



“Prototipo LoRaWAN de Comunicación, Ubicación y Monitoreo de Personas para eventos adversos en zonas inhóspitas”

Calero Sarmiento, Giovanni Fabricio y Pallo Reyes, Daniel Joan

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería de Sistemas e Informática

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas e Informática

Dr. Fonseca Carrera, Efraín Rodrigo

23 de agosto de 2021



Document Information

Analyzed document	Tesis-Final_Calero-Pallo_URKUND.docx (D111440909)
Submitted	8/19/2021 12:08:00 AM
Submitted by	Efraín R. Fonseca C.
Submitter email	erfonseca@espe.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	erfonseca.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS_ANTAMBA-CARRERA_VERSION-FINAL.docx Document TESIS_ANTAMBA-CARRERA_VERSION-FINAL.docx (D100023823) Submitted by: dmmarcillo@espe.edu.ec Receiver: dmmarcillo.espe@analysis.orkund.com	2
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Enriquez-Palacios-Proyecto-Titulación-V9-URKUND.docx Document Enriquez-Palacios-Proyecto-Titulación-V9-URKUND.docx (D111440856) Submitted by: erfonseca@espe.edu.ec Receiver: erfonseca.espe@analysis.orkund.com	3
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / ProyectodeTitulación_CristinaDiazV4.docx Document ProyectodeTitulación_CristinaDiazV4.docx (D78463715) Submitted by: jgraura@espe.edu.ec Receiver: jgraura.espe@analysis.orkund.com	32
SA	TESIS_GUAYCHA_ZAMBRANO_FINAL.docx Document TESIS_GUAYCHA_ZAMBRANO_FINAL.docx (D81004011)	1
SA	TESIS SOLEDISPA - GUAMBUGUETE - URKUND.docx Document TESIS SOLEDISPA - GUAMBUGUETE - URKUND.docx (D97110135)	1

1/37

.....
Dr. Fonseca Carrera, Efraín Rodrigo

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Prototipo LoRaWAN de Comunicación, Ubicación y Monitoreo de Personas para eventos adversos en zonas inhóspitas”** fue realizado por los señores Calero Sarmiento, Giovanni Fabricio y Pallo Reyes, Daniel Joan. El cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 23 de agosto del 2021

Firma:

.....
Dr. Fonseca Carrera, Efraín Rodrigo

C. C. 1710979574



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Calero Sarmiento, Giovanni Fabricio** con cédula de ciudadanía N° **1719386151** y **Pallo Reyes, Daniel Joan** con cédula de ciudadanía N° **1725253049**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Prototipo LoRaWAN de Comunicación, Ubicación y Monitoreo de Personas para eventos adversos en zonas inhóspitas"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 23 de agosto de 2021

Firma:

.....
Calero Sarmiento, Giovanni Fabricio

C. C. 1719386151

.....
Pallo Reyes, Daniel Joan

C. C. 1725253049



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Calero Sarmiento, Giovanni Fabricio** con cédula de ciudadanía N° **1719386151** y **Pallo Reyes, Daniel Joan** con cédula de ciudadanía N° **1725253049**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: Título: "**Prototipo LoRaWAN de Comunicación, Ubicación y Monitoreo de Personas para eventos adversos en zonas inhóspitas**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 23 de agosto de 2021

Firma:

.....
Calero Sarmiento, Giovanni Fabricio

C. C. 1719386151

.....
Pallo Reyes, Daniel Joan

C. C. 1725253049

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi madre, gracias por ser un gran ejemplo, por tu coraje y valentía y, sobre todo por todo lo que has hecho por mí y por todo lo que habrías sido capaz de hacer si te lo hubiese pedido. Gracias.

Giovanni Fabricio Calero Sarmiento

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este trabajo de titulación a mis padres, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, por enseñarme a crecer en los buenos y malos momentos, por guiarme y apoyarme en cada una de las decisiones de mi vida para poder llegar hasta aquí; además a toda mi familia que siempre me brindaron su aliento y fuerza para alcanzar cada una de mis metas.

En segundo lugar, a cada uno de mis familiares y amigos que desde el cielo siempre me han guiado en este camino para cumplir con este logro; en especial a mi abuelito José Teodomiro que siempre me enseñó que *“Seguir tus ideales es duro pero el resultado siempre es más gratificante”*.

