociedad se puede tener costos económicos como: servicios de rescate, costes sanitarios (hospitalización) e incluso una pérdida significativa de productividad en el trabajo [5] [6] [7].

Una respuesta ante la pérdida, desaparición o situaciones de emergencias en el volcán Cotopaxi, ubicado en el Parque Nacional Cotopaxi (PNC), es el desarrollo de un sistema que utilice nuevas aplicaciones digitales y cobertura en zonas rurales como el Internet de las cosas (IoT), el cual provea de la tecnología útil para diagnosticar el estado de salud a través de la información obtenida de los alpinistas, evitando pérdida de vidas humanas o desaparición en lugares fuera de los senderos del volcán Cotopaxi.

1.2 Antecedentes Investigativos

Una vez revisado diferentes bases de datos y repositorios a nivel nacional e internacional se encontraron trabajos similares referentes a la temática de estudio, mismos que servirán como guía para el desarrollo de la presente investigación, entre estos se mencionan:

En la Universidad Estatal Península De Santa Elena, en el año 2019 realizaron el “Diseño y desarrollo de un dispositivo móvil electrónico para monitoreo y alertas de problemas cardiacos”, el objetivo principal fue el monitoreo continuo de las pulsaciones cardiacas de la persona mediante el sistema global de comunicaciones móviles (GSM), empleando el servicio general de paquetes vía radio (GPRS). Esta es una conexión "siempre activa" que permite la transmisión y recepción de datos a alta velocidad, donde el costo dependerá de la cantidad de datos enviados y no del tiempo de conexión. El desarrollo de la implementación se realizó en un microcontrolador Atmega32u4, módulo de comunicación para Arduino GSM/ GPRS/GPS y un módulo de posicionamiento global a través de la red GPS con la finalidad de localizar al usuario, logrando así la conexión a red celular, permitiendo el envío de mensajes de texto al número de contacto configurado en el dispositivo en caso de presentarse una anomalía en las pulsaciones cardiacas; inclusive establece una conexión a internet con el objetivo de almacenar los datos dentro de una plataforma web. Al término de esta investigación se concluyó que este proyecto permite monitorear señales de pulso

cardíaco con un sistema de alertas por mensajería, el cual contiene los datos de las pulsaciones y la ubicación de la persona para obtener asistencia médica inmediata [8].

Un gran aporte para la investigación presenta la Universidad Católica de Colombia, en el año 2021 se realizó un estudio titulado “Diseño de un dispositivo electrónico de geolocalización IoT sigfox para personas con síndrome de demencia en fase temprana”, el cual tuvo como finalidad desarrollar una alternativa tecnológica basada en IoT para la monitorización de personas con síndrome de demencia en fase temprana en la ciudad de Bogotá D.C., con el propósito de brindar apoyo e independencia tanto a las personas en las primeras etapas de la demencia como a su núcleo familiar. La metodología que fue implementada en el desarrollo de dicho trabajo de grado se define en tres etapas generales, las cuales son: análisis de la información, seguido de requerimientos del diseño, por último, la implementación y validación de los dispositivos. Por otro lado, la tecnología IoT Sigfox empleada en el proyecto cuenta con una arquitectura delgada y horizontal compuesta por dos capas principales; equipo de red y sistema de soporte Sigfox. Además, presenta una topología tipo estrella, lo que implica que los datos enviados pueden ser recibidos por cualquier estación que se encuentre bajo el rango de cobertura, utilizando infraestructura de estaciones base permitiendo así largo alcance, cobertura amplia y bajo consumo de potencia. Finalmente, el dispositivo electrónico permitió obtener las coordenadas de latitud y longitud a través de un módulo GPS L86 y la conexión a una base de datos en tiempo real mediante un dispositivo medianamente robusto, una antena de 20 centímetros de longitud [9].

De igual forma en el trabajo de investigación desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), en el año 2021 con el tema “Implementación de un prototipo de geoposicionamiento con tecnología Sigfox, aplicado a paradas inteligentes y rastreo de niños”, tuvo como objetivo implementar un prototipo de geoposicionamiento con tecnología Sigfox, aplicado a paradas inteligentes y rastreo de niños. El prototipo fue desarrollado con un aplicativo móvil y web diseñado con varias opciones de geolocalización y una opción especial para llamar directamente. Este trabajo de investigación cuenta con varias etapas, para empezar, se adquieren las coordenadas mediante la placa de desarrollo Pytrack y luego es procesada esta

información por el microcontrolador de la placa Sipy para ser enviadas mediante la red de Sigfox al Backend. Una vez almacenada la información en el Backend se crea un Callback hacia el servidor de AWS para así almacenar los datos en una tabla de Amazon DynamoDB y acceder a ellos desde la aplicación móvil, así como de la aplicación Web, todo el proceso está basada en la arquitectura LPWAN las cuales constan de cuatro elementos: el nodo final, la estación base, el servidor de la red y finalmente la aplicación orientada al usuario. Con el monitoreo del geoposicionamiento el operador del prototipo puede acceder a la información desde cualquier lugar que se encuentre a través del servicio web o aplicación; sin embargo, se concluyó que el error de posicionamiento varía de acuerdo a si el prototipo se encuentra estático o en movimiento, en caso de desplazamiento del dispositivo el error incrementa acorde al aumento de la velocidad con la que se mueva el dispositivo [10].

El trabajo investigativo desarrollado en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil en el año 2022, denominado “Estudio de factibilidad de las tecnologías de IoT para el rastreo y monitoreo de vehículos”, tuvo como objetivo analizar la factibilidad de las tecnologías IoT implementadas para el rastreo y monitoreo de vehículos, en donde se aplica la metodología investigativa-interpretativa y descriptiva usando fuentes como Scopus, Springer, IEEEExplore, Sciencedirect entre otras. Este estudio tiene como base la estructura IMRC que son las fases de Introducción o Antecedentes, Metodología, Resultados y Conclusiones. Entre los resultados obtenidos para el estudio de factibilidad de la IoT como método de rastreo para vehículos se obtuvo que la mayoría de los artículos que se analizaron posee una visión acerca del internet de las cosas (IoT) como una adaptación que ayuda a las personas a mejorar la calidad de servicio en cuestiones de accidente, conectando ideas interesantes para llevar a cabo un conjunto de redes interconectadas enviando información de la ubicación en tiempo real [11].

En la Universidad Técnica de Ambato, en el año 2022 se realizó un proyecto titulado “Pulsera electrónica inalámbrica con tecnología lora para la monitorización de turistas en Parques Nacionales.” el cual tuvo como finalidad la implementación de una pulsera electrónica para recolectar los datos del ritmo cardiaco y del nivel de oxígeno en la sangre del usuario, además de realizar la adquisición de los datos del

Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Esta investigación implementa la tecnología IoT Lora basada en una red de sensores inalámbricas (WSN) formadas por dispositivos autónomos, distribuidos a lo largo de un área de interés. El trabajo de investigación concluyó que, las redes WSN poseen ventajas frente a diferentes redes de telefonía como LTE, 3G o 4G para ejecutar un sistema de adquisición de datos, debido a que, en las zonas rurales, por el costo de infraestructura y la demanda mínima de usuarios, no posee cobertura la telefonía convencional. El dispositivo pulsera electrónica proporciona medidas ergonómicas para el usuario con beneficios favorables para la adquisición de bioseñales [12].

Los trabajos de investigación previamente estudiados, emplean diferentes etapas y metodologías que contribuyen con el estudio de tecnologías de comunicación IoT, especialmente en el desarrollo del geoposicionamiento, mediante la adaptación de diferentes módulos de comunicación Sigfox, que faciliten una comunicación práctica para la transmisión de información adquirida a través de sensores; Además de proporcionar diseño de prototipos físicos ya realizados previamente con un objetivo similar al tema a desarrollar.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Alpinismo

El alpinismo es una disciplina deportiva que implica el ascenso de altas montañas a veces también llamado montañismo o andinismo, al ser una práctica deportiva en la que técnicas, habilidades y conocimientos convergen para lograr el objetivo de alcanzar la cima de una montaña, siempre por afán de superación o como respuesta a un impulso personal distinto en cada uno o por el placer de alcázar una cima y observar el terreno que se abre ante los ojos, para llegar a la cima los alpinistas efectúan un buen entrenamiento teniendo perseverancia, ímpetu y una buena preparación física para un ascenso y descenso exitoso [13].

En América del sur se encuentra Ecuador un país pequeño territorialmente, pero con una gran diversidad de montañas, ecosistemas y culturas para explorar, sus numerosos volcanes que se encuentran activos e inactivos actualmente son un entretenimiento para muchos deportistas locales y extranjeros. Los altos picos Andinos del Ecuador están situados a lo largo de la avenida de los Volcanes un largo

y fértil valle central que está resguardado por dos cordilleras, la Oriental y la Occidental [14].

1.3.2 Niveles técnicos de dificultad del alpinismo

Los niveles de dificultad técnica son la referencia a los problemas e inconvenientes que se presentan cuando una persona intenta lograr algo, existen cuatro niveles de dificultad técnica en el alpinismo. Nivel 1 (Iniciación), Nivel 2 (Intermedio), Nivel 3 (Alto) y Nivel 4 (Avanzado). Medido por el sistema de graduación francés para vías alpinas que está basado en la dificultad del conjunto total de la vía. [15] En la tabla 1 se muestra el dicho sistema.

Tabla 1. Sistema de graduación francés

Graduación	Descripción
F: Fácil	Cuando existen pendientes de roca, nieve o hielo con desniveles módicos, inferiores al 45%, se escala en ocasiones con piolet; por tanto, la trepada es fácil hasta II nivel, hay ciertos tramos del glaciar que tienen grietas.
PD: Poco Difícil.	Cuando las pendientes de roca, nieve y hielo poseen desniveles fuertes superiores al 45%, se puede subir andando, ya que existen aristas y crestas estrechas y aéreas; la trepada tiene cierta dificultad, hasta III nivel,
AD: Algo Difícil	Cuando se observan largas pendientes de roca, nieve o hielo con desniveles fuertes superiores al 50%, las cuales se puedan subir caminando; debido a que existen aristas y crestas estrechas y aéreas; es una escalada de dificultad moderada incluso en terreno vertical, niveles III y IV.
D: Difícil	Presenta una pendiente sostenida con secciones entre 50° - 60° y requiere de una técnica segura y un buen conocimiento de las técnicas de seguridad. Es una escalada en roca, hielo o nieve.
MD: Muy Difícil.	Cuando las ascensiones y escaladas técnicas son dificultosas en todo tipo de terreno, consiguiendo alcanzar hasta el V nivel de escalada clásica. Presenta una longitud considerable. Pendientes de graduación límite en lugares remotos.
ED: Extremadamente Difícil	Cuando el nivel de dificultad es extremo con enorme exposición, de larga duración, en sitios remotos.
ABO: Abominable	La escalada es extremadamente peligrosa y es imposible de proteger.

Fuente: [15]

Los alpinistas deben conocer la dificultad técnica que pudieran presentarse al ascender o escalar cumbres; están definidas por las características de elevación, por lo tanto, una montaña o volcán con un nivel 1 tiene un pico fácil de ascensión; nivel 2 posee dos picos de ascensión y nivel 3 alcanza tres picos de ascensión y por ultimo nivel 4 que cuenta con una situación geográfica compleja; por lo que, se debe tener una condición física notable que permita cubrir la cumbre en su totalidad, sin embargo, al existir elevaciones que no comprenden de alturas prominentes, pero sí de varios picos se debe considerar la condición física como se muestra en la figura 1 para emplear una ascensión exitosa [16].

Forma física Normal			Forma física Buena						Forma física Muy Buena		
Baja Altitud			Altitud Media			Gran Altitud			Altitud Extrema		
→ 1000 m			→ 2000 m			→ 5500 m			→ 8848 m		
Dificultad Técnica			Dificultad Técnica			Dificultad Técnica			Dificultad Técnica		
Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta

Figura 1. Niveles de dificultad [16]

Descripción técnica:

- **Nivel 1.-** El nivel uno o iniciación es aquel individuo que no cuenta con experiencia en técnicas básicas de alpinismo pero que camina bien en terrenos escarpados, optimo en ascensiones de graduación F.
- **Nivel 2.-** El nivel dos o dificultad intermedia presenta a caminantes-alpinistas que dispone de conocimientos básicos en el manejo de cuerda y en el uso de crampones y piolet, han experimentado la marcha con crampones, capaz de moverse cómodo en terrenos de crestas y en pendientes de nieve de hasta 40°, optimo en graduaciones PD.
- **Nivel 3.-** El nivel tres o alto ostenta a alpinistas que ya han realizado actividades en alta montaña, aristas clásicas y pendientes de nieve, Tiene conocimiento de técnicas de rapel, montaje de reuniones y confección de nudos. Domina la progresión con crampones y piolet en pendientes de nieve y hielo de más 50°. Puede plantearse sin problema ascensiones de graduación D.

- **Nivel 4.-** El nivel 4 o nivel avanzado comprende de una escalada de hielo vertical en lugares inhóspitos donde se presenta grandes peligros los cuales son realizados por profesionales en el deporte.

Entre los principales volcanes de Suramérica en la Cordillera de los Andes se tiene el Nevado Ojos del Salado, Monte Pissis, Cerro Bonete Chico, Nevado Tres Cruces, Llullaillaco, Volcán Walther Penck etc, no obstante, los volcanes con mayor actividad de este deporte son el Aconcagua en Argentina a 6961 m.s.n.m., volcán Coropuna en lo más alto del Perú a 6425 m.s.n.m. y el volcán Parinacota a 6342 m.s.n.m en la frontera de Chile y Bolivia. Una diversidad de volcanes como el Cotopaxi a 5897 m.s.n.m., Tungurahua a 5023 m.s.n.m. y Chimborazo a 6263 m.s.n.m., para este deporte se encuentran ubicados en Ecuador [17]. Es por ello que al ser un gran atractivo turístico el volcán Cotopaxi ofrece escaladas técnicas de nivel 1 o iniciación debido a ser en forma de cono o más conocidos como elevación de un solo pico, además de contar de una condición física buena esto permitirá al escalador novato o sin experiencia llegar más allá de los 5000 metros siempre y cuando contrate un guía local.

Para las ascensiones requieren de un equipo completo de alta montaña, dependiendo de la estación, pero normalmente es suficiente llevar ropa caliente e impermeable y botas. Debido a la altura todas las ascensiones requieren una previa aclimatación, por lo que, se recomienda ascender montañas de baja y media altitud como el Imbabura o el Pichincha, para evitar complicaciones al momento de ascender a las elevaciones más prominentes, después que el cuerpo humano se haya acostumbrado a la altura, se podrá probar con los cuatro volcanes clásicos del Ecuador como el Chimborazo, Cotopaxi, Cayambe e Iliniza [18].

1.3.3 Niveles de forma física para alpinismo

El alpinismo exige que los individuos que van a practicar la escalada de cumbres de baja, media y alta montaña posean algunas capacidades físicas, prácticas e incluso intelectuales, para que a través de ellas puedan conocer cómo deben utilizar las técnicas, equipos y materiales que se requieren para realizar esta actividad que se practica en cualquier estación del año [19].

Para una actividad deportiva como el alpinismo se necesita de una forma física que según Hebbeling puede ser agrupada en los siguientes cuatro niveles:

Nivel 1 (Mínimo): es aquel que puede ser alcanzado por la mayoría de las personas, y forma el umbral entre el organismo sano y el patológico.

Nivel 2 (Medio): es el que pertenece al índice medio estadístico de una población heterogénea.

Nivel 3 (Ideal): es considerado como el valor recomendable para una máxima capacidad y eficacia funcional en un entorno cotidiano.

Nivel 4 (Especial): es importante para una práctica deportiva de alta competitividad.

Subir una montaña o un volcán requiere de resistencia aeróbica, necesaria para ascender una elevación debido a la agitación y mayor presión atmosférica, además de la fuerza para subir o bajar las pendientes. Una referencia de aproximación basada en Hebbeling y propuesta por guías expertos escaladores, describe cuatro niveles de forma física [20]:

Nivel 1.- De nivel 1 o Normal es la persona que practica deporte de forma esporádica capaz de caminar de 2 a 3 horas en ascenso de un día, con un recorrido de 500 m de desnivel positivo con una mochila de peso ligero de 5kg.

Nivel 2. - De nivel 2 o Bueno es la persona que practica deporte de forma habitual siendo capaz de caminar de 3 a 5 horas en ascenso por día en ascenso, con un recorrido de 800 m a 1000 m de desnivel positivo con una mochila de peso medio de 8kg.

Nivel 3. - De nivel 3 o Muy Buena es la persona que practica deporte de forma asidua siendo capaz de caminar de 6 a 8 horas en ascenso por día, con un recorrido de 1200 m a 1400 m de desnivel positivo con una mochila pesada de 10kg.

Nivel 4.- De nivel 4 o Excelente es la persona que sigue un entrenamiento diariamente capaz de caminar más de 8 horas por día en ascenso, con un recorrido de 1500 m de desnivel positivo con una mochila pesada de 10kg. Capaz de aguantar cambios de ritmo y largas jornadas de alpinismo para realizar actividades de cierto grado de compromiso.

El volcán Cotopaxi al estar por encima de los 5600 m.s.n.m. y con un desnivel positivo de 1300 m requiere de una forma física de nivel 3 o muy buena sin dejar de lado la preparación mental debido a que se va a someter al cuerpo humano a temperaturas extremas y esfuerzos físicos prolongados.

Presión Atmosférica

La presión atmosférica es un elemento termodinámico del clima, se trata de la presión que se encuentra ejerciendo el aire sobre toda la materia dentro de la atmósfera y varía en relación de la altura medida desde el nivel del mar. De igual forma se la define como la presión ejercida por la masa de aire que se encuentra directamente encima del área en consideración [21]. La presión atmosférica del aire disminuye con la altura, en este sentido, el aire que se respira es constante en cualquier altitud y está compuesto por 79,04% de nitrógeno, 20,94% de oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases, por tanto, al aumentar la altitud disminuye la presión atmosférica, cuando se respira, la presión del aire en el interior de los pulmones y la presión parcial de oxígeno de este aire son menores y, por tal razón, el oxígeno propaga en menor medida a la sangre y puede llegar en menor cantidad a los tejidos. El factor principal de la altitud que afectan al organismo es la disminución de la presión parcial del oxígeno (hipoxia de la altitud), sus consecuencias dependen del tipo de exposición a la misma: aguda (despresurización en cabina de avión, fallo de un aparato respirador), de inicio rápido (subida en vehículo mecánico), lenta (montañismo) o crónica (residencia en altitud) [22].

Lo que varía independientemente de la altitud a la que se encuentre una persona es la presión atmosférica que se conoce también como la presión del aire, así a partir de 8000 pies de altura (unos 2400-2500 m) de altitud, el aire presenta un aumento de un 30 % respecto a su volumen inicial, duplicándose a los 18000 pies (5486 metros), por

ende, a medida que la altitud aumenta la presión atmosférica disminuye, según lo que se presenta en la tabla 2 [23].

Tabla 2. Presión atmosférica

Altura en metros (m)	Presión atmosférica (mm de Hg)
0	760
1000	674
2000	596
3000	526
4000	462
6000	347
8000	250

Fuente: [23]

Es importante mencionar que la presión atmosférica juega un papel fundamental en la respiración tanto de la entrada de aire de la atmósfera en los pulmones, así como en el intercambio de gases entre el aire y la sangre, esto ocurre por la diferencia de presiones, es decir la disminución de presión atmosférica provoca una disminución de presión de oxígeno que se disuelve en la sangre como se muestra la tabla 3 [23].

Tabla 3. Presión parcial de oxígeno (PaO₂)

Altura en metros (m)	PAO₂ (mm/Hg)
0	149
1000	132
2000	117
3000	103
4000	90
6000	67

Fuente: [23]

1.3.4 Riesgos médicos causados por las condiciones extremas.

El alpinismo es una de las modalidades deportivas de montaña que demanda una gran condición física por lo que es importante tomar en cuenta sus efectos en la salud a bajas temperaturas, Permanecer a gran altura conlleva cambios significativos a nivel fisiológico, entre ellos: La deshidratación como limitador del rendimiento físico en los alpinistas. Sin embargo, un aspecto de mayor importancia para tener en

cuenta es el mal de altura o también conocido como mal agudo de montaña (MAM), es una dolencia física que se presenta cuando los alpinistas o escaladores se exponen a la baja presión de oxígeno que hay en la altitud de las montañas, la cual se desarrolla durante las primeras 6-10 horas de ascensión, la incidencia del MAM es variable, pero relativamente alto. En altitudes entre los 4000 y 5800 m afecta a un 67% de los alpinistas, con un rango entre el 25 y el 100% [24].

1.3.5 Hipoxia

La Hipoxia es la ausencia de oxígeno en la sangre, células y tejidos del cuerpo humano que afecta al cuerpo por completo o cierta parte de este, siendo uno de los principales efectos del MAM sus síntomas dependen de la gravedad y la velocidad del ataque, estos incluyen:

- Dolores de cabeza.
- Fatiga.
- Náuseas.
- Inestabilidad.

La hipoxia de altitud se debe a la disminución de la presión atmosférica, en donde, a mayor altitud, menor presión atmosférica, menor presión parcial de O₂ y, por consiguiente, menor presión inspirada de oxígeno, ocasionando de esta manera la falta de oxígeno a nivel de los tejidos que componen el cuerpo humano [25].

La hipoxia tiene dos subtipos, los cuales surgen de las exposiciones a las grandes alturas de las montañas [26].

1. **Hipoxemia hipobárica:** es la hipoxemia consecutiva a la altitud, es decir, asocia a la disminución de la presión atmosférica o barométrica (PB). La presión parcial del oxígeno en el aire atmosférica (PO₂) es constante más allá de los 11000 m y se encuentra en una proporción del 21%. Al nivel del mar la presión barométrica es de 7,60 mmHg y la PO₂ es de 159,2 mmHg, sin embargo, mientras se asciende, la PB va disminuyendo, y de manera consecutiva, a pesar de que el oxígeno continúe en la misma proporción, la PO₂ también disminuye [27].
2. **Hipoxemia normobárica:** es la que se produce por respirar aire de baja concentración de oxígeno, normalmente es 20,9% de oxígeno en la atmósfera.

El uso de altas concentraciones de oxígeno inhalado se ha asociado con efectos adversos, pero datos recientes sugieren un papel terapéutico potencial de la hiperoxia normobárica (HN) en la sepsis y la isquemia cerebral [28].

Un ser humano en condiciones saludables y a orillas del mar tiene una saturación de oxígeno del 100% mientras que la saturación de oxígeno varía entre un 4% a un 6% si un individuo se encuentra por encima de los 2500 metros, lo normal es tener unas cifras de entre un 95% a 100% de Saturación de Oxígeno y lo habitual en una altitud sería la descripción que sostiene la siguiente figura 2 [29]:

Oxigenación de la sangre			
	Altitud	SaO2	Variación
	7500 m	60,5 %	±13,5%
	7000 m	68,0 %	±9,3%
	6500 m	72,7 %	±6,7%
	5200 m	78,4 %	±9,5%
	4250 m	85,0 %	±4,3%
	3365 m	92,9 %	±1,4%

Figura 2. Porcentaje de oxigenación de la sangre en relación a la altura [29].

En consecuencia, según Bärtsch *et al.* [30] “el efecto principal de la hipoxia es sobre la frecuencia cardíaca y la presión arterial durante el ejercicio”.

1.3.6 Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca (FC) es el número de veces que se contrae el corazón durante un minuto comúnmente se lo conoce como pulsaciones por minuto (ppm) y facilita información vital del estado de salud de una persona. No obstante, el número de pulsaciones por minuto varía según la edad y condiciones de reposo o actividad física a la que se encuentra expuesta una persona, por lo general las pulsaciones se encuentran entre 50 y 100 latidos por minuto. Los valores nominales de la frecuencia cardíaca en reposo son [31]:

- Recién nacidos de 100 a 150 latidos por minuto con una edad en 0 - 30 meses.
- Bebés de 90 a 120 latidos por minuto con una edad de 3 – 6 meses.
- Bebés de 80 a 120 latidos por minuto con una edad de 6 – 12 meses.
- Niños de 70 a 120 latidos por minuto con una edad de 1 - 10 años.
- Niños de más de 10 años, adultos y ancianos de 60 a 100 latidos por minuto.

- Atletas de alto rendimiento de 40 a 60 latidos por minuto.

La frecuencia cardíaca puede alterarse más de lo normal o a su vez disminuir y alterar de manera directa el consumo de energía que a esta se relaciona. Para el adecuado funcionamiento del organismo es obligatorio que el corazón actúe bombeando la sangre a todos los órganos, pero, al mismo tiempo lo realice a una determinada presión (presión arterial) y a una determinada frecuencia; dada la relevancia de este proceso, es normal que el corazón requiera en cada palpitación un alto consumo de energía [32].

El estudio realizado sobre el mecanismo detrás del trastorno cardíaco muestra que al existir bajos niveles de oxígeno (Hipoxia), Steven A. N. explica que “la proteína llamada SUMO (small ubiquitin-like modifier) se vincula al interior de los canales de sodio que son responsables de iniciar cada latido del corazón, se vuelven a abrir cuando deberían estar cerrados”. Si los canales de sodio se vuelven a abrir y producen corrientes de sodio tardías, con bajos niveles de oxígeno, el potencial de acción se prolonga y puede comenzar una nueva actividad eléctrica antes de que el corazón se haya recuperado arriesgando ritmos peligrosos y desorganizados [33].

Desde otro punto de vista además de la frecuencia cardíaca en reposo también se debe considerar la frecuencia cardíaca momento de estar en actividad física es por ello que cuando una persona se encuentra activa existen variaciones de frecuencia cardíaca acorde a las actividades que se muestra en la tabla 4 [34]:

Tabla 4. Pulsaciones por minuto en actividad física.

Actividad	Porcentaje de variación respecto de la frecuencia cardíaca máxima de 200	ppm
Caminar	50%	90 a 100
Caminata con mayor intensidad	60% a 70%	130
Deporte	70% A 85%	150 a 180

Fuente: [34]

La frecuencia máxima que puede alcanzar el corazón ante un ejercicio físico alto depende de la edad y puede calcularse mediante la Ecuación 1:

$$FCM = Ppm - E \quad (1)$$

Dónde:

FCM: Es la frecuencia cardiaca máxima.

Ppm: Son las pulsaciones por minuto.

E: Es la edad.

Se debe tener presente que las mujeres podrán alcanzar 226 ppm y los hombres 220 ppm en un esfuerzo máximo durante un ejercicio.

La investigación acerca de la oxigenación en alta montañas y la frecuencia cardiaca en los andinistas de la brigada de fuerzas especiales N:9 “Patria” que se ubica en la provincia de Cotopaxi presenta la frecuencia cardiaca máxima acorde a la altitud y actividad durante una ascensión en personal de milicia con promedio de 31 años, en consecuencia, detalla una disminución en la frecuencia cardiaca máxima como se muestra en la tabla 5 [31]:

Tabla 5. Frecuencia cardiaca según la altitud en actividad durante una ascensión

Altura (m.s.n.m)	Frecuencia Cardiaca (ppm)
8000	140-150
7000	140
6000	130-140
5000	120-130
4000	120
3000	110
2000	100
1000	
120	

Fuente: [31]

1.3.7 Arritmia

La arritmia es la alteración del ritmo cardiaco en el ser humano también conocido como un trastorno de la frecuencia cardíaca en el corazón. Existen dos tipos de arritmia [35]:

La taquicardia el corazón puede latir demasiado rápido, pueden iniciar por sí solas o pueden desencadenarse con el ejercicio, consumo excesivo de alcohol, tabaquismo,

malestar psíquico o la ingesta de fármacos que contienen estimulantes; y la bradicardia el corazón puede latir demasiado lento o simplemente su ritmo puede ser de manera irregular, pueden desencadenarse con el dolor, el hambre, la fatiga, los trastornos digestivos o la deglución.

Una arritmia puede no causar daño, simplemente puede ser una señal de otros problemas cardíacos de un individuo o un peligro inmediato para su salud.

Uno de los peligros inminentes a los que se encuentran expuestos los alpinistas en la ascensión de una alta montaña, es el mal agudo de montaña que desencadena varias complicaciones como la hipoxia, que en relación con el ritmo cardíaco producirá una bradicardia en sus etapas iniciales. Sin embargo, la altitud a la cual sometemos al cuerpo humano producirá un aumento de la frecuencia cardíaca máxima debido al esfuerzo físico que realiza el alpinista durante el trayecto hacia la cima [35].

1.3.8 Riesgos patológicos

Los riesgos patológicos son la probabilidad de que el daño o enfermedad se presente en un grupo de población, por ende, una caminata por los bosques como una travesía de mayor intensidad requieren cierto esfuerzo físico, esto en función a las características del terreno puede suponer que se produzcan ciertos percances o problemas de salud como los que se muestran a continuación [36]:

- Patologías mecánicas: contusiones, fisuras, esguinces, heridas, fracturas.
- Patologías por temperatura: frío (hipotermia y congelación), calor (insolaciones, golpe de calor, quemaduras).
- Patologías provocadas por la caída de rayos.
- Patologías causadas por animales o plantas: picaduras, mordeduras e intoxicaciones.

El volcán Cotopaxi presenta varias patologías, debido a que se considera una ruta con graduación PD (pendientes de roca, nieve y/o hielo con desniveles superiores al 45% que se sube caminando). De acuerdo con las temperaturas extremas puede presentarse Patologías por temperatura como hipotermia en caso de accidentes durante el ascenso o descenso de la cima.

1.3.9 Hipotermia

La hipotermia es una emergencia médica que acontece cuando el cuerpo humano pierde calor más rápido de lo que puede producir, en consecuencia, esto causa una caída de la temperatura corporal, por tal motivo la hipotermia en las personas está por debajo de 35°C, por lo tanto, a la hipotermia se la clasifica en escalas de severidad según los cambios fisiológicos que suceden en la medida que baja la temperatura [37].

Hipotermia leve: cuando la temperatura corporal central está entre 35° a 32°C,

Hipotermia moderada: cuando está entre 32-28°C.

Hipotermia severa: cuando está entre 28°C a 20°C.

Hipotermia profunda: cuando está en 20°C a 14°C y

Hipotermia extrema: es inferior a 14°C.

De igual forma la hipotermia puede clasificarse según la rapidez de instauración [38].

Hipotermia aguda. – La hipotermia aguda se presenta cuando la exposición al frío es tan grande y repentina se puede presentar en víctimas sepultadas por avalanchas de nieve o por inmersión en agua fría por lo que la hipotermia tarda en establecerse aproximadamente 30 minutos.

Hipotermia Subaguda. – La hipotermia subaguda se presenta cuando se instaura de forma progresiva de manera que el cuerpo lo compensa, pero surge el agotamiento y la disminución de las reservas energéticas de ser humano.

Hipotermia Crónica. – La hipotermia crónica se presenta cuando existe una exposición prolongada no muy severa al frío y las medidas corporales de control de temperatura son insuficientes, puede presentarse en personas de la tercera edad.

Son muchos los efectos que produce en los signos vitales la exposición del alpinista a las condiciones extremas de altitud, frío, radiación, humedad, hambre entre otros, pero más importantes se mencionan en la tabla 6 [39].

Tabla 6. Efectos que produce en los signos vitales las condiciones extremas

N°	Efectos
1	Daño oxidativo en plasma y sangre por la exposición prolongada a la hipoxia,
2	Disminución en la concentración de oxígeno en arterias.
3	Función pulmonar limitada
4	Riesgo de sufrir edema y disfunción pulmonar.
5	Aumento en el stress oxidativo

Fuente: [39]

Los efectos que produce las condiciones extremas de frío dependerán del grado de severidad al cual se encuentren expuesto el ser humano, producto de eso el tiempo de supervivencia de una persona en situación de riesgo también dependerá de las condiciones físicas, la corpulencia, la edad, y la pérdida de calor corporal debido a la temperatura ambiente y velocidad del viento de las altas montañas.

1.3.10 Indumentaria

La indumentaria es la vestimenta que utiliza el alpinista, la cual es elaborada con algunos materiales que ayuda a protegerlo del clima adverso que hay en la montaña, el mismo que evita daños en el cuerpo por condiciones externas, dicha vestimenta también permite que el cuerpo se mantenga seco y sin concentración de sudor, también ayuda a combatir las bajas temperaturas de las altas montañas. Según la marca de ropa Helly Hansen la indumentaria que permite mantener la temperatura corporal estable y aislarla del exterior consta de tres capas, las cuales se describen a continuación [40]:

Primera capa / Capa interior o Segunda piel

Está en contacto con la piel y su función es alejar el sudor de la piel, impidiendo la sensación de humedad y que el cuerpo se enfríe. Esta indumentaria requiere de materiales como: poliéster, polipropileno o cloro fibra que deja pasar todo el sudor que produce el cuerpo. En la capa de la figura 3 se debe evitar las camisitas de algodón, debido a que, absorben cuatro veces su peso en agua y se demoran mucho en secar, también se recomienda usar ropa ajustada y cómoda para evitar la entrada de viento entre la prenda y el cuerpo humano [40].



Figura 3. Primera capa [40]

En esta capa se encuentra las siguientes prendas:

- Camisetas interiores.
- Mallas.
- Guantes térmicos.

Segunda capa / Capa de aislamiento o de abrigo

Cumple la función de aislar de forma térmica al individuo y conservar su temperatura consiguiendo retener el calor que genera el cuerpo. La indumentaria de la figura 4 es elaborada de fibras sintéticas (poliéster) y naturales (lana). En la segunda capa se encuentra las siguientes prendas [41]:

- Forros polares.
- Pantalones de tracking.
- Gorros.
- Guantes polares, manoplas y mitones.



Figura 4. Segunda capa [40]

Tercera capa / Capa de protección o Capa exterior

Esta capa protege tres factores que son [41]:

1. **Humedad exterior.** - conserva seco en la lluvia y la nieve, ya que es de material impermeable.

2. **Viento exterior.** - evita la sensación de frío que ocasiona el viento y las temperaturas bajas.

3. **Sudor.** – ayuda a evacuar el sudor, es decir, permite la transpirabilidad.

Asimismo, La capa de la figura 5 es resistente a rozaduras, abrasión y desgarros, debido a que al ser la más exterior está en contacto con materiales como mochila, piolets, cuerdas entre otros. En esta capa están las siguientes prendas [41]:

- Chaquetas con membrana impermeable.
- Cortavientos.
- Pantalones con membrana impermeable.
- Guantes con membrana impermeable.
- Softshells.



Figura 5. Tercera capa [40]

Calzado

Está elaborado de suela es destinado a proteger los pies de las personas, es primordial elegir el calzado correcto para la ascensión de una montaña, los tipos de calzado pueden ser dos [40]:

- **Semirrígidas:** son utilizadas para actividades que requieren menos técnicas como montañismo o alpinismo menos vertical.
- **Completamente rígidas:** son empleadas para alpinismo.

A continuación, en la figura 6 se muestra las diferencias que existen entre los dos tipos de calzado donde la bota semirrígida lleva un enganche para crampones en la talonera, en cambio en la bota rígida lleva enganché de crampones tanto en la talonera como en la puntera.



Figura 6. Tipos de calado [40]

De acuerdo, a lo observado, la bota rígida empleada para el alpinismo posee varios diseños, materiales y la posibilidad de enganche de crampones, lo cual permite la flexión de caña, y la curvatura de la suela, para andar fácilmente en este tipo de terreno.

Crampones

Son piezas de metal con púas que se sujetan a la suela rígida de la bota para caminar sobre el hielo o la nieve. Esto permite una mejor adherencia a la superficie caídas imprevistas por las condiciones que existen en el terreno [42].



Figura 7. Crampones [42]

1.3.11 Bioseñales

Las bioseñales son aquellas señales que permiten obtener información producidas por los seres humanos, pueden ser medidas y controladas continuamente de las fuentes que se desea estudiar, además la adquisición de bioseñales permite realizar un diagnóstico previo de salud. Estas señales se pueden clasificar en bioseñales permanentes e inducidas [43].

Bioseñales permanentes

Este tipo de bioseñales existen sin impacto artificial disipador o excitación desde el exterior del cuerpo y siempre están presentes porque la fuente está dentro del cuerpo

[44]. La figura 8 es la señal electrocardiográfica (ECG) inducida por la excitación eléctrica del músculo cardíaco con los picos P-Q-R-T-S.

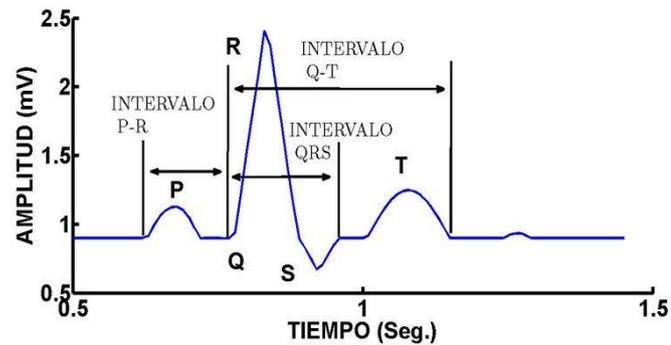


Figura 8. Electrocardiograma [45]

Bioseñales Inducidas

Los bioseñales inducidos son aquellas que se activan, excitan o inducen de manera artificial, que no se producen propiamente en el cuerpo humano [44]. La figura 9 es la señal auxiliar inducida a través de la medición de un pletismógrafo que permite medir cambios de presión, esta se visualiza a continuación:

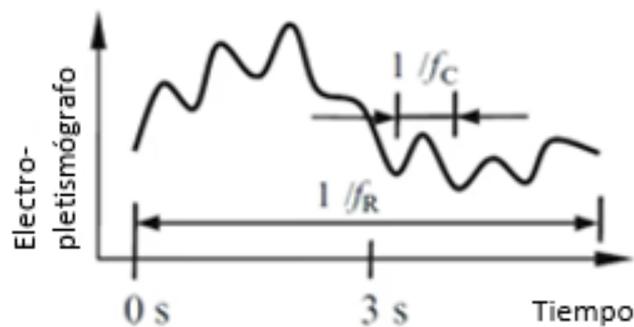


Figura 9. Pletismógrafo [46]

1.3.12 Geolocalización

La geolocalización es la forma de identificar la ubicación geográfica en tiempo real de cualquier objeto, persona o vehículo con un margen de error de pocos metros de distancia dentro de un sistema de coordenadas. Existen distintas tecnologías que permiten el geoposicionamiento descritas a continuación [47]:

Protocolo de Internet (IP). – El protocolo de Internet es un conjunto de normas que determinan como los paquetes de comunicación se transmiten a través de la red, por

ende, la geolocalización basada en la tecnología IP implica la asignación de una dirección IP en dispositivos que tienen acceso a internet, dicha asignación proporciona ubicación geográfica mediante latitud y longitud, nombre del proveedor de servicio de internet (ISP) u operadora que asigna la IP.

Red de comunicaciones de operadores en telefonía. – La red de comunicaciones de operadores en telefonía son aquellas que realizan comunicaciones presentes en todas partes de manera simultánea a través de una interfaz de radio que enlazada de manera directa a una estación base. Por esta razón la geolocalización basada en red de comunicaciones de operadores en telefonía involucra el radio de acción de una antena también conocida como estación de transceptor base (BTS) que utiliza un proceso de triangulación para conocer la situación de un usuario en un punto concreto.

Sistema de posicionamiento global. – El sistema de posicionamiento global es un sistema de navegación que emplea satélites para proporcionar información de un usuario, objeto, dispositivo o vehículo mediante una técnica de trilateración de satélites.

Wireless Fidelity (Wi-Fi). – El Wireless Fidelity es lo que permite la transmisión de datos inalámbrica a través de un punto de acceso de red inalámbrica. Debido a ello la geolocalización basada en redes Wi-Fi consiste en determinar la ubicación geográfica en tiempo real de un objeto utilizando una dirección única de identificador de conjunto de servicios básicos (BSSID). Estas direcciones son escaneadas regularmente por varios proveedores como Google para crear una base de datos mundial que contiene la ubicación exacta de cada enrutador.

Las tecnologías propuestas para la geolocalización poseen distintas características indispensables para determinar la ubicación de un punto en específico, por lo que el sistema de posicionamiento global (GPS) es una de las mejores alternativas para dispositivos autónomos desarrollado por el departamento de defensa de los Estados Unidos sin dejar de lado a GLONASS un Sistema Global de Navegación por Satélite creado por la Unión Soviética, estos sistemas cuentan con la posibilidad de conectar a través de un módulo receptor a un objeto, individuo o vehículo a través de una frecuencia determinada de manera inalámbrica en cualquier parte del planeta. Sin

embargo, existen otros sistemas de navegación por satélite todos descritos a continuación.

Sistema de posicionamiento Global (GPS)

El GPS, o Sistema de Posicionamiento Global, desarrollado por el departamento de defensa de los Estados Unidos proporciona información sobre la posición, la velocidad y la sincronización del tiempo, se lo puede encontrar en diferentes partes como automóviles, teléfonos inteligentes y relojes. Además, tiene una precisión de localización entre 60 y 100 metros, integra una constelación de 24 satélites, un receptor y algoritmos para sincronizar datos funciona a través de la técnica de trilateración, donde tres satélites envían una señal al receptor que se ubica en un módulo o dispositivos electrónico creando una esfera de cobertura por cada satélite y mediante intersección de las tres esferas como se observa en la figura 10 se determina el punto de ubicación, la intersección de un cuarto satélite permite calcular la altitud del dispositivo [48].



Figura 10. Trilateración de satélites [49]

Sistema Global de Navegación por Satélite (GLONASS)

La GLONASS o Sistema Global de Navegación por Satélite desarrollado por la Unión Soviética y administrado por Rusia permite determinar coordenadas geográficas y altitud, confirmado por 31 satélites que a través de la trilateración cada satélite ubica al receptor en un punto en la superficie a través de la intersección y tiene una precisión de localización entre 10 y 100 metros. Consigue ser una alternativa al sistema GPS de Estados Unidos [50].

Sistema Experimental de Navegación por Satélite (BeiDou)

El sistema de navegación BeiDou creado por china y diseñado para ser compatible e interoperable con otros sistemas cuenta con 30 satélites en órbita a diferencia de los demás sistemas de navegación BeiDou se basa en el espacio de china, pero es capaz de operar en todo el mundo tomando en cuenta que la precisión dependerá de la zona del mundo donde se encuentre el módulo receptor, por lo general la precisión de localización es de 3,6 metros y puede llegar a los 10 cm en zonas de Asia Pacífico [51].

Sistema Europeo de Radionavegación y Posicionamiento por Satélite (GALILEO)

El Sistema Europeo de Radionavegación y Posicionamiento por Satélite o GALILEO desarrollado por la Unión Europea a través de la Agencia Espacial Europea tiene como objetivo desarrollar un sistema de navegación propio y cinco veces más preciso que GPS a través de la misma técnica de trilateración de satélites, en el año 2006 realizo sus primeras señales piloto y hasta el año 2020 cuenta con 26 satélites con la finalidad de alcanzar los 30 satélites en órbita [52].

Receptores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Los receptores del Sistema de Posicionamiento Global son dispositivos que utilizan una red de satélites para determinar la ubicación precisa de un objeto o persona en la Tierra. Estos dispositivos reciben señales de los satélites GPS y utilizan la información de esas señales para calcular la ubicación exacta de un objeto.

La precisión de los receptores GPS puede variar dependiendo de varios factores, como la calidad del receptor, la calidad de la señal, el número de satélites disponibles y la ubicación del receptor. En general, los receptores GPS modernos tienen una precisión de alrededor de 3-10 metros, pero algunos modelos más avanzados pueden ser aún más precisos.

Es importante tener en cuenta que la precisión de los receptores GPS puede verse afectada por obstáculos como edificios, árboles o montañas, así como por condiciones meteorológicas adversas. Por lo tanto, en la siguiente tabla 7. se presenta distintos receptores GPS con protocolo de comunicación NMEA.

Tabla 7. Tipos de receptores GPS

Características Técnicas		GY-NEO6MV2	Skylab Skm53	BN-180	U-BLOX NEO-7M
					
Sensibilidad	Seguimiento	(-) 161 dBm	(-) 165dBm	(-) 167dBm	(-) 161 dBm
	Adquisición	(-) 160dBm	(-) 148dBm	(-) 160dBm	(-) 160dBm
Precisión	posición	3,5 m	3 m	2 m	2,5 m
	velocidad	0,1 m/s	0,1 m/s	0,1 u/s	0,1 m/s
	Tiempo (PPS)	30 ns	60 ns RMS	N/A	30 ns
Tiempo de adquisición	Arranque en frío	26 s	36 s	26 s	30 s
	Arranque caliente	26 s	33 s	25 s	28 s
	Readquisición	5 s	<1 s	N/A	5 s
Consumo de energía	Sistema de seguimiento (corriente)	N/A	< 30 mA	N/A	N/A
	Sistema de seguimiento (voltaje)	N/A	3 V	N/A	N/A
	Sistema de Adquisición (voltaje)	3,6 V	3,3 V	5,5 V	3,6 V
	Sistema de Adquisición (corriente)	45 mA	45 mA	50 mA	40 mA
Tipo de Receptor	Banda de frecuencia	GPS L1	L1	L1, Glonass	GPS L1
	Canales de búsqueda	50	66	72	56
Temperatura de funcionamiento		(-) 40°C a +85°C	(-) 40°C a +85°C	(-) 40°C a +85°C	(-) 40°C a +85°C
Dimensiones		25 x 35 mm	30 x 20 x 8,5 mm	18 x 18 x 6 mm	40 x 25 x 15 mm
Dimensión del contorno		25 x 25 mm	18,2 x 18,2 mm	18 x 18 x 6 mm	20 x 20 mm
Frecuencia central		GPS L1: 1575,2 MHz	1575 ± 3 MHz	L1: 1575,42 MHz L1: 1602 MHz	GPS L1: 1575,2 MHz
Banda ancha		± 10 MHz	10 MHz	± 10 MHz	10 MHz
Impedancia		50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω
Relación Axial		< 3dB	< 3 dB máx.	< 3 dB	< 3 dB máx.
Polarización		RHCP	RHCP	RHCP	RHCP

Fuente: Elaborado por el Investigador, en base a [53], [54], [55], [56].