Daniel Joan Pallo Reyes

AGRADECIMIENTO

...a mi familia, amigos, tutor y a la Universidad de las Fuerzas Armadas - Espe.

Giovanni Fabricio Calero Sarmiento

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios y a la vida por este triunfo, a cada una de las personas que me apoyaron en este largo camino y nunca dejaron de creer en mí.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" por brindarme todos los conocimientos para afrontar mi vida profesional con valores y ética dentro de mi campo de estudio, a cada uno de los maestros que fueron las personas participes de este proceso para cumplir con este logro.

Daniel Joan Pallo Reyes

ÍNDICE DE CONTENIDOS**Contenido**

DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	8
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	14
ÍNDICE DE FIGURAS	15
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	3
Introducción	3
Antecedentes	3
Planteamiento Del Problema.....	4
Objetivos	8
Objetivo General.....	8
Objetivos Específicos.....	9
Justificación.....	9
Alcance	10
Hipótesis	13
CAPÍTULO II	14
Marco Metodológico.....	14
Estado del Arte.....	14

Planteamiento de la revisión de literatura preliminar	14
Criterios de inclusión y exclusión	14
Criterios de Inclusión.....	15
Criterios de Exclusión	15
Grupo de control	16
Cadena de búsqueda.....	18
Proceso de selección.....	20
Resumen de los Estudios Primarios.....	22
Resumen general y conclusión del estado del arte	27
Metodología	28
Identificación de la Problemática.....	29
Definición de los Objetivos de la Solución.....	29
Diseño y Desarrollo.....	30
Demostración.....	30
Evaluación	30
Comunicación	30
Marco Teórico	31
Red de Categorías.....	31
Fundamentación Científica de la Variable Independiente.....	33
Fundamentación Científica de la Variable Dependiente	39
CAPÍTULO III	46
Construcción de la Solución.....	46
Introducción.....	46

Signos Vitales	47
Frecuencia Cardíaca.....	47
Temperatura Corporal.....	48
Arquitectura del Prototipo	48
Diagrama general de la arquitectura	49
Módulos de la arquitectura	50
Módulo de recolección de información	50
Módulo de enlace y comunicación de información	51
Módulo de recepción y publicación de información	52
Módulo de almacenamiento y presentación de información	53
Funcionalidad del Prototipo	54
Diagrama De Casos de uso	55
Actores	56
Requisitos específicos	56
Requisitos funcionales	56
Requisitos no funcionales	72
Base de datos	73
Modelo Conceptual	73
Modelo Lógico.....	74
Modelo Físico.....	75
Construcción del prototipo	75
Aplicación Móvil	76
Descripción de la aplicación.....	76

Estructura de la aplicación	76
Nodo LoRa.....	80
Bróker MQTT	81
Sistema Web	84
Arquitectura del Sistema web.....	84
Interfaz del Sistema Web	86
CAPÍTULO IV	94
Validación del Prototipo	94
Planteamiento del Caso de Estudio.....	94
Escenario 1	98
Escenario 2.....	101
Preparación de la Entrevista.....	104
Entrevista en Profundidad	105
Objetivo de la entrevista	105
Interrogaciones para la Entrevista	105
Desarrollo de la Entrevista.....	108
CAPÍTULO V	120
Conclusiones y Recomendaciones	120
Conclusiones.....	120
Recomendaciones.....	123
Bibliografía	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Preguntas de Investigación.	10
Tabla 2 Artículos que conforman el Grupo de Control.	16
Tabla 3 Trazabilidad de la Cadena de Búsqueda.	18
Tabla 4 Estudios Primarios.	21
Tabla 5 Ingresar al Sistema.	57
Tabla 6 Enviar Mensajes de Alerta.	59
Tabla 7 Recibir Mensajes de Alerta.	61
Tabla 8 Enviar Mensajes Cortos.	63
Tabla 9 Enviar Geolocalización.	64
Tabla 10 Recibir Geolocalización.	66
Tabla 11 Enviar Signos Vitales.	67
Tabla 12 Monitorear Signos Vitales.	69
Tabla 13 Generar Alertas.	70
Tabla 14 Requisitos No Funcionales.	72
Tabla 15 Preguntas Entrevista.	106
Tabla 16 Personas Entrevistadas.	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Principales causas de la nula o escasa cobertura de redes tradicionales en zonas inhóspitas.	5
Figura 2 Causas de la falta de infraestructura de telecomunicaciones en zonas inhóspitas.....	5
Figura 3 Causas de baja densidad poblacional en zonas inhóspitas.	6
Figura 4 Efectos de la problemática central.	7
Figura 5 Árbol de problemas.....	7
Figura 6 Fases de la metodología Design Science.	29
Figura 7 Red de Categorías correspondiente a la variable independiente.	32
Figura 8 Red de Categorías correspondiente a la variable dependiente.	32
Figura 9 Modelo de referencia propuesto para LoRaWAN.....	37
Figura 10 Servidor LoRaWAN.....	39
Figura 11 Frecuencia Cardíaca.....	47
Figura 12 Arquitectura del Prototipo LoRa.	49
Figura 13 Módulo de recolección de información.....	50
Figura 14 Módulo de enlace y comunicación de información.	51
Figura 15 Módulo de recepción y publicación de información.	53
Figura 16 Módulo de presentación de información.....	53
Figura 17 Diagrama Casos de Uso.....	55
Figura 18 Modelo Conceptual BDD.	73
Figura 19 Modelo Lógico BDD.....	74
Figura 20 Modelo Físico BDD.....	75
Figura 21 Menú principal de la aplicación móvil.....	76

Figura 22	Comunicación de Mensajes o Alertas.	77
Figura 23	Envío de Alertas Predeterminadas.....	78
Figura 24	Conexión Bluetooth.....	78
Figura 25	Ajustes.....	79
Figura 26	Librerías Arduino LoRa.	80
Figura 27	Bróker MQTT.....	81
Figura 28	Configuración Agente EMQ.	82
Figura 29	Dashboard Bróker.....	83
Figura 30	Librerías Script Python.....	84
Figura 31	Diagrama Componentes SW.	84
Figura 32	Interfaz Principal.	87
Figura 33	Módulos Prototipo LoRa.	87
Figura 34	Módulo Comunicación.	89
Figura 35	Módulo Monitoreo de Signos Vitales.....	90
Figura 36	Generación de Alertas.	90
Figura 37	Historial de Alertas.....	91
Figura 38	Módulo Geolocalización.....	92
Figura 39	Conexión Bluetooth Reloj Inteligente – Nodo.....	95
Figura 40	Display Nodo Prototipo LoRaWAN.....	96
Figura 41	Geolocalización Sitio Inhóspito.	97
Figura 42	Información Reloj – Escenario 1.	98
Figura 43	Enviar Mensaje Reloj – Escenario 1.	98
Figura 44	Recepción Mensaje Web – Escenario 1.....	99

Figura 45 Enviar Mensaje Predeterminado Reloj – Escenario 1.	99
Figura 46 Recepción Mensaje Predeterminado Web – Escenario 1.	99
Figura 47 Monitoreo – Escenario 1.	100
Figura 48 Información Reloj – Escenario 2.	101
Figura 49 Enviar Mensaje Reloj – Escenario 2.	101
Figura 50 Recepción Mensaje Web – Escenario 2.	102
Figura 51 Monitoreo – Escenario 2.	102
Figura 52 Respuesta Centro de Control – Escenario 2.	103
Figura 53 Mensaje de Respuesta Reloj – Escenario 2.	103

RESUMEN

Las personas experimentan nuevos desafíos y sensaciones a través de actividades en entornos naturales que se encuentran en zonas inhóspitas, estas zonas generalmente carecen de los servicios de las redes tradicionales. Esta ausencia de métodos o herramientas de comunicación, junto con la posibilidad de encontrarse con eventos adversos, representa un peligro latente para las personas.

Para lo cual, se ha estructurado un modelo tecnológico actual, económico y versátil a través de una investigación exploratoria de la literatura y la aplicación de la metodología Design Science. El modelo se basa en la aplicación de la tecnología LoRa para brindar servicios de ubicación, monitoreo y comunicación a las personas durante eventos adversos en zonas inhóspitas.