1.3.13 Sistemas de adquisición de señales

Un sistema de adquisición de señales es un producto o proceso utilizado para recopilar información con la toma de muestras del mundo real mediante señales analógicas logrando generar datos que se puedan manipular, almacenar y analizar un fenómeno, por medio de un ordenador o dispositivo electrónico. La adquisición de señales presenta las siguientes etapas [57]:

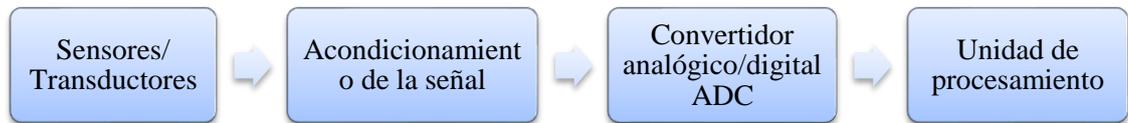


Figura 11. Adquisición de señales [58]

El proceso de la adquisición de señales se realiza por medio de sistemas integrados la cual tiene la función en este caso de adquirir los datos de variables fisiológicas como son temperatura, pulso cardíaco y saturación de oxígeno. Existen distintos sensores que cumplen la función de ser un sistema integrado que permiten adquirir variables fisiológicas cada uno con diferentes características de funcionamiento o aplicación por ende en la siguiente tabla 8 se detallan varios tipos de sensores de Ritmo cardíaco y pulsioximetría.

Sensores de Ritmo cardíaco y Pulsioximetría.

Tanto los sensores de ritmo cardíaco como los de pulsioximetría se basan en el principio de fotoplethismografía (PPG), que mide los cambios en la absorción de luz por la sangre durante cada ciclo cardíaco.

En el caso de los sensores de ritmo cardíaco, un emisor de luz LED emite luz visible o infrarroja a través de la piel y los vasos sanguíneos, y un fotodetector en el otro lado de la piel detecta la cantidad de luz que se refleja en función de la cantidad de sangre que fluye por los vasos. Con cada latido del corazón, la cantidad de sangre que fluye a través de los vasos cambia, lo que se refleja en la cantidad de luz que se refleja. El sensor mide estos cambios en la reflexión de la luz para determinar la frecuencia cardíaca.

En el caso de los sensores de pulsioximetría, un emisor de luz LED emite luz roja e infrarroja a través de un dedo o una oreja y un fotodetector mide la cantidad de luz

que atraviesa los tejidos y llega al otro lado. La cantidad de luz que se absorbe por la sangre varía en función de la cantidad de oxígeno presente en la sangre. La hemoglobina oxigenada (HbO₂) absorbe menos luz infrarroja que la hemoglobina desoxigenada (Hb), mientras que la HbO₂ y la Hb absorben cantidades similares de luz roja. El sensor mide las diferencias en la cantidad de luz que se absorbe para determinar la saturación de oxígeno en la sangre.

Tabla 8. Tipos de sensores de Ritmo Cardíaco y Pulsioximetría

	Max30100	MIKROE3012	Max30102	SEN-15219
Características Técnicas				
Voltaje de operación	1,8 – 3,3 V	1,8 – 3,6 V	3,3 - 5 V	1,8 V
Voltaje de entrada	1,8 – 5,5 V	3,3 - 5 V	3,3 - 5 V	3 V
Corriente de consumo	50 mA.	100 mA.	50 mA.	100 mA.
Corriente de bajo consumo	0,7 uA.	N/A	0,7 uA.	N/A
Protocolo de comunicación	I2C	I2C	I2C	I2C
Convertidor Análogo - Digital	16 bits	22 bits	18 bits	15 bits
Filtros	Filtro de tiempo discreto	Filtro amplificador de transimpedancia.	Filtro de tiempo discreto	N/A
Longitud de onda de led rojo	660 nm	Longitud de onda múltiple	660 nm	660 nm
Longitud de onda de led infrarrojo	920 nm	Longitud de onda múltiple	880 nm	920 nm
Temperatura de operación	-40°C a +85°C	-20°C a +70°C'	-40°C a +85°C	-40°C a +85°C
Dimensiones	14 x 17 mm	42,9 x 25,4 mm	21 x 15 mm	25,4 x 12,7mm
Tecnología	Óptica	Óptica	Óptica	Óptica
Numero de muestras	1000	10 - 1000	50 - 3200	50 - 1600

Fuente: Elaborado por el Investigador, en base a [59], [60], [61], [62].

Los avances tecnológicos han hecho posible la reducción de procesos en los sistemas de adquisición de señales de manera fiable a través de nuevos dispositivos electrónicos, que cuentan elementos encargados de recibir la magnitud a medir,

acondicionador de señal, computo o procesamiento y presentación de datos. Estos se definen como [63].

- **Sensores:** Los sensores son dispositivos que trabajan para convertir señales analógicas en señales eléctricas capaces de ser legibles y lograr asignarlas como variables por ejemplo presión, temperatura, PH, etc.
- **Acondicionador de señal:** Un acondicionador de señal es el encargado de generar a partir de los sensores señales que puedan ser leídas por tarjetas de adquisición de datos o un computador.
- **Computo o Procesamiento de datos:** El computo o procesamiento es el control automático e inteligente que se desarrolla en una unidad de control adecuada como Unidad central de procesamiento (CPU), microcontrolador, Conjunto de puertas programables en campo (FPGA) o Procesador de señales digitales (DSP).
- **Presentación de datos:** La presentación de datos es el despliegue de información que provee un software mediante una combinación de distintitos elementos como tablas, graficas, mapas y texto a través de una interfaz gráfica en un dispositivo.

1.3.14 Internet de las cosas (IoT)

El internet de las cosas es el proceso que permite conectar elementos físicos cotidianos a internet esto incluye desde objetos domésticos comunes, como las bombillas de luz, hasta recursos para la atención de la salud, como los dispositivos médicos; también abarca prendas y accesorios personales inteligentes e incluso los sistemas de las ciudades inteligentes como se visualiza en la figura 12. Tradicionalmente, la conectividad se conseguía principalmente a través de Wi-Fi, mientras que hoy en día la 5G y otros tipos de plataformas de red son cada vez más capaces de manejar grandes data sets con velocidad y confiabilidad [64].

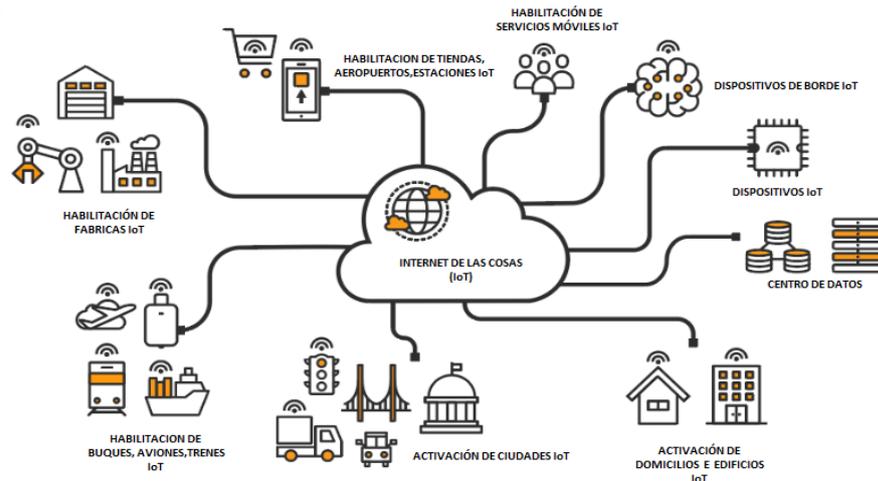


Figura 12. Internet de las cosas IoT [65]

1.3.15 Arquitectura IoT

La arquitectura IoT es un sistema de elementos que incorporan estructura de red y tecnologías de nube que funciona acorde a los protocolos y estándares de seguridad IoT establecidos. Esta arquitectura presenta diferentes etapas que permite a esta tecnología ser funcional, escalable y fácil de mantener por parte de los usuarios, que se describen en la figura 13. [66].

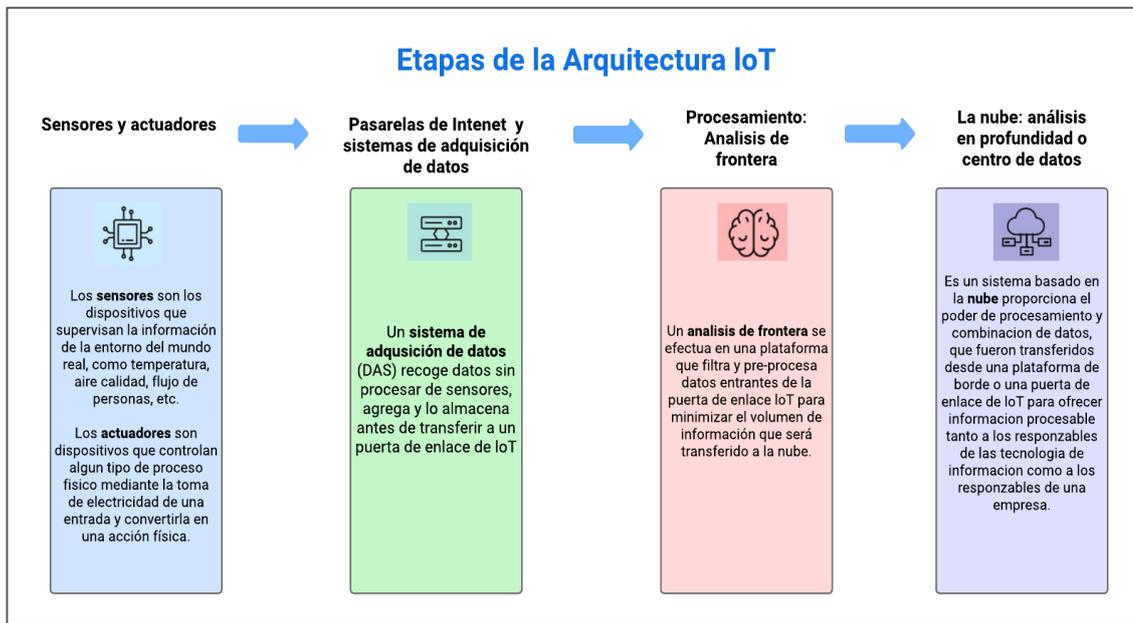


Figura 13. Etapas de Arquitectura IoT [67]

Además de las cuatro etapas de la arquitectura IoT, es fundamental tener en cuenta la plataforma IoT que brinda la conectividad entre etapas y define los detalles de tráfico de datos ya que una plataforma robusta y una arquitectura bien diseñada puede

mejorar la seguridad, la eficiencia y la productividad de las etapas de arquitectura IoT.

1.3.16 Plataforma IoT

Las plataformas de IoT (más específicamente, las plataformas de aplicaciones de IoT) proporcionan un conjunto integral de funcionalidades genéricas, es decir, independientes de la aplicación, que se pueden utilizar para crear aplicaciones de IoT. Una plataforma de aplicaciones IoT es una solución virtual, lo que significa que reside en la nube en plataformas como: Amazon Web Services (AWS) y Microsoft Azure líderes en el mercado de computación en la nube. Los datos son la entidad que impulsa la inteligencia comercial y cada dispositivo tiene algo para hablar con otro dispositivo que son datos. Por medio de la conectividad en la nube, la plataforma de aplicaciones IoT traduce los datos de dichos dispositivos en información útil. Por lo tanto, proporciona medios de usuario para implementar casos de uso empresarial y permite el mantenimiento predictivo, el pago por uso, el análisis y la gestión de datos en tiempo real. Por lo tanto, las plataformas de aplicaciones IoT brindan una suite completa para el desarrollo de aplicaciones para su implementación y mantenimiento. [68].

Amazon Web Services (AWS)

El AWS o Amazon web services es una plataforma en la nube que brinda servicios como; soporte de aplicaciones basadas en IoT para la administración de dispositivos, almacenamiento mediante base de datos, contenedores para ejecutar aplicaciones en cualquier entorno, blockchain etc. Entre los que destacan [69]:



Figura 14. Logotipo Amazon Web Services [69]

Nube informática elástica (EC2)

EC2 son las siglas de Elastic Compute Cloud. EC2 es un servicio informático bajo demanda en la plataforma en la nube de AWS. En informática, incluye todos los servicios que un dispositivo informático puede ofrecerle junto con la flexibilidad de un entorno virtual. También permite al usuario configurar sus instancias según sus requisitos, es decir, asignar la RAM, la ROM y el almacenamiento de acuerdo con la necesidad de la tarea actual. Incluso el usuario puede dismantelar el dispositivo virtual una vez que se completa su tarea y ya no es necesario. EC2 ofrece seguridad, confiabilidad, alto rendimiento y una infraestructura rentable para satisfacer las exigentes necesidades comerciales [70].

Servicio de Contenedor Elástico (ECS)

Servicio de Contenedor Elástico es un servicio de administración de contenedores altamente escalable y de alto rendimiento que permite al usuario del lanzamiento de miles de contenedores en la nube empleando las herramientas preferidas de automatización e integración, y le permite ejecutar fácilmente aplicaciones distribuidas en un clúster administrado de instancias Amazon EC2. Le permite iniciar y detener aplicaciones habilitadas para contenedores con simples llamadas a la API, le permite consultar el estado de su clúster desde un servicio centralizado y brinda acceso a muchas características conocidas de Amazon EC2, como grupos de seguridad, volúmenes de Amazon EBS y funciones de gestión de identidades y accesos [71].

Lambda

AWS Lambda es un servicio informático que le permite ejecutar código sin aprovisionar ni administrar servidores. AWS Lambda ejecuta su código solo cuando es necesario y escala automáticamente, desde unas pocas solicitudes por día hasta miles por segundo. Solo paga por el tiempo de cómputo que consume; no hay ningún cargo cuando su código no se está ejecutando. Para comenzar a trabajar con AWS Lambda, solo tenemos que presionar el código en el servicio AWS Lambda. AWS se ocupa de todas las demás tareas y recursos, como la infraestructura, el sistema operativo, el mantenimiento del servidor, la supervisión del código, los registros y la

seguridad. AWS Lambda admite lenguajes como Java, NodeJS, Python, C# y Go [72].

Lightsail

Amazon Lightsail es un servicio de computación en la nube ofrecido por Amazon Web Services (AWS) que permite crear instancias (servidores privados virtuales, VPN) de forma rápida y sencilla. Luego, las instancias se alojan en la nube de AWS. AWS Lightsail es la herramienta perfecta para crear pequeños proyectos de inicio, aplicaciones web simples, bases de datos y para implementar y administrar entornos de prueba/desarrollo. Listo para usar, AWS Lightsail incluye todas las herramientas necesarias para lanzar estos entornos escalables y administrados con precios mensuales asequibles [73].

Microsoft Azure

Azure es una plataforma eficaz que ofrece una variedad de servicios y funcionalidades para organizaciones de cualquier tamaño que migren a una estrategia de nube. Desde máquinas virtuales, contenedores, orquestadores, redes virtuales, hasta recolección de métricas, BigDat, seguridad, Machine Learning, entre otros. Azure admite varios lenguajes de programación, sistemas operativos, bases de datos y dispositivos, permitiendo a las empresas aprovechar las herramientas y tecnología [74].



Figura 15. Logotipo Microsoft Azure [75]

Dentro de los componentes de Microsoft Azure se encuentra

- 1) Microsoft Azure proporciona dos tipos de funciones [76]:

Funciones web: una función web está diseñada para el código que se comunica directamente con los navegadores web u otros clientes HTTP, es decir, depende de IIS, el servidor web de Microsoft. Por ejemplo, aplicación ASP.NET o PHP.

Roles de trabajador: un rol de trabajador es más general, diseñado para ejecutar una variedad o un tipo diferente de código. Por ejemplo, aplicación que procesa muchos datos en paralelo. Cada instancia de rol es realmente solo una máquina virtual (VM) que ejecuta una versión de Windows Server y cada una se ejecuta en un centro de datos de Windows Azure.

2) Gestión de datos

Cada aplicación de Microsoft Azure se ejecuta en una o más máquinas virtuales. Cada VM tiene almacenamiento local, que una aplicación es de uso gratuito. Windows Azure proporciona cinco opciones de administración de datos [77].

- SQL Azure
- Mesas
- Servicio de almacenamiento de blobs de Windows Azure
- Importación y exportación
- Servicio de archivos de Azure

3) Redes

Azure se ejecuta hoy en muchos centros de datos repartidos por todo el mundo. Cuando ejecuta una aplicación o almacena datos, puede seleccionar uno o más de estos centros de datos para usar. También puede conectarse a estos centros de datos de varias maneras utilizando los servicios a continuación [77].

- Red virtual
- Gestor de tráfico
- Ruta Expreso

4) Identidad y Control de Acceso

Trabajar con identidad es parte de la mayoría de las aplicaciones. Saber quién es un usuario permite que una aplicación decida cómo debe interactuar con ese usuario. Azure proporciona servicios para ayudar a realizar un seguimiento de la identidad, así como a integrarla con los almacenes de identidad que ya esté utilizando [77].

- Active Directory
- Autenticación multifactorial

5) Mensajería e integración

No importa lo que esté haciendo, el código frecuentemente necesita interactuar con otro código. En algunas situaciones, todo lo que se necesita es mensajería básica en cola. En otros casos, se requieren interacciones más complejas. Azure proporciona algunas formas diferentes de resolver estos problemas [77].

- Cola de almacenamiento
- Cola de bus de servicio
- Retransmisión de bus de servicio
- Temas de bus de servicio
- Conexión híbrida de Biz Talk

Modelos principales de computación en la nube.

Los tres modelos principales de servicios Cloud Computing son [78]:

Infraestructura como servicio (IaaS). – IaaS contrata el uso de la infraestructura de hardware a un tercero a cambio de un pago o alquiler. La contratación de este hardware ofrece la posibilidad de seleccionar la capacidad de procesamiento (número de procesadores), la memoria que se desea utilizar (memoria RAM) y la cantidad de espacio de almacenamiento disponible (disco duro).

Plataforma como servicio (PaaS). - PaaS es un tipo de servicio ideal para la implementación y administración de aplicaciones y no toma en cuenta los recursos de hardware y software (sistemas operativos), que mejoran su eficacia, centrándose sólo en la parte que les interesa.

Software como servicio (SaaS). – SaaS este modelo de software como infraestructura, aloja el software de una o varias empresas, así como sus datos, en servidores externos a la misma, y paga una cuota por su utilización.

La computación en la nube de los líderes en el mercado como: Amazon Web Services (AWS) y Azure brindan grandes capacidades informáticas siendo sus ejes principales la implantación de máquinas virtuales dándose a conocer como Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) para Amazon web Services, mientras que Azure presenta a su recurso informático como Azure Virtual Machine y sus principales características se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Características principales de máquinas virtuales.

Característica	Amazon EC2	Azure
Máquinas virtuales	Instancias	Máquinas virtuales
Imágenes	Imagen de la máquina de Amazon	Imagen de la VM
Plantillas VM	Formación de la nube de AWS	Administrador de recursos de Azure
Escalado automático de instancias	Escala automática	Azure Autoscale
Formatos de importación de VM admitidos	RAW, OVA, VMDK, and VHD	VHD
Localidad de despliegue	Zonal	Regional
VMs preemptibles	Sí	Sí
Instantáneas incrementales	Sí	Sí

Fuente: Elaborado por el Investigador, en base a [79].

1.3.17 Redes de área amplia de baja potencia (LPWAN)

Las LPWAN (Low Power Wide Area Networking) son redes de área amplia y baja potencia que representa una serie de soluciones tecnológicas de comunicación inalámbrica para la conectividad de dispositivos propios del Internet de las Cosas (IoT) que han surgido últimamente y que cumplen principalmente con especificaciones de bajo consumo energético, largo alcance y una baja tasa de datos. Estas características las hacen buenas soluciones para los requerimientos de varias aplicaciones en el rubro IoT [80].

La aplicación más importante de las LPWAN es poder crear dispositivos donde el consumo de energía eléctrica sea menor. Con esto se puede lograr que un dispositivo IoT con una batería de litio tipo botón trabaje por tiempos mayores a un año sin necesidad de reemplazar o recargar la misma. Además, estas redes son importantes debido a que, al aplicarlas de manera correcta, pueden generar nuevas soluciones donde las redes más conocidas como 3G o 4G, carezcan de buena cobertura o consuman demasiada energía [81].

1.3.18 Sigfox

Actualmente se trata de una de las redes LPWAN más grandes del mundo y emplea una frecuencia sin licencia en las bandas de 868 Mhz o 902 MHz. Se caracteriza por su protocolo de transmisión de radio de banda ultra estrecha y abarca largas

distancias de cobertura, con una tasa de transferencia de datos baja. Esta plataforma envía 12 bytes de información y recibe 8 bytes, esto a simple vista parece poco, pero representa lo suficiente para comunicar temperatura, emplear sensores, geolocalización o un heartbeat (que es 0 bytes) [81].

Sigfox proporciona una forma estándar de recopilar datos de sensores y dispositivos con un único conjunto de API basado en estándares. Además, la tecnología disruptiva de Sigfox complementa el M2M celular tradicional al permitir soluciones globales, ubicuas y de duración de batería ultra larga al menor costo. Sigfox tiene un gran potencial como solución de conectividad secundaria para permitir un menor consumo de batería y una mejor experiencia de usuario. Además, proporciona la red, la tecnología y el ecosistema de expertos, que son necesarios para ayudar a las empresas y organizaciones a aprovechar al máximo sus ambiciones de IoT [82].

Funcionamiento

La red de Sigfox de la figura 16 se encuentra dividida en dos capas que son: Equipamiento y antenas en donde se encuentran todos los dispositivos que se encargan de transmitir los mensajes, junto con las estaciones base que los reciben; y el sistema de soporte que es en donde los mensajes son procesados y se generan los avisos finales a los clientes. Además ofrece las funcionalidades para los usuarios (APIs) que ayudan a estos generar acciones de respuesta frente a las llegadas de mensajes, controlar y monitorizar sus dispositivos, herramientas de análisis, entre otras. La información se envía desde los dispositivos hasta las estaciones base de manera inalámbrica. Una vez es recibida las estaciones se encargan de comunicarse con los servidores Sigfox, por lo general esto se lleva a cabo empleando DSL o 3G/4G como segunda opción [83].

El servidor se encarga de manejar los mensajes. Es probable que el mismo mensaje se reciba en varias ocasiones debido a la recepción cooperativa, por lo que el servidor debe asegurarse de almacenar exclusivamente el mensaje una vez. Además del mensaje también se almacena datos adicionales, o metadata, que es asociada al mismo, de manera que los usuarios puedan recuperarla. Finalmente, los usuarios pueden acceder a los mensajes por medio de la interfaz web y la API, e incluso definir callbacks HTTP frente a los diferentes eventos, entre los cuales se menciona la llegada de un mensaje [83].

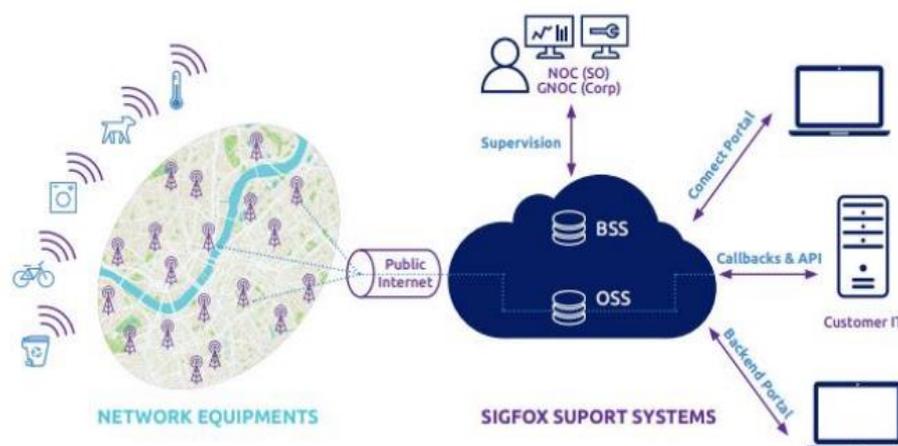


Figura 16. Funcionamiento Sigfox [83].

A nivel mundial, Sigfox divide los países del mundo en siete zonas geográficas de configuración de radio (RC). En este caso, Ecuador está incluido en RC4. Los parámetros RC4 se pueden resumir en la tabla 10 que se muestra a continuación. Como se indica en las especificaciones, los parámetros de RC4 cumplen con las regulaciones emitidas por el MCIT [84].

Tabla 10. Parámetros de Sigfox

Parámetros	Especificaciones RC4
Frecuencia central de enlace ascendente	920,8 MHz
Frecuencia central de enlace descendente	922,3 MHz
Velocidad de datos de enlace ascendente	600 bps
Sigfox recomienda EIRP	24 dBm
Detalles específicos	Salto de frecuencia

Fuente: [84]

La red Sigfox es administrada en Ecuador por la empresa WND (Wireless Network Development). Sigfox en la actualidad proporciona cobertura a las principales ciudades del Ecuador [85]. Para mantener comunicación a través de la cobertura de las principales ciudades del país es necesario un módulo de transmisión propio de la tecnología sigfox o de empresas asociadas que brinde la conectividad y se describen la siguiente tabla 11.

Tabla 11. Módulo de comunicación inalámbrica sigfox

	iBLio i7816	LPWAN SigFOx node	TinyFox	IOTEAM
Características				
Módulo de comunicación	Wisol SFM10RxAT	WISOL SFM10R1	WISSOL SFM10R4	ATAB8520-E
Conectores de antena	J3, J4, SMA, UFL	UFL	UFL, SMA	N/A
Región de radiofrecuencia	RC1, RC2, RC3, RC4	RC1	RC4	RC1, RC2
Frec. Uplink	868,1 – 920,8 MHz	868,13 MHz	920,8 MHz	868 MHz
Frec. Downlink	869,5 – 922,3MHz	869,525 MHz	922,3 MHz	902 MHz
Potencia Tx	20 dBm	15 dBm	23 dBm	13,8dBm
Sensibilidad Rx	(-)120 dBm	(-)127 dBm	(-)129 dBm	9.5dBm
Antena Integrada	Antena Externa 10 dBi	No	helicoidal 3 dBi	No
Temperatura	-50 °C a +95 °C	-30 °C a +85 °C	-30 °C a +85 °C	-40 °C a +80 °C
Dimensiones (mm)	54 x 30	24,31 x 14,97	24,31 x 14,97	26 x 15
Serial UART	Rx, Tx	Rx, Tx	Rx, Tx	Rx, Tx
Velocidad	9600 baudios	9600 baudios	9600 baudios	9600 baudios
Voltaje de operación	3,3 V	3,3 V	3,3 V	3 V
Voltaje de entrada	5 V	1,8 – 3,6 V	2,5 – 3,9 V	2,9 - 3,1 V
Consumo de corriente Tx	100 mA	65 mA	30 mA	32,7 mA
Consumo de corriente Rx	60 mA	15 mA	30 mA	10 mA
Consumo de corriente en reposo	N/A	2 uA	2,5 uA	50 uA

Fuente: Elaborado por el Investigador, en base a [86], [87], [88], [89].

1.3.19 LoRa

LoRaWAN es una tecnología inalámbrica para red de área amplia de baja potencia (LPWAN). Hoy en día, se considera como una de las alternativas más serias para IoT gracias a sus equipos de bajo costo, bajo consumo de energía y su modelo de negocio abierto. Las especificaciones de LoRa proponen soluciones interesantes con respecto

a las operaciones de capa de control de acceso medio (MAC) para ofrecer el mejor rendimiento de comunicación a las cosas conectadas. A pesar de su impacto crucial en el rendimiento general, pocas investigaciones consideran la capa MAC de LoRaWAN. En general, LoRa es beneficioso para el sistema IoT que requiere comunicación a larga distancia en comparación con los protocolos de corto alcance como Wi-Fi y Bluetooth, aunque existen algunas desventajas en la velocidad de transmisión y la limitación en el tamaño de la carga útil [90].

Funcionamiento

La arquitectura de red propuesta por la especificación LoRaWAN consta de varios dispositivos finales que se comunican con una o varias puertas de enlace en una topología de estrella de estrellas, a través de conexiones de un solo salto. La puerta de enlace actúa como un puente que retransmite, en ambas direcciones y de manera transparente, mensajes entre los dispositivos finales y una inteligencia centralizada llamada NetServer. El NetServer está conectado a la puerta de enlace a través de una red central cableada o inalámbrica. Es responsable del intercambio de datos y la gestión de la red. Gestiona paquetes redundantes, configura parámetros relacionados con el intercambio de paquetes y comprueba la seguridad. Fuera de la infraestructura de LoRaWAN, el servidor de red está conectado a otro servidor de aplicaciones donde se implementan las aplicaciones de IoT. Para aclarar, la arquitectura de LoRaWAN se presenta en la figura 17.

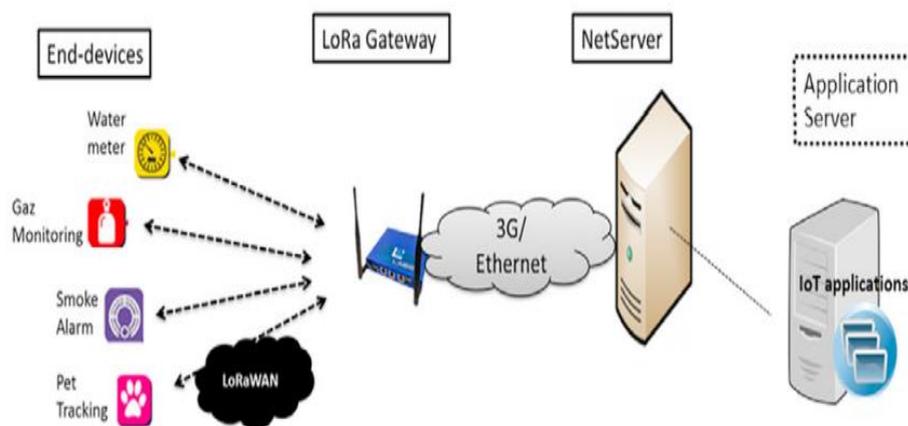


Figura 17. Esquema modo P2P (LoRa y LoRaWAN) [91]

1.3.20 Narrowband (NB-IoT)

Internet de las cosas de banda estrecha (NB-IoT) es una tecnología de acceso de radio celular reciente basada en Long-Term Evolution (LTE) introducida por Third-Generation Partnership Project (3GPP) para redes de área amplia de baja potencia (LPWAN). El objetivo principal de NB-IoT es admitir la comunicación masiva de tipo de máquina (mMTC) y permitir la comunicación de baja potencia, bajo costo y baja velocidad de datos. NB-IoT se basa en el diseño de LTE con algunos cambios para cumplir con los requisitos de mMTC. Por ejemplo, en la capa física (PHY) solo se admiten modulaciones de antena única y de bajo orden, y en las capas de control de acceso al medio (MAC) solo se asigna un bloque de recursos físicos para la programación de recursos [92].

Funcionamiento

La arquitectura de red de NB-IoT de la figura 18 se encuentra basada en el sistema EPS (Evolved Packet System), redefinido por 3GPP como una evolución en la gestión de las comunicaciones móviles para LTE partiendo de las especificaciones de 3G. Sobre EPS se desarrollaron para NB-IoT dos optimizaciones que se enfocan de manera específica a IoT Celular (*Cellular IoT-CIoT*): la de esquema usuario y la de esquema de control. Las dos buscan el camino óptimo para el control de envío y recepción de paquete de datos. [93].

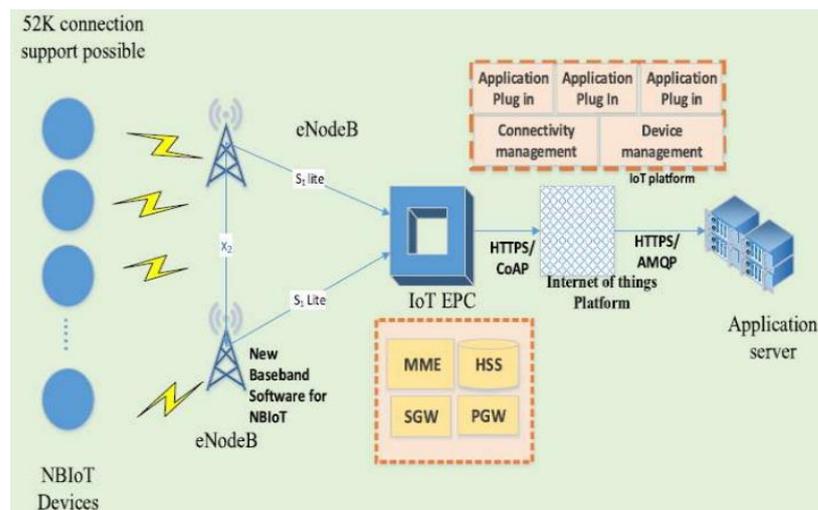


Figura 18. Servicio de Internet de las cosas de banda estrecha (NB IoT) [94].

Resumen de las características técnicas de las tres principales tecnologías IoT

En el ámbito de las comunicaciones las tecnologías IoT (Internet de las cosas) se han convertido en un elemento clave en la transformación digital de las empresas y en la vida cotidiana de las personas permitiendo la recopilación y análisis de datos en tiempo real. La IoT tiene aplicaciones en una amplia variedad de sectores, incluyendo la industria manufacturera, el transporte, la salud, la agricultura y la domótica por ende los dispositivos IoT pueden recopilar información sobre el estado y la ubicación de los productos, mejorar la eficiencia en la producción y la logística, y proporcionar datos valiosos para la toma de decisiones. Por lo tanto, para poder llevar a cabo la implementación de una aplicación IoT adecuada, es necesario tener en cuenta las especificaciones técnicas de la tabla 12. para que se ajusten al tipo de implementación que se requiera.

Tabla 12. Características técnicas de las tecnologías de comunicación IoT.

Características	Sigfox	LoRa	NB-IoT
			
Modulación	BPSK	CSS	QPSK
Frecuencia	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Bandas de frecuencia LTE con licencia
Banda ancha	100 Hz	250 kHz y 125 kHz	200kHz
Velocidad máxima de datos	100 bps	50 kbps	200 kbps
bidireccional	Limitado / Half-duplex	Sí / semidúplex	Sí / semidúplex
Mensajes máximos/día	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado	Ilimitado
Longitud máxima de carga útil	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	243 bytes	1600 bytes
Rango	10 km (u), 40 km (rural)	5 km (u), 20 km (rural)	1 km(u),10 km(rural)
Inmunidad a interferencias	Muy alto	Muy alto	Bajo
Autenticación y cifrado	No soportado	Sí (AES 128b)	Sí (cifrado LTE)

Fuente: Elaborado por el Investigador, en base a [95].

1.3.21 Lenguajes de programación

El lenguaje de programación es un código determinado que está diseñado para crear un diseño de programa de aplicación. El lenguaje de programación es la parte más importante en el desarrollo de una aplicación, la programación de computadoras se está convirtiendo cada vez más en una necesidad para las personas en todas las áreas de la vida. Desde el rápido desarrollo de TI, casi todo se ha digitalizado y el uso de software/aplicaciones es una actividad común para todos los círculos, esto se debe a que hay mucho software/aplicaciones disponibles para una pequeña tienda simple o para un hospital de alta tecnología. Para crear sitios web, juegos o aplicaciones, los programadores pueden utilizar varios lenguajes de programación, como Java, PHP, C, Visual Basic, Delphi, entre otros descritos a continuación: [96] [97].

1. Lenguaje de Macado de Hipertexto (HTML). - El HTML es empleador para estructurar y presentar la página web con distintos contenidos.
2. Hojas de estilo en casada (CSS). – El CSS es un complemento al lenguaje HTML para lograr aplicar un estilo y mejorar la apariencia del sitio web.
3. Procesador de Hipertexto (PHP). – Las principales características de PHP es el amplio soporte de bases de datos, además de lograr comunicarse con otros servicios mediante protocolos como: LDAP, IMAP, SNMP, NNTP, POP3, HTTP, COM.
4. JavaScript (JS). – Este lenguaje de programación ayuda a implementar dinamismo y funcionalidad al sitio web como mostrar actualizaciones de contenido y usar funciones complementarias como gráficos o mapas a través de APIS de distintas plataformas.

1.3.22 Plataforma Arduino

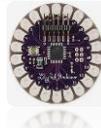
Arduino es una plataforma de creación de prototipos electrónicos de código abierto basada en un hardware y software flexible y fácil de usar. El microcontrolador de la placa se programa utilizando el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los diseños de referencia de hardware (archivos CAD) están disponibles bajo una licencia de código abierto, cualquiera puede adaptarlos a sus propias necesidades es por ello que cuenta con una gran comunidad de apoyo con un desarrollo constante del software [98].



Figura 19. Plataforma Arduino [99]

Los microcontroladores basados en Arduino también pueden enviar y recibir datos a través de Internet mediante solicitudes HTTP. El microcontrolador simple que se puede conectar a Internet es la placa Esp. Los microcontroladores Esp se pueden conectar a un servidor Wi-Fi o pueden actuar como un servidor Wi-Fi. La plataforma Arduino se puede dividir en dos: Hardware y Software. Arduino utiliza hardware conocido como placa de desarrollo Arduino, además de contar con distintos tipos de microcontroladores descritos en la tabla 13.

Tabla 13. Placas electrónicas programables basadas en arduino

Características Técnicas	Arduino LilyPad	Arduino NANO	ESP32
			
Microcontrolador	ATMega168	ATMega 328	Dual Core LX6
Pines de E/S digitales	14	20	GPIO 34
Canales PWM	6	7	16
Canales de entrada analógica	6	8	GPIO 34
Memoria flash	16 kB	32 kB	4 MB
SRAM	1 kB	2 kB	520 kB
EEPROM	512 bytes	1 kB	Externa
Velocidad de reloj	8 MHz	16 MHz	Entre 160 - 240 MHz
Dimensiones	50 mm de diámetro	45 x 18 mm	51 x 23 mm
Serial UART	0 (Rx) 1 (Tx)	0 (Rx) 1 (Tx)	16 (Rx) 17 (Tx)
I2C	A4 (SDA) A5 (SLC)	2 (SDA) 3 (SLC)	21 (SDA) 22 (SLC)
SPI	0	1	3
Voltaje de operación	3,3 V	5 V	2,8 – 3,6 V
Voltaje de entrada	2,7 – 5,5 V	7 - 12 V	5 V
Corriente CC por pin de E/S	muy bajo	19 mA	Normal: 50 mA Deep Sleep: 20 mA

Fuente: Elaborado por el Investigador, en base a [100], [101], [102].

El software Arduino para desarrollar el código se conoce como Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado). Este permite realizar proyectos de visualización de datos, dispositivos portátiles y muchos otros usos creativos. La visualización de datos se puede efectuar a través de pantallas OLED con bajo consumo como se muestra en la tabla 13 [103].

Tabla 14. Tipos de Pantallas OLED

Características Técnicas	Pantalla OLED WAVESHARE	Shield Pantalla TFT	Pantalla OLED
			
Controlador	SSD1351	ILI9486	SSD1306
Resolución	128 x 128 px	320 x 480 px	128 x 64 px
Color	RGB	RGB	Monocromática
Dimensión	44,5 x 37 mm	72 x 52 mm	27,8 x 27,3 mm
Temperatura operación	-40 °C a + 85 °C	-30 °C a + 85 °C	-40 °C a + 85 °C
Voltaje de operación	3,3 - 5 V	3,3 - 5 V	1,65 – 3,3 V
Voltaje de entrada	3,3 - 5 V	5 V	5 V
Corriente de suministro	32 mA	150 mA	15 mA
Protocolo de comunicación	I2C, SPI	SPI	I2C, SPI

Fuente: Elaborado por el Investigador, en base a [104], [105], [106].

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implementar un sistema electrónico de monitoreo de signos vitales y geolocalización para alpinistas del Parque Nacional Cotopaxi (PNC) mediante tecnología IoT.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el alpinismo y los sistemas de monitorización utilizados para la geolocalización en el Ecuador.
- Determinar los elementos de hardware y software que conforman la arquitectura IoT del sistema electrónico para alpinistas del PNC.
- Diseñar un sistema electrónico para la adquisición de signos vitales, geolocalización y señales de emergencia frente a posibles problemas con el ascenso al volcán.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la elaboración del presente proyecto de investigación se utilizaron dispositivos como: sensor de posicionamiento, sensor signos vitales y componentes electrónicos que permiten detectar cambios del entorno físico, que permitan generar información para ser procesada por tarjetas programables con la finalidad de transmitir dicha información hacia un servidor en la nube, y así lograr el monitoreo a través de un sitio web. Esto junto con la utilización de la cobertura sigfox desplegada por la empresa WND Ecuador en lugares cercanos al Parque Nacional Cotopaxi. Finalmente se utiliza información de varios documentos relacionados con las condiciones de salud de los alpinistas en altas montañas como: tesis, artículos científicos, libros etc.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la Investigación

Modalidad Aplicada

En el proyecto se empleó Investigación Aplicada, debido a que se utilizó conocimientos adquiridos en la carrera universitaria para solucionar una problemática latente de la actualidad con el propósito de implantar un sistema de monitoreo a través de una red de área amplia de telecomunicaciones inalámbricas.

Modalidad Bibliográfica

El proyecto maneja una Investigación Bibliográfica, ya que se realizó búsquedas de información y recopilación de datos bibliográficos en documentos como, por ejemplo; tesis, artículos científicos, publicaciones en revistas y libros, de acuerdo con los temas relacionados con; las tecnologías IoT, impacto de la altitud en los signos vitales y la geolocalización, llegando a conocer y explorar fuentes que fueron útiles para el proyecto.

Modalidad de Campo

El proyecto se sustentó en una Investigación de Campo, debido a que se recopiló información y se implementó el sistema, donde se origina el problema, de acuerdo con las facilidades permitidas por agentes del Parque Nacional Cotopaxi conforme a ello se planteó una solución factible.

Modalidad experimental

El proyecto mantuvo una Investigación Experimental, debido a que en la zona del volcán Cotopaxi se realizó pruebas de conectividad con el propósito de determinar qué tan eficiente es la transmisión de información al sitio web.

2.2.2 Recolección de información

Para la recolección de información se consideró la revisión de artículos, libros, investigaciones y tesis desarrolladas en los últimos años, sobre temas de geolocalización, signos vitales y tecnologías IoT. Tomando en cuenta bases de datos confiables que permitieron el desarrollo del proyecto.

2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos

Una vez recopilada la información se discernió los datos de mayor importancia y ya realizada una investigación previa se llevó a cabo las siguientes actividades descritas a continuación:

- Análisis de la información recopilada.
- Recopilación de datos acerca del tema de investigación que brinden información técnica para la evaluación del estado salud en distintos escenarios del alpinista.
- Estudio de las alternativas de solución para la geolocalización en las altas montañas.
- Planteamiento de la propuesta de solución.
- Monitoreo y verificación de los datos adquiridos mediante la prueba y testeo del dispositivo.

2.2.4 Desarrollo del proyecto

Para cumplir con los objetivos planteados en el implemento un sistema electrónico de monitoreo de signos vitales y geolocalización para alpinistas de Parque Nacional Cotopaxi (PNC) mediante tecnología IoT se ejecutaron las siguientes actividades:

1. Análisis de las afectaciones hacia los signos vitales causadas por las condiciones extremas en las altas montañas.
2. Estudio del tiempo que pueden permanecer los alpinistas en un lugar en caso de accidentes.
3. Análisis de las condiciones físicas e indumentaria para la ascensión de una montaña.
4. Descripción detallada de los sistemas electrónicos de adquisición de signos vitales y geolocalizaciones.
5. Bosquejo de los recursos tecnológicos de red necesarios para el sistema de monitoreo.
6. Selección de los componentes electrónicos que intervendrán en la implementación del sistema.
7. Diseño del circuito de geolocalización, adquisición de bioseñales y generación de señales de emergencia.
8. Implementación del servidor y recursos para el monitoreo de la información mediante una interfaz amigable con el operador del sistema.
9. Corrección de errores en el funcionamiento del sistema electrónico.
10. Pruebas de funcionamiento y conectividad del producto.
11. Elaboración del informe final.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

La puesta en funcionamiento de un sistema de monitoreo electrónico para alpinistas en el volcán Cotopaxi, en líneas generales, permite identificar las condiciones de salud de un alpinista a través de sus signos vitales como la oxigenación de la sangre y ritmo cardíaco, además brinda la capacidad de obtener su geoposicionamiento a intervalos de tiempo, mientras cumple una ruta asignada de ascenso y descenso del volcán, dándole de esta manera la posibilidad de identificar la posición del alpinista en caso de un llamado de emergencia provocado por un accidente o deceso del usuario.