A través de la simulación de escenarios en función de un caso de estudio se ha validado el alcance en la prestación de servicios al usuario, adicionalmente, se presenta la opinión de expertos en el área de turismo por medio de entrevistas en base al funcionamiento del prototipo.

Palabras clave:

- **LORA**
- **UBICACIÓN**
- **MONITOREO**
- **COMUNICACIÓN**
- **EVENTOS ADVERSOS**

ABSTRACT

People who experience new challenges and sensations through activities in natural environments found in inhospitable areas, these areas generally lack the services of traditional networks. This absence of communication tools, together with the possibility of encountering adverse methods, represents a latent danger for people.

For which, a current, economical and versatile technological model has been structured through exploratory research of the literature and the application of the Design Science methodology. The model is based on the application of LoRa technology to provide location, monitoring and communication services to people during adverse events in inhospitable areas.

Through the simulation of scenarios based on a case study, the scope in the provision of services to the user has been validated, additionally, the opinion of experts in tourism is presented through interviews based on the operation of the prototype.

Keywords:

- **LORA**
- **LOCATION**
- **MONITORING**
- **COMMUNICATION**
- **ADVERSE EVENTS**

CAPÍTULO I

Introducción

Antecedentes

Con el afán de salir de las rutinas que dominan su día a día, las personas buscan experimentar nuevos retos y sensaciones, lo que ha conllevado un gran despliegue en ambientes naturales, que por lo general se encuentran en zonas inhóspitas (Castro, 2019). A pesar de las dificultades que presentan estas zonas, se realizan actividades físicas y recreativas, tales como: senderismo, recorridos exploratorios, deportes extremos o actividades de aventura, entre otros (Granero et al., 2010).

Existen diferentes eventos que podrían significar un peligro inminente para las personas durante el desarrollo de las actividades antes mencionadas. En (Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), 2017) se enumeran eventos tales como: deslaves de tierra, terremotos, inundaciones, tormentas, incendios, vendavales, ataques de animales salvajes o erupciones volcánicas. Las comunicaciones de estas zonas son mínimas o nulas, no obstante, ante estos posibles eventos adversos, se podrían convertir en un factor básico para preservar la vida de estas personas.

Para mitigar el efecto de estos eventos se han propuesto diferentes sistemas de comunicación, como por ejemplo, en Estados Unidos se organizan grupos de servicio voluntario que, mediante la utilización de equipos de radio aficionado, responden y orientan a personas en situaciones de desastre o accidente (Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), 2017). No obstante, estos métodos siguen sin proporcionar una solución clara y eficaz al rescate de personas en las zonas inhóspitas. Por citar un ejemplo, en

2017 en España durante operaciones de rescate y salvamento, el 16% de las personas encontradas presentaban heridas y un 6% fueron halladas sin vida. Según (Rodríguez & Koester, 2018) a partir de las 96 horas de extravío, sólo el 49% de las personas se localizan con vida.

Planteamiento Del Problema

Las zonas inhóspitas por lo general carecen de cobertura de las redes tradicionales¹ ; por lo tanto, la prestación de sus servicios en estas zonas aún es ineficiente e incluso nula. De acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT², las zonas inhóspitas se caracterizan por:

- Ausencia de una infraestructura y servicio de telecomunicaciones adecuada.
- Condiciones geográficas que dificultan el acceso.
- Baja o casi nula densidad demográfica.
- Ausencia de servicios básicos tales como un suministro eléctrico regular.
- Altos costos de despliegue y mantenimiento de centros de telecomunicaciones.

Las características antes mencionadas influyen negativamente en la implementación de un sistema de comunicación en zonas inhóspitas donde se desarrollan actividades recreativas o deportivas, por lo tanto, la comunicación se presenta como un factor diferencial cuando las personas se encuentren en situaciones imprevistas como derrumbes, incendios y demás efectos medioambientales que imposibiliten el paso o directamente afecten a la salud de las personas.