3.1.1 Análisis de Factibilidad

Factibilidad Técnica

El proyecto de investigación es técnicamente factible debido a que los elementos de utilizados tanto para hardware y software se encuentran disponibles en el mercado nacional e internacional y a través de una empresa de transporte es fácilmente llegar a adquirir los productos.

Factibilidad Económica

El proyecto de investigación es económicamente factible dentro del presupuesto que cuenta el investigador para obtener todos los elementos del prototipo y membresías de conectividad IoT, Tomado en cuenta que la cobertura de la tecnología IoT esta previamente desplegada en varias zonas de Ecuador.

Factibilidad Bibliográfica

El desarrollo del proyecto de investigación presenta información de acceso libre y gratuito, se la obtuvo gracias a libros, publicaciones tecnológicas, tesis, así como también el conocimiento adquirido a lo largo de la vida universitaria.

3.2 Desarrollo de la propuesta

3.2.1 Requerimiento del sistema

Para el desarrollo del sistema electrónico de monitoreo de signos vitales y geolocalización a través de una arquitectura IoT permitirá identificar el

posicionamiento, señales de alerta e información vital del alpinista a intervalos de tiempo predefinidos, en la ruta de ascenso y descenso al volcán Cotopaxi, para ello se especifica los siguientes requerimientos:

- Adquirir signos vitales como el ritmo cardiaco de un deportista a intervalos de tiempo de 1 minuto.
- Adquirir oxigenación de la sangre como otro de los signos vitales a través de bioseñales inducidas al cuerpo humano a intervalos de tiempo de 1 minuto.
- Geolocalizar al alpinista durante la ruta del volcán Cotopaxi en tiempo real.
- Determinar una señal de alerta en caso de accidente y comunicar las distintas etapas de una arquitectura IoT.
- Incorporar botones que permitan la navegación en la interfaz del prototipo para visualizar la información en tiempo real.
- Establecer un sistema de almacenamiento de energía en baterías para el funcionamiento de la parte física-inalámbrica que llevara el alpinista durante la ruta.
- Almacenar y procesar la información en un servicio de informática en la nube.
- Visualizar la información en una interfaz web de la ruta cubierta por el alpinista mediante geoposicionamiento al ascender y descender de la cima, al igual que sus condiciones de salud a intervalos de tiempo de 12 minutos.

3.2.2 Diagrama en bloques del sistema de monitoreo

El diagrama en bloques del sistema de monitoreo de la figura 20 se conforma de cuatro etapas esenciales para el almacenamiento y procesamiento de la información. La primera etapa tiene como función principal la adquisición y determinación de datos a través de distintos sensores de geoposicionamiento, ritmo cardiaco (RC), oxigenación de la sangre (SpO2) y alertas. La segunda etapa es responsable de mantener una comunicación para enviar los datos recibidos de los sensores en el microcontrolador hacia el módulo de transmisión IoT a fin de realizar una comunicación directa hacia la red IoT. La tercera etapa es la encargada de almacenar la información recibida en el Backend de la tecnología IoT para ser procesada en un servidor. Finalmente, en la cuarta y última etapa se desarrolla una interfaz de usuario con la intención de revelar los datos en distintos elementos como gráficas, tablas o

mapas en un tiempo determinado no muy distante de la realidad y presentarlas en un sitio web, a fin de que el operador del sistema tenga conocimiento de las condiciones de salud del alpinista en la ruta, además de contar con la posibilidad de notificar al operador un pedido de ayuda para que se efectúen las acciones de rescate necesarias.

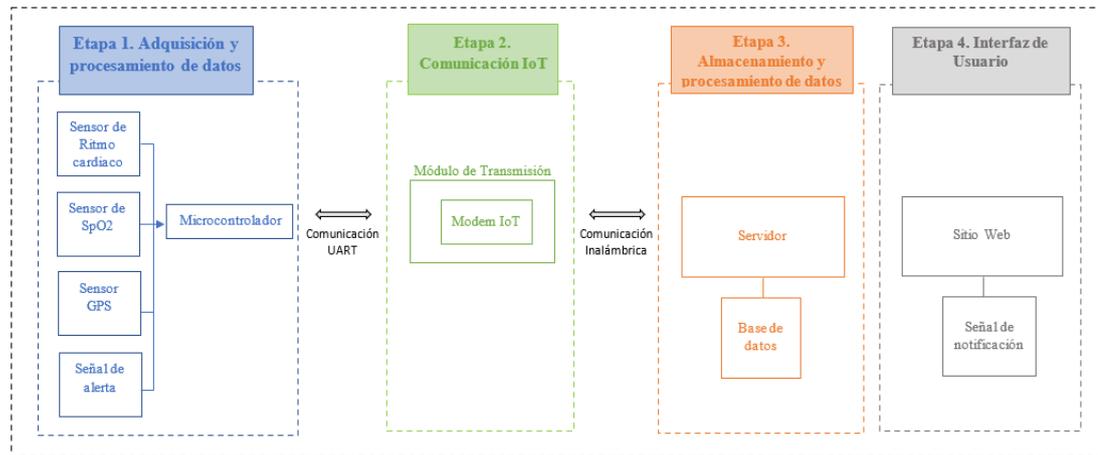


Figura 20. Diagrama en bloques del sistema electrónico.

Elaborado por el investigador

3.2.3 Análisis de los dispositivos

Los dispositivos de adquisición de signos vitales y geolocalización actualmente en el Ecuador son de uso libre con una homologación emitida por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), donde un dispositivo electrónico terminal para poder operar en todas las redes públicas de Telecomunicaciones debe cumplir el proceso de homologación y certificación, como lo indica el artículo 86 de homologación y certificación de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones a fin de evitar daños a la red, prevenir interferencias dañinas y proteger los derechos de los usuarios y proveedores de servicios a nivel nacional.

Por ende, existen diversos dispositivos importados en el mercado ecuatoriano que brindan las características para la adquisición de información vital del cuerpo humano y determinación de la posición geográfica de las personas en general o deportistas de distintas disciplinas deportivas como el crossfit, fitness, alpinismo, montañismo, senderismo etc. como se muestra en la tabla 8. [107]

Tabla 15. Dispositivo para la adquisición de signos vitales y geolocalización

	TicWatch S2	Vivoactive 4 S	Samsun Galaxy Watch 4	Suunto 7
Características Técnicas				
Dimensiones (mm)	46,6x51,8x12,9mm	40x40x12,7mm	44,4x43,3x9,8mm	50x50x15,3mm
Pantalla	1,39 in AMOLED	1,1 in	1,2 in. Super AMOLED	1,3 in
Píxeles	400 x 400	218 × 218	396 x 396	454 × 454
Conectividad	Bluetooth v4,1 Wifi 802,11	Bluetooth v4,1 Wifi 802,11 b/g/n	HSPA LTE Bluetooth 5,0 LE Wifi 802,11	Bluetooth Wifi Voz sobre IP LE NFC
Almacenamiento	4 GB	1 GB	16 GB	1 GB
Memoria RAM	512 MB		1,5 GB	8 GB
Capacidad de Batería	415 mA.	410 mA.	247 mA.	450 mA.
Duración	48 horas	Modo Smart: 8 días	31 horas	18 horas
Voltaje de Carga	5V / 700 mA	5V / 500 mA.	5V / >150 mA	5V / 1000 mAh
Caja del reloj	Policarbonato	Polímero reforzado	Acero inoxidable	Acero inoxidable

Fuente: Elaborado por el Investigador, en base a [108], [109], [110], [111]

Existen distintos dispositivos de adquisición de signos vitales y geolocalización también conocidos como smartwatch para distintas actividades; sin embargo, el dispositivo TicWatch S2 comparado respecto de otros dispositivos con similares características brinda ciertas particularidades necesarias a tomar en cuenta, de acuerdo a los requerimientos del proyecto de investigación como: Las dimensiones de 46,6 mm x 51,8 mm x 12,9mm se encuentra dentro del estándar para un dispositivo de muñeca y, con respecto al prototipo de investigación será necesario para una implementación adecuada de los sensores, la pantalla de tamaño de 1,39 in podría ser útil para la representación de cualquier tipo de información del dispositivo; sin embargo, el uso de una pantalla para un prototipo de investigación podría ser menor ya que la cantidad de información gráfica no será abundante tomando en cuenta que los píxeles del dispositivo presentan una resolución de 400 x 400 debido a ser un producto de alta gama, lo que se debería tener presente para la implementación del prototipo. La conectividad del dispositivo TicWatch S2 es fundamental para compartir la información, dejando de lado a tecnologías de

conectividad que talvez no se lleguen a utilizar en los otros dispositivos y finalmente la batería tiene una capacidad de 415 mA que es suficiente para una duración de 48 horas, algo razonables que puede cumplir con los requerimientos del sistema sin problema.

3.2.4 Selección de los elementos hardware

La selección de los elementos de hardware para el desarrollo del prototipo se encuentra contenido dentro de las dos primeras etapas del diagrama de bloques empleado en la anterior figura 20, por lo cual se realiza una elección metódica en base a sus parámetros técnicos con el propósito de determinar el dispositivo que brinde mayores facilidades para la implementación del prototipo.

3.2.5 Elementos hardware para la Etapa 1

Sensor de Ritmo Cardíaco y Pulsioximetría

El sensor de ritmo cardíaco es el módulo electrónico que va a poder obtener una lectura del ritmo cardíaco o pulsaciones del corazón durante un minuto, mientras que el sensor de pulsioximetría es el módulo electrónico encargado de captar el nivel de concentración de oxigenación en la sangre de manera no invasiva. Este sensor debe captar la información mediante su colocación en la muñeca del usuario, logrando así almacenar la información en diferentes variables dentro de una tarjeta electrónica de tal manera que se pueda manipular esta información para determinar condiciones de peligro o deceso del individuo. Las características de este sensor deben estar prestas a considerar las condiciones del ambiente al que estará sometido el individuo, ya que no deberá sufrir alteraciones en el sensor por cambios de ambiente. En la tabla 8 que se muestra anteriormente se detallan varios tipos de sensores que podrían ser utilizados por sus características técnicas favorables para el prototipo. Al analizar todas las características técnicas de los sensores ópticos disponibles en el mercado y evaluar su adaptabilidad al prototipo, se han seleccionado en función de su evolución en distintos entornos de uso; por ende, las exigencias del entorno y las condiciones ergonómicas del prototipo excluyen algunos de ellos para la aplicación prevista.

El sensor MIKOE3012 también conocido como Heart Rate 6 Click es un dispositivo comúnmente utilizado para medir el gasto cardíaco o volumen de sangre eyectado desde el corazón cada minuto, además de ser un dispositivo voluminoso no apto para

la aplicación a efectuarse en la muñeca de una persona. El SEN-15219 es un dispositivo de tamaño considerable para el uso del prototipo pero su microelectrónica se conforma de chips como el MAX23664 y MAX30101, por lo que tiene una corriente de consumo de 100 mA por cada análisis que se realiza, por ende al ser un prototipo para una extremidad superior del cuerpo humano se considera su consumo de batería medianamente excedente. El sensor MAX30100 cuenta con dimensiones y consumo de corriente adecuados a los requerimientos del prototipo, y tiene la capacidad de capturar hasta 1000 muestras de señales de lectura, lo que proporciona una precisión del $\pm 5\%$. Sin embargo, en comparación con otros dispositivos, esta precisión puede considerarse desfavorable en el análisis de signos vitales.

La elección final corresponde a un dispositivo que cumpla con la mayor cantidad de requerimientos para el buen desarrollo e implementación del prototipo, siendo así el sensor Max30102 que se muestra en la figura 21, uno de los sensores que brinda la mayor cantidad de características técnicas y ergonómicas.

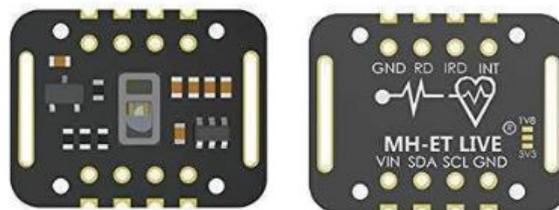


Figura 21. Sensor Max30102 [61]

Este sensor óptico es un módulo completo para la solución de sistemas de censado de frecuencia cardíaca y oximetría de pulso diseñado en base a los exigentes requisitos que presenta los dispositivos portátiles. El dispositivo mantiene un tamaño de solución muy pequeño sin sacrificar el rendimiento óptico o eléctrico. Se requieren componentes de hardware externos mínimos para la integración en un sistema portátil. El subsistema SpO2 del MAX30102 cuenta con un control automático de luz (ACL) que permite compensar automáticamente las variaciones en la intensidad luminosa. Además, cuenta con un convertidor analógico digital (ADC) de sobre muestreo de tiempo continuo, con una resolución de 18 bits y una velocidad de salida de datos del ADC programable desde 50 hasta 3200 muestras por segundo, con una frecuencia de muestreo de 10,24 MHz, lo que hace del dispositivo robusto y óptimo para la integración del prototipo.

Sensor GPS

El uso de un sensor GPS que integra un receptor de un sistema de posicionamiento global son dispositivos utilizados en la atmósfera planetaria para obtener posiciones geográficas en tiempo real. Este sensor a través de una antena y la técnica de trilateración de satélites logra determinar la posición de un objeto mediante coordenadas de latitud y longitud. Además, los receptores utilizan alrededor de 20 o más satélites en órbita; sin embargo, como mínimo siempre deben contar con al menos tres satélites para el geoposicionamiento y un cuarto satélite para determinar la altitud del receptor desde cualquier punto de la tierra en todo momento.

Las señales de los satélites de GPS se transmiten a diferentes frecuencias hacia el receptor, es por lo que mientras más frecuencias de los sistemas de navegación utilice el receptor GPS será más preciso. Para poder utilizar un receptor GPS, es necesario que admita la salida de sentencias del protocolo NMEA. Este protocolo es un estándar de especificación de datos que permite la comunicación del receptor con los satélites en órbita para adquirir información sobre la ubicación geográfica, como altura, latitud, longitud etc. La información se obtiene a través de la lectura de sentencias específicas en los mensajes NMEA.

Actualmente, se ha implementado varios sistemas de navegación por satélite, no obstante, el determinar la posición más precisa de un objeto dependerá de las condiciones y características técnicas con las que cuenta dicho receptor, es por ello que en la tabla 7 presentada anteriormente se detalla algunos tipos de receptores GPS con protocolo de comunicación NMEA que posibilitan el desarrollo del prototipo.

Para la implantación del presente proyecto de investigación se cuenta con varios dispositivos receptores de GPS que son capaces de recibir una señal de navegación GPS transmitida desde los satélites, por consiguiente, dado las características técnicas y particularidades se optó por utilizar el sensor GPS Skylab Skm53 de la figura 22.



Figura 22. Sensor GPS Skylab Skm53 [54]

El sensor GPS Skylab Skm53 cuenta con dimensiones medianamente reducidas de 30 x 20 milímetros además de integrar su antena al módulo evitando ocupar un espacio innecesario como el dispositivo GY-NEO6MV2. El dispositivo U-BLOX NEO-7M es un módulo GPS que puede integrar una antena externa para obtener una mayor precisión de la posición del receptor; sin embargo, se descarta porque es un módulo muy robusto no apto para la muñeca de una persona.

El sensor BN-180 es un dispositivo que tiene un tiempo de adquisición más inmediato respecto de los otros dispositivos, cuenta con un mayor número de bandas de operación y su número de canales de búsqueda es mayor, a pesar de ello su microelectrónica consume 5 mA más que el Skylab Skm53, lo que implica un mayor desgaste en el suministro de energía, por ende el sensor GPS Skylab Skm53 es la mejor opción para la implementación, tendiendo en sus características 66 canales de búsqueda que le permite a su receptor detectar una señal procedente de un satélite, sintonizarlo y seguirlo con una sensibilidad de 165dBm continuamente. Finalmente, este dispositivo tiene una variación de posición a través de sus coordenadas de 3m, lo que en un área rural como el volcán Cotopaxi implicará una pequeña variación del objeto de su posición real que no será un mayor problema para el prototipo.

Señal de alerta

El uso de una señal de alerta en el prototipo a implementar tiene la función de notificar cualquier situación de peligro o accidente fortuito que pudiera presentarse durante el ascenso y descenso del volcán Cotopaxi similar a un botón de pánico, de tal manera que se pueda alertar al centro de seguridad ciudadana para que pueda coordinar equipos de rescate que puedan acudir al lugar de los hechos. Debido a que una señal de alerta puede emitirse a través de un pulso lógico uno o cero mediante programación o de manera física con un dispositivo llamado pulsador mecánico que

actúa como un interruptor, se ha optado por utilizar el Mini interruptor PCB de la figura 23 con enclavamiento o función de bloqueo, es decir, que se queda en su posición "presionada" hasta que se pulsan nuevamente para ser liberado.



Figura 23. Mini interruptor N/C [112]

Este dispositivo eléctrico tiene un funcionamiento simple y es fácil de manipular, ya que cuenta con dos estados que cambian con cada pulsación quedando enclavado en el estado hasta que se lo vuelva a pulsar. Esta característica de enclavamiento brinda la facilidad de determinar si la medida de alerta fue accionada o no, en caso de ser accionada de manera imprudente se tendría en cuenta que volviendo a presionar el interruptor se logrará evitar un envío de señal de alerta falsa.

Placa electrónica programable

La placa electrónica programable es la encargada de procesar la información del sistema, donde recibe los datos de parte de los sensores de SpO2, RC, GPS y señal de alerta, los procesa y obtiene la información útil para el usuario. Los módulos preseleccionados descritos anteriormente en la tabla 11 para este sistema están basados en el tamaño adecuado para un dispositivo wereable portátil y en el lenguaje de programación C++, que tiene la posibilidad de compilar el código en el entorno de desarrollo integrado de Arduino (Arduino IDE); este además de ser un software libre que permita la integración de diferentes módulos, sensores o Shields.



Figura 24. Tarjeta programable Esp32 [100]

Luego de reconocer cada una de las características de las diferentes placas electrónicas programables se seleccionó la ESP32 de la figura 24, debido a que este

módulo es una placa de desarrollo que brinda muchas facilidades de hardware como los son sus 34 pines GPIO que nos permite la integración de los diferentes sensores del prototipo; sin embargo, uno de las características más relevantes que obliga a elegir este dispositivo es la capacidad de su memoria flash de 4MB, la cual es la encargada del almacenamiento del programa. Esta característica es indispensable puesto que el conjunto de todas las librerías de los módulos sensores y el código a realizar utilizan un espacio considerable que no permite compilar el programa dentro de los demás dispositivos de desarrollo, a causa de su espacio de almacenamiento de programa o memoria flash que es aproximadamente el 0,80 % para el Arduino Nano y en 0,40% para el Arduino LilyPad respecto de la ESP32, es por ello que sin duda es esta una gran ventaja que ofrece el módulo esp32. Para la comunicación, el módulo tiene varios protocolos como SPI, I2C, UART, lo que permite un gran alcance con diferentes tecnologías a través de Shields diseñadas para la integración con Arduino.

Pantalla

La integración de una pantalla en el dispositivo wearable portátil tiene como finalidad presentar al usuario la información recopilada por los sensores. De esta manera, si se produjera algún cambio brusco en sus signos vitales que pudiera acarrear complicaciones o consecuencias para su salud, el usuario podría estar alerta y tomar una decisión adecuada sobre continuar o detenerse en la ruta del volcán Cotopaxi. De este modo, se evita un sobreesfuerzo innecesario del cuerpo humano y se protege la salud del alpinista, previniendo que sus condiciones empeoren. Para ello se toma en consideración la tabla 13 descrita anteriormente con los tipos de pantallas de bajo consumo energético.



Figura 25. Pantalla oled de 0,96 pulgadas [105]

Una vez examinado las características técnicas más aptas para nuestro prototipo se seleccionó la pantalla oled de 0,96 pulgadas de la anterior figura 25 monocromática que tiene un consumo energético de 15 mA, comunicación I2C e SPI, y una resolución de 128 x 54 pixeles suficientes para la presentación de datos del prototipo.

3.2.6 Elementos hardware para la Etapa 2

Previo a la selección de hardware para la etapa 2 de sistema de monitoreo se procede a definir la comunicación inalámbrica IoT que permitirá la conectividad de nuestro dispositivo portátil con la etapa 3. Esta comunicación debe ser eficiente y estable para evitar la alteración de los datos enviados y recibidos, logrando cumplir las exigencia y condiciones a la que será sometido el prototipo como; tipo de ambiente, extensión rural y cobertura en la zona.

Comunicación Inalámbrica IoT

Para desarrollar este proyecto de investigación, se han empleado tecnologías de comunicación IoT basadas en redes LPWAN. Estas redes, diseñadas para áreas amplias y de baja potencia, resultan especialmente adecuadas para el extenso terreno rural que caracteriza la ruta de ascenso y descenso del volcán Cotopaxi en el Parque Nacional Cotopaxi. Existen tres tecnologías principales en el mercado que compiten por la implementación de IoT a gran escala y cumplen esta necesidad, como son: LoRa, Sigfox y NB-IoT cada una de estas tecnologías presentan ciertas ventajas como se puede observar en la figura 26.

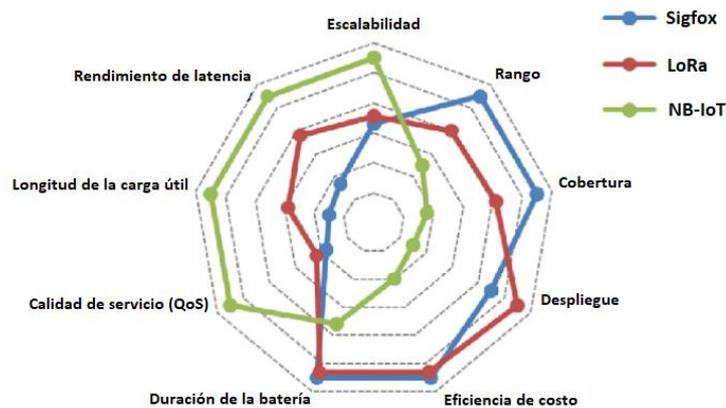


Figura 26. Ventajas respectivas de Sigfox, LoRa y NB-IoT en términos de factores de IoT [113]

En la figura 26 NB-IoT es altamente escalable, tiene una baja latencia junto con una longitud de carga útil más grande que las demás redes y finalmente cuenta con una buena calidad de servicio; es decir, no le afecta las interferencias por lo mismo que está operando en bandas licenciadas que son exclusivas para el operador. También se logra observar que Sigfox tiene un mayor rango o alcance; además, de tener una mayor cobertura, su costo es más eficiente y la duración de batería es más larga,

ligeramente superior a Lora. NB-IoT al ser una tecnología más nueva y que recién se está implantando aún está en proceso de despliegue, tiene menos cobertura que las otras tecnologías. Por otro lado, LoRa tiene una mayor longitud de datos con respecto a Sigfox, siendo el despliegue de LoRa superior al de Sigfox y NB-IoT.

Las demandas de las aplicaciones IoT a través de los años han impulsado el surgimiento de estas nuevas tecnologías de comunicación inalámbrica, es por ello que LPWAN se está volviendo cada vez más popular en el desarrollo de las telecomunicaciones debido a sus características de comunicación de bajo consumo, largo alcance y bajo costo. Para la elección de una de las tecnologías de comunicación IoT se tomó en cuenta las ventajas que pudiesen presentar una tecnología de otra basado en la anterior figura 26. Además de las anteriores características técnicas de la tabla 12 donde se considera que el sistema de monitoreo a implementar en el PNC debe solventar cobertura en una gran área geográfica y la duración de la batería del prototipo debe ser prolongada. Se ha optado por utilizar Sigfox ante LoRa e NB-IoT ya que Sigfox presenta un rango de cobertura de 10 km en un área urbana, y de 40 km en zonas rurales siendo la única tecnología en cubrir un 70% del área geográfica que representa el volcán Cotopaxi en el PNC a través de estaciones bases aledañas al lugar como se muestra en la siguiente figura 27.

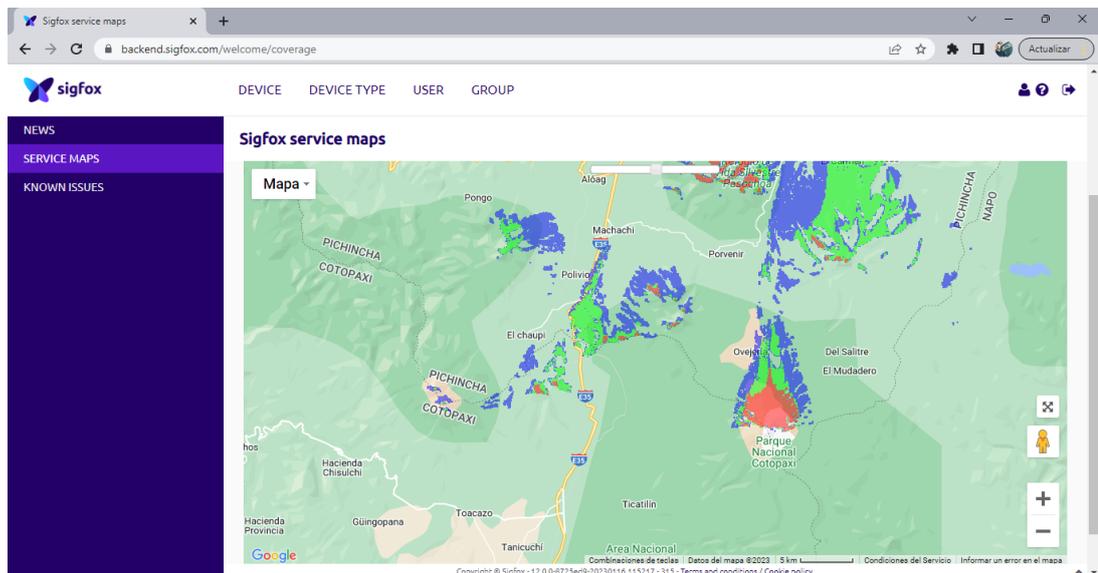


Figura 27. Mapa de cobertura sigfox entre Cotopaxi y Pichincha

Elaborado por el investigador.

Sin embargo, Sigfox tiene sus limitaciones como la capacidad de 140 mensajes en el enlace ascendente y 4 mensajes en el enlace descendente por día, su comunicación es Half-duplex o bidireccional pero no se realiza de manera simultánea. Finalmente, la longitud de carga útil en los mensajes de enlace ascendente es de 12 bytes, mientras que en los mensajes de enlace descendente es de 8 bytes. Aunque esta cantidad puede considerarse moderada, es suficiente para cumplir con las exigencias de transferencia de datos en este sistema de monitoreo poco convencional, logrando un rendimiento óptimo dado que la cantidad de información a transmitir es reducida.

Módulo de comunicación inalámbrica IoT

Una vez definida la tecnología de comunicación IoT se procede con la selección del módulo de comunicación inalámbrica IoT, el cual permitirá la comunicación entre la placa electrónica ESP32 que se encuentra integrada en el prototipo portátil y las estaciones base de la red de área amplia de baja potencia (LPWAN) pertenecientes a Sigfox. Con la finalidad de transmitir los datos del usuario teniendo como una característica importante las dimensiones del dispositivo debido al espacio reducido que presenta el prototipo. Por ende, en base al cuadro comparativo de los módulos de transmisión sigfox presentados anteriormente en la tabla 11 donde se presentan módulos como el LPWAN SigFOX node e IOTEAM que trabajan en regiones RC1 útiles en Europa, Francia de ultramar, Medio Oriente y RC2 que es útil en países como Brasil, Canadá, México, Puerto Rico, Estados Unidos.

Luego de analizar todas las características de cada uno de los módulos de comunicación IoT se toma en cuenta que Sigfox es una tecnología en desarrollo y al no presentar muchos módulos para el despliegue de dispositivos finales y los pocos que se puede encontrar en el mercado están destinados por regiones de radiofrecuencia. Es por ello que tras la investigación previa del marco teórico, Ecuador se encuentra en la región de radiofrecuencia número 4 o RC4 con un uso determinadas de frecuencias. Lo que no hace posible la utilidad de los módulos LPWAN SigFOX node e IOTEAM en el territorio ecuatoriano, por tal motivo se optó por el módulo TinyFox que se muestra en la figura 28, que al igual que iBLio i7816, pueden trabajar en las regiones RC4, pero TinyFox tiene dimensiones y características más acordes a la implementación del prototipo a más de ser producida por una empresa latinoamericana.



Figura 28. Módulo de comunicación IoT Tinyfox [114]

3.2.7 Selección de los elementos de software

La selección de los elementos de software para el desarrollo del sistema de monitoreo se encuentra contenido dentro de las dos últimas etapas del diagrama de bloques empleado en la anterior figura 20 por lo cual se realiza una elección metódica en base a sus recursos tecnológicos con el propósito de determinar los servicios que brinden mayores facilidades para el monitoreo de la información del prototipo.

3.2.8 Elementos software para la Etapa 3

La computación en la nube es un aspecto primordial en el almacenamiento y procesamiento de datos de la etapa 3 del desarrollo del proyecto de investigación puesto que se desea administrar el sistema operativo, las bases de datos, las aplicaciones, las funciones y todos los datos que se transmiten a través de la tecnología IoT, para ello la implementación de un servidor cumple con requerimientos que se presentan de manera previa, por lo tanto de los modelos principales de computación en la nube una infraestructura como servicio (IaaS) es la mejor opción, ya que cuenta con la posibilidad de implementar servidores, conexión de redes y almacenamiento con el fin de tener más control y flexibilidad en comparación con los otros servicios a cambio de un pago o alquiler.

Las máquinas virtuales que se pueden implementar como servidor por parte de AWS y Azure comparten características similares como se mostró anteriormente en la tabla 9 cuentan con una gran variedad de sistemas operativos a instalar en la instancia que se vaya a crear, por lo tanto, se optó por trabajar con Microsoft Azure debido a la experiencia previa con esta plataforma, adquirida gracias a la formación recibida por parte de los docentes durante la carrera universitaria.

3.2.9 Elementos software para la Etapa 4

En la última etapa de creación de un sitio web, se requieren elementos de software, entre los cuales se encuentran los lenguajes de programación ya abordados con anterioridad, tales como: HTML para estructurar y presentar la página web, CSS para mejorar la apariencia del sitio, PHP para soporte de bases de datos y comunicarse con otros servicios, y JavaScript para implementar dinamismo y funcionalidad en el sitio web. Estos lenguajes de programación son esenciales para desarrollar sitios web con todas las funcionalidades necesarias.

3.3 Diseño del sistema

El diseño del sistema para el proyecto de investigación se fundamentó en una arquitectura IoT que permitirá determinar los signos vitales y el geoposicionamiento de un individuo mediante una red de área amplia de baja potencia. Se presenta en la figura 29 la arquitectura IoT una vez seleccionados los elementos de hardware y software por cada una de las cuatro etapas, como son: Adquisición y procesamiento de datos, Comunicación IoT, Almacenamiento y procesamiento de datos y Interfaz de usuario.

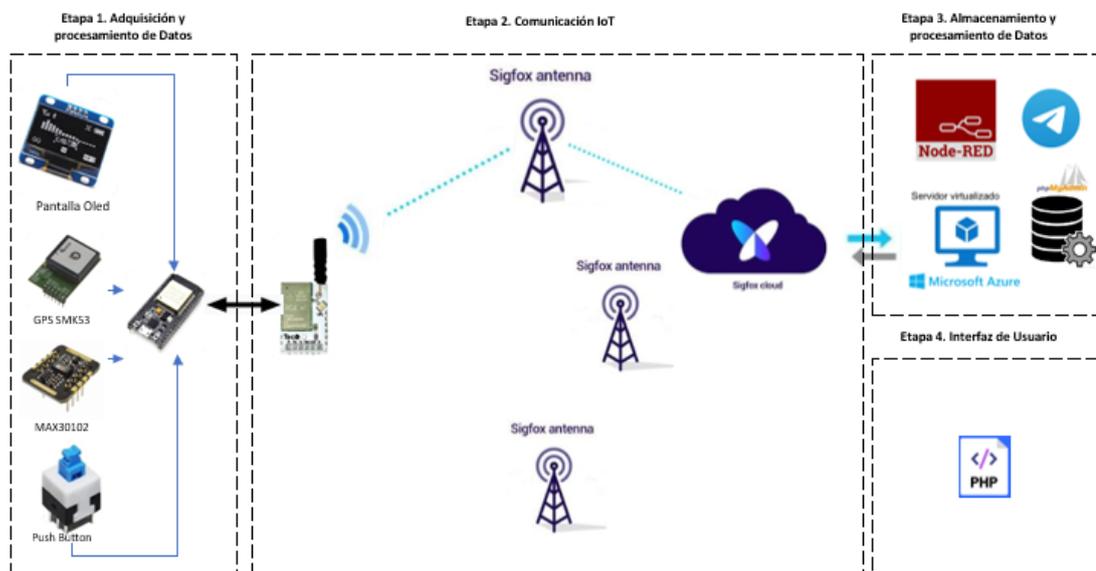


Figura 29. Diseño del Sistema

Elaborado por el investigador.

Con los elementos y tecnología definidos, la primera etapa del diseño del sistema consiste en la adquisición y procesamiento de datos para los signos vitales y

geolocalización a través de sensores, esta información es procesada en un microcontrolador ESP32, que al estar conectado mediante de UART (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal) a un adaptador de Radio Frecuencia para comunicación Sigfox basado en el módulo WiSoL SFM10R4, permite el envío de la información de manera inalámbrica a través de las bandas ISM (Bandas de radio industriales, científicas y médicas) a las estaciones bases de la tecnología IoT de Sigfox que son totalmente independientes de las redes ya existentes.

Posteriormente dicha información es presentada en el Bakend de sigfox el cual actúa como punto final de la comunicación, donde se obtiene toda la información enviada desde el modem Wisol. Esta información tiene la posibilidad de ser reenviada a través de callbacks a servicios externos que permitan el almacenamiento y procesamiento de datos como un servidor virtual de Microsoft Azure, donde se integra servicios o herramientas de desarrollo para finalmente presentar los datos en una interfaz de usuario.

3.4 Diseño e implementación del hardware para el circuito electrónico

El diseño e implementación del circuito electrónico para el prototipo requiere de dos partes esenciales: un circuito de adquisición y envío de datos, que permite la transmisión y recepción de información, y un circuito de alimentación y carga, necesario para garantizar la independencia y portabilidad del prototipo en una extremidad del cuerpo humano, tecnología también conocida como tecnología wereable, por lo que se pretende usar de manera específica en la muñeca del usuario para interactuar con la información de los signos vitales. El circuito del prototipo se presenta la siguiente figura 30.

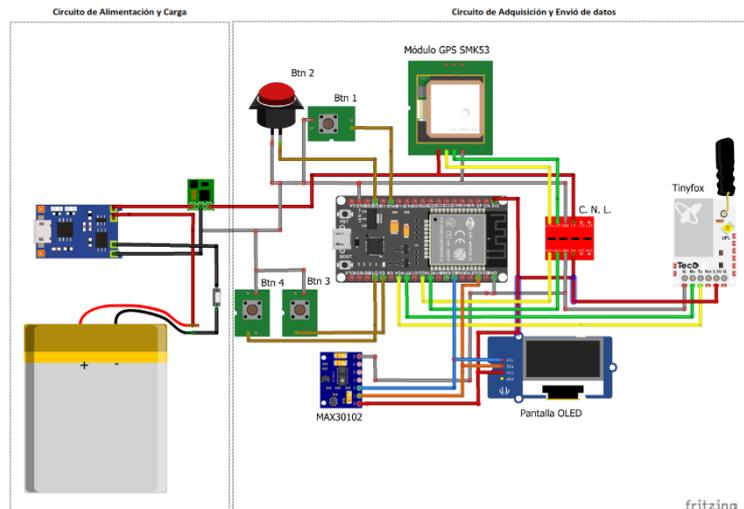


Figura 30. Diseño del circuito electrónico de signos vitales y geolocalización

Elaborado por el investigador.

3.4.1 Circuito de adquisición y envío de datos

El circuito de adquisición y envío de datos presentando en la anterior figura 30 tiene el sensor Max30102 que permite la adquisición de la oxigenación de la sangre (SpO2) y Ritmo cardiaco (RC), junto con una pantalla Oled conectado al microcontrolador Esp32 mediante protocolo I2C a los pines 21 (SDA) Y 22 (SCL). Cuenta con un sensor GPS SMK53 conectado a través de un convertidor de nivel lógico para acondicionar el voltaje hacia los pines 16 (Tx) y 17 (Rx) del UART 1. El microcontrolador procesa y envía la información a través del módulo TinyFox conectado al UART 2 a los pines 18 (Tx) y 19 (Rx). Finalmente cuenta con un push button como señal de alerta y 3 pulsadores para la navegación del menú del dispositivo que se presentará en la pantalla Oled.

3.4.2 Circuito de alimentación y carga

El circuito de alimentación y carga tiene la finalidad de suministrar corriente y voltaje para que el prototipo pueda ser utilizado durante un determinado tiempo. En caso de que la batería se agote, el circuito permita recargarla y volver a utilizar el dispositivo. Los elementos para la alimentación del circuito se utilizó una batería de litio y un regulador de voltaje MT3608 para los 5 V de entrada al microcontrolador mientras que para la carga de la batería un módulo TP4056 que cuenta con una entrada tipo USB micro para recargar la batería.

Para ello se debe determinar el consumo de corriente y voltaje por cada uno de los elementos integrados en el circuito descritos en la tabla 16 y así determinar el tiempo de duración del prototipo encendido [115].

Tabla 16. Consumo de energía de los elementos del circuito.

Elemento	Consumo de voltaje	Consumo de Corriente
MAX30102	5 V	50 mA
GPS SKM53	5 V	30 mA
Esp32	5 V	50 mA
TinyFox	3,3 V	30 mA
Pantalla Oled	1,65 – 3,3V	15 mA

Fuente: Elaborado por el investigador en base a [61], [54], [102], [88], [106].

Para determinar el tiempo de duración de una batería se lo realiza mediante la ecuación 2.

$$H = \frac{W_b}{W_c} = \frac{V_b \cdot I_b}{V_b \cdot I_c} \quad (2)$$

$$H = \frac{5v \cdot 2500mA}{5v \cdot 0,17A} = 14,7058 \text{ horas}$$

Donde:

H = Horas de duracion de bateria.

Wb = Potencia de la bateria.

Wc = Potencia Consumida.

Vb = Voltaje de bateria.

Ic = Corriente del circuito.

La ruta de travesía del volcán Cotopaxi tiene como duración en ascenso de 6 - 7 horas y descanso de 3 horas sin contar los aproximadamente 45 a 60 minutos de ingreso y los 45 a 60 minutos de salida del Parque Nacional Cotopaxi por ende la duración de la batería del prototipo mínimo debería sobrepasar las 12 horas de uso, para ello con una batería de 2500mA se podrá alcanzar un consumo de hasta 14 horas que es lo suficiente para cumplir de manera satisfactoria el recorrido al Volcán Cotopaxi.

3.4.3 PCB del circuito del prototipo

La PCB del circuito de adquisición, envío de datos, alimentación y carga donde se encuentran interconectados todos los dispositivos del prototipo es desarrollado en el software Proteus, el cual nos permite el ruteo de la PCB de manera automática. Una vez realizado el esquema del circuito como se muestra en la figura 31 integrando todos los pines de los componentes a utilizar.

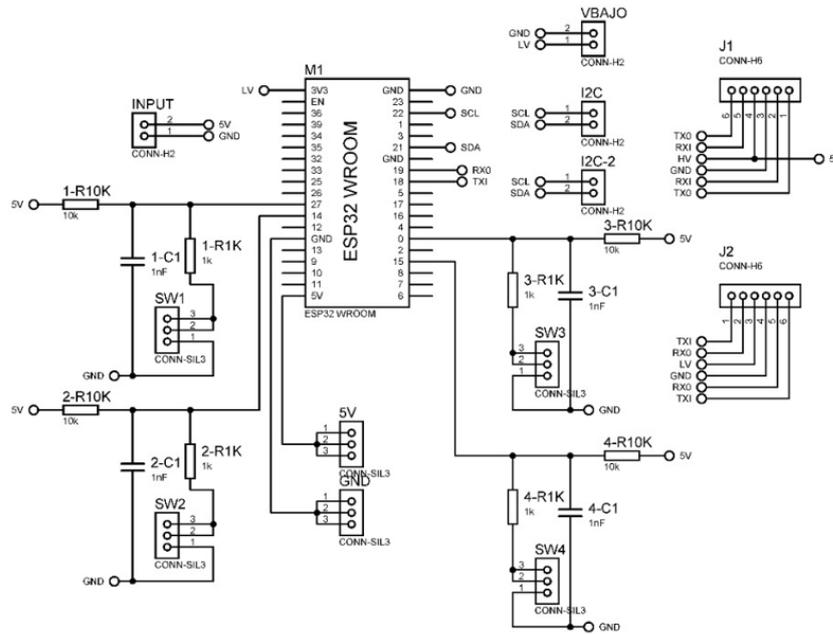


Figura 31. Esquema del Circuito PCB

Elaborado por el investigador.

Una vez integrado todo el circuito el resultado es la placa PCB en la cual se llega a soldar los distintos componentes como se muestra en la figura 32.

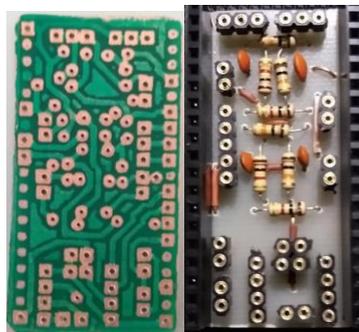


Figura 32. Circuito PCB

Elaborado por el investigador.

3.4.4 Diseño de la caja contenedora

El diseño de la caja contenedora del circuito para la implementación del prototipo, el microcontrolador, módulo de comunicación, sensores y diferentes botones que se observa en la figura 33 se la realizó en el programa SketchUp, el cual permite diseñar los orificios tanto para la pantalla, correa de sujeción y botones con el fin de realizar una impresión en 3D mediante un archivo de exportación STL.

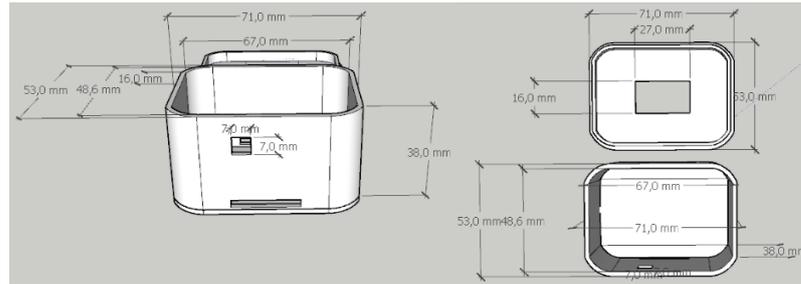


Figura 33. Diseño de caja contenedora 3D

Elaborado por el investigador.

Finalmente, al implementar el prototipo da como resultado la figura 34, en la que se puede apreciar los cuatro botones propuestos en el circuito electrónico y los demás elementos integrados en la caja contenedora, aunque a simple vista el sensor Max30102 se aprecia fuera del prototipo debido a que la lectura irregular de los signos vitales al colocarlo sobre la parte superior de la muñeca, por ende se optó por ubicar el sensor en la zona interna de la muñeca debajo de la base del pulgar, donde se encuentra la arteria radial que permite una mejor lectura de datos.



Figura 34. Implementación de los componentes en el prototipo

Elaborado por el investigador.

La colocación de este sensor en esa posición presenta un inconveniente para el desarrollo del proyecto debido a que será aplicado a deportistas que realizan alpinismo lo que implica estar en movimiento; sin embargo, tras la investigación realizada se logró encontrar una empresa del Reino Unido que fabrica correas ergoband para deportistas que permite la lectura de los signos vitales sin impedir el movimiento de la extremidad. En la figura 35 se puede observar la implementación de un guante no invasivo en los dedos del usuario que funciona como una ergobanda para evitar la interferencia de luz externa y reducir el movimiento del sensor. Esta medida se adoptó para garantizar lecturas precisas de los signos vitales y evitar valores erróneos.



Figura 35. Prototipo final

Elaborado por el investigador.

3.5 Programación

La programación en el microcontrolador Esp32 del prototipo se hizo en lenguaje de programación basado en C/C++ mediante el entorno de desarrollo de Arduino, el cual es un software de código abierto multiplataforma que permite a los usuarios escribir y cargar el código de manera fácil y efectiva mediante comunicación serial al conectar el microcontrolador al computador.

3.5.1 Funcionamiento de interfaz de la pantalla Oled

La estructura y funcionamiento de la interfaz de la pantalla Oled cuenta con un diagrama de flujo que se muestra en la figura 40 el cual inicia con la importación de librerías necesarias y variables globales para el proceso de lectura y envío de datos, luego se observa la condición para priorizar el correcto funcionamiento del sensor Max30102 de los signos vitales al iniciar el programa, además de presentar el

logotipo del prototipo como se muestra en la figura 36 a continuación se describirán las pantallas y las acciones con cada uno de los botones en ejecución:



Figura 36. Logotipo de inicio del prototipo

Elaborado por el investigador.

Pantalla de Ingreso

La pantalla de inicio que se muestra en la figura 37 presenta la hora y minutos de ingreso al Parque Nacional Cotopaxi, los cuales se asignan al dispositivo con el propósito de tomar en cuenta el tiempo actual para el envío de información durante el resto del día, es por ello que se optó por efectuar las acciones a través de dos botones (Botón Ingreso 1 y Botón Ingreso 2, estos al ser presionados de manera simultánea durante 10 segundos entran en modo “edición”.

Para realizar cambios en la hora se asignó al botón ingreso 1, este al ser presionado ejecuta flancos de bajada activando un contador ascendente que determina la hora con el sistema horario de 24 horas, mientras que los minutos son asignados de la misma forma, pero con el botón de ingreso 2. Una vez asignada la hora de ingreso se retorna al modo “no edición” al presionar una vez más los dos botones de manera simultánea durante 10 segundos. Finalmente, para guardar la información ingresada se procede a accionar el botón seleccionar que muestra un pequeño mensaje de registro exitoso.



Figura 37. Pantalla de registro de hora de ingreso

Elaborado por el investigador.

Pantalla principal

La pantalla principal aparecerá de manera automática cuando ya se registra la hora de ingreso, esta pantalla presenta en la parte superior un reloj digital y en la parte final los kilómetros por hora o velocidad a la que se está moviendo el dispositivo obtenido a través de la conexión GPS; además, se encuentra los parámetros de lectura como saturación de oxígeno (SpO2), ritmo cardiaco (RC) del sensor MAX30102 como se muestra en la figura 38.



Figura 38. Parámetros de lectura de la pantalla Principal

Elaborado por el investigador.

Pantalla de Geoposicionamiento

La pantalla de geoposicionamiento que se presenta en la figura 39 muestra la información de coordenadas como latitud, longitud y los metros sobre el nivel del mar que se encuentra el dispositivo. Esta pantalla se la obtiene al presionar el botón seleccionar.



Figura 39. Parámetros de lectura de la geolocalización

Elaborado por el investigador.

Finalmente, la navegación entre pantallas ocurre al presionar el botón seleccionar; es decir, una vez presionado el botón seleccionar se cambia a la pantalla de geoposicionamiento, al volver a presionar el botón seleccionar regresa a la pantalla principal y así de manera alternada cada vez que se llegue a presionar el botón seleccionar.

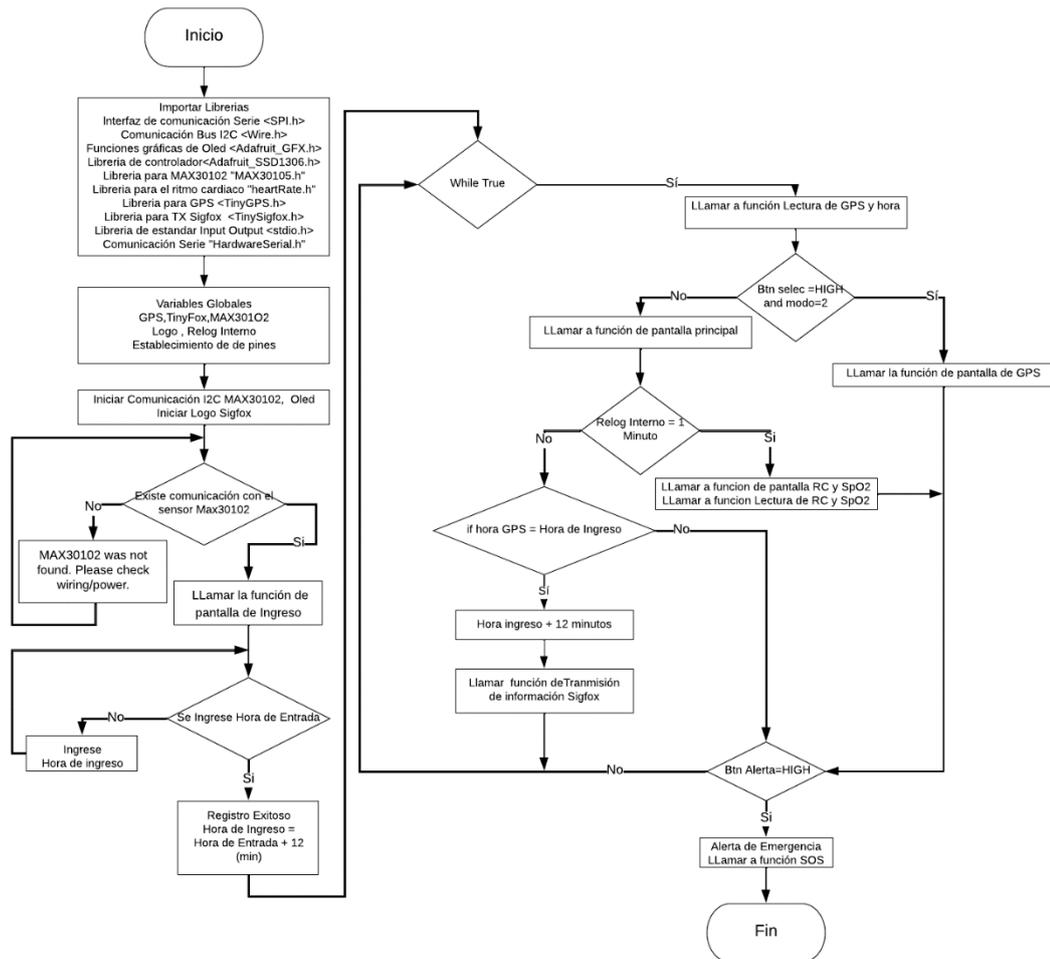


Figura 40. Diagrama de flujo del programa principal para pantalla Oled
Elaborado por el Investigador.

3.5.2 Alerta de emergencia y pantalla de envío de información

La pantalla de envío de alerta de emergencia es una función fuera del programa principal que cuenta el diagrama de flujo de la figura 41 Donde inicialmente muestra un mensaje de envío de alerta al presionar el botón de emergencia, pero debido a su mecanismo el botón permanece enclavado en el estado hasta que se lo vuelva a pulsar, por esta razón se optó por presentar de manera alternada la pantalla principal,

geoposicionamiento y alerta con el fin de mantener informado al usuario de lo que está sucediendo con la otra información mientras se envía la alerta al sistema de monitoreo.

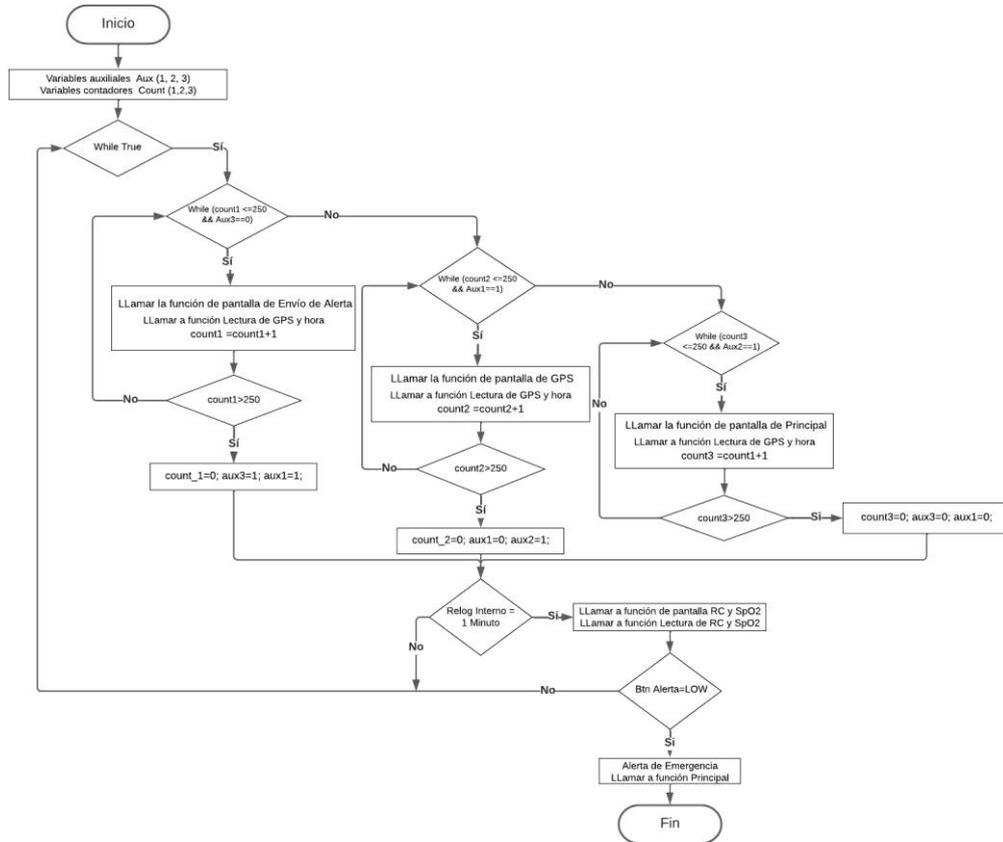


Figura 41. Diagrama de flujo de emergencia y pantalla Oled
Elaborado por el Investigador.

La información del diagrama de flujo se actualiza en cada ciclo repetitivo para lograr obtener una duración de 10 segundos en cada pantalla hasta que el usuario vuelva a presionar el botón de alerta de emergencia y se detenga en la pantalla principal.

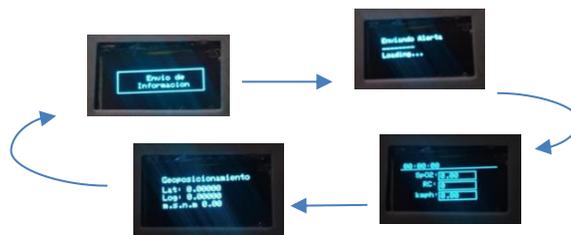


Figura 42. Pantalla de envío de información emergente.
Elaborado por el investigador.

3.5.3 Sensor MAX30102

El sensor Max30102 es el encargado de realizar la lectura de los signos vitales como saturación de oxígeno en la sangre y ritmo cardiaco a través de la pulsioximetría óptica, para ello se creó una función que realiza la lectura de los signos vitales del alpinista de manera periódica, la cual puede ser llamada a intervalos regulares. El diagrama de flujo que representa el proceso se muestra en la figura 43.

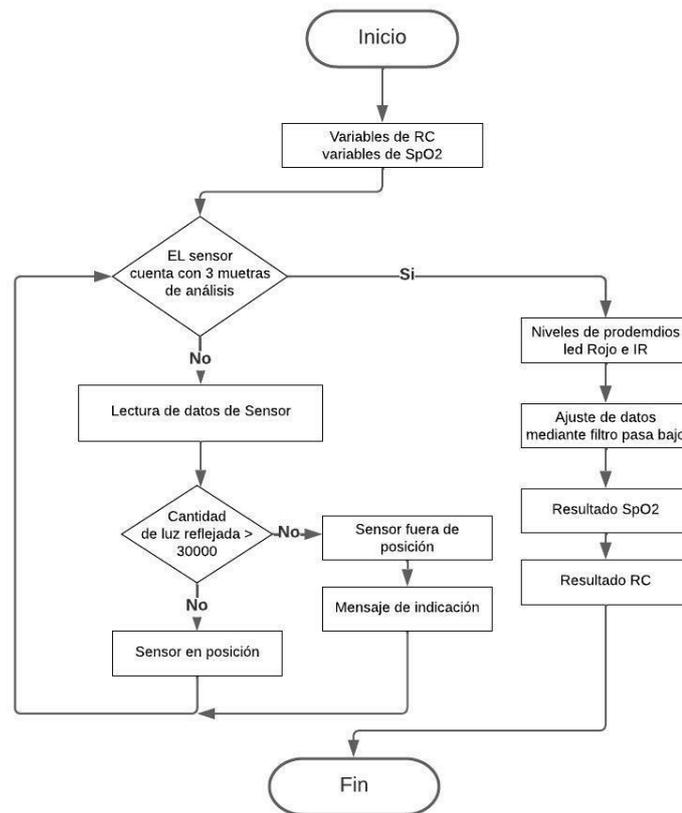


Figura 43. Diagrama de flujo del sensor Max30102

Elaborado por el Investigador.

3.5.4 Acondicionamiento de los valores Max30102

La lectura inicial para el acondicionamiento de los valores del sensor Max30102 se realiza con respecto a un dispositivo comercial, como lo es el pulsioxímetro de modelo KI-100 de la empresa K&L, que indica la lectura de la saturación de oxígeno en la sangre (SpO2) y ritmo cardiaco (RC) a través del dedo índice del usuario, mientras que la lectura del sensor Max30102 se ubica en la parte superior de la

muñeca donde se encuentra de manera usual los sensores de un reloj inteligente casual o deportivo como se muestra en la figura 44.

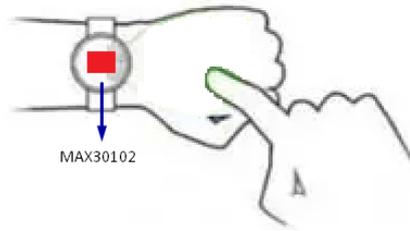


Figura 44. Posición del sensor Max30102 para a lectura inicial de datos [116]

Las condiciones del usuario para las lecturas a través del sensor Max30102 y el pulsioxímetro comercial KI-100 son las siguientes:

- Reposo de 5 minutos previo a la medición.
- Lectura durante un tiempo estimado de 30 minutos.
- Recolección de datos a intervalos de tiempo de 1 minuto.

Tanto el sensor Max30102 y el oxímetro KL -100 realizan el proceso de lectura a través de la tecnología de espectroscopía de luz, el cual es un método científico empleado para analizar cómo la luz interacciona con la materia, midiendo la cantidad la intensidad de la luz que se absorbe, refleja o transmite un material en diferentes longitudes de onda. Este es un método no invasivo para determinar el porcentaje de saturación de oxígeno de la sangre. El funcionamiento de esto se fundamenta en que la hemoglobina (Hb) y la hemoglobina oxigenada (HbO₂) tienen diferentes índices de absorción de luz para diversas longitudes de onda. La sangre rica en oxígeno tiene una mayor capacidad de absorción de luz infrarroja, mientras que la sangre con poco oxígeno absorbe más luz roja. En zonas del cuerpo donde la piel es delgada y permiten el paso de los vasos sanguíneos, se puede aprovechar esta disparidad para medir el nivel de saturación.

Este método de lectura puede ofrecer mediciones sin invasión y rápidas de la saturación de oxígeno en la sangre del usuario, lo que posibilita la alerta temprana de alguna anomalía.

La Tabla 18 presenta las siguientes lecturas empíricas del sensor Max30102 y el Pulsioxímetro KI-100.

Tabla 17. Lectura inicial de la saturación de oxígeno y ritmo cardiaco

Núm. Prueba	Muñeca parte superior		Pulsioxímetro K&I	
	SpO2 Empírico	RC Empírico	SpO2 Real	RC Real
1	80,47	60	95	60
2	100	53	96	60
3	81,15	39	95	58
4	85,4	54	96	60
5	83,56	53	96	60
6	75,52	57	96	55
7	75,00	46	96	60
8	72,15	55	97	60
9	72,86	42	94	63
10	73,30	48	95	60
11	75,53	28	95	60
12	88,89	29	94	60
13	71,70	59	95	63
14	94,83	54	95	60
15	71,89	47	94	60
16	82,48	79	97	58
17	58,34	79	98	59
18	71,96	52	95	58
19	58,00	63	98	60
20	64,46	53	98	59
21	71,87	43	98	60
22	56,47	63	96	60
23	54,03	43	94	65
24	51,39	43	95	60
25	53,52	59	98	58
26	71,11	92	95	60
27	67,76	56	94	59
28	68,78	74	95	58
29	63,86	92	96	68
30	72,92	63	96	65
PROMEDIO:	72,31	55,93	95,73	60,20

Fuente: Elaborado por el investigador.

La información que se obtiene de las lecturas presenta una variación significativa en los datos, por ende, se procede a obtener el error relativo porcentual de las mediciones mediante la ecuación 3. [117].

$$\text{Error relativo porcentual} = \left(\frac{|\text{Valor Aproximado} - \text{Valor real}|}{\text{Valor real}} * 100 \right) \quad (3)$$

$$\text{Error relativo porcentual}_{(\text{SpO}_2)} = \left(\frac{|72,31 - 95,73|}{95,73} * 100 \right) = \pm 32,40 \%$$

Después de realizar las mediciones y pruebas correspondientes, se obtuvieron los valores reales y aproximados de los signos vitales a través del pulsioxímetro KI-100 y el sensor max30102. Los valores reales se obtuvieron a partir del promedio de los valores del pulsioxímetro KI-100, mientras que los valores aproximados se obtuvieron a partir del promedio de las lecturas del sensor max30102 tanto para SpO2 y RC. Los resultados mostraron que el error relativo porcentual para SpO2 fue de $\pm 32,40$ y para RC fue de $\pm 7,63$.

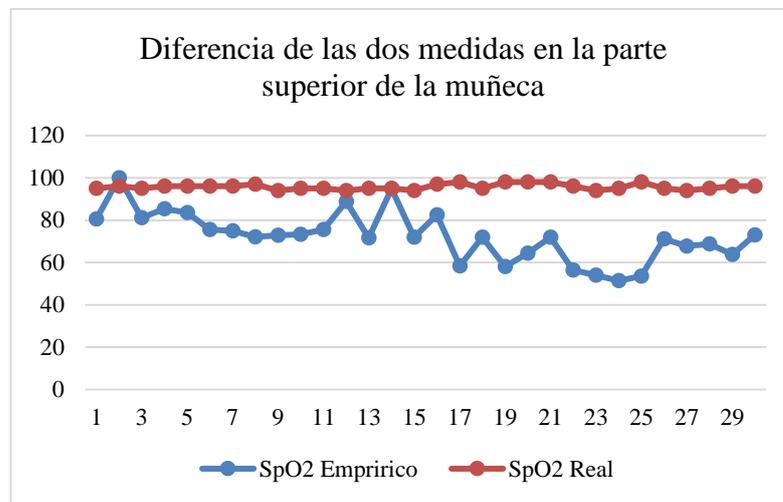


Figura 45. Diferencia de lecturas del SpO2 entre sensor Max30102 y Pulsioxímetro KI-100

Elaborado por el Investigador.

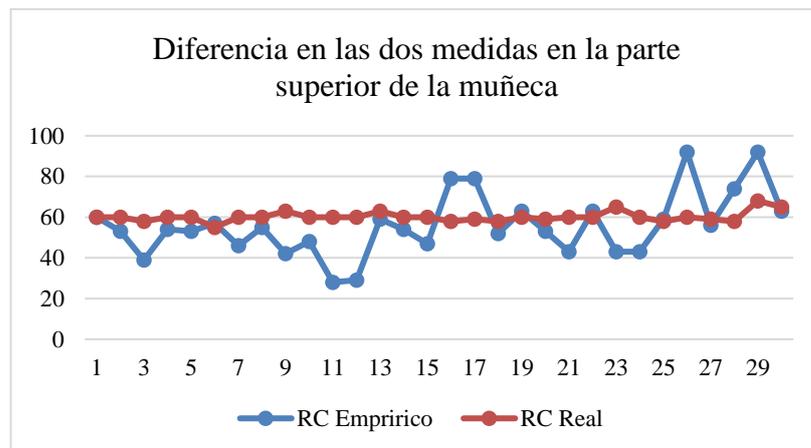


Figura 46. Diferencia de lecturas del RC entre el sensor Max30102 y Pulsioxímetro KI-100

Elaborado por el Investigador.

En base a las condiciones en las que se recibió la lectura, se puede observar que el sensor presenta una ineficiencia notable con un error relativo porcentual de $\pm 32,40$ para la medición de la SpO2 y $\pm 7,63$ en el RC. Además, después de analizar las pruebas realizadas, se ha tenido en cuenta que el ruido externo de alta frecuencia puede influir en la lectura de los signos vitales. Por esta razón, se ha empleado un modelo de regresión mediante un filtro pasa bajo con ecuación de media móvil exponencial con el cual se puede mejorar la precisión de las mediciones.

Filtro pasa bajo con ecuación de Media Móvil Exponencial

La implementación de un filtro pasa bajo recursivo mediante la media móvil exponencial (EMA) tiene como finalidad obtener a la salida actual un promedio de las últimas n muestras de entrada para lograr la eliminación de ruido blanco presente en las señales. La EMA para una señal puede calcularse recursivamente con la siguiente ecuación 4: [118]

$$S(t) = \begin{cases} y(0) & t = 0 \\ \alpha * y(t) + (1 - \alpha) * S(t - 1) & t > 0 \end{cases} \quad (4)$$

Donde:

- α es un valor de suavizado entre 0 y 1.
- $Y(t)$ es el valor de la señal a filtrar en un período de tiempo t.
- $S(t)$ es el valor de la EMA en cualquier periodo de tiempo t.
- $S(t - 1)$ es el valor de la EMA en el periodo de tiempo (t - 1) (pasado).

El filtro pasa bajo primero se lo implementó en las dos señales de lectura que son el led rojo y led infrarrojo como se muestra en el código de la figura 47. El factor de suavizado α es un factor entre 0 y 1, por ende, para integrar el factor de suavizado en el código de programación con el siguiente despeje:

$$\alpha = 1 - x$$

$$x = \text{Frate (Variable del código)}$$

$$\text{Frate} = \alpha - 1$$

```

#ifdef USEFIFO
particleSensor.check(); // Verifique el sensor, lea hasta 3 muestras
while (particleSensor.available()){// tenemos nuevos datos
#ifdef MAX30105
red = particleSensor.getFIFOred(); //Sparkfun's MAX30105
ir = particleSensor.getFIFOIR(); //Sparkfun's MAX30105
#else
//Serial.println("valor ----- 4");
red = particleSensor.getFIFOIR(); //Obtiene los valores de led infrarrojo en valores enteros
ir = particleSensor.getFIFOred(); //Obtiene los valores de led rojo en valores enteros
#endif
i++;
fred = (double) red;
fir = (double) ir;
avered = avered * frate + (double)red * (1.0 - frate); //Filtro de paso bajo para nivel promedio de rojo
aveir = aveir * frate + (double)ir * (1.0 - frate); //Filtro de paso bajo para nivel promedio de infrarrojo
}
}

```

Figura 47. Código de filtrado de señales rojo e infrarrojo.

Elaborado por el Investigador.

Con este primer filtrado se obtiene la eliminación del ruido tanto para la lectura del led rojo como para la lectura del led infrarrojo como se observa en la figura 48.

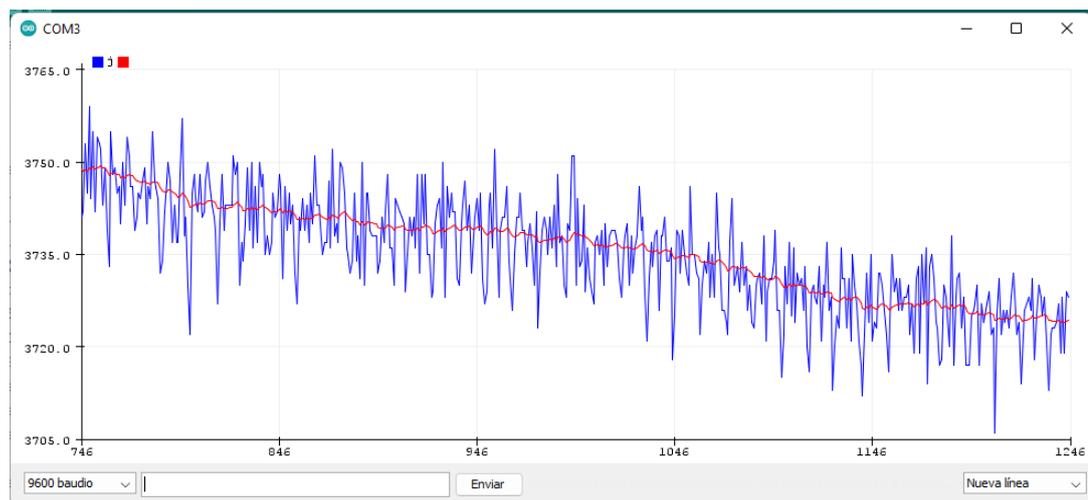


Figura 48. Serial plóter del filtrado de señal roja

Elaborado por el Investigador.

Adquisición de la Saturación de oxígeno (SpO2)

Para medir la saturación de oxígeno en la sangre de manera no invasiva, se utiliza un sensor que emplea tres niveles lumínicos diferentes: luz infrarroja, luz roja y luz ambiental. Luego de filtrar la señal de la luz roja e infrarroja, se aplica el principio de un oxímetro arterial o de pulso, el cual se basa en la diferencia del flujo sanguíneo entre la sangre arterial y venosa. La sangre arterial fluye con un pulso rítmico debido a los latidos del corazón, mientras que la sangre venosa fluye de manera constante y uniforme. Al medir los niveles lumínicos, que varían al cambiar la cantidad de sangre

en los tejidos del cuerpo humano provocado por la hemoglobina oxigenada (HbO₂), se obtiene el valor de saturación de oxígeno en la sangre arterial y la frecuencia cardiaca en el lugar de medición del sensor. En un sensor que permita determinar el nivel de SpO₂ se toma en cuenta el valor medido cada vez que late la sangre, como una componente arterial (AC) pulsátil, además de existir otra componente estática (DC) que se obtiene de la lectura de tejidos, hueso, los vasos sanguíneos, piel y la sangre venosa. Por ende, para determinar el nivel de SpO₂ se debe encontrar el valor máximo y mínimo de las señales tanto para la luz roja como para la luz infrarroja que representan las absorciones máximas y mínimas, con esto al dividir la componente arterial (AC) pulsátil con la componente estática (DC) como en la ecuación 6 normaliza la transmisión lumínica permitiendo calcular el coeficiente R que es la saturación de oxígeno (SpO₂) del usuario [119].

$$R = \frac{AC}{DC} = \frac{\frac{AC_{\max_{\text{rojo}}}}{DC_{\min_{\text{rojo}}}}}{\frac{AC_{\max_{\text{Infrarrojo}}}}{DC_{\min_{\text{Infrarrojo}}}}} \quad (6)$$

Para obtener el máximo de una señal de un modelo de regresión se emplea una suma de cuadrados de la regresión (SRC), la cual mide la variabilidad total de los valores observados a través la siguiente ecuación 7: [120]

$$SRC = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (7)$$

Donde:

\hat{y}_i : Son los valores que estima el modelo de la variable explicada.

\bar{y} : Es la media de la variable.

Mientras que el mínimo será la lectura promedio tanto del led rojo e infrarrojo, en el código de programación de la figura 45 se puede observar la SRC donde se toma los valores que estima el modelo de la variable explicada como el valor flotante de la lectura inicial del led rojo e infrarrojo y la media de la variable es el nivel promedio del led rojo e infrarrojo mediante el filtro pasa bajo, esto para obtener la absorción máxima. Estos valores integrados en la ecuación 7 se obtiene el nivel se SpO₂

```

avered = avered * frate + (double)red * (1.0 - frate); //Filtro de paso bajo para nivel promedio de rojo
aveir = aveir * frate + (double)ir * (1.0 - frate); //Filtro de paso bajo para nivel promedio de infrarrojo
sumredrms += (fred - avered) * (fred - avered); // (SRC)suma cuadrada del componente alternativo del nivel rojo
sumirrms += (fir - aveir) * (fir - aveir); // (SRC)suma cuadrada del componente alternativo del nivel de IR

if ((i % SAMPLING) == 0) { // Velocidad de trazado del gráfico
if (millis() > TIMETOBOOT) {
if (ir < FINGER_ON) ESPO2 = MINIMUM_SPO2; // indicador de dedo desprendido
if (ESPO2 <= -1)
{
ESPO2 = 0 ;
}
if (ESPO2 > 100)
{
ESPO2 = 100 ;
}
oxi=ESPO2;
}
}
// Serial.println("valor de R= ");
// Serial.println(i);
if ((i % Num) == 0) {
double R = (sqrt(sumredrms) / avered) / (sqrt(sumirrms) / aveir);
}

```

Figura 49. Código de suma de cuadrados de la regresión (SRC) para el nivel de SpO2

Elaborado por el Investigador.

Para validar los datos de SpO2 obtenidos a través de la ecuación 6 (R), es necesario crear una gráfica de regresión utilizando un oxímetro de pulso comercial. Esto permitirá verificar la normalidad de los datos al tomar puntos de la gráfica de regresión del oxímetro de pulso y graficar la relación entre SpO2 y R, lo que resultará en una curva de calibración del oxímetro de pulso. La figura 50 muestra esta información y se basa en la hoja de datos del sensor Max30102.

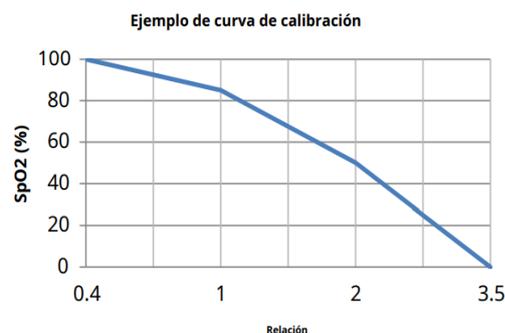


Figura 50. Curva de calibración del oxímetro de pulso [61]

A partir de la gráfica se obtiene la ecuación 8 de linealización para procesar la señal con el uso del microcontrolador.

$$SpO2 = -23,3 * (R - 0,4) + 100 \quad (8)$$

La fórmula de linealización de la curva de calibración y la aplicación de un nuevo filtro pasa bajo a la saturación de oxígeno se describe en las líneas de código de la figura 47 dan como resultado la saturación de oxígeno final.

```

if ((i % Num) == 0) {
double R = (sqrt(sumredrms) / avered) / (sqrt(sumirrms) / aveir);

if ((i % Num) == 0) {
double R = (sqrt(sumredrms) / avered) / (sqrt(sumirrms) / aveir); //Coeficiente R o saturación de oxígeno (SpO2) del usuario.
SpO2 = -23.3 * (R - 0.4) + 100; //Formula de linealización de la curva de calibración
ESpO2 = FSpO2 * ESpO2 + (1.0 - FSpO2) * SpO2; //Filtro de paso bajo
sumredrms = 0.0; sumirrms = 0.0; i = 0;
break;
}
particleSensor.nextSample(); // Muestra

```

Figura 51. Código de la linealización para la curva de calibración y Filtro Pasa Bajo a la saturación de oxígeno

Elaborado por el Investigador.

Una vez finalizado la obtención del Spo2 y tras la investigación del principio de un oxímetro arterial o de pulso se accedió a identificar la arteria radial, la cual es un vaso sanguíneo que se encarga de transportar sangre oxigenada y colocar el sensor Max30102 para obtener una mejor lectura de los signos vitales en la muñeca del usuario como se muestra en la figura 52.

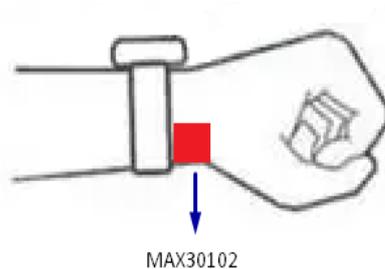


Figura 52. Posición del sensor Max30102 en la parte interna de la muñeca por debajo de la base del pulgar. [116]

Adquisición del Ritmo Cardíaco (RC)

La adquisición del ritmo cardíaco en tiempo real se realiza con la combinación de dos LEDs de diferentes longitudes de onda para emitir luz a través del tejido de la piel, y un fotodiodo que mide la cantidad de luz transmitida o reflejada por la sangre en cada latido. El procesador digital integrado en el sensor utiliza esta información para calcular la frecuencia cardíaca y la variabilidad de esta en tiempo real.

En la figura 53 se muestra el código correspondiente para la adquisición del ritmo cardíaco, donde se inicia midiendo el tiempo transcurrido entre dos latidos consecutivos y se calcula el PPM (Pulsaciones por minuto) utilizando la fórmula de 60 dividido por la duración del intervalo de tiempo en segundos. Luego, se verifica que el PPM calculado esté dentro de 20 y 255 latidos por minuto, lo que es un rango razonable para la frecuencia cardíaca y se almacena en una matriz para calcular el promedio de las lecturas. La matriz se actualiza utilizando la variable `rateSpot`, que se ajusta para asegurar que las lecturas se almacenen en orden cronológico. Finalmente, se toma el promedio de las lecturas almacenadas en la matriz para obtener una lectura más precisa del ritmo cardíaco.

```

long delta = millis() - ultimolatido;    //Medir la duración entre dos latidos
    ultimolatido = millis();
latidosporminutos = 60 / (delta / 1000.0); //Calculando el PPM
//Serial.println("---latidosporminutos--");
//Serial.println(latidosporminutos);

if (latidosporminutos < 20 && latidosporminutos > 255) //Para calcular el promedio
{
    rates[rateSpot++] = (byte)latidosporminutos; //Lectura almacenada en matriz
    rateSpot %= RATE_SIZE;                       //Ajustar variable mediante la división de dos variables y almacenar su resultado en la primera.

    //Tomar promedio de lecturas
    mejorpromedio = 0;
    for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
        mejorpromedio += rates[x];
    mejorpromedio /= RATE_SIZE;
}
}

```

Figura 53. Código de adquisición de Ritmo Cardíaco

Elaborado por el Investigador.

Con esto el MAX30102 es capaz de medir el ritmo cardíaco con precisión incluso en situaciones de movimiento, gracias a su capacidad para filtrar la interferencia ambiental y el movimiento del usuario. Con su algoritmo de cancelación de movimiento patentado, el dispositivo puede eliminar la señal de interferencia causada por el movimiento. Además, el MAX30102 utiliza tecnología de sincronización de muestras para tomar mediciones en el momento adecuado, lo que ayuda a minimizar la variabilidad en las mediciones del ritmo cardíaco en situaciones de movimiento.

Mediante la integración del acondicionamiento y filtrado se señales se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 18. Segunda lectura de la saturación de oxígeno y ritmo cardiaco.

Núm. Prueba	Muñeca Arteria radial		Pulsioxímetro K&I	
	SpO2 Empírico	RC Empírico	SpO2 Real	RC Real
1	99,52	50	95	60
2	100,00	54	96	60
3	100,00	61	95	58
4	99,54	49	96	60
5	100,00	46	96	60
6	100,00	46	96	55
7	99,54	46	96	60
8	99,8	48	97	60
9	98,21	47	94	63
10	99,6	50	95	60
11	96,61	45	95	60
12	99,33	69	94	60
13	99,33	69	95	63
14	100,00	69	95	60
15	100,00	40	94	60
16	100,00	56	97	58
17	99,20	63	98	59
18	99,75	68	95	58
19	100,00	72	98	60
20	100,00	59	98	59
21	100,00	52	98	60
22	98,92	35	96	60
23	98,38	60	94	65
24	99,29	63	95	60
25	97,82	66	98	58
26	100,00	64	95	60
27	98,57	64	94	59
28	96,83	61	95	58
29	100,00	66	96	68
30	100,00	69	96	65
PROMEDIO:	99,34	56,90	95,73	60,20

Fuente: Elaborado por el investigador.

La información que se obtiene de las nuevas lecturas presenta una variación con menor margen de error calculado con la ecuación 3.

$$\text{Error relativo porcentual}_{(SpO_2)} = \left(\frac{|99,34 - 95,73|}{95,73} * 100 \right) = \pm 3,63 \%$$

Después de aplicar el filtrado de la señal y de ajustar el posicionamiento del sensor, se logró mejorar significativamente la precisión de las mediciones. El error relativo porcentual para la medición de SpO2 se redujo de $\pm 32,40$ a $\pm 3,63$, mientras que para la medición de RC, el error relativo porcentual se redujo de $\pm 7,63$ a $\pm 5,8$. Estos resultados muestran la importancia del filtrado de la señal y el posicionamiento adecuado del sensor para obtener mediciones precisas y confiables.

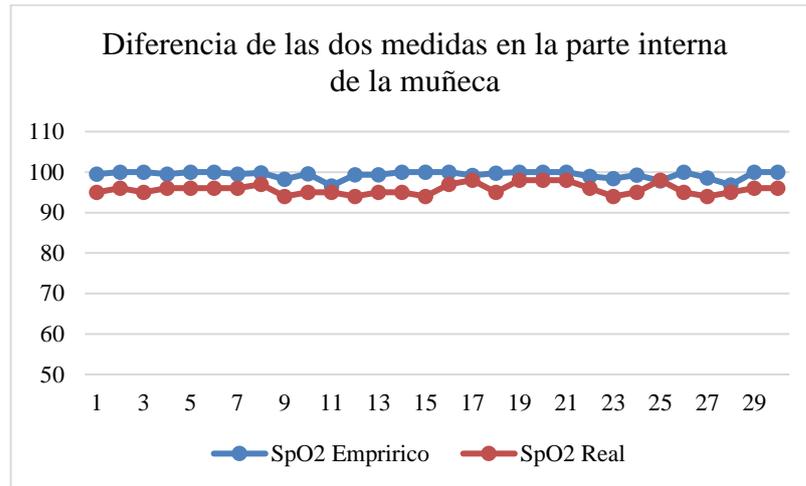


Figura 54. Diferencia de las lecturas de SpO2 entre el sensor Max30102 y Pulsioxímetro KI-100

Elaborado por el Investigador.

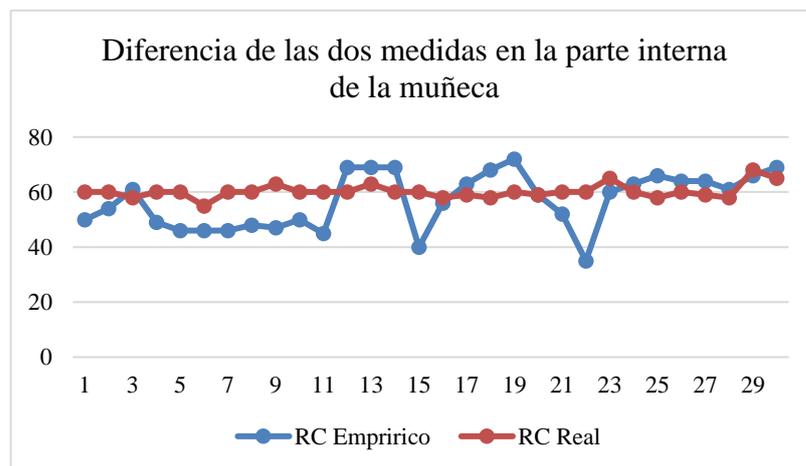


Figura 55. Diferencia de las lecturas de RC entre el sensor Max30102 y Pulsioxímetro KI-100

Elaborado por el Investigador.

3.5.5 GPS SKM53

El sensor GPS que se utiliza en el prototipo brinda la información de localización a través de coordenadas geográficas en grados decimales además de obtener la hora del meridiano de Greenwich (GMT) que brinda la conexión de los satélites, Ecuador tiene una zona horaria distinta (GMT-5), por lo que se adecua el horario a la necesidad requerida. El diagrama de flujo del código de programación se representa en la figura 56.

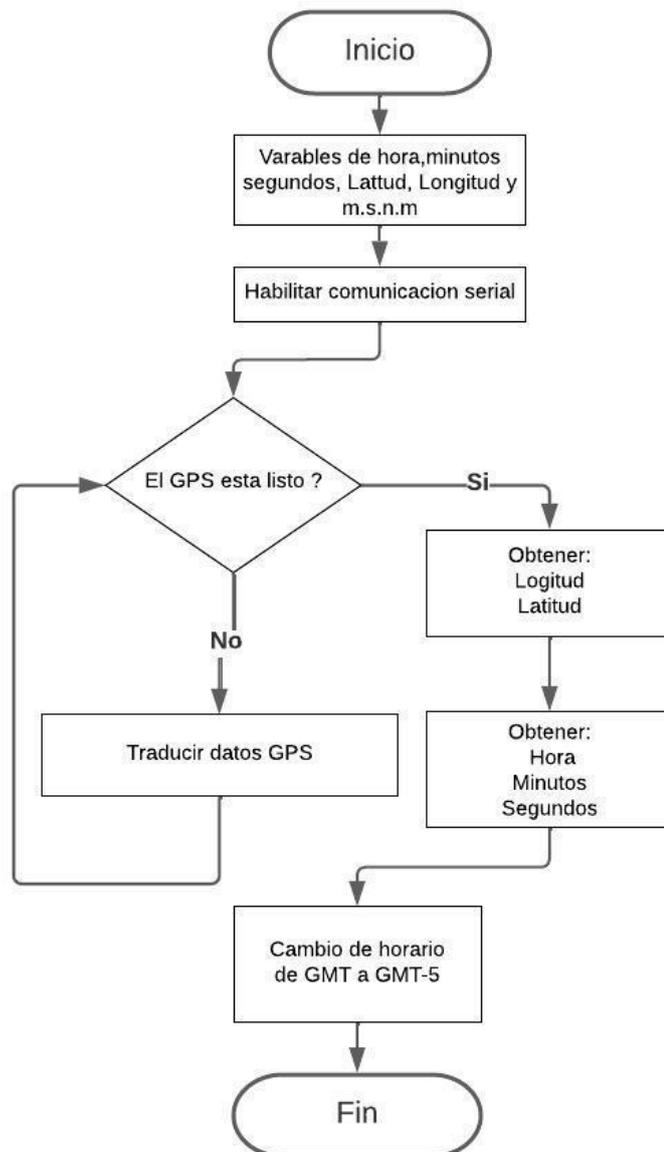


Figura 56. Diagrama de flujo del sensor GPS

Elaborado por el Investigador.

El sensor utiliza el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) desarrollado por los Estados Unidos, y es capaz de proporcionar una precisión de ubicación de entre 5 y 7 metros, aunque esta cifra puede variar en función del número de satélites disponibles y de las posibles obstrucciones en el entorno. En la figura 57 se encuentra la variación desde el punto de posición actual y la medida en arduino de los datos del sensor.



Figura 57. Comparación de datos del Geoposicionamiento

Elaborado por el Investigador.

La lectura de datos del sensor GPS se efectúa cada 5 segundos debido a que se utiliza la hora y minutos para comparar el momento del envío de información.

3.5.6 Transmisión de datos mediante módulo con tecnología Sigfox

La transmisión de datos mediante comunicación sigfox se efectúa generando una función que permita ser llamada cada cierto tiempo al programa principal, para ello el diagrama de flujo se presenta en la figura 58.

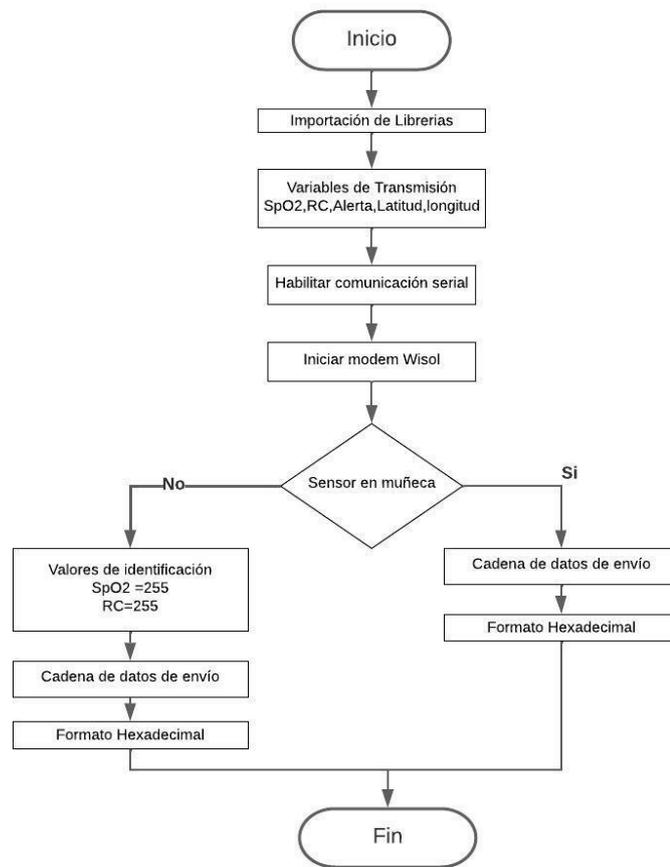


Figura 58. Diagrama de flujo para la transmisión de datos sigfox

Elaborado por el Investigador.

El módulo de comunicación TinyFox que trabaja con tecnología Sigfox tiene la capacidad de envió de 12 bytes hexadecimales en su trama de datos, para ello se optó por definir la cantidad de información que podría llegar al almacenar cada una de las variables con datos de los sensores.

Latitud y Longitud. - La latitud y longitud se puede representar a través del sistema geográfico decimal con el fin de trazar masivamente las coordenadas geográficas de cualquier lugar, sin embargo, al ser un sistema de coordenadas decimal este tipo de variables almacena una cantidad de información de 4 bytes que consta de en bit de signo, un exponente binario de 8 bits con exceso 127 y una mantisa de 23 bits, esto permite una precisión en la descripción de la ubicación. La información que se envía en tipo decimal o float trae consigo problemas en la transmisión debido al punto decimal, provocando un envío de información errónea o aleatoria a la nube de

Sigfox, es por ello que se llevó a cabo el envío de información a través de un número entero con signo de 4 bytes. Para conseguir el resultado que se desea se puede multiplicar por 10, 100, 1000, 10000, esto va a depender cuantos dígitos se quiera mover a la izquierda para definir la cantidad de decimales a obtener en el número entero.