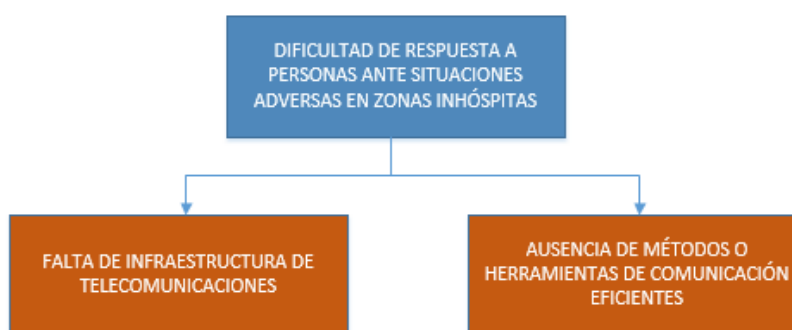
¹ Entendemos por redes tradicionales a las redes: eléctrica, de datos, telefonía, etc.

² UIT: "Organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación – TIC." Para más información visitar: <https://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>

Tomando en cuenta estos factores, se determinó como problemática central; la dificultad de respuesta a personas ante situaciones adversas en zonas inhóspitas y como sus principales causas de la problemática; la falta de infraestructura y la ausencia o deficiencia de herramientas o métodos para la comunicación en zonas inhóspitas (ver Figura 1).

Figura 1

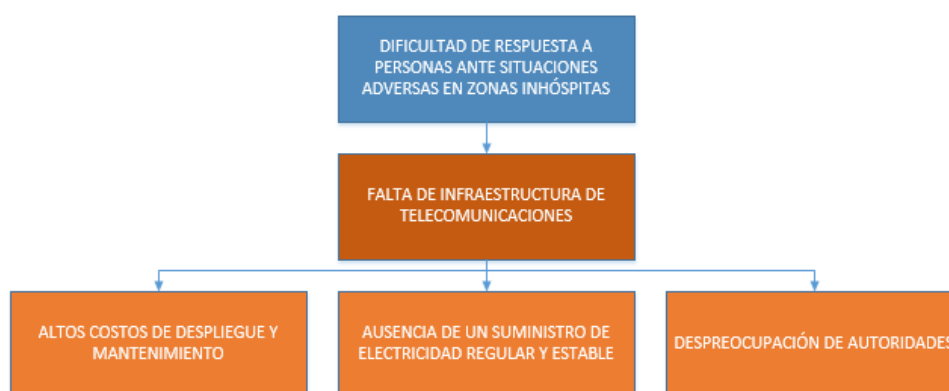
Principales causas de la nula o escasa cobertura de redes tradicionales en zonas inhóspitas.



La falta de infraestructura de telecomunicaciones se debe principalmente a lo costoso que implica el despliegue y mantenimiento en zonas donde la utilización de estos recursos va a ser ocasional; además, son zonas que ante su escasa población provoca despreocupación en autoridades y con ello, carencia de una asistencia eficiente de servicios de redes tradicionales (ver Figura 2) (Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), 2017).

Figura 2

Causas de la falta de infraestructura de telecomunicaciones en zonas inhóspitas.



La ausencia de herramientas o métodos eficientes de comunicación es provocada principalmente por la dificultad de implementación de sistemas o artefactos tecnológicos, en un entorno geográfico donde la complicada accesibilidad, imposibilita un adecuado despliegue de estos recursos; adicionalmente, es preciso destacar la poca involucración de empresas complicando el desarrollo y la adecuación de estas tecnologías (ver Figura 3) (Díez & Escalona, 2005).

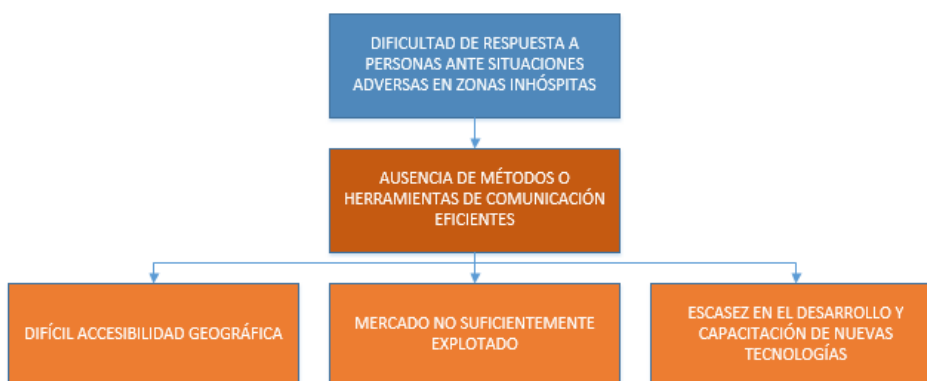


Figura 3

Causas de baja densidad poblacional en zonas inhóspitas.