Oxigenación de la sangre (SpO2). – La oxigenación de la sangre de manera general se representa en una escala de 0 a 100 por consiguiente la información a almacenar en esta variable no es grande por lo que se define como un número entero de 2 byte.

Ritmo Cardíaco (RC). - La frecuencia cardíaca máxima durante el ejercicio físico intenso es de alrededor de 170 pulsaciones por minuto, lo que no requiere la transmisión de una gran cantidad de datos. Por esta razón, se utiliza un número entero de 1 byte para su transmisión.

Alerta de Emergencia. – La alerta de emergencia será simplemente una señal de 0 o 1 que identifique la situación de peligro, por lo que emplea un número entero de 1 byte.

La transmisión de datos a través del módulo de conectividad se realiza mediante el envío de una trama completa de 12 bytes, que corresponde a la cantidad total de información de todas las variables. Es fundamental tener en cuenta que en la figura 59 se muestra la cantidad de información que cada variable puede almacenar, la cual depende de los datos que se van a enviar.

```
//-----Variables TX -----  
int alerta_pin =0;  
int32_t flat ;  
int32_t flon ;  
int16_t SPO2;  
uint8_t RC;  
uint8_t alerta;
```

Figura 59. Código de variables para la trama de envío de un total de 12 bytes

Elaborado por el Investigador.

Una vez definida la cantidad de información en cada una de las variables se convierte las coordenadas geográficas decimales a número entero multiplicándolo

por 100000 y 100000 respectivamente, preparando la información a ser enviada como se observa en la figura 60.

```
void comunicacion_Sigfox_TX () {
    Serial.println("-----");
    Serial.println("      Envío de datos      ");
    Serial.println("-----");
    Serial.println("Tx");
    wisol.RST();
    char buff[30]="";
    float aux_lat=latitude;
    float mult=aux_lat*100000;
    float aux_long=longitude;
    float mult2=aux_long*10000;
    flat = mult;
    flon = mult2;
    SPO2=ESpO2;
    RC=mejorpromedio_rc;
    alerta = alerta_pin;
    int longitud=0;
    delay(100);
}
```

Figura 60. Código de adaptación de envío de variables

Elaborado por el Investigador.

Para el envío de información se prepara una la cadena de caracteres llamada buff con un tamaño de 30 caracteres que es lo máximo que pudiese codificar el mensaje y la información en formato hexadecimal se presenta de la siguiente manera:

%08x: Los datos se codifican con 8 dígitos en formatos hexadecimal.

%04x: Los datos se codifican con 4 dígitos en formatos hexadecimal.

%02x: Los datos se codifican con 2 dígitos en formatos hexadecimal.

El formato para el envío de la información en el caso de la variable alerta que cuenta con 1 byte de almacenamiento y está representada por 2 dígitos hexadecimales, debido a que un dígito hexadecimal representa 4 bits, dado que 1 byte equivale a un conjunto ordenado de 8 bits. De esta manera se lleva a cabo la trama de envío de datos de datos con las variables restantes para finalmente enviar la información a través de la función wisol.SEND como se observa las líneas código Arduino de la figura 61.

```

if (hand==0) {
  //Envío de datos con el protitipo en la mano
  longitud= sprintf(buff, 30, "%08x%08x%04x%02x%02x", flat, flon, SPO2, RC, alerta);
  //lat::int:32 long::int:32 spo2::int:16 rc::uint:8 alerta::uint:8 payload Sigfox
  Serial.println(wisol.SEND(buff));
}
if (hand == 1) {
  //Envío de datos sin el protitipo en la mano
  SPO2=255;
  RC=255;
  longitud= sprintf(buff, 30, "%08x%08x%04x%02x%02x", flat, flon, SPO2, RC, alerta);
  //lat::int:32 long::int:32 spo2::int:16 rc::uint:8 alerta::uint:8 payload
  Serial.println(wisol.SEND(buff));
}

```

Figura 61. Código de cadena de envío de datos Sigfox

Elaborado por el Investigador.

Las condiciones que se aprecian para el envío de información especifican:

1. Datos reales cuando el prototipo se encuentra colocado en la muñeca.
2. Datos equívocos de signos vitales para que el operario pueda identificar que el prototipo se encuentra fuera de la muñeca del usuario, pero la ubicación si es correcta.

Finalmente, el tiempo de transmisión de datos se define en base al número de mensajes diarios que puede enviar la tecnología Sigfox que son 140 mensajes al día que dividido para un lapso de 24 horas el envío promedio es de cada 12 minutos; sin embargo, para la alerta de emergencia se procederá a activar el envío de datos cada minuto hasta que el botón de emergencia vuelva a su estado normal.

3.6 Diseño e implementación del software para el monitoreo

El diseño e implementación del monitoreo de signos vitales y geolocalización es la parte de software que se lleva a cabo mediante diferentes recursos iniciando por el Bakend de sigfox y finaliza en la interfaz web desarrollada en lenguaje de programación PHP y HTML como se observa en la figura 62. Además de contar con varios servicios que ayudan al manejo de la información de manera eficiente que se presenta de manera detallada más adelante.

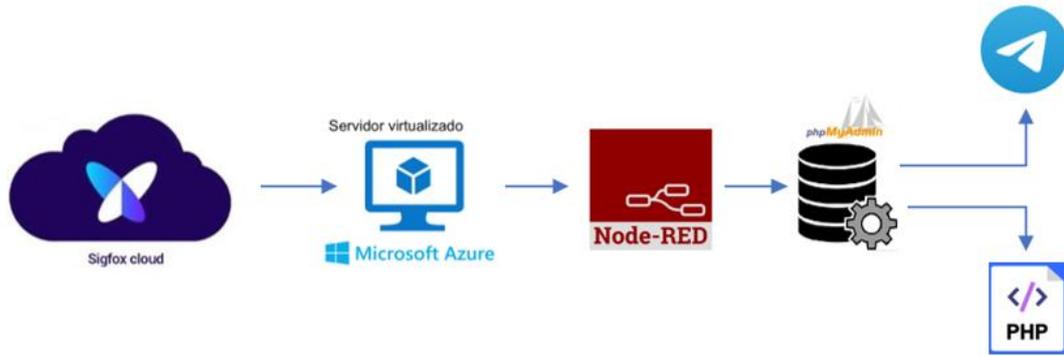


Figura 62. Diseño del monitoreo de signos vitales y geolocalización

Elaborado por el investigador.

3.6.1 Sigfox Cloud

El servicio de Sigfox Cloud es el lugar donde se almacena la información y gestiona el registro de dispositivos con una interfaz de aplicación web, por lo tanto, para lograr manipular la información de los dispositivos Sigfox definitivamente se debe enlazar Sigfox Cloud a los dispositivos IoT. Cada dispositivo tiene una identificación única que se debe registrar en la nube de Sigfox para activar el servicio de comunicación acorde al contrato de suscripción. Para lograrlo, se requieren dos elementos fundamentales: una identificación única (ID) y una autorización de portabilidad única (PAC).

Procesos de activación

El proceso de activación del servicio Sigfox se inicia con los siguientes pasos:

1. Compra del módulo de conectividad

La compra del módulo de conectividad se la realiza de manera directa con la empresa actualmente llamada UNABIZ Francia donde proporciona soluciones IoT con tecnología OG; sin embargo, existen socios desarrolladores de dispositivos como módems, shields, microcontroladores e incluso el despliegue del área de cobertura de Sigfox en diferentes países de todo el mundo. Este es el caso de Teca una empresa del país vecino Perú que provee soluciones IoT para el uso inteligente de activos en negocios, industrias y ciudades. Teca cuenta con la creación de dos tarjetas de desarrollo basadas en lenguaje de programación Arduino disponibles en el mercado, útiles para países como Ecuador, Colombia, Chile, Argentina,

Uruguay y Perú. En Ecuador se encuentra un socio minorista Pronet, que trabaja con la empresa de Teca y distribuye sus dispositivos en todo el territorio ecuatoriano; sin embargo, la empresa WND Ecuador es un socio y operador directo de Sigfox quien se encarga del despliegue de cobertura en todo el territorio nacional.

2. Extracción del ID y PAC del módulo

Una vez que se logra adquirir el dispositivo de comunicación la extracción de ID y PAC son números únicos presentes en el módulo e identifican un código de autorización de portabilidad descritos por el fabricante y serán utilizado para el registro del dispositivo en Sigfox Cloud. Para la obtención de esta información se realiza la conexión de la figura 63 con un módulo adicional convertidor USB a serial TTL para conectar el dispositivo a un computador.

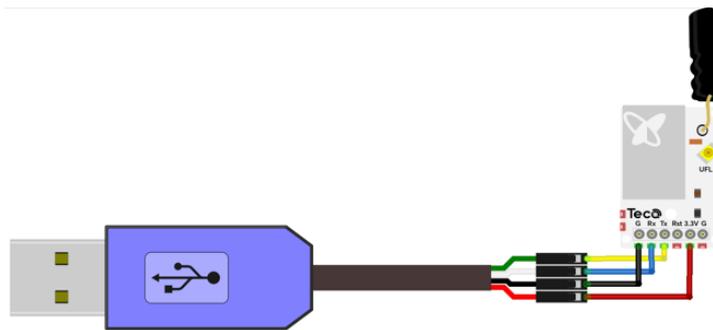


Figura 63. Conexión del módulo IoT de Sigfox para extraer ID/PAC

Elaborado por el investigador.

Al conectar en el computador se procede con la descarga de un software ejecutable llamado WisolModemDEV como se muestra en la figura 64 que se obtiene en el GitHub de TECA-IOT y mediante comandos AT, selección del puerto COM se logra extraer la información.

```
AT$I=10 ID
```

```
AT$I=11 PAC
```

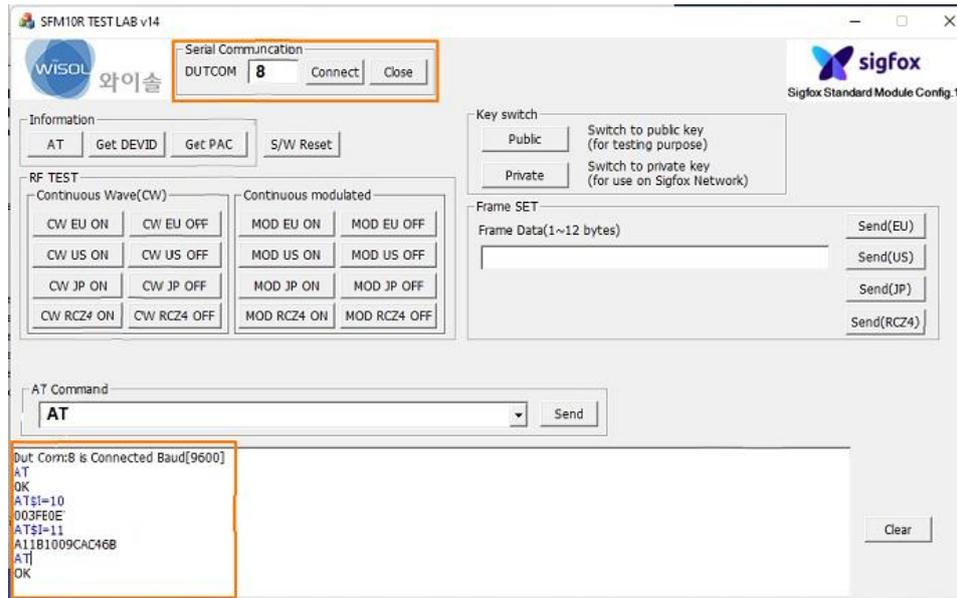


Figura 64. Panel WisolModemDEV

Elaborado por el investigador.

3. Registro y activación del dispositivo

El registro y activación de los dispositivos se otorga por una jerarquía y organización de Sigfox Cloud, donde se comprende como dispositivo a todo aquel objeto que transmita sus datos a la red de Sigfox. La organización y jerarquía en la nube de Sigfox se basa en grupos, por lo general el grupo de nivel más alto es el Root Group como se puede observar en la figura 65 perteneciente a la red de Sigfox Global; no obstante, la empresa que despliega Sigfox en el territorio de cada país conforma un subgrupo del nivel más alto que el de las empresas que trabajan en el desarrollo de dispositivos con tecnología Sigfox, debido a que pueden crear subgrupos para sus clientes o socios cuando se realice un contrato o acuerdo con este operador. Por último, el nivel de grupo de empresas cuenta con un administrador otorgado por el operador para que se vuelva autónoma la gestión y creación de nuevos usuarios a fin de generar nuevos clientes [121].

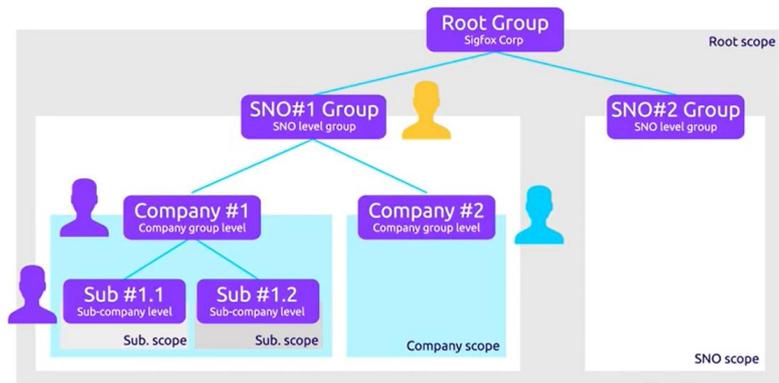


Figura 65. Organización y Jerarquía en Sigfox Cloud [121]

Los clientes están asociados con roles de usuario que se basan principalmente en permisos solo de lectura y escritura. Por lo que Sigfox Cloud está diseñada para administrar millones de dispositivos. Para el desarrollo del proyecto en el territorio ecuatoriano no se registró con el operador de Sigfox a nivel nacional (WND Ecuador) y simplemente se utilizó el despliegue de cobertura que otorga WND Ecuador en el territorio nacional; sin embargo, se trabajó con la empresa de Teca quien a través de su página web otorga el formulario de la figura 66 para identificar el dispositivo a registrar en el Bakend Sigfox por el usuario administrador.

Figura 66. Formulario para registrar un dispositivo Sigfox en TECA.

Después de completar el proceso de registro se ingresa con los datos al Bakend de Sigfox con el usuario y contraseña como se observa en la figura 67 para proceder a revisar el registro del dispositivo.

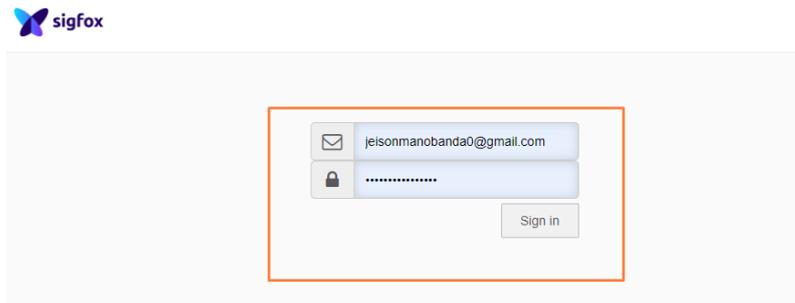


Figura 67. Login Sigfox

Elaborado por el investigador.

En la página principal de Sigfox y al realizar un clic en el apartado de dispositivos se encuentra todos los dispositivos registrados y listo para emplear soluciones IoT con tecnología Sigfox como se observa en la figura 68.

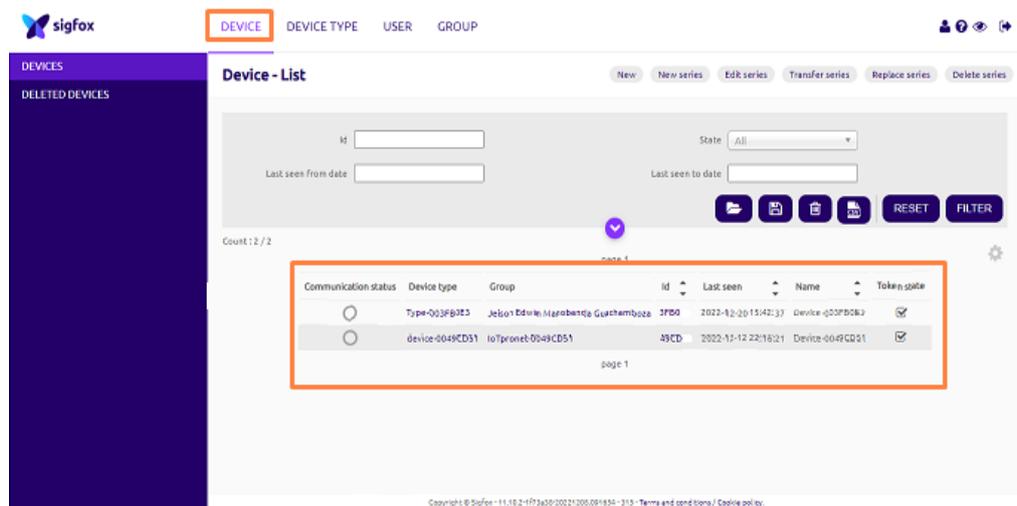


Figura 68. Página principal de Sigfox

Elaborado por el investigador.

El registro y activación de la membresía anual premium se otorga por Marco Caballero administrador y desarrollador del dispositivo TinyFox de la empresa Teca con un costo de 13 USD anuales y se la observa al realizar un clic en el ID del dispositivo como se aprecia en la figura 69 en el apartado de información.



Figura 69. Información del dispositivo TinyFox

Elaborado por el investigador.

Además, se puede encontrar más apartados acerca del dispositivo como:

Localización. – La localización proporciona la ubicación del dispositivo dentro de un área de cobertura extensa donde se encuentra operando el dispositivo.

Mensajes. – Los mensajes presentan una lista de las interacciones enviadas por el dispositivo en registro con la hora GMT y fecha actual en la que se envió el mensaje, la intensidad de señal cuando se envió la interacción, el número de registro de cada interacción que se envía a la red Sigfox, la decodificación de datos en formato hexadecimal, los callback asociados a cada interacción y finalmente su localización.

Eventos. – Los eventos presentan un listado de errores cometidos cuando se realiza el envío de un mensaje.

Estadísticas. – Las estadísticas presentan de manera gráfica en función del tiempo parámetros como: número de callback e Indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI).

Configuración de eventos. – La configuración de eventos permite transferir datos de eventos a su dispositivo de manera específica.

Ya con el registro del dispositivo en la nube o también llamado Bakend de Sigfox y previamente realizada la programación para él envió de datos en el prototipo como se observó en la anterior figura 61 a través del microcontrolador Esp32, se obtiene la información en formato hexadecimal en apartado de mensajes como se aprecia en la figura 70.

Time	Seq Num	Data / Decoding	LQI	Callbacks	Location
2022-12-20 15:42:37	613	ffeca6e3fb5048d80043bb01	📶	📡	📍
2022-12-20 15:41:31	612	ffeca6e3fb5048d800607301	📶	📡	📍

Figura 70. Mensajes en formato Hexadecimal en el Bakend de Sigfox

Elaborado por el investigador.

3.6.2 Callbacks

Los callbacks son quienes permiten reenviar de manera automática las interacciones o eventos recibidos en el Bakend en forma de mensajes, al ser una de las principales funciones envía solicitudes personalizadas que contiene información del dispositivo y otras variables adquiridas a través del módulo de comunicación a un servidor o plataforma IoT predeterminada, utiliza el protocolo de comunicación HTTP (Protocolo de transferencia de hipertexto) que cuenta con los métodos de petición GET POST y PUT.

El callback para envío de información del proyecto de investigación es completado con diferentes parámetros como tipo: DATO, tipo de comunicación: UPLINK y configuración de carga útil personalizada (Payload) la cual no debe ser mayor a 12 bytes siendo esta una estructura con un campo que está definida por el nombre de la variable, posición en los bytes del mensaje, longitud y tipo. En este caso tenemos un payload con la siguiente descripción:

- Número entero con signo de 4 bytes (lat::- Número entero con signo de 4 bytes: (long::- Número entero con signo de 2 bytes: (spo2::

- Número entero sin signo de 1 bytes (rc::uint:8)
- Número entero sin signo de 1 bytes (alerta::uint:8)

Además, se encuentra un campo primordial que es el patrón URL donde se ingresa la dirección del servidor, el puerto habilitado para el ingreso de información y la dirección que recibirá la información que se describe más adelante. Finalmente, el callback utiliza el método POST, el cual envía una entidad de recursos específicos mediante un campo de formato tipo JSON que contiene las siguientes variables.

- Coordenada de latitud
- Coordenada de longitud
- Oxigenación de la sangre
- Ritmo cardíaco
- Identificador de usuario o dispositivo

The screenshot shows the Sigfox web interface for configuring a callback for a device. The sidebar on the left includes options like INFORMATION, LOCATION, ASSOCIATED DEVICES, DEVICES BEING REGISTERED, STATISTICS, EVENT CONFIGURATION, CALLBACKS (highlighted), and BULK OPERATIONS. The main content area is titled "Device type Type-003FB0E3 - Callback edition" and contains a "Callbacks" section with the following configuration:

- Type: DATA (selected), UPLINK (available)
- Channel: URL (selected)
- Custom payload config: lat:int:32 long:int:32 spo2:int:16 rc::uint:8 alerta::uint:8
- URL syntax: `http://host/path?id={device}&time={time}&key1={var1}&key2={var2}...`
- Available variables: device, time, data, seqNumber, deviceTypeid
- Custom variables: customData#lat, customData#long, customData#spo2, customData#rc, customData#alerta
- Url pattern: `http://20.25.69.90:1880/prueba_sensores`
- Use HTTP Method: POST (selected)
- Send SNI: (Server Name Indication) for SSL/TLS connections
- Headers: header value
- Content type: application/json
- Body:


```
{
  "field1": {customData#lat},
  "field2": {customData#long},
  "field3": {customData#spo2},
  "field4": {customData#rc},
  "created_at": {customData#alerta},
  "usuario": "1"
}
```

Figura 71. Callback del dispositivo TinyFox

Elaborado por el investigador.

3.6.3 Servidor virtualizado de Microsoft Azure

El servidor virtualizado de Microsoft Azure surge tras la necesidad de utilizar un medio de alojamiento y procesamiento de datos, mismos que son enviados por el Backend de Sigfox a través de un callback, para ello uno de los mejores recursos informáticos escalables es Azure. Esta plataforma brinda la facilidad de

virtualización en la nube sin la necesidad de equipos físicos y, se la llegó a utilizar debido a que la Universidad Técnica de Ambato al ser una entidad de educación pública cumple con los requisitos de Microsoft Azure para formar parte de la suscripción de Azure for Students, este servicio otorga un crédito de 100 dólares a estudiantes, con el propósito de que puedan explorar sus herramientas durante 12 meses. Para obtenerlo, sólo es necesario registrarse con el correo electrónico de la universidad y se puede renovar anualmente mientras se mantenga la condición de estudiante.

Servicios en la nube de Microsoft Azure

Los servicios en la nube de Microsoft Azure se pueden utilizar una vez que ya se registra el usuario y la suscripción. Este proyecto trabaja con la suscripción de Azure for Students disponible por ser estudiante de la Universidad Técnica de Ambato. Los procedimientos para implementar el servidor que cumpla ciertos requerimientos para la implementación del monitoreo del prototipo se describen a continuación:

Crear un grupo de recursos

La creación de un grupo de recursos es para almacenar en un contenedor los recursos vinculados con la virtualización. Dicho grupo incluir un nombre y se asignará una región específica para que opere en el centro de datos.

Servidor

El servidor es aquel que se encuentra instalado como una máquina virtual en Microsoft Azure como se observa en la figura 72. que trabaja con las siguientes características:

- Grupo de recursos. – Sigfox-MV
- Nombre. - Red Hat
- Sistema operativo. - Red Hat Enterprise Linux 8,2 (LVM)
- Tamaño. - Estándar B1s
- Memoria RAM. – 1 Gb
- Procesador. - 1 CPU
- Costo. - 12,53 \$ C/M

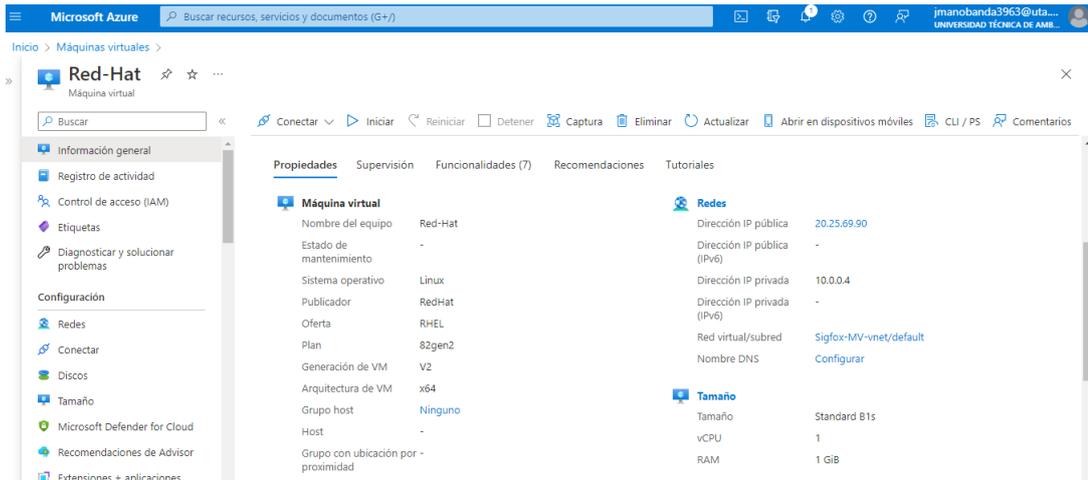


Figura 72. Características de máquina virtual en Microsoft Azure

Elaborado por el investigador.

Herramientas del servidor

Las herramientas que se utilizan para instalar los próximos servicios en el servidor son conexión SSH y habilitación de puertos en Azure.

Conexión SSH. - La conexión SSH permite ingresar a la máquina virtual a través del puerto 22 con ayuda de un software externo (PUTTY) en modo consola, donde utiliza la dirección del servidor y la llave de conectividad correspondiente a la máquina virtual como se muestra en la figura 73.

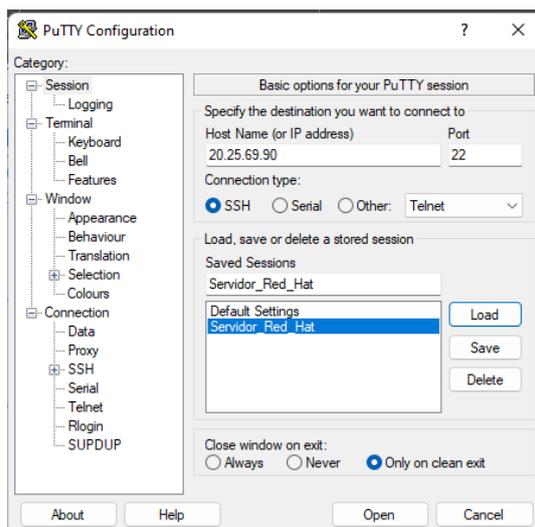


Figura 73. Interfaz PuTTY para conexión SSH

Elaborado por el investigador.

Habilitación de puertos en Azure. - La habilitación de puertos en Azure como se observa en la figura 74 sirve para acceder a los servicios ya instalados y así lograr trabajar desde un navegador web. Se lo realice desde Red-Hat-nsg apartado instaurado al momento de crear la máquina virtual.

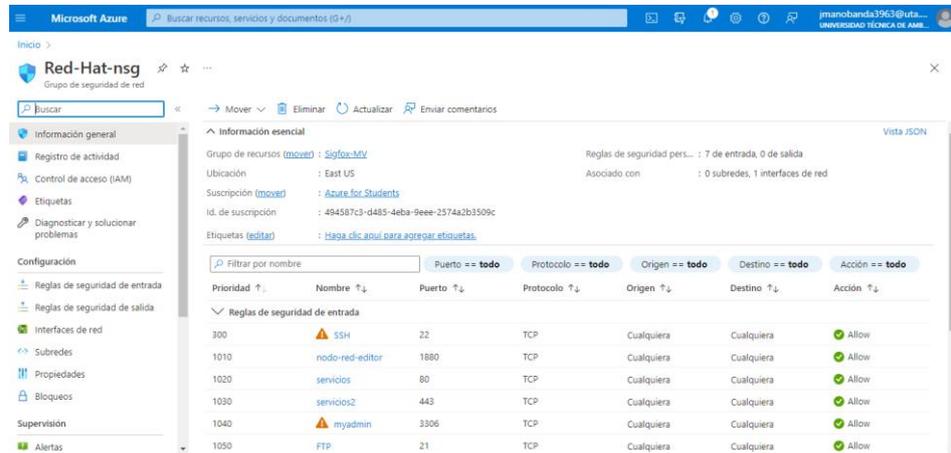


Figura 74. Recurso de seguridad de conexión de puertos

Elaborado por el investigador.

Servidor LAMP

LAMP viene del acrónimo Linux, Apache, MySQL y PHP recursos que se integran del lado del servidor para la creación de dashboards, sitios web o aplicaciones, por las necesidades y requerimientos del sistema de monitoreo se optó por la instalación de un servidor LAMP tomando en cuenta que el almacenamiento y presentación de datos en una interfaz web es indispensable para llevar a cabo el proyecto.

3.6.4 Instalación del servidor LAMP

Para la instalación de un servidor LAMP se necesita instalar todos los recursos antes mencionados; sin embargo, al ya contar en el sistema operativo de Linux procedemos con Apache.

1. Instalación de Apache

La instalación de Apache sigue la ejecución del siguiente comando a través de la consola de PUTTY.

```
# apt-get install apache2
```

Una vez instalado y habilitado el puerto en Red-Hat-nsg se verifica el estado del servidor Apache a través del navegador web ejecutando la dirección IP

publica de la máquina virtual en la barra de direcciones. Se presenta un mensaje de funcionamiento exitoso como el que se puede visualizar en la figura 75.

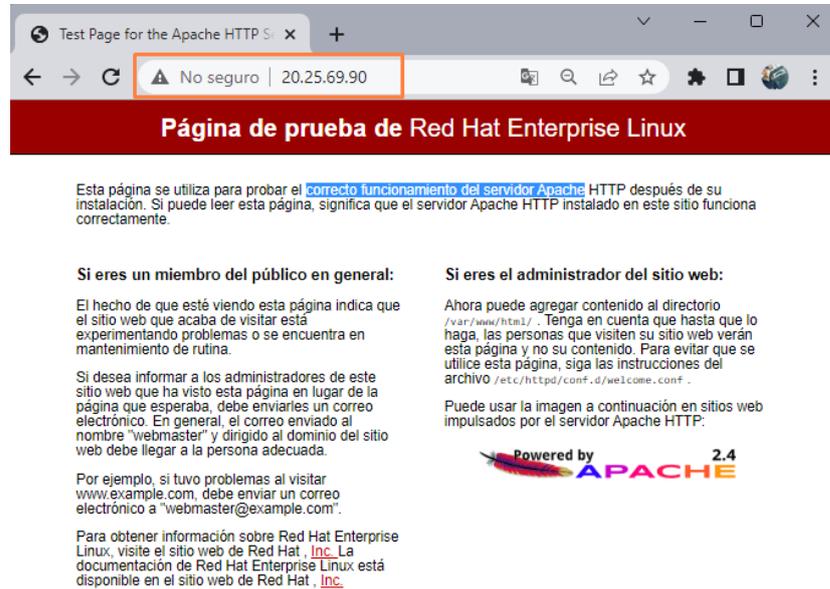


Figura 75. Servicio de Apache

Elaborado por el investigador.

2. Instalación de MySQL

La instalación de MySQL se efectúa a través del comando:

```
# apt-get install mysql-server
```

Durante la instalación MySQL requerirá configurar una contraseña que usará el usuario administrador root de MySQL y proceder con la instalación por defecto. Finalmente se puede verificar la instalación exitosa a través del comando por consola y verificar la versión en la que va a trabajar el servidor como se puede observar en la figura 76.

```
# mysql - - version
```

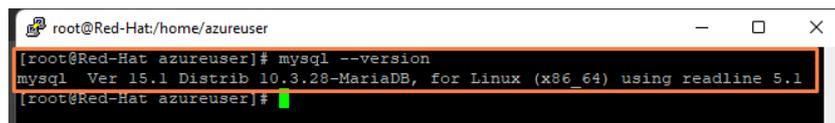


Figura 76. Version de MySQL

Elaborado por el investigador.

operativos como Windows, Linux y macOS. El servidor virtualizado del proyecto de investigación cuenta con un sistema operativo Linux, el cual va a ser el encargado de alojar esta herramienta, para su funcionamiento es primordial el uso del complemento nodejs, que es un entorno de tiempo de ejecución de JavaScript.

Instalación de Node-RED

Estas dos herramientas se van a instalar a través de la consola de PUTTY conectado a la máquina virtual de la siguiente manera:

1. Ejecutar el comando de nodejs

Se ejecuta el siguiente comando para instalar nodejs.

```
# yum install rh-nodejs8
```

2. Verificar instalación

Para verificar que la herramienta de Node.js se ha instalado correctamente, se puede utilizar el siguiente comando. Como se puede observar en la figura 78, la versión v19.1.0 de Node.js se encuentra disponible en el servidor.

```
# node --version
```

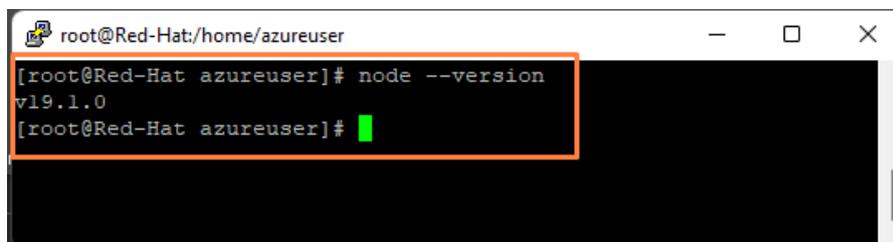
A screenshot of a terminal window titled 'root@Red-Hat:/home/azureuser'. The terminal shows the command '[root@Red-Hat azureuser]# node --version' being executed, with the output 'v19.1.0' displayed below it. The prompt '[root@Red-Hat azureuser]#' is visible again on the next line, followed by a green cursor. The terminal window has standard window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner.

Figura 78. Versión Node Red

Elaborado por el investigador.

3. Ejecutar el comando de Node Red

Se ejecuta el siguiente comando para instalar Node-RED

```
# npm install -g --unsafe-perm node-red
```

4. Verificar instalación de Node Red

Al verificar la instalación de Node Red se ejecuta el siguiente comando:

```
# node-red
```

El cual brinda diferentes características de lo que se ha instalado en el servidor como se observa en la figura 79.

```
root@Red-Hat:/home/azureuser
ask_queues:03:21)
[root@Red-Hat azureuser]# systemctl stop firewalld
[root@Red-Hat azureuser]#
[root@Red-Hat azureuser]# node-red
22 Dec 02:05:33 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

22 Dec 02:05:33 - [info] Node-RED version: v3.0.2
22 Dec 02:05:33 - [info] Node.js version: v19.1.0
22 Dec 02:05:33 - [info] Linux 4.18.0-193.91.1.el8 2.x86_64 x64 L
```

Figura 79. Ejecución de Node Red

Elaborado por el investigador.

Una vez instalado Node Red y sus componentes se verifica el puerto con el que trabaja esta herramienta; en este caso es el puerto 1880, el cual se habilita en el apartado Red-Hat-nsg en Microsoft Azure para el ingreso desde el navegador web. Desde la barra de direcciones se ingresa la dirección del servidor y el puerto como se observa en la figura 80.

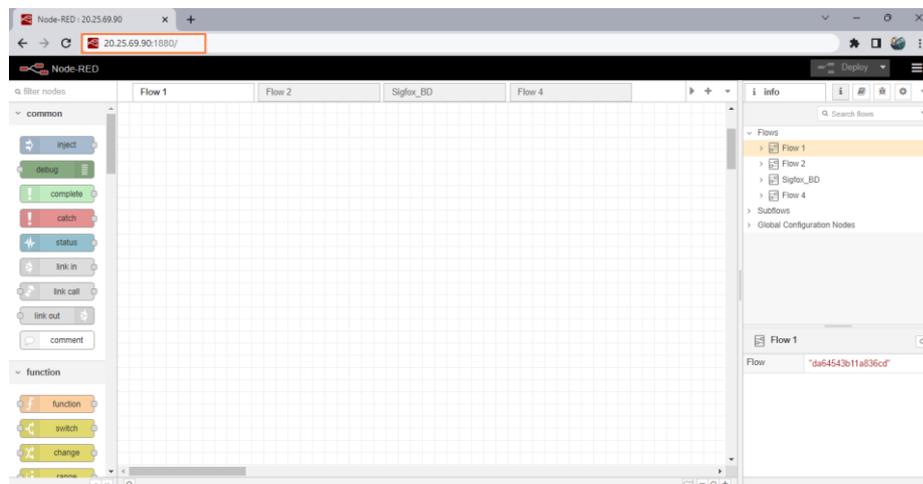


Figura 80. Panel de flujo en Node Red

Elaborado por el investigador.

3.6.6 Conexión Node Red y Sigfox Cloud

La conexión de Node Red y Sigfox Cloud inicia en el Backend de Sigfox con el envío del callback donde se coloca la dirección o patrón URL a la cual se redireccionará el payload enviado por el prototipo. En este campo se ingresa la dirección del servidor 20.25.69.90, el puerto habilitado de Node Red 1880, mientras que Node Red crea un punto final con el nombre prueba_sensores mediante el protocolo HTTP con el

método POST para escuchar las solicitudes con un tipo de contenido en formato JSON. Este punto final se coloca en el patrón URL del Backend de Sigfox como se observa en la figura 81.

Type: DATA UPLINK

Channel: URL

Custom payload config: lat::int:32 long::int:32 spo2::int:16 rc::uint:8 alerta::uint:8

URL syntax: http://host/path?id={device}&time={time}&key1={var1}&key2={var2}...

Available variables: device, time, data, seqNumber, deviceTypeId

Custom variables: customData#lat, customData#long, customData#spo2, customData#rc, customData#alerta

Url pattern: http://20.25.69.90:1880/prueba_sensores

Use HTTP Method: POST

Send SNI: (Server Name Indication) for SSL/TLS connections

Headers: header value

Content type: application/json

```
Body
{
  "field1":{customData#lat},
  "field2":{customData#long},
  "field3":{customData#spo2},
  "field4":{customData#rc},
  "created_at":{customData#alerta},
  "usuario":"1"
}
```

Figura 81. Parametros de Conexión Node Red y Sigfox Cloud

Elaborado por el investigador.

Esto permitirá la recepción de información a través del protocolo HTTP mediante la herramienta HTTP In que se encuentra en el apartado de red. Esta herramienta analiza el cuerpo de la solicitud y hace que los datos estén disponibles en el servidor a través de la función msg.payload como se muestra en la figura 82.

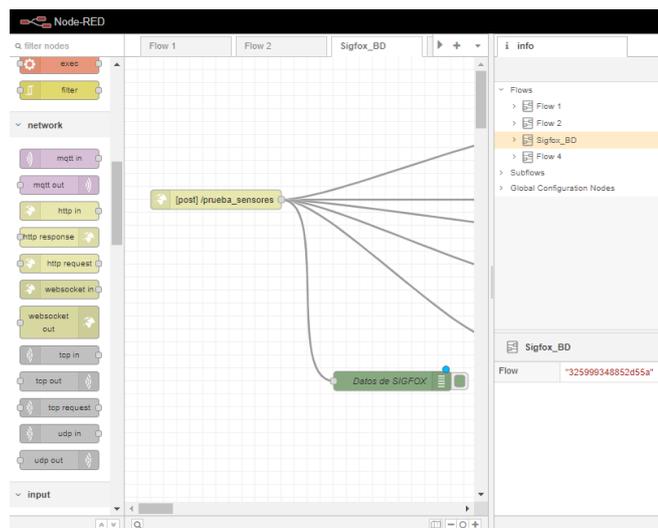


Figura 82. Nodo de comunicación HTTP

Elaborado por el investigador.

Esta información se reflejará en la consola siempre y cuando exista un envío de datos desde el prototipo y se haya reenviado el callback por el Backend de Sigfox a la dirección predefinida, ya con la información en el servidor a través de Node Red es imprescindible almacenar los datos para la manipulación de los mismo, por lo que se opta en crear una base de datos en el servidor.

3.6.7 Base de datos MySQL

El sistema de gestión de base datos MySQL basado en un modelo cliente y servidor permite almacenar y acceder a los datos a través de múltiples motores de almacenamiento a fin de recopilar datos y proporcionar tablas para un mejor manejo de la información.

De manera previa se instaló un servidor LAMP debido a las necesidades que se requiere cubrir dentro del proyecto, donde ya se instaló el recurso de MySQL; sin embargo, el manejo por consola de la base de datos MySQL es un poco más compleja y se la realiza a través de comandos SQL pero existe el recurso de phpMyAdmin el cual maneja la administración de MySQL de manera sencilla y gráfica a través de una aplicación web basada en PHP.

Instalación de phpMyAdmin

La instalación de phpMyAdmin de la figura 83 se efectúa una vez que se tenga ya instalado un servidor LAMP, ya que phpMyAdmin es un complemento para gestionar las bases de datos. Se instala con el siguiente comando:

```
# apt-get install phpmyadmin
```



Figura 83. Servicio phpMyAdmin

Elaborado por el investigador.

Creación de la base de datos

La creación de la base de datos a través del complemento phpMyAdmin para el proyecto de investigación se efectúa de manera gráfica desde el navegador web mediante los siguientes pasos:

1. Ingresar en el banner de phpMyAdmin con el usuario
2. Clic en el icono (Nueva) base de datos en la parte superior izquierda.
3. Ingresar nombre de la base de datos (DatosNodeRed).
4. Definimos el cotejamiento o codificación de la base de datos.
5. Finalmente, clic en crear para generar la base de datos como se muestra en la figura 84.

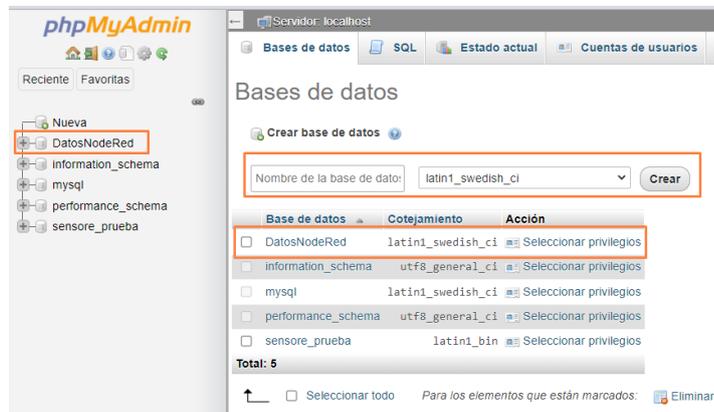


Figura 84. Base de Datos MySQL

Elaborado por el investigador.

Creación de la tabla en la base de datos

La creación de la tabla en la base de datos cuenta con una entidad de nombre DatosSFX_P1 y ocho atributos como se observa en la figura 85.

DatosSFX_P1	
Clave	id
Clave	fecha
Clave	field1
Clave	field2
Clave	field3
Clave	field4
Clave	created_at
Clave	usuario

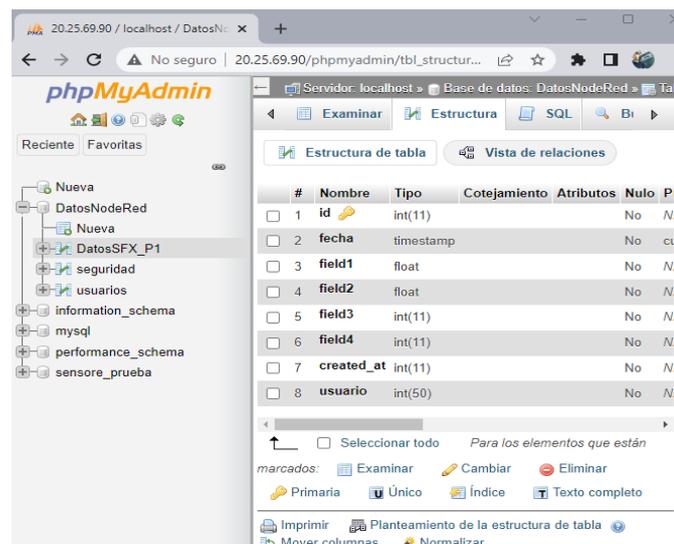
Figura 85. Tabla de base datos

Elaborado por el investigador.

El primer atributo es generado para el autoincremento de datos ingresados a la tabla mientras que el segundo atributo es creado para el control de registro mediante la fecha. Por último, los seis atributos restantes son campos destinados a las variables enviadas desde el backend de Sigfox, cada uno correspondiente a una variable específica.

- field1 – Latitud
- field2 – Longitud
- field3 – SpO2
- field4 – Ritmo cardiaco
- created_at – alerta
- usuario – Identificador de dispositivo o usuario

Los tipos de variables como se muestran en la figura 86 de la estructura en la tabla de base de datos se fijó acorde a la utilidad que se emplea en la interfaz web descrita más adelante. Por lo cual contiene; dos variables de tipo entero id, usuario. Una variable timestamp para la fecha. Los atributos que almacenarán los datos de geolocalización (Latitud y longitud) deben contener decimales para una posición más precisa por ende su tipo de variables es flotante. Finalmente, las últimas dos variables que corresponde a los signos vitales y una de alerta presentan un tipo de variable entero para un mejor manejo de la información.