Una vez presentada todas las causas que infieren en la problemática, se presentan como efectos más representativos para la población; la dificultad de acción ante emergencias y la incapacidad de prestación de servicios, primordialmente servicios de salud (Rodríguez & Koester, 2018). Adicionalmente, cabe destacar el aumento de riesgo en el desplazamiento de personas hacia zonas inhóspitas y, por consiguiente, un mayor consumo de recursos en operaciones de salvamento y rescate. Estos efectos se acentúan ante la falta de herramientas o métodos de comunicación eficiente y la falta de infraestructura en zonas inhóspitas (ver Figura 4) (Rodríguez & Koester, 2018).

Figura 4

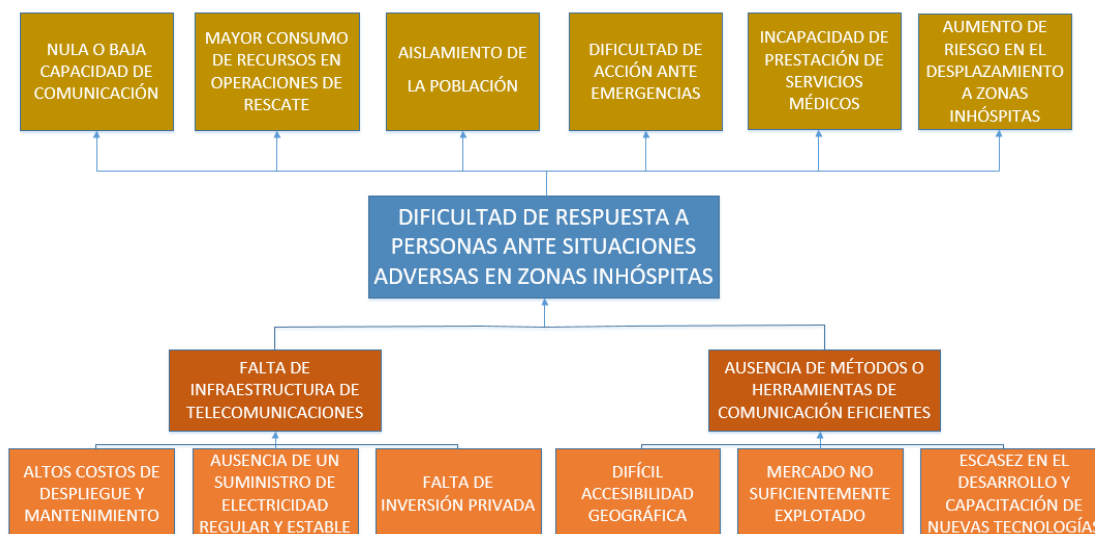
Efectos de la problemática central.



A modo de síntesis, en la Figura 5 se presenta un árbol de problemas que relaciona el problema central con sus causas y efectos.

Figura 5

Árbol de problemas.



Esto sirvió de motivación para proponer el desarrollo de un prototipo que mediante redes de larga distancia y bajo consumo energético, para proporcionar una comunicación rápida y eficiente, el envío de parámetros de geolocalización y por medio de un dispositivo inteligente, la captación de información relacionada a los signos vitales de temperatura y ritmo cardíaco de la persona. El usuario llevará consigo el prototipo, el cual, permitirá el envío y recepción de datos correspondiente a mensajes cortos de texto y alertas predefinidas. La información se presentará a un centro de control a través de una plataforma web.

A continuación, se detallan los objetivos que están sujetos a la realización, ejecución y validación del prototipo.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo LoRaWAN para simular la comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso durante eventos adversos.

Objetivos Específicos

- Realizar el estudio de la situación actual respecto a la dificultad de dar respuesta a situaciones adversas de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso, a través de la realización de estudios exploratorios y bibliográficos.
- Efectuar un estudio de factibilidad de propuestas de comunicación, ubicación y monitoreo de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso durante situaciones adversas, donde la cobertura de las redes tradicionales sea escasa o nula, mediante una revisión de literatura preliminar.
- Desarrollar un prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas mediante la implementación de protocolos e infraestructura IoT, basada en redes de sensores, comunicación inalámbrica y metodologías de desarrollo de software.
- Validar el prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas mediante casos de estudio en función de situaciones simuladas.
- Validar el prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso a través de la opinión de expertos dentro del sector turístico.