#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	P
1	id	int(11)	No		No	N
2	fecha	timestamp	No		No	ct
3	field1	float	No		No	N
4	field2	float	No		No	N
5	field3	int(11)	No		No	N
6	field4	int(11)	No		No	N
7	created_at	int(11)	No		No	N
8	usuario	int(50)	No		No	N

Figura 86. Tipos de variables de la tabla de datos

Elaborado por el investigador.

3.6.8 Conexión Base de Datos MySQL con Node Red

La conexión de base de Datos MySQL con Node Red se realiza una vez creada la base de datos MySQL con su estructura y se inicia de la siguiente manera:

1. Agregar la herramienta base de datos al panel de flujo de Node Red del apartado de almacenamiento.
2. Doble clic en la herramienta bases de datos y agregar una nueva base de datos como en la siguiente figura 87.

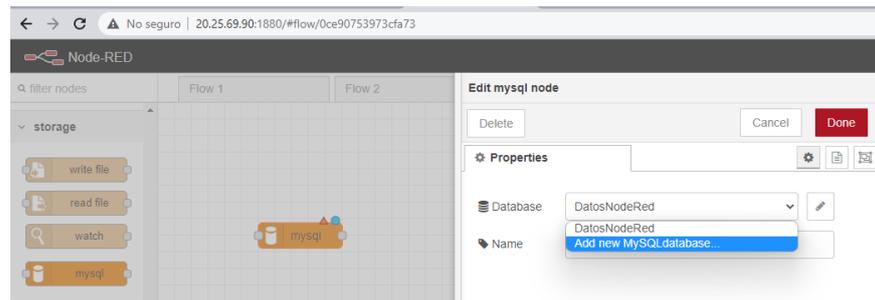


Figura 87. Propiedades de la base de datos

Elaborado por el investigador.

3. Llenar las propiedades de la base datos como host del servidor, puerto habilitante para la comunicación, usuario que contiene la base de datos, nombre de la base de datos, zona horaria, juego de caracteres y por último etiquetas para identificar la base de datos si fuera necesario.

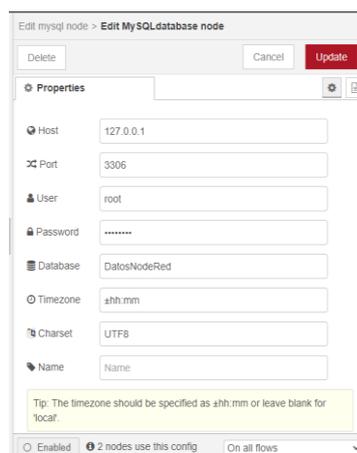


Figura 88. Configuración de base de datos en Node Red.

Elaborado por el investigador.

4. Finalmente agregar la base de datos para el almacenamiento de los datos provenientes del módulo con conectividad Sigfox.

3.6.9 Almacenamiento de datos Sigfox en MySQL mediante Node Red

El almacenamiento de datos de la red de Sigfox en MySQL mediante Node Red empieza al identificar el tipo de variables que es enviada a través del callback de Sigfox, en este caso en la sección anterior sobre el callback, presentaron los tipos de variables que se envían., donde el tipo de variable para todos los datos son enteros como se muestra en la figura 89.

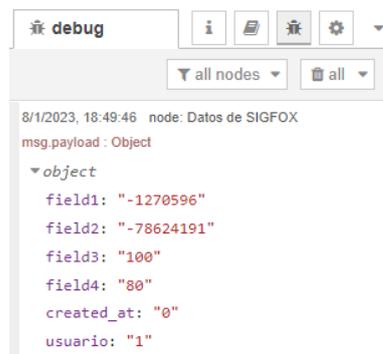


Figura 89. Datos del Bakend sigfox en Node Red

Elaborado por el investigador.

Tan pronto se obtiene la información en Node Red surge el criterio de transformar el tipo de variable entero a flotante para los datos de geolocalización, al ser inevitable localizar una coordenada con un número entero muy elevado. Para llevar a cabo este proceso, se utiliza la sección de funciones, donde se agrega un nodo de función que realiza acciones mediante código JavaScript como se muestra en la figura 90 donde se asigna los valores del payload de latitud y longitud (field1 & field2), a variables auxiliares que dividirán el entero por el mismo número que se multiplica en la programación del prototipo para subir los datos al Bakend de Sigfox y por último la asignación de los otros campos a las diferentes variables.

```

1
2  var aux = 0;
3  var aux2 = 0;
4  aux = msg.payload.field1 / 1000000;
5  var field1 = aux;
6  aux2 = msg.payload.field2 / 1000000;
7  var field2 = aux2;
8
9  var field3=msg.payload.field3;
10 var field4=msg.payload.field4;
11 var created_at = msg.payload.created_at;
12 var usuario = msg.payload.usuario;
13

```

Figura 90. Código JavaScript

Elaborado por el investigador.

Finalmente, para almacenar los datos en MySQL, se ejecuta el código de sentencia SQL que se muestra en la figura 91 utilizando la misma función mencionada anteriormente. Este código incluye todos los campos que se desean enviar a la tabla de la base de datos.

```

21
22
23 msg.topic = "INSERT INTO `DatosSFX_P1`(`field1`, `field2`, `field3`, `field4`, `created_at`, `device`) VALUES (" + field1 + "," + field2 + "," + field3 + ","
24
25 return msg;
26

```

Figura 91. Sentencia SQL para envío de datos a MySQL

Elaborado por el investigador.

La programación visual de Node Red se efectúa mediante sencillas conexiones a los diferentes nodos como se muestra en la siguiente figura 92.

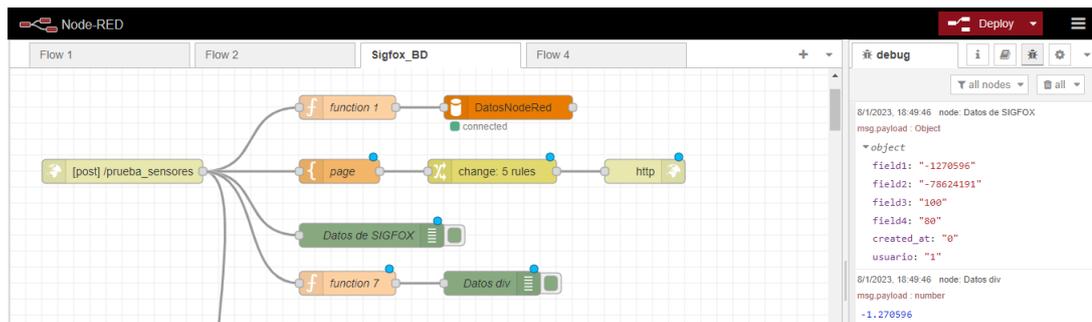


Figura 92. Diagrama para el almacenamiento de datos Sigfox en MySQL mediante Node Red

Elaborado por el investigador.

Una vez que se realiza la conexión se puede observar en la figura 93 los datos enviados por el Bakend de Sigfox en la tabla DatosSFX_P1 dentro de la base de datos DatosNodeRed a través de phpMyAdmin.

	fecha	field1	field2	fie	fie	created	usua
<input type="checkbox"/>	2023-01-04 01:36:35	-1.26794	-78.6233	58	85	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-04 01:36:57	-1.26858	-78.6233	58	85	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-04 01:37:24	-1.26956	-78.6234	58	85	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-04 01:37:53	-1.26956	-78.6218	58	85	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-04 01:38:50	-1.27014	-78.6219	58	85	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-04 01:39:23	-1.27037	-78.6228	58	85	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-04 01:40:01	-1.2706	-78.6242	58	85	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-04 02:05:42	-1.2706	-78.6242	100	80	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-06 23:03:48	-1.2706	-78.6242	100	80	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-07 00:41:48	-1.2706	-78.6242	100	80	0	1
<input type="checkbox"/>	2023-01-08 23:49:46	-1.2706	-78.6242	100	80	0	1

Figura 93. Registro de datos en MySQL

Elaborado por el investigador.

3.6.10 Alerta Telegram

La alerta de Telegram es una notificación para el operario del sistema de monitoreo, en caso de ocurrir un accidente al usuario que porta el dispositivo. Este aviso se efectúa dentro de la aplicación de Telegram que se encuentra disponible para todos los dispositivos con sistema operativo Android y IOS.

Alerta Telegram con Node Red

La alerta Telegram con Node Red se realiza de la siguiente manera:

1. Crear un bot mediante BotFather en la aplicación de Telegram, se puede seguir el proceso de envío de mensajes que se ilustra en la figura 94.

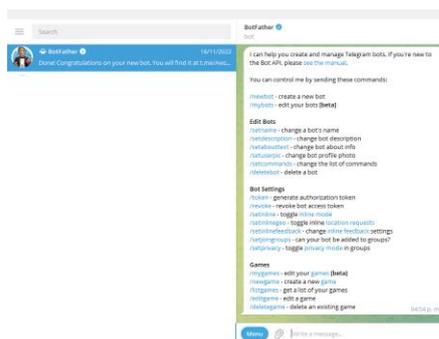


Figura 94. BotFather de Telegram

Elaborado por el investigador.

En la sala de chat que se muestra en la figura 95, se deben agregar ciertos parámetros, como el nombre que servirá para identificar el chat donde se

recibirán las alertas del usuario del prototipo, y el nombre de usuario que se utilizará para identificar al Bot y llevar a cabo su creación.

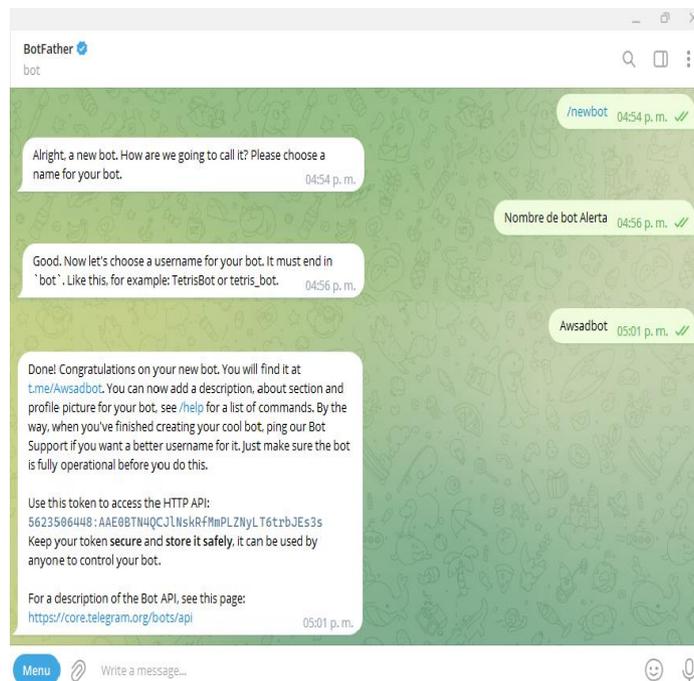


Figura 95. Creacion de Boot

Elaborado por el investigador.

Al crear el Boot se puede ingresar al chat de nuestro Boot Alerta. Además de ya obtener un Api Key que efectuará la conexión entre el servicio de Node Red instalado en el servidor y Telegram.

2. Dentro de Node Red para utilizar Telegram se necesita agregar en:

- Opciones
- Administrar paleta.
- Install
- Telegram
- Seleccionar node-redcontrib-telegrambot e instalar.

3. Se coloca el nodo de recepción de mensajes de Telegram en el panel de flujo y se agrega dentro de las propiedades el username y Api Key del Boot creado en la App de Telegram como se observa en la figura 96.

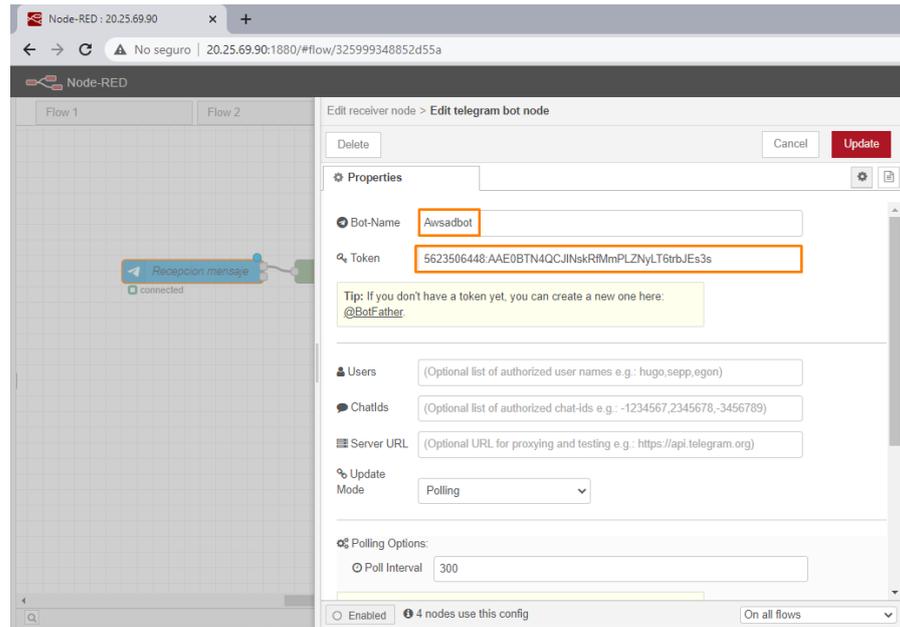


Figura 96. Conexión Node Red y Telegram

Elaborado por el investigador.

Se procede al envío de un mensaje desde la app de Telegram para obtener información del chat Id único del Bot en Node Red.

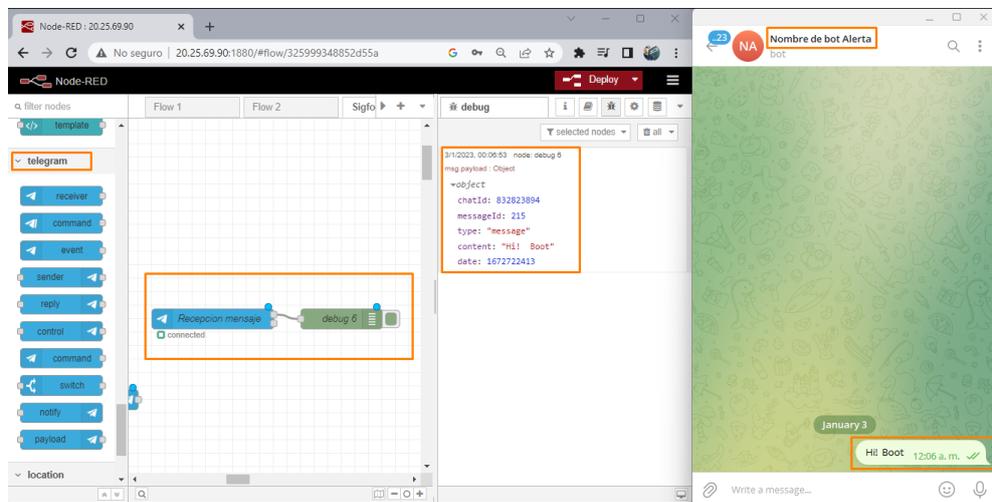


Figura 97. Información única del chat Boot

Elaborado por el investigador.

Por último, se utiliza una función con código JavaScript que se muestra en la figura 98 para obtener la variable de alerta (created_at) de la base de datos y enviar una notificación de alerta cuando el dato es 1, y para indicar un estado normal cuando el dato es 0.

```

1 var cadena, cadena1;
2 cadena = "*Alerta problemas de ascension SOS*\nUbicación: \n";
3 cadena1 = "https://maps.google.com/?q=";
4 flow.set("mysqlNumeroLatitud",msg.payload[0].field1);
5 flow.set("mysqlNumeroLongitud",msg.payload[0].field2);
6 msg.payload = {
7   "chatId": 832823894,
8   "type": "message",
9   "options": { "parse_mode": "Markdown" },
10  "content": cadena + cadena1 + flow.get("mysqlNumeroLatitud") + "," + flow.get("mysqlNumeroLongitud")
11 };
12
13 return msg;
14

```

Figura 98. Código JavaScript para el mensaje de notificación.

Elaborado por el investigador.

Se logra obtener como resultado final un diagrama de flujo que se muestra en la figura 99 en Node Red junto con la implementación de los nodos necesarios para la notificación de alerta mediante un mensaje en Telegram.

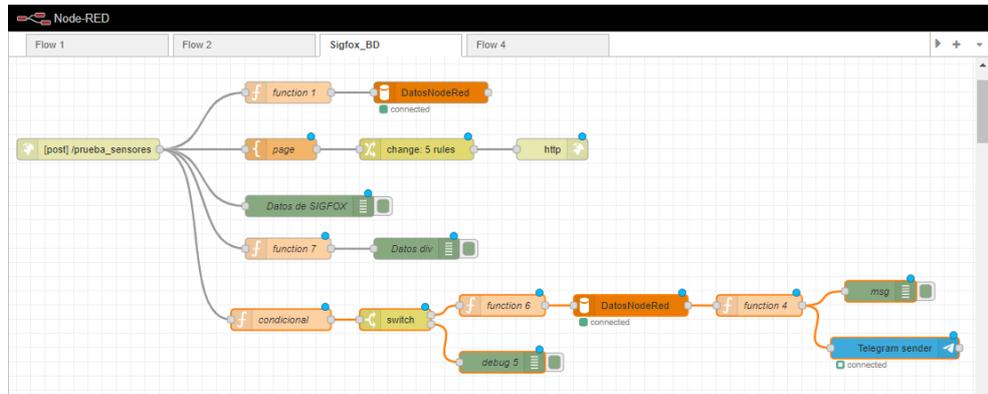


Figura 99. Diagrama de flujo en Node Red

Elaborado por el investigador.

La notificación recibida mediante mensaje de texto en Telegram por parte de la comunicación del servidor a través de Node Red permite identificar el lugar donde ocurre el llamado de emergencia como se muestra en la Figura 100.

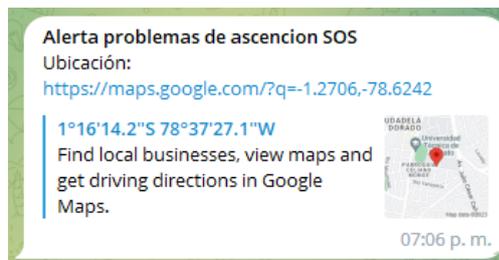


Figura 100. Mensaje de texto de la notificación de alerta

Elaborado por el investigador.

3.6.11 Interfaz de Usuario

Diseño y desarrollo de la Interfaz de Usuario

El diseño de la Interfaz de usuario esta desarrollada con la finalidad de monitorear las condiciones de salud de un alpinista con la ayuda de gráficas en función del tiempo con bloques de datos en tiempo real de los parámetros a monitorear, además de obtener la ruta de posicionamientos en un mapa e identificar su localización, la interfaz se realizó mediante los lenguajes de programación HTML, PHP, Java Script y la herramienta de bootstrap para el diseño de adaptación de la interfaz a cualquier navegador de escritorio o teléfono móvil. El desarrollo de la interfaz necesita la información de la base datos creada en Node Red, por lo que esta enlazada a través de peticiones con conexión PHP entre una base de datos MySQL y la interfaz web, para ello se generó un archivo de conexión PHP con los siguientes parámetros

- Nombre del servidor
- Nombre de base de datos
- Nombre de usuario de la base de datos
- Contraseña de la base de datos

Esta información junto con las líneas de código de la figura 101:

```
?php
$servername = "localhost";
$dbname = "DatosNodeRed";
$username = "root";
$password = "holaquehace";

$conn = mysqli_connect($servername, $username, $password, $dbname);
mysqli = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
mysqli->set_charset("utf8");
if (!$mysqli) {
    die("Error ".mysqli_connect_error());
}
?>
```

Figura 101. Código de Conexión de la base de datos MySQL

Elaborado por el investigador.

permiten la conexión de datos en el servidor de Azure y a través de comandos SQL se logra adquirir los valores almacenados en los campos de las tablas DatosSFX_P1

de la base de datos DatosNodeRed con las siguientes líneas de código de la figura 102:

```
$myArray=[];
$sql = "SELECT id,fecha,field1,field2,field3,field4,valor, created_at
FROM( SELECT S.id,S.fecha,S.field1,S.field2,S.field3,S.field4,IFNULL((SELECT 1
FROM seguridad
WHERE lat1>=S.field1
AND lat2<=S.field1
AND lon1<=S.field2
AND lon2>=S.field2),0) as valor, created_at
FROM DatosSFX_P1 S ORDER BY id DESC LIMIT 7) d ORDER BY id ASC";
```

Figura 102. Peticiones de datos a las tablas de MySQL

Elaborado por el investigador.

Ya con la información de la base de datos se lleva a cabo el desarrollo de las tablas, bloques y mapas en código Java Script por medio de la creación del archivo rtcardiaco.js que representa toda la información obtenida desde el prototipo. Esta representación se la realiza a través de la herramienta gratuita de Google Chart, la cual permite utilizar una amplia galería de gráficos y herramientas de datos que pueden ser personalizados, además de contar un conjunto de opciones que se adaptan al diseño web compatible con HTML. Para integrar la herramienta de Google Chart en la página web, en primer lugar, se debe llamar a la librería que identifica las herramientas que se utilizarán, como los gráficos y los mapas. A través de la función "DrawChart", se pueden dibujar las tablas necesarias para la interfaz web. Sin embargo, para la herramienta de mapa, se necesita un recurso adicional llamado API Key para autenticar las solicitudes asociadas a la interfaz de usuario y trazar la ruta con los datos de geolocalización. Las líneas de código que permiten esto se muestran en la figura 103.

```
google.charts.load('current', {'packages':['corechart', 'map'],
//'key': '',mapsApiKey
'mapsApiKey': 'AIzaSyCPqrpVzY0wafPQwHSE2eV010XW8MfTsUY',
'language': 'es'});
google.charts.setOnLoadCallback(drawChart);
```

Figura 103. Código JavaScript de integración de las herramientas de Google chart

Elaborado por el investigador.

Para crear al API key de Google se realizó los siguientes pasos:

1. Ingreso a la plataforma Google Cloud
2. Clic en credenciales
3. Crear un nuevo proyecto
4. Agregar un nombre al proyecto
5. Seleccionar las restricciones de aplicación para el api Key
6. Finalmente crear

Al realizar este procedimiento se puede observar en la figura 104 la creación del nuevo proyecto y la generación de API que se utilizará en la interfaz web.

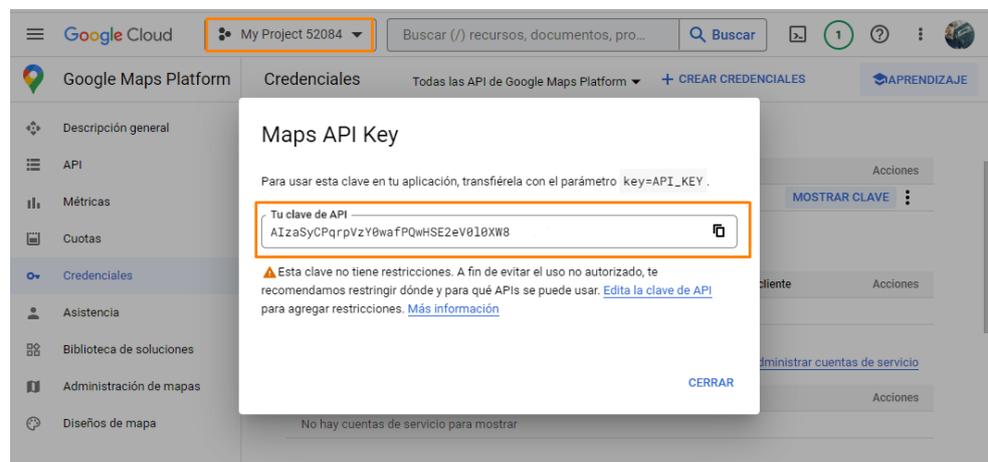


Figura 104. Generación de la Api Key de Google

Elaborado por el investigador.

La biblioteca de Google Charts facilita el realizar gráficas mediante el uso de ejemplos de código proporcionados por la plataforma de Google Cloud. Además de poder graficar la ruta en el mapa de Google de manera sencilla utilizando código Java Script

Condiciones de alerta en la interfaz de Usuario

Las condiciones de alerta en la interfaz de usuario se ven reflejadas por banners interactivos específicamente para tres condiciones que son la siguientes:

1. Zona Segura.

La zona segura demuestra la ruta o trayecto que debe cumplir el alpinista y está definida como una tabla de datos (seguridad) en la base de datos MySQL donde se agrega los puntos de coordenadas en grados decimales de polígonos

que demuestran una zona geográfica que no presenta peligro alguno, esta información permite comparar la información definida en la tabla y los datos enviados desde el prototipo para determinar si se encuentra fuera de la zona segura, con el fin de presentar en la interfaz de usuario un mensaje de aviso y alertar al operario del sistema. La comparación de esta información devuelve una variable valor que ayuda a definir cuando mostrar o no el banner de fuera de la zona segura como se muestra en las siguientes líneas de código de la figura 105.

```
var x = document.getElementById("zona");
var xa = document.getElementById("alerta");

if(Respuesta[Respuesta.length-1].valor==1){
  x.style.display = "none";
}else{
  x.style.display = "block";
}
```

Figura 105. Código JavaScript para alerta de zona segura

Elaborado por el investigador.

2. Señal de Alerta.

La señal de alerta se presenta en la interfaz de usuario cuando el alpinista acciona el botón de emergencia en el prototipo, esto a causa de algún problema en el descenso o ascenso hacia el volcán Cotopaxi. La señal de alerta proveniente del dispositivo es almacenada en la base de datos con el fin de ser adquirida y mostrada según sea necesario. En la figura 106 se presentan las líneas de programación que condicionan el activar o desactivar la alerta de emergencia en la interfaz web.

```
if(Respuesta[Respuesta.length-1].created_at==1){
  xa.style.display = "block";
}else{
  xa.style.display = "none";
}
```

Figura 106. Código JavaScript para alerta de emergencia

Elaborado por el investigador.

3. Emergencia fortuita.

En caso de una emergencia imprevista durante la ruta, se realiza una evaluación de los signos vitales del alpinista para determinar si se encuentran por debajo del promedio normal. Para ello, se aplicará lo investigado en el capítulo 1, donde se detallan los niveles de gravedad de la hipoxia y se establece la frecuencia cardiaca máxima que una persona de 31 años podría alcanzar en relación con la altura. De acuerdo con esta información, se ha creado la tabla 19 que define las diferentes condiciones de emergencia.

Tabla 19. Condiciones de notificación de la interfaz web.

Caso	Saturación de Oxígeno	Ritmo Cardiaco	Notificación
Hipoxia Cerebral	Menor a 68%		Alerta Emergencia
Frecuencia cardiaca máxima		Mayor a 144 pulsaciones por minuto.	Alerta Emergencia
Deceso o accidente grave.	Menor a 20%	Menor a 20 pulsaciones por minuto.	Alerta Emergencia

Fuente: Elaborado por el investigador.

De esta manera se activa las alertas al operario del sistema. Esto se logra con los datos que se obtienen de la base de datos del ritmo cardiaco y saturación de oxígeno como se muestra en las siguientes líneas de código de la figura 107.

```
if (Respuesta[Respuesta.length-1].field3<20 && Respuesta[Respuesta.length-1].field4<20 ) {
    xa.style.display = "block";
} else {
    xa.style.display = "none";
}

if (Respuesta[Respuesta.length-1].field3<68 ) {
    xa.style.display = "block";
} else {
    xa.style.display = "none";
}

if (Respuesta[Respuesta.length-1].field4> 140) {
    xa.style.display = "block";
} else {
    xa.style.display = "none";
}
```

Figura 107. Código JavaScript para alerta de signos vitales

Elaborado por el investigador.

Descripción de la Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario para el sistema de monitoreo de signos vitales y geolocalización es el sitio web que presenta la información enviada por el prototipo, cuenta con tres diferentes páginas con sitios clasificados de la siguiente manera:

1. Ingreso a la plataforma
2. Registro de la plataforma
3. Panel de control de la información

Ingreso a la plataforma

El ingreso a la plataforma se efectúa a través de un control de acceso individual al sistema, con el correo electrónico y contraseña como se muestra en la figura 108.

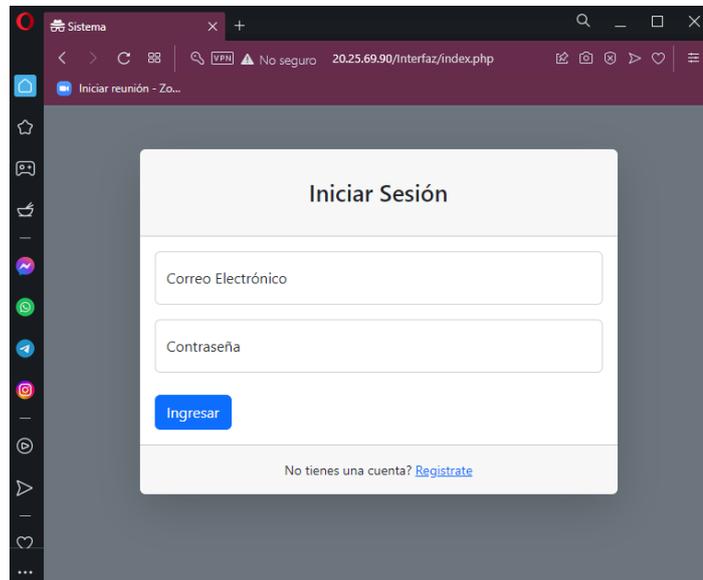


Figura 108. Loguin de la plataforma

Elaborado por el investigador.

Registro de la plataforma

El registro de la plataforma que se indica en la figura 109 se completa con la información personal del operario para generar un nuevo usuario, donde la información de correo electrónico y contraseña serán los datos que permitirán el ingreso al panel de control de información.

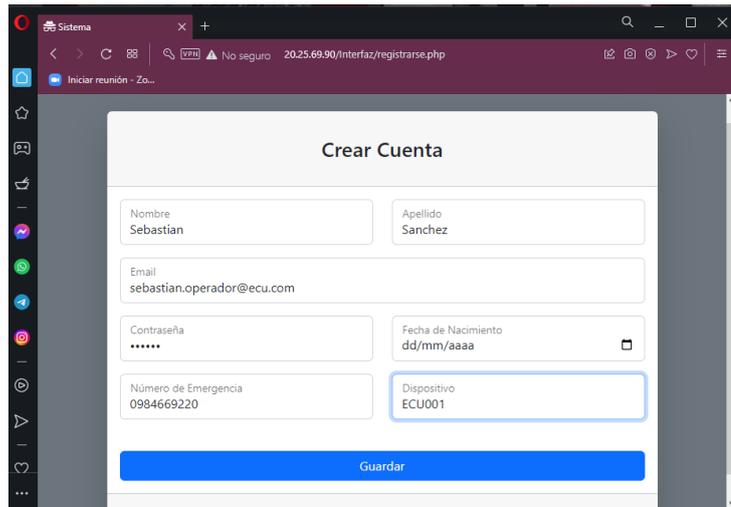


Figura 109. Registro de la plataforma
Elaborado por el investigador.

Panel de control

El panel de control que se muestra en la figura 110 de la interfaz web es una herramienta para la gestión de información que indica de manera visual los datos y los indicadores de emergencia o zona segura.

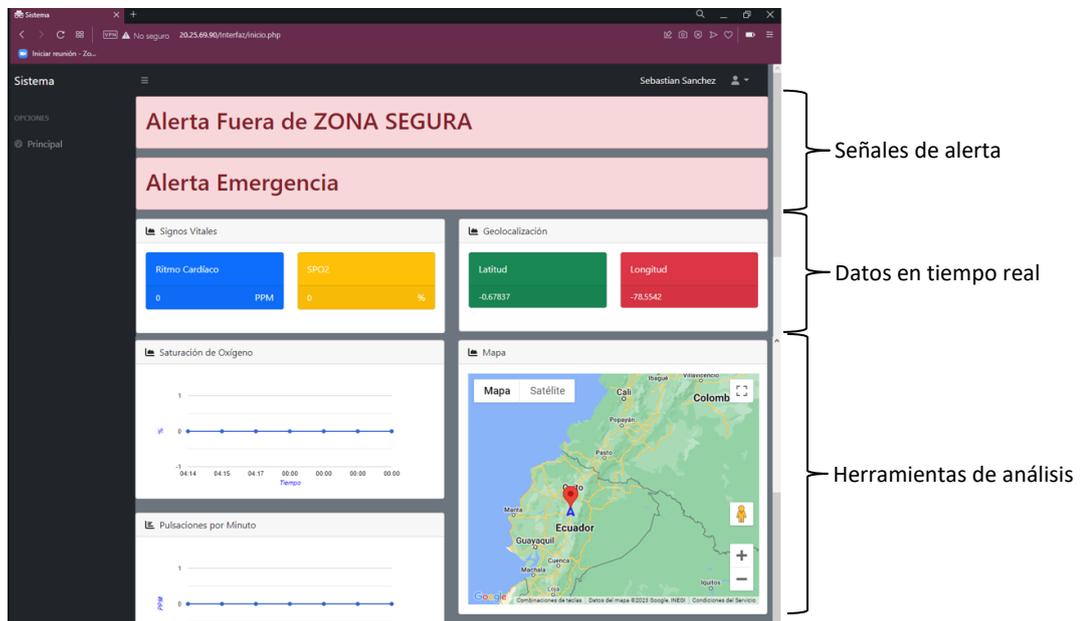


Figura 110. Panel de control
Elaborado por el investigador.

El contenido presente en el panel de control que se muestra en la parte superior son las dos señales de alerta que se llegará a activar en caso de presionar el botón de emergencia desde el prototipo o cuando el alpinista se encuentre en zona de peligro.

En la sección intermedia, se presentan los datos en tiempo real a través de dos etiquetas específicas que detallan la información de los signos vitales y la geolocalización correspondiente a la última interacción con el prototipo. De esta manera, es posible obtener la ubicación precisa del alpinista mediante las coordenadas de latitud y longitud, así como también los valores de ritmo cardiaco y saturación de oxígeno que se registraron en ese momento. Finalmente se cuenta con las herramientas de análisis en las que se presenta graficas en función del tiempo para determinar los últimos siete datos enviados desde el prototipo tanto para el ritmo cardio y la saturación de oxigenación. Además, se cuenta con un mapa que permite realizar el Tracker o rastreo a través de las coordenadas enviadas por el GPS del prototipo logrando trazar la ruta que ha llegado a cumplir el alpinista.

3.7 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo de signos vitales y geolocalización para alpinistas del Parque Nacional Cotopaxi (PNC) mediante tecnología Sigfox inician con la delimitación del mapa de cobertura que cubre la ruta de ascenso y descenso del volcán Cotopaxi, la cobertura que brinda ciertas estaciones colocadas en puntos estratégicos de la provincia de Pichincha se puede identificar celdas de cobertura de conectividad Sigfox. Al analizar la información recopilada, se puede identificar las celdas de cobertura y estimar la calidad del servicio que se brinda. Por ejemplo, se ha determinado que en el volcán Cotopaxi se cuenta con una cobertura del 70%, mientras que en la ruta de acceso al parqueadero del refugio José Ribas la cobertura es del 20%, tal como se muestra en la figura 111.

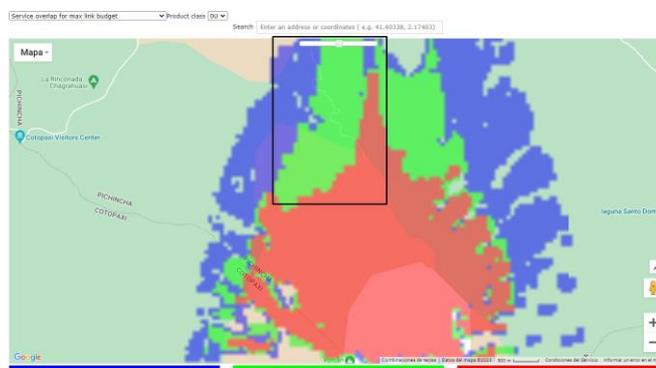


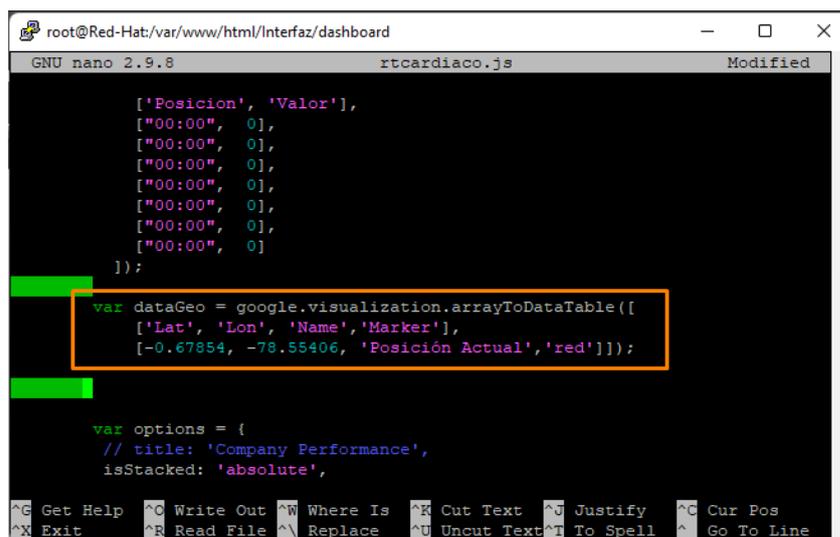
Figura 111. Cobertura en el volcán Cotopaxi y parte de la ruta de acceso en vehículo al refugio José Ribas

Elaborado por el investigador.

Además, se idéntica con diferentes colores las zonas del mapa que cubren varias estaciones para lograr una calidad de transmisión de radiofrecuencia mejorada, esto acorde con el número de estaciones base que tenga alcance ciertas zonas clasificadas de la siguiente manera:

- Rojo: Tres estaciones base para recepción de información
- Verde: Dos estaciones base para recepción de información
- Azul: Una estación base para recepción de información

Esto permite que la recepción de información se efectué y que no se pierda transmisión de datos desde el prototipo. Sin embargo, al no existir cobertura alguna en el ingreso al Parque Nacional Cotopaxi se optó por determinar el punto de coordenadas inicial en el mapa de la interfaz web mediante archivo rtradiaco.js como se observa en la figura 112. elaborado en JavaScript.



```
root@Red-Hat:/var/www/html/Interfaz/dashboard
GNU nano 2.9.8 rtradiaco.js Modified

    ['Posicion', 'Valor'],
    ["00:00", 0],
    ["00:00", 0],
    ["00:00", 0],
    ["00:00", 0],
    ["00:00", 0],
    ["00:00", 0],
    ["00:00", 0],
    ["00:00", 0],
    ["00:00", 0]
  ]);

var dataGeo = google.visualization.arrayToDataTable([
  ['Lat', 'Lon', 'Name', 'Marker'],
  [-0.67854, -78.55406, 'Posición Actual', 'red']]);

var options = {
  // title: 'Company Performance',
  isStacked: 'absolute',
};

^G Get Help  ^O Write Out ^W Where Is  ^K Cut Text  ^J Justify   ^C Cur Pos
^X Exit      ^R Read File ^\ Replace   ^U Uncut Text ^T To Spell  ^_ Go To Line
```

Figura 112.Coordenada Inicial en Java Script

Elaborado por el investigador

Por lo tanto, se observa en la figura 113 el punto inicial del recorrido en la entrada del Parque Nacional Cotopaxi lugar donde personal autorizado o guardaparques realizan el registro de los visitantes y el número de placa del vehículo. Este sitio es el lugar principal para el monitoreo del ingreso de personas que realizan turismo o alpinismo. Además, cuenta con las herramientas necesarias para llevar a cabo el monitoreo de los alpinistas y su recorrido, gracias a la conectividad a Internet que permite la visualización de la información en una interfaz web.

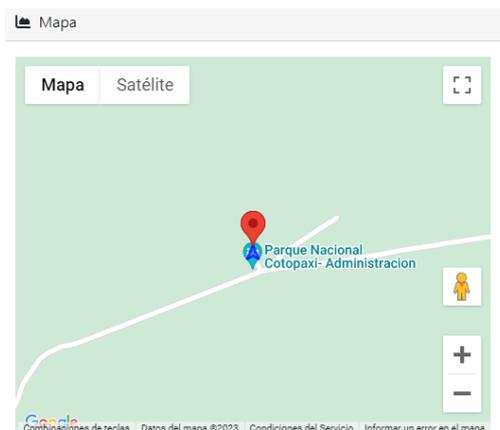


Figura 113. Punto inicial en la interfaz web del PNC

Elaborado por el investigador.

Una vez listo el punto de partida se procede a realizar la prueba de campo en tres etapas

- Etapa 1. Ruta de vehículo y ascenso al refugio José Ribas.
- Etapa 2. Zona del refugio José Ribas y pruebas experimentales.
- Etapa 3. Descenso del refugio José Ribas y Ruta de vehículo.

Etapa 1. Ruta de vehículo y ascenso al refugio José Ribas.

En la etapa 1. se verifica las coordenadas que el prototipo obtiene en la entrada del PNC con los distintos signos vitales como se observa en la siguiente figura 114.



Figura 114. Datos del prototipo al ingresar al PNC

Elaborado por el investigador.

Se procede a iniciar la ruta en vehículo con una hora de ingreso de las 11:05 am luego de aproximadamente 45 a 60 minutos se logra ingresar en zona de cobertura ubicada desde el punto de referencia Bar Barbacoa en adelante, por lo que el segundo punto de la ruta es lejano y se encuentra ya en las faldas del volcán Cotopaxi. Luego de ese punto y Una vez que se ha ingresado a la zona de cobertura, se procede a identificar la ubicación aproximadamente cada 12 minutos. En la figura 115 se puede observar la velocidad del dispositivo y la coordenada del punto anterior al momento en que se envía la información. De esta manera, se puede tener un registro detallado del recorrido realizado y la ubicación exacta del dispositivo en todo momento.

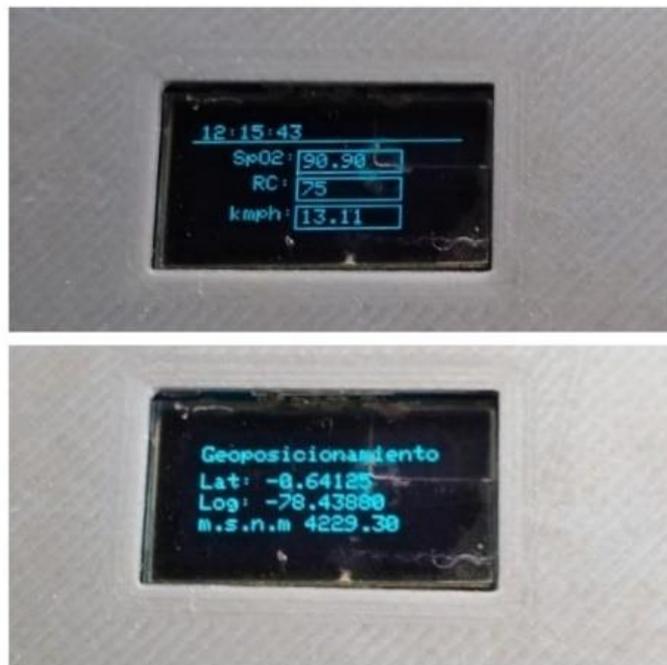


Figura 115. Datos del prototipo en la ruta del vehículo

Elaborado por el investigador.

La información que se obtiene mediante el dispositivo durante el ascenso varía de acuerdo con el movimiento y las condiciones de los signos vitales del alpinista es por ello que en la tabla 21. presenta los datos de latitud, longitud, saturación de oxígeno (SpO2) y ritmo cardiaco (RC) además de las condiciones que se encuentra cumpliendo el prototipo durante la ruta del vehículo y el ascenso al refugio José Ribas dentro de la zona segura definida anteriormente.

Tabla 20. Datos de ruta de vehículo y ascenso al refugio José Ribas

Núm.	Latitud	Longitud	SpO2	RC	Zona segura	Alertas	Prototipo en mano
1	-0,62936	-78,4433	75	90	Si	No	Si
2	-0,64125	-78,4388	77	92	Si	No	Si
3	-0,65719	-78,4386	75	90	Si	No	Si
4	-0,65722	-78,4385	80	93	Si	No	Si
5	-0,65992	-78,4384	78	93	Si	No	Si
6	-0,6611	-78,4385	75	90	Si	No	Si
7	-0,66257	-78,4385	76	93	Si	No	Si
8	-0,66378	-78,4384	75	93	Si	No	Si

Fuente: Elaborado por el investigador.

La ruta que se refleja en el panel de control a través de la herramienta de análisis mapa presenta el Tracker o rastreo del prototipo con la información de la tabla 21 como se observa en la figura 116.

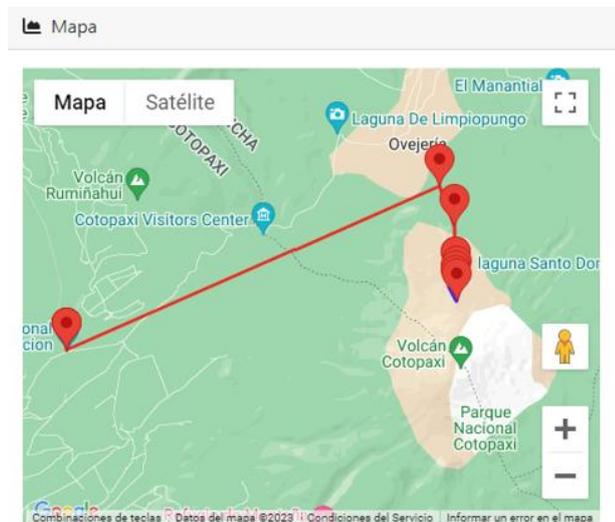


Figura 116. Ruta de ascenso al volcán Cotopaxi

Elaborado por el investigador.

En ruta donde no accede el vehículo y empieza la caminata hasta la zona del refugio José Ribas se expone al alpinista a condiciones de climas extremos, por ende, existen variaciones algo significativas en la gráfica de las pulsaciones por minuto en función del tiempo, como se muestra en la figura 117 esto se efectúa debido al gran desnivel de ascenso que presenta el volcán Cotopaxi. Los primeros 15 a 20 minutos existe una aceleración del ritmo cardiaco más conocido como taquicardia hasta que el

cuerpo humano se adapte al clima y responda de manera eficiente al esfuerzo físico que demanda la ascensión del volcán.

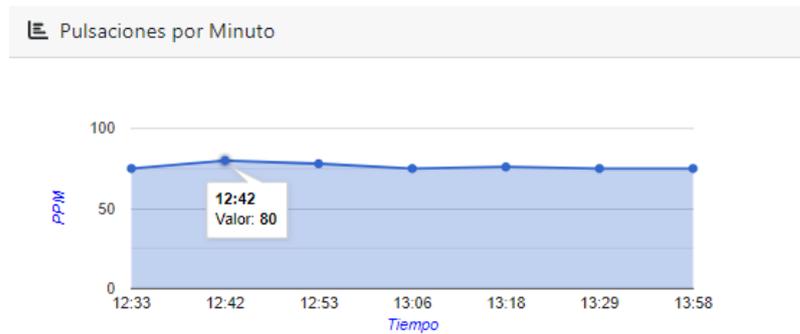


Figura 117. Pulsaciones por minuto
Elaborado por el investigador.

Mientras que la saturación de oxígeno de la figura 118 no presenta cambios bruscos debido a que se encuentra aún en la etapa inicial de ascenso al volcán Cotopaxi y, a medida que se avance hacia la cima e incremente la altura, su saturación de oxígeno ira disminuyendo progresivamente como se observa en la figura 118.



Figura 118. Saturación de Oxígeno
Elaborado por el investigador.

Toda la información recopilada por los sensores del prototipo es enviada al Bakend como se muestra en la figura 119 Donde encontramos los mensajes codificados en hexadecimal, la hora y fecha cuando se recibió los mensajes, de esta forma se logra identificar el envío de callback al servidor y la intensidad de señal con la que está trabajando el dispositivo.

Time	Seq Num	Data / Decoding	LQI	Callbacks	Location
2023-01-17 18:29:13	940	fff5df1cfb53200005d4b00	High	Success	Location
2023-01-17 18:17:14	939	fff5e3d6fb531fa0005d4c00	High	Success	Location
2023-01-17 18:05:07	938	fff5e994fb531fa0005a4b00	High	Success	Location
2023-01-17 17:53:10	937	fff5ee30fb53200005d4e00	High	Success	Location
2023-01-17 17:41:26	936	fff5f8bcfb531fa0005d5000	High	Success	Location

Figura 119. Bakend Sigfox con mensajes de ascenso en hexadecimal

Elaborado por el investigador.

La información al estar en un Bakend a nivel mundial cuenta con el horario UTM por lo que se puede identificar el cambio de hora; sin embargo, los minutos de envío se contrastan con la información de las herramientas de análisis y es así como toda la información de las pruebas de campo dentro de una zona de cobertura es recibida en la nube de Sigfox para ser reenviada al servidor en Azure.

Etapa 2. Zona del refugio José Ribas y pruebas experimentales.

La etapa 2 en la zona del refugio José Ribas se realiza pruebas experimentales para determinar si el alpinista se encuentra en zona segura o fuera de ella, dando lugar a alertas de emergencia desde el prototipo, para ello se llegó a definir previamente la zona segura desde la ruta en vehículo, donde inicia la cobertura junto con el parqueadero hasta el refugio que se ubica a 4864 m.s.n.m, con un polígono de seguridad de color verde por el camino de ascenso corto, mientras que la zona de peligro se presenta de color rojo como se muestra en la figura 120.

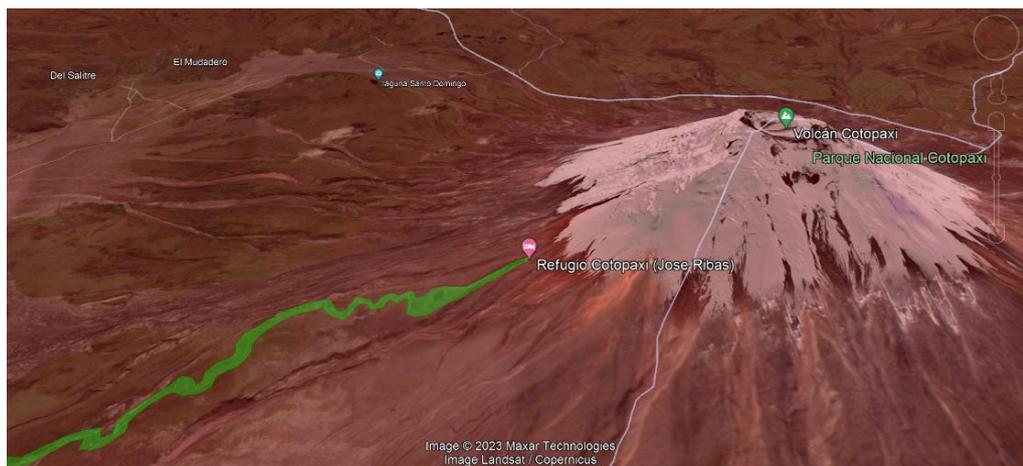


Figura 120. Referencia del área del volcán Cotopaxi

Elaborado por el investigador.

La situación actual del volcán Cotopaxi presenta un proceso eruptivo leve; sin embargo, las actividades de alta montaña se encuentran suspendidas como medida preventiva para los alpinistas que realizan este deporte; sin embargo, se optó por efectuar las pruebas de experimentación de emergencia desde el refugio José Ribas, con la configuración del prototipo por debajo de las condiciones normales de los signos vitales, con una saturación de oxígeno (SpO2) 18 y un ritmo cardiaco (RC) con 10 pulsaciones por minuto (ppm), para el envío de información desde el campo de prueba ubicado en las mesas de la cafetería del refugio como se indica en la figura 121.

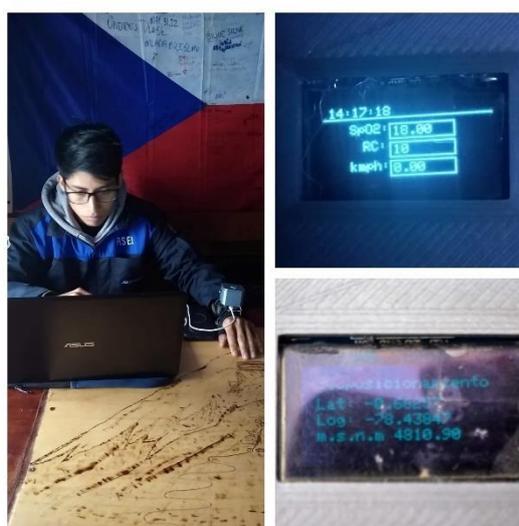


Figura 121. Pruebas de experimentación en el refugio José Ribas

Elaborado por el investigador.

Esta información se ve reflejada en la interfaz web en el panel de control junto con un componente interactivo emergente de alerta en consecuencia a los signos vitales por debajo de lo normal; además, se presenta en las herramientas de mapa y datos en tiempo real, la posición en donde se encuentra la persona afectada mediante las coordenadas de latitud y longitud y los datos experimentales enviados desde el prototipo como se observa en la figura 122.

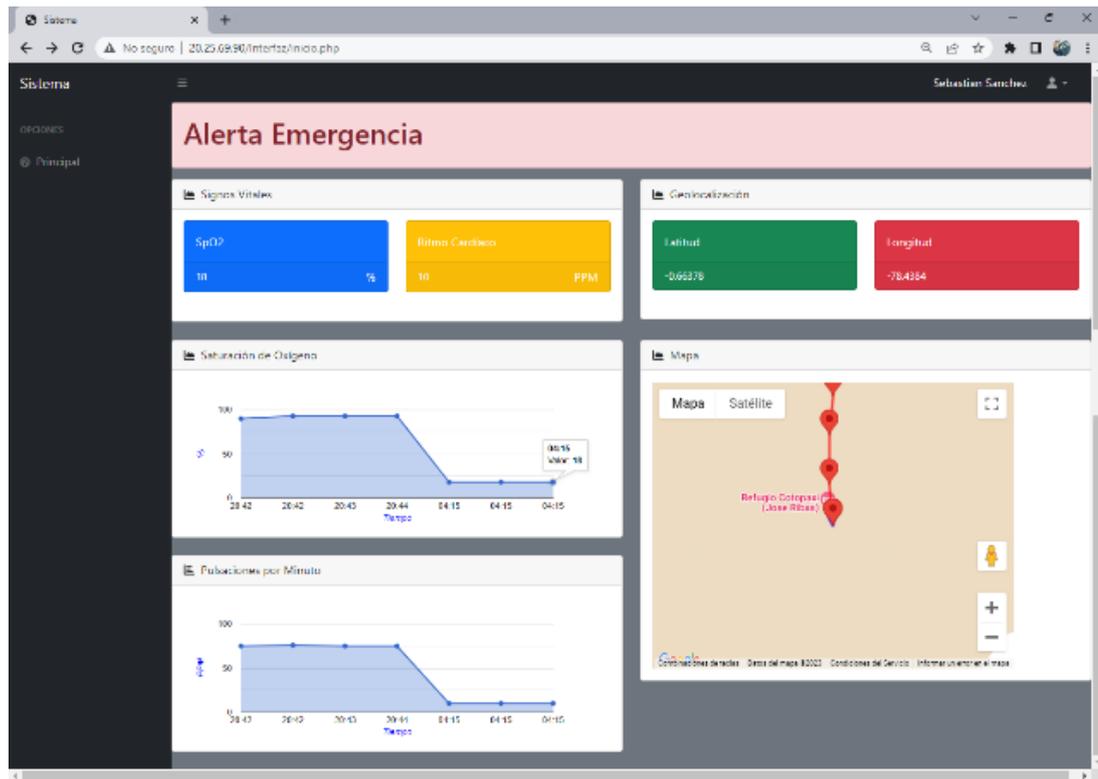


Figura 122. Panel de control con alerta de emergencia de signos vitales bajos

Elaborado por el investigador.

Asimismo, es importante destacar que el sistema presenta alertas de emergencia en caso de que se detecten signos vitales anómalos, como por ejemplo una saturación de oxígeno por debajo del 68% que indique una hipoxia extrema, o una frecuencia cardíaca mayor a 140 pulsaciones por minuto. Estos casos se pueden observar en las figuras 123 y 124, respectivamente. De esta manera, el sistema puede alertar de manera temprana cualquier situación de riesgo que requiera atención inmediata.

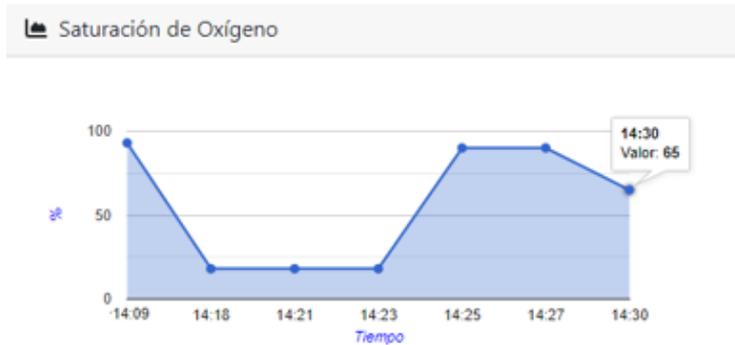


Figura 123. Saturación de oxígeno con principios de hipoxia cerebral

Elaborado por el investigador.



Figura 124. Pulsaciones por minuto con problemas de taquicardia

Elaborado por el investigador.

El realizar un envío de información falsa de signos vitales permite emular accidentes fortuitos graves como avalanchas, rotura de cornisas o caída en grietas de hielo donde el alpinista no pudo accionar su botón de emergencia y en cuestión de minutos puede generar alteraciones en los signos vitales o en el peor de los casos ocasionar la muerte del alpinista, esto ayudará a evidenciar una emergencia en el sitio de monitoreo del operario para que pueda realizar las acciones de rescate con las diferentes autoridades pertinentes.

Etapa 3. Descenso del refugio José Ribas y Ruta de vehículo.

En la etapa 3 de descenso del refugio José Ribas y Ruta de vehículo de salida se optó por identificar una zona experimental de color naranja que se muestra en la figura 125 represente la zona de peligro por donde se puede caminar durante las pruebas de campo para lograr enviar información del alpinista a través del botón de emergencia, de esta manera alertar al operario del sistema de monitoreo que el alpinista se

encuentra fuera de la zona segura o se produjo un accidente como caídas, golpes, rotura de extremidades etc.



Figura 125. Clasificación de zonas de experimentación

Elaborado por el investigador.

Para el descenso del refugio José Ribas se procedió a asignar un nuevo horario al dispositivo en este caso para que el prototipo inicie un nuevo registro de ruta descenso y proceda a marcar la ubicación luego de 12 minutos. Transcurrido 35 minutos de descenso se procedió a activar el botón de emergencia durante 4 a 5 minutos para él envió de la señal emergente al centro operativo. Como se puede observar en la figura 126.



Figura 126. Pruebas de campo con envío de alertas

Elaborado por el investigador.

Además, en la figura 127 se procede a retirar el dispositivo de la mano para representar que el prototipo se encuentra fuera de la muñeca del alpinista y la lectura de sus signos vitales se conviertan en valores predeterminados de 255 que no son

representativos de la verdadera condición del alpinista, sin embargo, el operario identifica las dos alertas de emergencia en el sistema, debido a la posición del alpinista fuera de la zona segura y la emergencia a través del botón de emergencia pero no la información correcta de signos vitales debido a no encontrarse el dispositivo colocado en la mano.

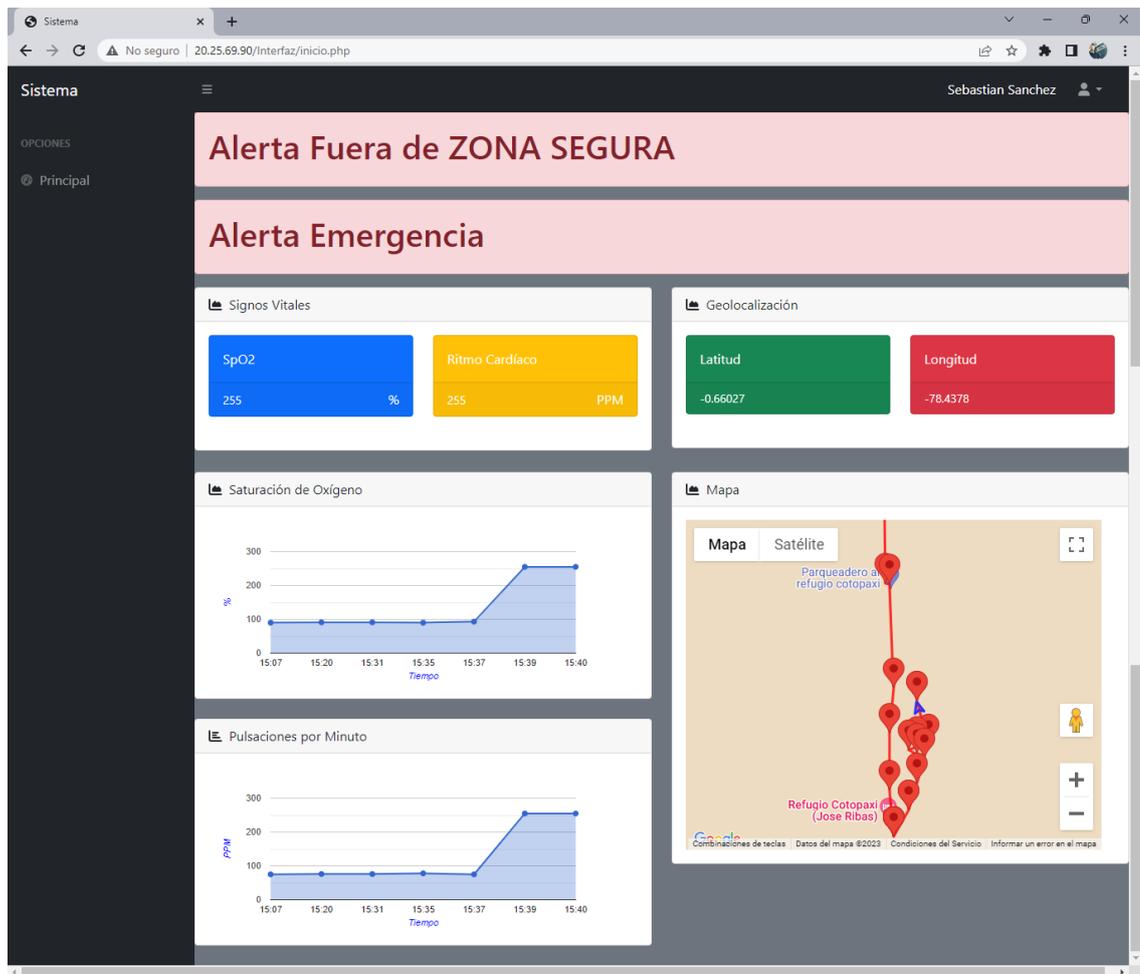


Figura 127. Panel de control con alertas activadas fuera de la muñeca del usuario.

Elaborado por el investigador.

Una vez accionado el botón de emergencia también se puede identificar la notificación enviada al celular del operario a través de la aplicación de Telegram, con las coordenadas del lugar exacto donde se efectúa la emergencia como indica la figura 128.

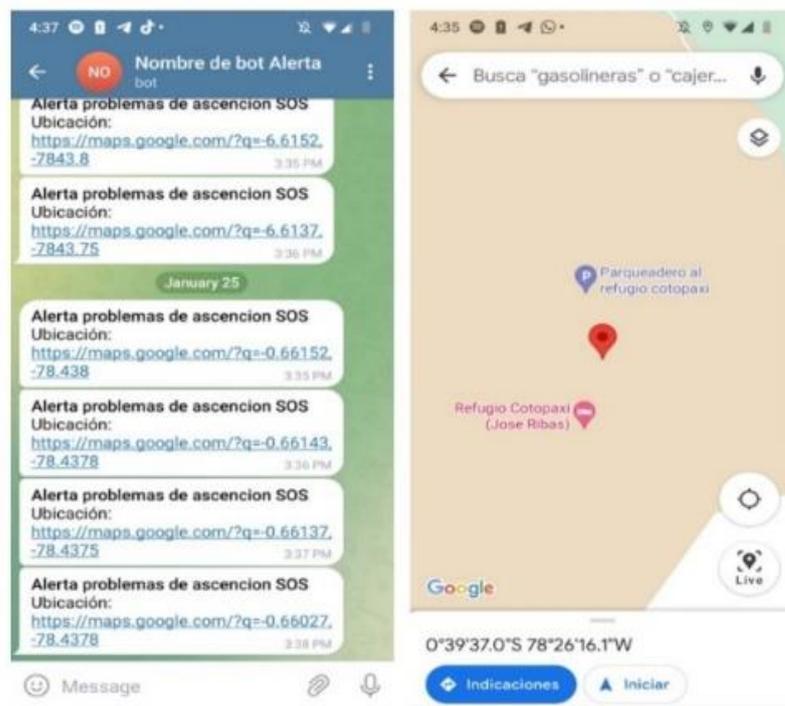


Figura 128. Notificación de alerta de emergencia al operario

Elaborado por el investigador.

La información enviada por el dispositivo se refleja en la siguiente tabla 22 donde se puede observar las coordenadas y los datos del prototipo durante el trayecto de descenso del volcán Cotopaxi, dando lugar a puntos específicos en el mapa que dibujan la trayectoria del alpinista.

Tabla 21. Datos de descenso y alertas del volcán Cotopaxi

Núm.	Latitud	Longitud	SpO2	RC	Zona segura	Alerta	Prototipo en mano
1	-0,66309	-78,4380	89	75	No	No	Si
2	-0,66238	-78,4378	90	76	No	No	Si
3	-0,66173	-78,4376	90	75	No	No	Si
4	-0,66162	-78,4378	91	76	No	No	Si
5	-0,66152	-78,4380	78	93	No	No	Si
6	-0,66143	-78,4378	90	78	No	Si	Si
7	-0,66137	-78,4375	93	75	No	Si	Si
8	-0,66027	-78,4378	255	255	No	Si	No
9	-0,65824	-78,4381	255	255	No	Si	No
10	-0,65478	-78,4386	91	77	Si	No	Si
11	-0,63795	-78,4391	92	77	Si	No	Si

Fuente: Elaborado por el investigador.

En el panel de control, se puede visualizar la ruta completa que el alpinista ha recorrido dentro de la zona de cobertura. Para ello, se utiliza el Tracker o rastreo del prototipo, con la información detallada en la tabla 22 y se puede observar en la figura 129. Además, en el panel de control se muestran los últimos datos enviados por el dispositivo, como se puede apreciar en la figura 130. De esta manera, se puede tener un registro completo y actualizado de la ubicación y los signos vitales del alpinista en todo momento.

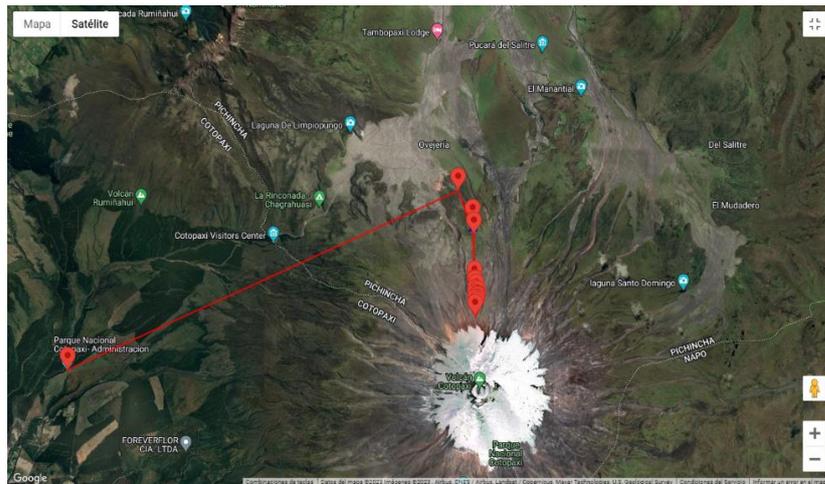


Figura 129. Tracker GPS de la Ruta cumplida por el alpinista.

Elaborado por el investigador.

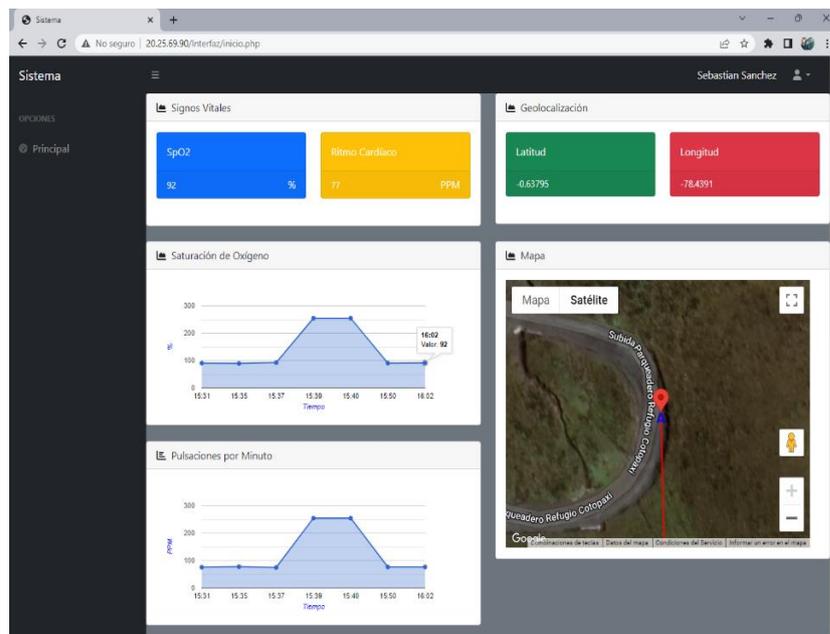


Figura 130. Información de la última comunicación con el dispositivo.

Elaborado por el investigador.

Confiabilidad

La confiabilidad del prototipo en un inicio se decidió efectuar la medición respecto del oxímetro comercial KL-100 mismo que debe tener varias condiciones para lograr una mejor lectura, sin embargo al estar en un lugar inhóspito como lo es la ruta de ascenso y descenso del volcán Cotopaxi lo cual podría ocasionar daños por humedad o lluvia al oxímetro KL-100, se optó por mantener una parada previa al envío de datos de aproximadamente 2 minutos en una posición adecuada del prototipo, esto para que se estabilice las lecturas del ritmo cardiaco y se envié una información más acertada logrando obtener los resultados de las pruebas de campo de la tabla 20 y 21. En la tabla 22 sin contar con los datos de experimentación se presenta la información siguiente.

Tabla 22. Confiabilidad del SpO2 y RC.

Núm. de Prueba	Prototipo	
	SpO2	RC
1	90	75
2	92	77
3	90	75
4	93	80
5	93	78
6	90	75
7	93	76
8	93	75
9	89	75
10	90	76
11	90	75
12	91	76
13	91	76
14	90	78
15	91	77
16	92	77
Promedio:	91,125	76,3125

Fuente: Elaborado por el investigador.

Esta información al no lograr ser contrastada por el oxímetro comercial Kl-100 debido a que se utilizó el oxímetro medico KL-100 únicamente para la calibración en condiciones de reposo con el fin de que los datos del sensor Max30102 sean lo más aproximado a la realidad. La información se contrasta con datos de las coordenadas del teléfono celular Motorola G7, mientras que los signos vitales se contrastaron con

la información de un dispositivo con similares características como lo es el Smartwatch FTTMWTAG en las mismas condiciones de movimiento en la trayectoria del alpinista, Una vez realizadas las pruebas de campo con el prototipo y los dispositivos que cumple las mismas funciones se obtiene los resultados de la tabla 23.

Tabla 23 Confiabilidad del prototipo

Núm. de Prueba	Prototipo				Motorola G7 y Smartwatch FTTMWTAG			
	SpO2	RC	Ubicación		SpO2	RC	Ubicación	
			Latitud	Longitud			Latitud	Longitud
1	92	45	-0,62936	-78,4433	95	76	-0,629	-78,443
2	92	77	-0,64125	-78,4388	93	75	-0,641	-78,438
3	80	85	-0,65719	-78,4386	94	76	-0,657	-78,438
4	85	70	-0,65722	-78,4385	95	77	-0,657	-78,438
5	93	88	-0,65992	-78,4384	95	74	-0,659	-78,438
6	94	75	-0,6611	-78,4385	93	74	-0,661	-78,438
7	93	56	-0,66257	-78,4385	95	75	-0,662	-78,438
8	95	55	-0,66378	-78,4384	95	73	-0,663	-78,438
9	89	45	-0,66309	-78,438	92	74	-0,663	-78,438
10	87	76	-0,66238	-78,4378	91	70	-0,662	-78,437
11	90	55	-0,66173	-78,4376	92	76	-0,661	-78,437
12	87	76	-0,66162	-78,4378	95	70	-0,661	-78,437
13	93	40	-0,66152	-78,438	94	75	-0,661	-78,438
14	89	78	-0,66143	-78,4375	95	70	-0,661	-78,438
15	89	67	-0,65478	-78,4386	94	74	-0,654	-78,438
16	93	47	-0,63795	-78,4391	95	75	-0,637	-78,439
Promedio:	90,56	64,68	-----	-----	93,94	74	-----	-----

Fuente: Elaborado por el investigador.

Este contraste de información permite el análisis de confiabilidad de nuestro prototipo con respecto a un dispositivo comercial con similares funciones. Los signos vitales se analizaron a través de ecuación 3 del error relativo porcentual. Dando como resultado:

$$\text{Error relativo porcentual}_{(SpO2)} = \left(\frac{|90,06 - 93,94|}{93,94} * 100 \right) = \pm 4,13 \%$$

$$\text{Error relativo porcentual}_{(RC)} = \left(\frac{|64,68 - 74|}{74} * 100 \right) = \pm 12,594 \%$$

Los signos vitales se obtuvieron por el Smartwatch FTTMWTAG en puntos cercanos a cada número de prueba, los resultados presentan cambios no abruptos en la información y se encuentra en un rango moderado de error. En cuanto a la información proporcionada por el GPS del prototipo muestra un número mayor de decimales, lo que hace más precisa la ubicación del prototipo; sin embargo, el GPS del dispositivo motorola G7 sin internet proporciona unas coordenadas con apenas 3 decimales lo que incrementa el fallo en la ubicación actual; es decir, es mayor a los 5 a 7 metros de variación que presenta el prototipo como se muestra en la figura 131.

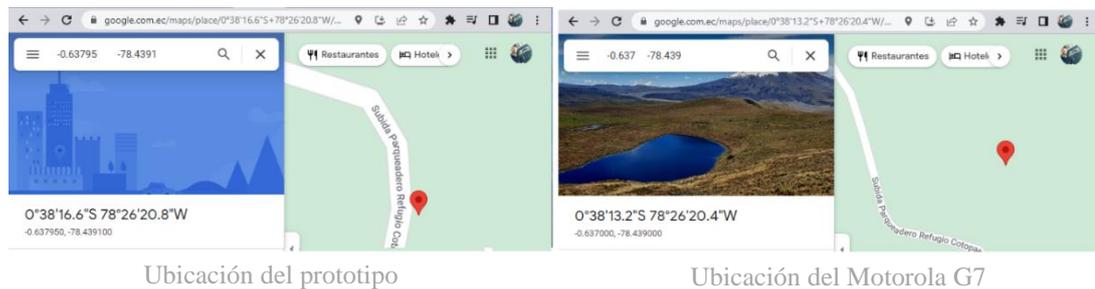


Figura 131. Comparación de distancia de geolocalización

Elaborado por el investigador.

Discusión de resultados

Los resultados del proyecto de investigación muestran que el prototipo desarrollado para medir la saturación de oxígeno tiene un margen de error reducido en comparación con el Smartwatch FTTMWTAG. Esto se debe a que la lectura se realiza en la arteria radial, lo que permite una mejor lectura de la absorción de luz a través del sensor max30102. Además, se ha observado una variación mínima del $\pm 0,5\%$ con respecto a la lectura en condiciones de reposo siendo esta de $\pm 3,63\%$. Sin embargo, se ha identificado un mayor porcentaje de error en la medición del ritmo cardíaco, con una variación de $\pm 12,52\%$ respecto al Smartwatch comercial. Este error se debe a que el sensor debe detectar la componente pulsátil para registrar las muestras de ritmo cardíaco, lo que puede ser afectado por el movimiento del alpinista. A pesar de esto, se ha encontrado que en condiciones de reposo y en una sola posición, la lectura del ritmo cardíaco tiene un error relativo porcentual del $\pm 5,8\%$, lo que proporciona una aproximación más precisa a la vida real. Con respecto a la geolocalización, se observó que el dispositivo comercial Motorola G7 no logró brindar una precisión exacta del lugar debido a la falta de conexión a internet. Por otro lado, el prototipo desarrollado en el proyecto de investigación contó con un

receptor GPS conectado a un microcontrolador que decodifica el protocolo NMEA, lo que permitió una posición más precisa. Sin embargo, se encontró que existen variaciones de 5 a 7 metros en algunas ocasiones, lo cual depende del número de satélites enlazados al receptor y los obstáculos que puedan presentarse ante el prototipo. A pesar de estas variaciones, se puede afirmar que el prototipo desarrollado tiene una ventaja significativa sobre el dispositivo comercial al brindar una precisión de geolocalización más exacta en zonas rurales y en situaciones donde la conexión a internet no está disponible.

3.7.1 Costos del prototipo y su implementación

Los costos del proyecto de investigación son financiados por el investigador en su totalidad y se divide en parte de software con los recursos de la nube informática y servicios IoT, así como hardware o parte física con los elementos del prototipo para la muñeca de la alpinista descritos en la tabla 24.

Tabla 24. Costos del prototipo

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
1	Sensor Max30102	c/u	1	12,00	12,00
2	Modulo GPS SKM53	c/u	1	32,00	32,00
3	Modulo TinyFox	c/u	1	40,00	40,00
4	Microcontrolador Esp32	c/u	1	13,00	13,00
5	Pantalla Oled	c/u	1	7,00	7,00
7	Pulsador N/C	c/u	1	0,50	0,50
8	Cables	c/u	20	0,20	2,00
9	Componentes electrónicos			2,80	2,80
10	Baquelita	c/u	1	3,00	3,00
11	Acido	c/u	1	1,50	1,50
12	Caja contenedora 3D	c/u	1	10,00	10,00
13	Correa	c/u	1	12,95	12,95
Total					\$ 136,75

Fuente: Elaborado por el investigador.

La parte de software con los recursos de la nube informática, y servicios de la tecnología IoT de Sigfox se presenta en la tabla 25.

Tabla 25. Costo de los servicios y recursos informáticos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
1	Suscripción Sigfox	c/u	1 año	13,50	13,50
2	Suscripción Azure	c/u	6 meses	13,00	78,00
Total					\$ 91,50

Fuente: Elaborado por el investigador.

Para la implementación del proyecto se tomó en cuenta el tiempo invertido por parte del investigador en los procesos de investigación, diseño e implementación de todo el sistema de monitoreo de signos vitales y geolocalización mediante tecnología IoT, en consecuencia, de todo el proceso desarrollado se tiene un tiempo aproximado de 4 meses. Un Ingeniero en Telecomunicaciones, según el Ministerio de Trabajo, promedia un salario de 858 dólares al cumplir 240 horas laborables mensuales. Por lo que la remuneración por tiempo invertido sería:

$$\text{Remuneración por tiempo invertido} = 858 * 4 = 3432 \text{ dolares}$$

Finalmente, el costo total del proyecto de investigación se presenta a través de la suma de todos los gastos por hardware, software y tiempo invertido detallados en la siguiente tabla 26.

Tabla 26. Costo total del proyecto

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
1	Costos del prototipo	c/u	1	136,75	136,75
2	Servicios y Recursos Informáticos	c/u	1	91,50	91,50
3	Tiempo invertido	c/m	4	858	3432
Total					\$ 3660,25

Fuente: Elaborado por el investigador.

Costo - beneficio del prototipo

Con el avance de la tecnología se han desarrollado varios dispositivos que pueden medir los signos vitales y la geolocalización para diversas actividades, como alpinismo, ciclismo y natación. Estos dispositivos se pueden llevar en el cuerpo, y uno de los que se ha seleccionado anteriormente en la tabla 15 es el reloj TicWatch S2, que cuenta con características técnicas avanzadas y tiene un precio de 200 USD. Entre las funciones que destacan de este reloj se encuentran los sensores de

acelerómetro, barómetro, brújula y luz ambiental, que permiten una mayor precisión en la medición de la actividad física y geolocalización.

Aunque el reloj TicWatch S2 es un dispositivo con numerosas capacidades, es importante tener en cuenta que, en zonas rurales, solo puede ser monitoreado por el usuario y no cuenta con una conexión externa de larga distancia para efectuar algún aviso de emergencia. Por lo tanto, en el trabajo de investigación se ha desarrollado un prototipo con las capacidades mínimas necesarias para permitir el monitoreo del usuario a larga distancia a través de una red de área amplia.

Es importante destacar que el costo del prototipo es de 136,75 USD, y se ha diseñado para cumplir con las necesidades específicas de monitoreo a distancia en zonas rurales, lo que puede resultar de gran utilidad para aquellos que realizan actividades al aire libre en estas áreas. Esto indica que, aunque el reloj TicWatch S2 tiene algunas limitaciones en cuanto al monitoreo a distancia en zonas rurales, el prototipo desarrollado en el trabajo de investigación ofrece una solución más asequible y efectiva para el propósito deportivo.



Figura 132. Reloj TicWatch S2 [122]

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Ecuador es un lugar con un promedio de 4780 metros sobre el nivel del mar entre montañas y volcanes, en los cuales se puede practicar alpinismo con varios niveles de dificultad, mismos que demandan una buena condición física e indumentaria necesaria para evitar accidentes, es por ello que el prototipo cuenta con una prenda de la primera capa o segunda piel no invasiva para la colocación del sensor MAX30102 en la muñeca para obtener datos de los signos vitales con un porcentaje de error de 5,8 % para el ritmo cardiaco y un 3,63 % para la saturación de oxígeno de la sangre.
- Los sistemas de monitorización para determinar la ubicación en tiempo real a nivel nacional funcionan a través del sistema de posicionamiento global, por lo que se escogió un sensor GPS SKM53 con protocolo de NMEA-0183 que tiene una variación de 5 a 7 metros de la posición actual. En el mayor de los casos estos sistemas de monitoreo trabajan con conectividad de tecnología móvil, sin embargo, para la aplicación es zonas rurales como el volcán Cotopaxi es imposible la conectividad para la trasmisión de información, de modo que se decidió emplear redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) de manera inalámbrica, que llegan a cubrir con estaciones base zonas aledañas hasta con una distancia de hasta 50 km.
- El sistema de monitoreo electrónico se realizó mediante una arquitectura IoT con una infraestructura como servicio (LaaS) para la recepción de información mediante tecnología Sigfox, el cual permite presentar en una interfaz web la información del usuario adquirida por los sensores, con el propósito de determinar una situación de peligro cuando se encuentra fuera de una zona segura o el usuario presente signos vitales fuera del rango normal. Además, se implementó un botón de alerta para notificar una emergencia por parte del usuario y poner en marcha un plan de rescate con las autoridades responsables.
- Las condiciones para detectar una emergencia de signos vitales es crucial tener en cuenta la disminución de la saturación de oxígeno por debajo del 68%, mismo que podría resultar en hipoxia cerebral. De igual forma, se logró

identificar que no supere la frecuencia cardiaca máxima 140 pulsaciones por minuto a alturas de 5000 a 6000 metros sobre el nivel del mar, que es la altitud a la que se encuentra el volcán Cotopaxi. Finalmente, en caso de fallecimiento, se identifican lecturas por debajo del 20% de saturación de oxígeno y 20 pulsaciones por minuto.

4.2 Recomendaciones

- Implementar el módulo sensor del geoposicionamiento alejado del circuito PCB y de la fuente de alimentación para evitar interferencias por campo magnético generado en los cables conductores de corriente, además de filtrar la corriente con capacitores cerámicos de 1 microfaradio en la alimentación para evitar el ruido eléctrico.
- Al momento de colocar el módulo de conectividad Sigfox posicionarlo de manera vertical o en su defecto con la menor cantidad de obstrucciones para evitar pérdida en la transmisión de información y aprovechar de mejor manera la ganancia de la antena de transmisión.
- Para evitar interrupciones en la conexión al servidor de la plataforma Azure se recomienda mejorar las características de técnicas del funcionamiento de la máquina virtual, esto permitirá tener un servicio estable y evitará la pérdida de información enviada por la tecnología IoT a través Backend de Sigfox.
- Al momento de activar los servicios de base de datos, Node Red y demás activar los puertos de conexión en la plataforma de Azure y en el servidor activar los puertos a través del firewall de manera permanente, para evitar pérdida de conexión con los servicios de software del servidor, en caso de no activarlos de manera permanente detener el firewall del servidor para tener acceso a todos los servicios sin ningún problema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Valentín, «La humanización del Everest,» Madrid España, 2021.
- [2] D. Sierra y Z. Ramos, «Estado del arte de los Servicios de Telecomunicaciones de Emergencia (ETS) en el Colombia,» Colombia.
- [3] G. Carlos y C. Isrrael, «Características y razones por las que turistas locales y extranjeros frecuentan nevados y lagos ecuatorianos,» *Revista de Turismo, Patrimonio y Desarrollo*, p. 12, 2020.
- [4] E. Comercio, «136 operativos para rescatar personas extraviadas en montañas se han realizado en este 2020 en Ecuador,» 2020.
- [5] P. d. comercio, «El Comercio,» 23 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/10/23/nota/6446821/se-rescato-siete-personas-parque-nacional-cotopaxi/>. [Último acceso: 11 Julio 2021].
- [6] E. Servicio Integrado de Seguridad, «Servicio Integrado de Seguridad ECU 911,» Gobierno del Encuentro, 10 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.ecu911.gob.ec/dos-turistas-extranjeros-fueron-rescatados-en-el-quilotoa/>. [Último acceso: 11 Julio 2022].
- [7] L. Chamarro, «Aspectos psicológicos de los accidentes de montaña,» Facultad de Psicología, C. de la Educación y del Deporte Blanquerna, Barcelona.
- [8] D. Soriano, «Diseño y desarrollo de un dispositivo móvil electrónico para monitoreo,» La Libertad – Ecuador, 2019.
- [9] N. Vargas y M. Mendoza, «Diseño de un dispositivo electrónico de geolocalización Iot sigfox para personas con síndrome de demencia en fase temprana,» BOGOTÁ D.C., 2021.
- [10] J. Bautista y M. Reinoso, «Implementación de un prototipo de geoposicionamiento con tecnología,» ESPE, Quito-Pichincha, 2021.
- [11] N. Vallejo, «Estudio de factibilidad de las tecnologías de IoT para el rastreo y monitoreo de vehículos,» Guayaquil-Ecuador, 2022.
- [12] J. Aguilar, «Pulsera electrónica inalámbrica con tecnología lora para Parques Nacionales,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato- Ecuador, 2022.
- [13] C. México, «Club Citlaltépetl de mexico A. C.,» 2019. [En línea]. Available: <http://clubcitlaltepetl.com/index.php/blog-alpinismo/8-blog/145-alpinismo#:~:text=El%20alpinismo%20es%20la%20disciplina,la%20cima%20de%20una%20montaña..> [Último acceso: 22 Julio 2022].

- [14] M. Thurber, «Escalada y Montañismo en Ecuador,» Ministerio de Turismo, 2008. [En línea]. Available: <https://vivecuador.com/html2/esp/andinismo.htm>. [Último acceso: 27 Septiembre 2022].
- [15] J. Lowe, *El mundo del hielo*, Desnivel, 1996.
- [16] J. Larrañaga, «Guía de Montaña,» [En línea]. Available: <https://www.jonatanlarranaga.com/niveles-de-dificultad>. [Último acceso: 27 Septiembre 2022].
- [17] N. GEOGRAPHIC, «National Geographic en Español,» Televisa S.A, 9 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.ngenespanol.com/traveler/alpinismo-viaje-cimas-del-mundo/>. [Último acceso: 28 Septiembre 2022].
- [18] Climbing Ecuador, 4 enero 2023. [En línea]. Available: https://www.climbing-ecuador.com/montanas_ecuador.htm.
- [19] UNESCO, «El alpinismo,» 4 enero 2023. [En línea]. Available: <https://ich.unesco.org/es/RL/el-alpinismo-01471>.
- [20] Compañía Guías Casa de la Montaña S. Coop, «Compañía de guías Casa de la Montaña,» Empresa de Turismo Activo y Aventura, [En línea]. Available: <https://guiascasamontana.com/niveles-de-dificultad/>. [Último acceso: 20 Octubre 2022].
- [21] S. Alaniz y á. Nieto, *Experimentos simples para entender una Tierra complicada: La presión atmosférica y la caída de los cuerpos*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2012.
- [22] E. Escriche, M. Solanas y J. Desola, «Fisiología de la respiración en ambientes especiales,» 4 enero 2023. [En línea]. Available: <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1858§ionid=134367828>.
- [23] A. Vela y V. Mayoral, «¿Es seguro someterse a cambios de presión atmosférica tras una técnica epidural?,» vol. 23, nº 2, p. 117, 2016.
- [24] M. F. Dumont, «Docplayer,» Asociación Española de Ciencias del Deporte España, 2006. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/amp/29425561-Motricidad-european-journal-of-human-movement-issn-asociacion-espanola-de-ciencias-del-deporte-espana.html>. [Último acceso: 28 Septiembre 2022].
- [25] J. Jurado, «Manejo prehospitalario del mal de altura en montaña,» Quito, Universidad Central del Ecuador, 2022.
- [26] A. González, Y. Martín y C. Villar, «Evidencias de los cuidados para NIC 3320 oxigenoterapia,» *Revista Cubana de Enfermería*, vol. 34, nº 3, pp. 1-17, 2018.

- [27] M. Avellanas, «Un viaje entre la hipoxia de la gran altitud y la hipoxia del enfermo crítico: ¿qué puede enseñarnos en la compresión y manejo de las enfermedades críticas?,» *Medicina Intensiva*, vol. 42, nº 6, pp. 380-390, 2018.
- [28] U. Artiz, «Tipos de hipoxia, sistema de simulación de hipoxia intermitente y protocolos de entrenamiento,» *EFDeporte*, vol. 17, nº 171, 2012.
- [29] C. T. J. BOTELLA DE MAGLIA. REAL SORIANO, «Saturación arterial de oxígeno durante la ascensión a una montaña de más de 8.000 metros,» nº 2008;32(6):277-81 , p. 5, 2008.
- [30] P. B. a. J. S. R. Gibbs, «Effect of Altitude on the Heart and the Lungs,» *Circulation* , vol. 116, nº 19, 2007.
- [31] L. J. E. G. Mosquera, «La oxigenación en la alta montaña y la frecuencia cardíaca en los andinistas de la brigada de fuerzas especiales N:9 Patria,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2013.
- [32] D. Gelvez, «Evaluación de los comportamientos en la frecuencia cardíaca del grupo de senderistas caminantes los sábados de Bucaramanga y el área metropolitana durante la práctica del senderismo,» Universidad Santo Tomas, Bucaramanga, 2020.
- [33] N. Amazings, «Un estudio revela cómo los bajos niveles de oxígeno en el corazón predisponen a sufrir arritmias cardíacas,» COPE, 19 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://noticiasdela ciencia.com/art/36811/unos-niveles-bajos-de-oxigeno-en-el-corazon-predisponen-a-sufrir-arritmias-cardiacas>. [Último acceso: 09 Octubre 2022].
- [34] Desfibrilador.com, «Conoce la frecuencia cardíaca de tu corazón,» 8 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.desfibrilador.com/frecuencia-cardiaca-del-corazon/>. [Último acceso: 09 Octubre 2022].
- [35] M. Brent, « Transtornos del corazón y los vasos sanguíneos,» *Institute of Alberta, University of Calgary*, 2021.
- [36] Colegio de Enfermería de Navarra, «Salud y seguridad en la montaña,» 25 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://cinfasalud.cinfa.com/p/salud-y-seguridad-en-la-montana/>. [Último acceso: 10 Octubre 2022].
- [37] N. Campos, «Hipotermia: a propósito de un caso,» *Revista Medicina Legal de Costa Rica*, vol. 33, nº 2, pp. 159-164, 2016.
- [38] A. R. J. B. F. M. I. S. T. V. M. V. M.L. Avellanasa, «Manejo de la hipotermia accidental severa,» *Medicina Intensiva*, vol. 36, nº 3, pp. 200-2012, 2012.
- [39] E. Castiblanco, «Significados del riesgo en alpinistas colombianos,» Universidad Del Rosario, Bogotá, 2019.

- [40] Barrabes Esqui y Montaña, «Blog de Montaña,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-10253/como-elegir-tus-botas-montana>. [Último acceso: 10 Octubre 2022].
- [41] T. M. HEART, «Cómo vestirse para la montaña: Teoría de las 3 capas,» Trailaldaia, enero 2021. [En línea]. Available: <https://trailaldaia.com/como-vestirse-para-la-montana-teoria-de-las-3-capas/>.
- [42] E. Aurtenetxe, «Blog Montaña,» Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://blogs.forumsport.com/montana/test-petzl-vasak-leverlock-polivalencia-en-estado-puro/>. [Último acceso: 10 Octubre 2022].
- [43] C. A. Reyes García, «Osmia,» [En línea]. Available: http://smia.mx/comia/2017/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=127#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20Biose%C3%B1al%20se%20aplica,biose%C3%B1ales%20el%C3%A9ctricas%20como%20no%20el%C3%A9ctricas.. [Último acceso: 25 Octubre 2022].
- [44] H. Ávalos, Framework para el tratamiento de bioseñales de tipo electrocardiografía obtenidas a través de dispositivos corporales inteligentes, Xalapa: Universidad Veracruzana, 2020.
- [45] D. Rivas, D. Diaz y C. Posadas, «Estudio y Diagnóstico de Patologías Cardiacas Utilizando Teoría de Nudos,» *Memorias del XVI Congreso Latinoamericano*, pp. 108-113, 2014.
- [46] O. Mayorga, «Clasificación de las bioseñales,» 12 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=qFHsbvY2THk&t=618s>. [Último acceso: 7 Noviembre 2022].
- [47] E. B. & M. School., «Geoposicionamiento: que es, principales tecnologías y formas de uso,» *esic*, p. 5, 2018.
- [48] K. Jhon, «GEOTAB,» 22 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.geotab.com/es-latam/blog/qu%C3%A9-significa-gps/>. [Último acceso: 26 Octubre 2022].
- [49] Arcgeek, «Trilateración vs Triangulación,» 30 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://i0.wp.com/acolita.com/wp-content/uploads/2018/05/Imagen-6-T15.png?w=425&ssl=1>. [Último acceso: 7 Noviembre 2022].
- [50] AristaSur, «Aristasur,» 12 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.aristasur.com/contenido/que-es-el-sistema-de-posicionamiento-glonass>. [Último acceso: 26 Octubre 2022].
- [51] T. A. Stansell, «Tecnologías de interoperabilidad , posición, navegación y temporización de GNSS en el siglo XXI,» vol. 10, n° 1002/9781119458449, pp. 205-214, 2020.

- [52] UIT, «Unión Internacional de Telecomunicaciones,» 7 11 2022. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=es&year=2006&issue=02&ipage=galileo&ext=html#:~:text=El%2012%20de%20enero%20de,%C3%B3rbita%20circular%20de%2023.258%20km..> [Último acceso: 7 Noviembre 2022].
- [53] GY-NEO6MV2, «www.mantech.co.za,» 24 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.mantech.co.za/datasheets/products/GY-NEO6MV2.pdf>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [54] SKYLAB, «www.nooelec.com,» 17 Julio 2010. [En línea]. Available: https://www.nooelec.com/files/SKM53_Datasheet.pdf. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [55] BEITIAN CO, «es.aliexpress.com,» 2019. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/1005001605191395.html>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [56] Ublox, «www.velleman.eu,» 16 Julio 2022. [En línea]. Available: https://www.velleman.eu/downloads/29/infosheets/neo7_datasheet.pdf. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [57] A. I. S. M. V. T. A. , N. C. A. Bernabé Rodríguez Tapia, «Métodos de adquisición de bioseñales con sensores sEMG: revisión de sistemas actuales.» *Congreso de Instrumentacion SOMI*, vol. 1, nº 01, p. 9, 2017.
- [58] J. Sigüencia, Diseño e implementación de un sistema de adquisición y procesamiento de señales con una arquitectura orientada a servicios para la detección de fallas en máquinas rotativas mediante señales acústicas, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [59] ALLDATASHEET.COM, DATASHEET SEARCH SITE MAX30100, ALLDATASHEET, 2016.
- [60] MIKROELEKTRONIKA, «Datasheet MIKROE-3012,» 16 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.mikroe.com/heart-rate-5-click>. [Último acceso: 04 Febrero 2023].
- [61] Maxim Integrated, MAX30102, Maxim Integrated, 2018.
- [62] Sparkfun, «www.sparkfun.com,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/15219>. [Último acceso: 04 Febrero 2023].
- [63] H. Mora, «Sistemas de adquisición y Procesamiento de datos,» 2011. [En línea]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>. [Último acceso: 25

Octubre 2022].

- [64] RedHat, «¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?», 8 Enero 2019. [En línea]. Available: [https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot#:~:text=El%20Internet%20de%20las%20cosas%20\(IoT\)%20es%20el%20proceso%20que,personales%20inteligentes%20e%20incluso%20los.](https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot#:~:text=El%20Internet%20de%20las%20cosas%20(IoT)%20es%20el%20proceso%20que,personales%20inteligentes%20e%20incluso%20los.) [Último acceso: 21 Julio 2022].
- [65] TIBCO, «Internet de las cosas (IoT),» [En línea]. Available: <https://www.tibco.com/es/reference-center/what-is-the-internet-of-things-iot>. [Último acceso: 21 Julio 2022].
- [66] Guinea, «Arquitectura IoT,» 14 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://guinea.pe/blog/arquitectura-iot/>. [Último acceso: 21 Julio 2022].
- [67] N. Zubovich, «What is IoT Architecture | 4 stages of IoT Architecture,» 2 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://sumatosoft.medium.com/what-is-iot-architecture-4-stages-of-iot-architecture-e2c19a1616>. [Último acceso: 21 Julio 2022].
- [68] B. Nakhuva y T. Champaneria, «Study of various internet of Things Plataform,» *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES)*, vol. 6, nº 6, pp. 61-74, 2015.
- [69] Platzi, «Amazon Web Services,» [En línea]. Available: https://platzi.com/aws/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=18798607679&utm_adgroup=&utm_content=&gclid=CjwKCAiA68ebBhB-EiwALVC-NixsCkf0_PVTv2IBvnyuwMR7WZ7bNgOIUvmq1gPCUb0fF-xs4ISYGB0Cc84QAvD_BwE&gclid=aw.ds. [Último acceso: 14 Noviembre 2022].
- [70] Geeksforgeeks, «What is Elastic Compute Cloud (EC2)?,» 25 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-elastic-compute-cloud-ec2/>.
- [71] M. Sajee, Overview of Amazon Web Services, Amazon web services, 2014.
- [72] AWS LAMBDA, Tutorials Point (I) Pvt. Ltd. , 2018.
- [73] On Point, Build a website with Amazon Lightsail, On Point Consulting, INC, 2021.
- [74] F. Huzón, Microsoft Azure, IES Gonzalo Nazareno, 2020.
- [75] Azure, «Cómo funciona Azure,» [En línea]. Available: <https://learn.microsoft.com/es-es/azure/cloud-adoption-framework/get-started/what-is-azure>. [Último acceso: 14 Noviembre 2022].

- [76] MICROSOFT, SQL, «Azure Microsoft,» 2014. [En línea]. Available: <https://azure.microsoft.com/home/features/sql-azure/>.
- [77] V. Gandhi, «Comparative study of Amazon EC2 and Microsoft Azure cloud architecture,» *International Journal of Advanced Networking Applications (IJANA)*, pp. 117-123, 2018.
- [78] I. N. d. Ciberseguridad, Cloud computing, España: incibe_, 2017.
- [79] J. Tomás, V. Carbonell, J. Bataller y J. Lloret, Firebase: trabajar en la nube, Colombia: Alpha, 2019.
- [80] E. Carrasco, Metodología para la selección de tecnologías LPWAN para diversas aplicaciones de internet de las cosas, Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2020.
- [81] P. Sampaulo, Redes LPWAN: Una guía completa de inicio a fin, México: CTO / Co-Founder de RedGPS., 2020.
- [82] Sigfox, Sigfox: Technical Overview, France, 2018.
- [83] A. Munera, Modelado y evaluación de la tecnología Sigfox para NS3, Universitat Politecnica deValencia, 2018.
- [84] F. Febriyandi y A. Setyo, «Sigfox Based Network Planning Analysis for Public Internet of Things Services in Metropolitan Area,» *The 2020 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)*, 2020.
- [85] J. Obando, Sistema de recolección de desechos optimizado, mediante IOT en el sector El Olivio de la ciudad de Ibarra provincia de Imbabura, Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2022.
- [86] iBLio, «Datasheet Sigfox MODEM i7816,» 18 Febrero 2017. [En línea]. [Último acceso: 04 Febrero 2023].
- [87] Bc. Milan Koša, Datasheet Nodo LPWAN SigFox, datasheet-v1, 2017.
- [88] Teca Sigfox partner, UFOX - Kit de desarrollo Sigfox, Perú: Lince, 2020.
- [89] IOTEAM S.r.l., «partners.sigfox.com,» 2022. [En línea]. Available: <https://partners.sigfox.com/products/sigfox-module>. [Último acceso: 04 Febrero 2023].
- [90] A. Zourmand, A. Kun, C. Wai y M. Abdul, «Internet of Things (IoT) using LoRa technology,» *IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems*, pp. 324-330, 2019.
- [91] E. Chékra, K. Mohamed, A. Slim, B. Pascal y B. Adelfettah, «LoRa

- Technology: MAC layer operations and Research issues,» *ScienceDirect*, vol. 130, pp. 1096-1101, 2018.
- [92] C. Burton, H. Malik, M. Mahtab, Y. Le, S. Parand y S. Mumtaz, «Narrowband Internet of Things (NB-IoT): From Physical (PHY) and Media Access Control (MAC) Layers Perspectives,» *Sensor*, vol. 19, n° 2613, pp. 1-34, 2019.
- [93] S. David, NB-IoT Tecnologías celulares narrow-band. Análisis práctico de las soluciones de Telefónica y Vodafone, Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2019.
- [94] J. Saiz y X. Vilajosana, Estudio en detalle de NB-IoT. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico., Universitat Oberta de Catalunya, 2019.
- [95] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel y F. Meyer, «A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment,» *Sciencedirect*, 2019.
- [96] N. R. Muqorobin, «Comparison of PHP Programming Language with Codeigniter Framework in Project CRUD,» *International Journal of Computer and Information System (IJCIS)*, vol. 3, n° 3, pp. 94-98, 2022.
- [97] J. D. Chávez, Desarrollo de Aplicaciones Web, Venezuela: IEASS, 2019.
- [98] R. Balogh, «Educational Robotic Platform based on Arduino,» *University of Technology in Bratislava*, 2010.
- [99] E. Lledó, Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino, Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, 2012.
- [100] Isaac, «www.hwlibre.com,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.hwlibre.com/lilypad/>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [101] Arduino.cc, «www.arduino.cc,» 27 Julio 2008. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [102] J. Guerra Carmenate, «programarfacil.com,» 21 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/esp8266/esp32/>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [103] A. Shakirovich y Z. Botirovich, «Study of arduino microcontroller board,» *Science and Education" Scientific Journal /*, vol. 3, n° 3, pp. 172-179, 2022.
- [104] Sunsky, «www.waveshare.com,» 09 Febrero 2018. [En línea]. Available: https://www.waveshare.com/w/upload/8/80/1.5inch_OLED_Module_User_Manual_EN.pdf. [Último acceso: 03 Febrero 2023].

- [105] AV Electronics, «avelectronics.cc,» 2022. [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/tft-2-8-shield-for-arduino-uno/>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [106] Solomon Systech, «alldatasheet.com,» Abril 2013. [En línea]. Available: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1179026/ETC2/SSD1306/111/1/SSD1306.html>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [107] C. M. Calderón Tonguino, «Análisis del marco regulatorio para homologación de equipos terminales de telecomunicaciones en países de la región y propuesta de mejora en el procedimiento para la evaluación de la conformidad de productos en el país,» ESPE, Sangolquí, 2020.
- [108] Mobvoi, «Mobvoi.com,» 2019. [En línea]. Available: https://www.mobvoi.com/sp/pages/ticwatches2?session_id=UgXTPz1aZxyNUFxWFIxPNRr7UkA3SqzQN0DsUY0&utm_source=impact&irgwc=1. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [109] Garmin, «garmin.ec,» 2022. [En línea]. Available: <https://garmin.ec/tienda/relojes-smart-smartwatches/todos-los-smartwatches/vivoactive-4s-blanco/>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [110] J. García, «www.xataka.com,» 19 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/analisis/samsung-galaxy-watch-4-analisis-caracteristicas-precio-especificaciones>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [111] Suunto, «www.suunto.com,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.suunto.com/suunto-collections/suunto-7/>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [112] ElectroComponentes, «www.electrocomponentes.es,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.electrocomponentes.es/interruptor-pcb/701-mini-interruptor-pcb-7x7-de-6-pines-con-enclavamiento.html>. [Último acceso: 03 Febrero 2023].
- [113] T. Phong Truong, «Simulation and compiler support for communication and mobility for environment sensing,» Researchgate, Francia, 2018.
- [114] Smart Electronics , «Smart Electronics,» 2020. [En línea]. Available: <https://smartelectronics.com.pe/wp-content/uploads/2021/05/WhatsApp-Image-2021-05-24-at-12.17.37-PM.jpeg>. [Último acceso: 04 Marzo 2023].
- [115] Coelectrix , «coelectrix.com,» 20 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://coelectrix.com/blog/calcular-la-autonomia-de-una-bateria>. [Último acceso: 04 Febrero 2023].
- [116] B. Rosselyn, «Teckcrispy,» 6 Febrero 2018. [En línea]. Available:

<https://www.tekcrispy.com/2018/02/06/huawei-smartwatch-dibujar-aire/>.
[Último acceso: 5 Febrero 2023].

- [117] D. Valencia, «mclibre.org,» 29 Febrero 2016. [En línea]. Available: https://www.mclibre.org/otros/daniel_tomas/diversificacion/matematicas/Calculo_de_errores.pdf. [Último acceso: 04 Febrero 2023].
- [118] C. C. Baquero Castañeda y V. F. Martínez Díaz , «ciencia.lasalle.edu.co,» 17 Junio 2020. [En línea]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1584&context=ing_electronica. [Último acceso: 04 Febrero 2023].
- [119] S. Bencomo, S. Villazana y B. Salas, «Diseño y construcción de un oxímetro de pulso,» *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 23, nº 2, pp. 162-171, 2016.
- [120] F. J. Marco Sanjuán, «economipedia.com,» 08 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/suma-de-cuadrados-de-la-regresion-scr.html>. [Último acceso: 04 Febrero 2023].
- [121] S. C. organization, «slideshare,» 05 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/KochingchangKo/20190305sigfox-techv2-134656282>. [Último acceso: 05 Febrero 2023].
- [122] «Ecuador GPS,» Escala Visual, [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-516114750-ticwatch-s2-reloj-inteligente-a-prueba-de-agua-con-gps-_JM. [Último acceso: 10 Febrero 2023].
- [123] A. Sierra y M. Espinoza, «Análisis Comparativo entre ASP.NET y PHP,» *INNOVA Research Journal* , vol. 3, nº 4, pp. 25-43, 2018.
- [124] R. Casado, *Introducción a HTML*, Salamanca, Spain: University of Salamanca, 2019.

ANEXOS

Anexo A: Ficha técnica del sensor Max30102

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

MAX30102

High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health

General Description

The MAX30102 is an integrated pulse oximetry and heart-rate monitor module. It includes internal LEDs, photodetectors, optical elements, and low-noise electronics with ambient light rejection. The MAX30102 provides a complete system solution to ease the design-in process for mobile and wearable devices.

The MAX30102 operates on a single 1.8V power supply and a separate 3.3V power supply for the internal LEDs. Communication is through a standard I²C-compatible interface. The module can be shut down through software with zero standby current, allowing the power rails to remain powered at all times.

Applications

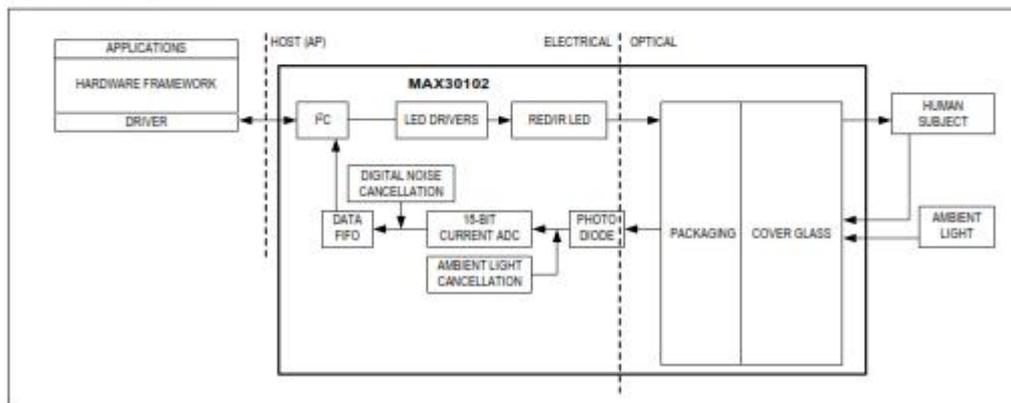
- Wearable Devices
- Fitness Assistant Devices
- Smartphones
- Tablets

Benefits and Features

- Heart-Rate Monitor and Pulse Oximeter Sensor in LED Reflective Solution
- Tiny 5.6mm x 3.3mm x 1.55mm 14-Pin Optical Module
 - Integrated Cover Glass for Optimal, Robust Performance
- Ultra-Low Power Operation for Mobile Devices
 - Programmable Sample Rate and LED Current for Power Savings
 - Low-Power Heart-Rate Monitor (< 1mW)
 - Ultra-Low Shutdown Current (0.7µA, typ)
- Fast Data Output Capability
 - High Sample Rates
- Robust Motion Artifact Resilience
 - High SNR
- -40°C to +85°C Operating Temperature Range

Ordering Information appears at end of data sheet.

System Diagram



19-7740; Rev 1; 10/18



SkyNav SKM53 Series
Ultra High Sensitivity and Low Power
The Smart Antenna GPS Module



General Description

The SkyNav SKM53 Series with embedded GPS antenna enables high performance navigation in the most stringent applications and solid fix even in harsh GPS visibility environments.

It is based on the high performance features of the MediaTek 3329 single-chip architecture, Its -165dBm tracking sensitivity extends positioning coverage into place like urban canyons and dense foliage environment where the GPS was not possible before. The 6-pin UART connector design is the easiest and convenient solution to be embedded in a portable device and receiver like PND, GPS mouse, car holder, personal locator, speed camera detector and vehicle locator.

Applications

- LBS (Location Based Service)
- Vehicle navigation system
- PND (Portable Navigation Device)
- GPS mouse and Bluetooth GPS receiver
- Timing application



Figure 1: SKM53 Top View

Features

- Ultra high sensitivity: -165dBm
- 22 tracking/66 acquisition-channel receiver
- WAAS/EGNOS/MSAS/GAGAN support
- NMEA protocols (default speed: 9600bps)
- Internal back-up battery
- One serial port
- Embedded patch antenna 18.2 x 18.2 x 4.0 mm
- Operating temperature range: -40 to 85°C
- RoHS compliant (Lead-free)
- Tiny form factor : 30mm x20mm x 8.5mm

Pin Assignment

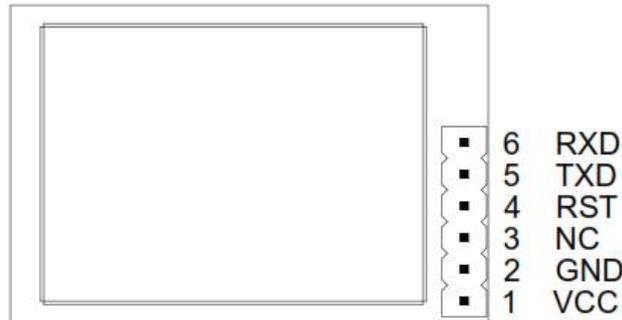


Figure 2: SKM53 Pin Package

Anexo C: Ficha técnica del módulo de transmisión TinyFox.

TINYFOX castellated Breakout board

Modem SFM10R4 Wisol Sigfox RC4



TINYFOX
RC4
RADIO SIGFOX

SEONG JI
SEONG JI INDUSTRIAL CO., LTD
Wisol IoT BU is redesigned to SeongJi.

Teco | sigfox partner

Visita la Wiki de TINYFOX: Documentación y ejemplos avanzados

<link> : <https://github.com/TECA-IOT/Tinyfox/wiki>

Cómo funciona el constructor de la librería Tinyfox para arduino

- Library for radio wisol - seonji SFM10R2D, SFM10R4, SFM10R1, SFM10R3

<link> : [https://github.com/TECA-IOT/Tinyfox/wiki/como-funciona-el-constructor-\(Arduino\)](https://github.com/TECA-IOT/Tinyfox/wiki/como-funciona-el-constructor-(Arduino))

librería fritzing .fzpz Tinyfox:

<link> : <https://github.com/TECA-IOT/Tinyfox/wiki/Librer%C3%ADa-Tinyfox-para-Fritzing>

Características

- Diseño simple y robusto para comunicaciones IoT de baja potencia.
- Modem WISSOL SFM10R4 permite conexiones a red Sigfox para region RC4.
- Control mediante comando AT.
- Antena Helicoidal integrada.
- Conector U.FL a SMA para conexión de antenas externas (desoldar previamente antena helicoidal para su uso).
- Soporte para Uplink y Downlink
- Ideal para aplicaciones con microcontroladores externos, Pic, Arduino, Arm, Raspberry Pi, etc. Comunicación via puerto UART Serial RX-TX a 9600 baudios, niveles de tensión desde 2.5V a 4.2V. funcionamiento típico de 3.3v
- Puede ser alimentado directamente con 2 Baterías Alcalinas, o baterías de litio 3.7V 1S.

Anexo D: Código Arduino principal de pantalla

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include "MAX30105.h"
#include "heartRate.h"
#include <TinyGPS.h>//incluimos
TinyGPS

#include <TinySigfox.h>
#include <TinySigfox.cpp>
#include <stdio.h>
#include "HardwareSerial.h"
Tiny<HardwareSerial,HardwareSer
ia> wisol(&Serial2,&Serial,4);
HardwareSerial Serial3(1);
TinyGPS gps;
//Declaramos el objeto gps.
MAX30105 particleSensor;
const byte RATE_SIZE = 4;
byte rates[RATE_SIZE];
//Matriz de frecuencias
cardiacas
byte rateSpot = 0;
long ultimolatido = 0;
float latidosporminutos;
int mejorpromedio;
double oxi;
//-----Variables TX -----
int alerta_pin =0;
int32_t flat ;
int32_t flon ;
uint8_t SPO2;
uint8_t RC;
uint8_t alerta;
//---Variables Auxiliares----
int hand=0;
int num=0;
//-----Variables GPS -----
int year;
byte month, day, hour, minute,
second, hundredths;
unsigned long chars;
unsigned short sentences,
failed_checksum;
int var_hour = 0;
int var_minute = 0;
int var_second = 0;
float m_s_n_m=0;
float var_kmph=0;
float latitude, longitude;
//---Define pins para botones--

#define startBtnPIN 15
#define selectBtnPIN 14
#define pin_min 27
#define pin_hour 0
//---Variables cambio de menu--
int x=0;
int x2=0;
bool stateStartBtn=0;
bool stateSelectBtn=0;
bool stateUpBtn=0;
bool stateDownBtn=0;
bool model=0;
bool mode2=0;
bool parameter=0;
int parameter1=0;
int parameter2=0;
int AperatureValues = 16;
int IsoValues = 11;
//--Varibles Hora de Ingreso---
int hora_ingreso= 0;
int minuto_ingreso =0;
bool wait=false;
bool modo_edicion=false;
int old_min=1;
int old_hour=1;
int old_selec=1;
int lectura_selec=0;
int count=0;
bool blink_time=false;
bool inicio=false;
//--Reloj interno multitarea---
unsigned long tiempo_actual=0;
unsigned long tiempo_actual2=0;
int segundo_interno=0;
int minuto_interno=0;
int hora_interno=0;
//---Variables emergencia SOS--
--
int aux1=0;
int aux2=0;
int aux3=0;
int count_1=0;
int count_2=0;
int count_3=0;
//--Variables tiempo de envios--
--
int minuto_envio=12;
int suma=0;
int Aux_min=0;
int activa_envia=0;
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
```

```

#define OLED_RESET      -1
#define SCREEN_ADDRESS 0x3C
Adafruit_SSD1306
display(SCREEN_WIDTH,SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
//-----Logo Sigfox-----
--
static const unsigned char
PROGMEM logoBmp[]={
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00
};
//-----Variables Filtrado-----
---
#define USEFIFO
double avered = 0;
double aveir = 0;
double sumirrms = 0;
double sumredrms = 0;
int i = 0;
int Num = 100;
double ESpO2 = 93.0;
double FSpO2 = 0.7;
double frate = 0.95;
#define TIMETOBOOT 2000
#define SCALE 88.0
#define SAMPLING 5
#define FINGER_ON 35000
#define MINIMUM_SPO2 0.0
void setup() {
Serial.begin(9600);
Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1,
16, 17);
Serial3.begin(9600, SERIAL_8N1,
18, 19);
wisol.begin(9600);
display.begin(SSD1306_SWITCHCAP
VCC, SCREEN_ADDRESS);
display.display();
if (!particleSensor.begin(Wire,
I2C_SPEED_FAST))
{
Serial.println(F("MAX30105 was
not found. Please check
wiring/power.));
while (1);
}
byte ledBrightness = 70;
byte sampleAverage = 4;
byte ledMode = 2;
byte sampleRate = 200;
int pulseWidth = 411;
int adcRange = 4096;
particleSensor.setup(ledBrightn
ess, sampleAverage, ledMode,
sampleRate, pulseWidth,
adcRange);
//Presentación de Logo Sigfox
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0, 0);
display.drawBitmap(0,0,logoBmp,
128,64, WHITE);
display.display();
delay(3000);
display.clearDisplay();
//Configuración de botones
pinMode(startBtnPIN, INPUT);
pinMode(selectBtnPIN, INPUT);
pinMode(pin_min, INPUT);
pinMode(pin_hour, INPUT);
}
void loop() {
if(!inicio){
int lectura_min
=digitalRead(pin_min);
intlectura_hour=digitalRead(pin
_hour);
if(millis())>= tiempo_actual +
1000){
tiempo_actual=millis();
blink_time=!blink_time;
tiempo_interno ();
}
if(millis())>= tiempo_actual2 +
100){
tiempo_actual2=millis();
Serial.println("100");
if(lectura_min == 0 &&
lectura_hour == 0){
count++;
wait=true;
delay(1);
} else{
if(wait== true){
wait=false;
delay(400);
return;
}
}
if(lectura_min == 1 &&
lectura_hour == 1){
if(count>50){
modo_edicion=!modo_edicion;
old_min=1;
old_hour=1;
}
}
count=0;
}
}

```

```

if(old_min==0 && lectura_min ==
1 && modo_edicion){
minuto_ingreso++;
//Si esta en M: edicion aumento
el minuto de ingreso
if(minuto_ingreso==60){minuto_i
ngreso=0;}
}
if(old_hour==0 && lectura_hour
== 1 && modo_edicion){
hora_ingreso++;
//Si esta en M: edicion aumento
la hora de ingreso
if(hora_ingreso==24){hora_ingre
so=0;}
}

if(modo_edicion && lectura_min
== 1 && lectura_hour == 1){
//actualiza Oled cada vez que
editamos la hora
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0,0);
if(blink_time){display.print("H
ora de Ingreso");}
if(!blink_time){display.print("
");}
display.setTextSize(3);
display.setCursor(25, 20);
if(hora_ingreso<10)display.prin
t("0");
display.print(hora_ingreso);
display.print(":");
if(minuto_ingreso<10)display.pr
int("0");
display.print(minuto_ingreso);
display.display();
display.clearDisplay();
}

old_min=lectura_min;
old_hour=lectura_hour;

if(modo_edicion){
return;
//Retorna al modo edicion si se
encuentra activado
}

//oled al inciar el modulo hora
predetermiada 00:00
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0,0);
display.print("Hora de Ingreso
");
display.setTextSize(3);
display.setCursor(25, 20);
if(hora_ingreso<10)display.prin
t("0");
display.print(hora_ingreso);
display.print(":");
if(minuto_ingreso<10)display.pr
int("0");
display.print(minuto_ingreso);
display.display();
display.clearDisplay();
}

if(digitalRead(selectBtnPIN)==L
OW && stateSelectBtn == 0 &&
!modo_edicion){ //Btn para
registrar la hora de ingreso.
registro_guardado();
inicio=true;
}
}
}

if(inicio){
//Condicion para que solo
mostrar el menu

alerta_pin=0;
lectura_selec
=digitalRead(selectBtnPIN);
//-----
menu-----
-----

if(millis()>= tiempo_actual6 +
100){
tiempo_actual6=millis();
//aqui entra cada 100 milis
para leer los botones de hora y
minutos
tiempo_interno ();
if (stateSelectBtn == 0){
stateSelectBtn=1;
if(model==1 &&
stateSelectBtn==1){
Serial.println("----Pantalla
principal----"); //Ingresa de
manera directa a la pantalla
principal
if(millis()>= tiempo_actual3 +
2000){
tiempo_actual3=millis();
//Actualizo la hora cada 2
segundos y pantala princ..
tiempo_interno ();
gps_coord();
pantalla_principal ();
//Serial.println("2
SEGUNDO.....");
}
}
}
}
}

```

```

}

if(millis())>= tiempo_actual5 +
60000){
tiempo_actual5=millis();
//Actualizo SpO2 y RC cada 60
seg
//Serial.println("60
SEGUNDO.....");
SpO2_RC();
//-----
}

stateSelectBtn=0;
parameter1=1;
if(lectura_selec==0 &&
old_selec==1 && parameter1==1){
//Btn Selec cambia de pantalla
a Geo..
stateSelectBtn=1;
model=1;
}
}
}
else if (model==1 &&
stateSelectBtn == 1){
Serial.println("---Pantalla
Geoposicionamiento---");
//Ingresa a pantalla
Geoposicionamiento
parameter1=0;
geolocalizacion ();

if(lectura_selec==0 &&
old_selec==1 && parameter1==0){
//Btn Selec cambia de pantalla
a Prin...
stateSelectBtn=0;
model=1;
}
}

if
(digitalRead(startBtnPIN)==0) {
sos();
x=0;
}
old_selec=lectura_selec;
suma=minuto_ingreso+minuto_envi
o;
activa_envia=suma;
Serial.println("MINTO DE
INGRESO-----
"+String(minuto_ingreso));
Serial.println("MINTO DE
ENVÍO-----
"+String(suma));
if(suma==60){
Aux_min=0;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=0;
minuto_envio=0;
}
if(suma==61){
Aux_min=1;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=1;
minuto_envio=0;
}
if(suma==62){
Aux_min=2;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=2;
minuto_envio=0;
}
if(suma==63){
Aux_min=3;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=3;
minuto_envio=0;
}
if(suma==64){
Aux_min=4;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=4;
minuto_envio=0;
}
if(suma==65){
Aux_min=5;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=5;
minuto_envio=0;
}
if(suma==66){
Aux_min=6;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=6;
minuto_envio=0;
}
if(suma==67){
Aux_min=7;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=7;
minuto_envio=0;
}
if(suma==68){
Aux_min=8;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=8;
minuto_envio=0;
}

```

```

}
// revisar cuando ingreso :57
if(suma==69){
Aux_min=9;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=9;
minuto_envio=0;
}
if(suma==70){
Aux_min=10;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=10;
minuto_envio=0;
}

if(suma==71){
Aux_min=11;
activa_envia=Aux_min;
minuto_ingreso=11;
minuto_envio=0;
}

if(activa_envia==var_minute){
minuto_envio=minuto_envio+12;
comunicacion_Sigfox_TX ();
}
}
}
}

```

Anexo E: Código Arduino para la adquisición de datos del sensor Max30102.

```

void SpO2_RC (){
uint32_t ir,red,green ;
double fred, fir;
double SpO2=0;
#ifdef USEFIFO
particleSensor.check();
while (particleSensor.available(
)){
#ifdef MAX30105
red=particleSensor.getFIFORed()
;
ir=particleSensor.getFIFOIR();
#else
red=particleSensor.getFIFOIR();
ir
=particleSensor.getFIFORed();
#endif
i++;
fred = (double) red;
fir = (double) ir;

avered =
avered*frate+(double) red
*(1.0-frate);

aveir = aveir*frate+(double) ir*
(1.0-frate);

sumredrms += (fred-
avered)*(fred -avered);

sumirrms += (fir-aveir)*(fir-
aveir);

if ((i % SAMPLING) == 0) {
if (millis() > TIMETOBOOT) {
if (ir<FINGER_ON)
ESpO2 = MINIMUM_SPO2;
if (ESpO2 <= -1)
{
ESpO2 =0;
}
if (ESpO2 > 100)
{
ESpO2 = 100;
}
oxi=ESpO2;
}
}
if ((i % Num) == 0) {
double R = (sqrt(sumredrms)/
avered)/(sqrt(sumirrms) /
aveir);

SpO2 = -23.3*(R-0.4)+100;
ESpO2 = FSpO2*ESpO2+(1.0-
FSpO2)* SpO2;
sumredrms = 0.0; sumirrms =
0.0; i = 0;
break;
}particleSensor.nextSample();
long irHR =
particleSensor.getIR();
if (irHR > 7000) {
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor (WHITE);
display.setCursor (45,2);
display.setRotation (3);
display.println("HR");
display.setRotation(0);
display.setTextSize(3);
display.setCursor (20,5);
display.println(mejorpromedio);
display.setCursor (107,5);
display.setTextSize(1);
display.print ("bpm");

display.setTextSize (1);
display.setTextColor (WHITE);
display.setRotation (3);
display.setCursor(5,2);
display.println("SpO2");
display.setTextSize(3);
display.setRotation(0);
display.setCursor (20,35);
display.println(oxi,1);
display.setCursor (120,35);
display.setTextSize(1);
display.print ("%");
display.display();

if (checkForBeat(irHR) == true)
{
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor (WHITE) ;
display.setRotation(3);
display.setCursor (45,2);
display.println("HR");
display.setRotation(0);
display.setTextSize(3);
display.setCursor (20,5);
display.println(mejorpromedio)
;
display.setCursor (107,5);
display.setTextSize(1);
display.print ("bpm");

```

```

display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(5,2);
display.setRotation(3);
display.println("SpO2");
display.setTextSize(3);
display.setRotation(0);
display.setCursor(20,35);
display.println(oxi,1);
display.setCursor(120,35);
display.setTextSize(1);
display.print("%");
display.display();
delay(100);
long delta = millis()-
ultimolatido;
ultimolatido =millis();
latidosporminutos = 60/(delta/
1000.0);
if (latidosporminutos < 255 &&
latidosporminutos > 20)
{
rates[rateSpot++] =
(byte)latidosporminutos;
rateSpot %= RATE_SIZE;
mejorpromedio = 0;
for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE
; x++)
mejorpromedio += rates[x];
mejorpromedio /= RATE_SIZE;
}
}
}
if (irHR < 7000){
mejorpromedio=0;
mejorpromedio=0;
display.clearDisplay();
display.setTextSize(2);
display.setTextColor(WHITE) ;
display.setCursor(15,7);
display.println("Out of ");
display.setCursor(30,35);
display.setTextSize(3);
display.println("Hand");
display.display();
//noTone(39);}
hand=1;
}else{hand=0;}
}
#endif
}

```

Anexo F: Código Arduino para la adquisición de datos del GPS.

```
void gps_coord(){
while (Serial3.available()){
int c = Serial3.read();
if (gps.encode(c)){
gps.f_get_position(&latitude,
&longitude);
Serial.print("Latitud/Longitud:
");
Serial.print(latitude, 5);
Serial.print(", ");
Serial.println(longitude, 5);
gps.crack_datetime(&year,
&month, &day, &hour, &minute,
&second, &hundredths);

var_hour = 0;
var_minute = minute;
var_second = second;
m_s_n_m=gps.f_altitude();
var_kmph=gps.f_speed_kmph();
// Hora GMT5
if(hour == 0){var_hour=19;}
if(hour == 1){var_hour=20;}
if(hour == 2){var_hour=21;}
if(hour == 3){var_hour=22;}
if(hour == 4){var_hour=23;}
if(hour == 5){var_hour= 0;}
if(hour == 6){var_hour= 1;}
if(hour == 7){var_hour= 2;}
if(hour == 8){var_hour= 3;}
if(hour == 9){var_hour= 4;}
if(hour == 10){var_hour= 5;}
if(hour == 11){var_hour= 6;}
if(hour == 12){var_hour= 7;}
if(hour == 13){var_hour= 8;}
if(hour == 14){var_hour= 9;}
if(hour == 15){var_hour=10;}
if(hour == 16){var_hour=11;}
if(hour == 17){var_hour=12;}
if(hour == 18){var_hour=13;}
if(hour == 19){var_hour=14;}
if(hour == 20){var_hour=15;}
if(hour == 21){var_hour=16;}
if(hour == 22){var_hour=17;}
if(hour == 23){var_hour=18;}

Serial.print(var_hour);
Serial.print(":");
Serial.print(var_minute);
Serial.print(":");
Serial.println(var_second);

Serial.print("Altitud (metros):
");
Serial.println(m_s_n_m);
Serial.print("Velocidad(kmph):
");
Serial.println(var_kmph);
Serial.print("Satelites: ");
Serial.println(gps.satellites()
);
Serial.println();
gps.stats(&chars, &sentences,
&failed_checksum);
}
}
}
```

Anexo G: Código Arduino secundario de pantalla emergencia.

```
void sos(){
delay(100);
reinicio2:
aux1=0;
aux2=0;
aux3=0;
count_1=0;
count_2=0;
count_3=0;
minuto_ingreso=var_minute;
while (x==0){
alerta_pin=1;
while(count_1<=250 && aux3==0){
count_1++;
Serial.println(count_1);
pantalla_SOS ();
if(millis())>= tiempo_actual12 +
1000){
tiempo_actual12=millis();
tiempo_interno ();
gps_coord();
}
if(millis())>= tiempo_actual10 +
100){
tiempo_actual10=millis();
tiempo_interno ();
if
(digitalRead(startBtnPIN)==1){
x=1;
count_1=0;
goto reinicio2;
Serial.println("bt 0");
}
}
if(count_1>250){
count_1=0;
aux3=1;
aux1=1;
Serial.println("aux3=
"+String(aux1));
Serial.println("Impresion:1");
}
while(count_2<=250 && aux1==1){
count_2++;
Serial.println(count_2);
pantalla_principal ();
if(millis())>= tiempo_actual12 +
1000){
tiempo_actual12=millis();
tiempo_interno ();
gps_coord();
}
if(millis())>= tiempo_actual10 +
100){
tiempo_actual10=millis();
tiempo_interno ();
if
(digitalRead(startBtnPIN)==1){
x=1;
count_2=0;
goto reinicio2;
Serial.println("bt 0");
}
}
if(count_2>250){
count_2=0;
aux3=0;
aux2=1;
Serial.println("aux2=
"+String(aux2));
Serial.println("Impresion:
2");
}
while(count_3<=250 && aux2==1){
count_3++;
Serial.println(count_3);
geolocalizacion ();
if(millis())>= tiempo_actual12 +
1000){
tiempo_actual12=millis();
tiempo_interno ();
gps_coord();
}
if(millis())>= tiempo_actual10 +
100){
tiempo_actual10=millis();
tiempo_interno ();
if
(digitalRead(startBtnPIN)==1){
x=1;
count_3=0;
goto reinicio2;
Serial.println("bt 0");
}
}
if(count_3>250){
count_3=0;
aux3=0;
aux2=0;
Serial.println("aux2=
"+String(aux3));
Serial.println("Impresion:
33");
}
}
```

```
if(millis()>= tiempo_actual10 +
100){
tiempo_actual10=millis();
tiempo_interno ();
if
(digitalRead(startBtnPIN)==1){
x=1;
goto reinicio2;
Serial.println("bt 0");
}
}
```

```
if(millis()>= tiempo_actual5 +
60000){
tiempo_actual5=millis();
Serial.println("60 SEGUNDO..
");
SpO2_RC();
comunicacion_Sigfox_TX ();
}
}
}
```

Anexo H: Código arduino para la transmisión de información Sigfox

```

void comunicacion_Sigfox_TX () {
Serial.println("-----
");
Serial.println("Envío de datos
");
Serial.println("-----
");
Serial.println("Tx");
wisol.RST();
char buff[30]="";
float aux_lat=latitude;
float mult=aux_lat*1000000;
float aux_long=longitude;
float mult2=aux_long*1000000;
flat = mult;
flon = mult2;
SPO2=ESpO2;
RC=mejorpromedio;
alerta = alerta_pin;
int longitud=0;
delay(100);
if (hand==0){
Serial.print(flat);
Serial.print(" ");
Serial.print(flon);
Serial.print(" ");
Serial.print(SPO2);
Serial.print(" ");
Serial.print(RC);
Serial.println(" ");
Serial.print(alerta);
Serial.println(" ");

//Envío de datos con el
prototipo en la mano
longitud=snprintf(buff,30,"%08x
%08x%04x%02x%02x",flat,flon,SPO
2,RC,alerta);
Serial.println(buff);
Serial.println(longitud);
Serial.println(flat,HEX);
delay(1000);

Serial.println(wisol.SEND(buff)
);
}
display.clearDisplay();
display.drawRect(10,17,110,30,W
HITE);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(18,24);
display.print(" Envío de ");
display.setCursor(18,34);
display.print(" Informacion");
display.display();
delay(5000); //corregir cambio
}
Serial.println(wisol.SEND(buff)
);
}
delay(100);
if(hand == 1){
//Envío de datos con el
protitipo fuera de la mano
SPO2=255;
RC=255;
Serial.print(flat);
Serial.print(" ");
Serial.print(flon);
Serial.print(" ");
Serial.print(SPO2);
Serial.print(" ");
Serial.print(RC);
Serial.println(" ");
Serial.print(alerta);
Serial.println(" ");

longitud=snprintf(buff,30,"%08x
%08x%04x%02x%02x",flat,flon,SPO
2,RC,alerta);
Serial.println(buff);
Serial.println(longitud);
Serial.println(flat,HEX);
delay(1000);
Serial.println(wisol.SEND(buff)
);
}
display.clearDisplay();
display.drawRect(10,17,110,30,W
HITE);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(18,24);
display.print(" Envío de ");
display.setCursor(18,34);
display.print(" Informacion");
display.display();
delay(5000); //corregir cambio
}

```