Justificación

La continua emigración de personas hacia áreas más pobladas y zonas urbanas provoca que la exploración ocasional de zonas remotas y aisladas genere gran interés (Díez & Escalona, 2005), estas zonas no poseen un gran flujo de personas constante o habitantes propios, lo cual no justifica la implementación de infraestructura de telecomunicaciones o la

prestación de servicios de conectividad de redes tradicionales, básicamente por su alto consumo de recursos en despliegue como en mantenimiento (Okeleke & Stryjak, 2015).

Sin embargo, un creciente número de personas optan por visitar o explorar estas zonas, ya sea por fines recreacionales o la práctica de algún deporte. Estos contextos exponen a las personas a potenciales peligros propias del ambiente, en donde se verán incapacitadas y/o aisladas (Castro, 2019).

Por lo tanto, ante eventos adversos las personas no cuentan con servicios de comunicación; por ejemplo, en caso de desaparición de personas, no existen opciones de ubicación geográfica y ante posibles accidentes, el monitoreo del estado de salud es inexistente. Las situaciones descritas precisan de soluciones efectivas para asegurar que los usuarios puedan comunicarse en un momento de catástrofe, a través de canales de comunicación eficientes, seguros y de calidad.

Alcance

Para especificar de forma correcta el alcance del trabajo de titulación propuesto, se han establecido diversas preguntas de investigación que se relacionan directamente con los objetivos específicos propuestos, ver Tabla 1.

Tabla 1

Preguntas de Investigación.

Objetivos Específicos	Preguntas de Investigación
------------------------------	-----------------------------------

OE1: Realizar el estudio de la situación actual respecto a la dificultad de dar respuesta a situaciones adversas de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso, a través de la realización de estudios exploratorios y bibliográficos.

OE2: Efectuar un estudio de factibilidad de propuestas de comunicación, ubicación y monitoreo de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso durante situaciones adversas, donde la cobertura de las redes tradicionales sea escasa o nula, mediante una revisión de literatura preliminar.

OE3: Desarrollar un prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas mediante la implementación de protocolos e infraestructura IoT, basada en redes de sensores, comunicación inalámbrica y metodologías de desarrollo de software.

PI1 ¿Qué efectos se presentan en las personas en situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PI2 ¿Cuáles son las causas por las cuales se dificulta el soporte a personas en situaciones adversas que ocurren en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PI3 ¿Cuáles son las propuestas más comunes de conectividad de redes en zonas inhóspitas y áreas de difícil acceso?

PI4 ¿Cuáles son las estrategias o técnicas para la comunicación, monitoreo del estado de salud y/o ubicación de personas ante eventos adversos en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PI5 ¿Qué métodos existen para el monitoreo del estado de salud y la prestación de primeros auxilios a personas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PI6 ¿Qué arquitectura de software y hardware proporciona el marco de referencia necesario para el servicio de monitoreo, ubicación y comunicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso durante situaciones adversas?

- PI7** ¿Qué protocolos e infraestructura se aplican dentro de un prototipo de sensores al momento de crear una red inalámbrica que permita tanto la comunicación, monitoreo y ubicación de personas que se encuentran en zonas inhóspitas de difícil acceso?
- OE4:** Validar el prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas mediante casos de estudio en función de situaciones simuladas.
- PI8** ¿Qué casos de estudio se podrían plantear para evaluar el prototipo de comunicación, monitoreo y ubicación de personas que se encuentran en zonas inhóspitas de difícil acceso en situaciones adversas que se asemejen a la realidad?
- PI9** ¿Cuáles son los escenarios en los que las personas se pueden ver inmersas en la simulación de casos de estudio para la evaluación del prototipo de comunicación, monitoreo y ubicación de personas que se encuentran en zonas inhóspitas de difícil acceso ante situaciones adversas?
- OE5:** Validar el prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso a través de la opinión de expertos dentro del sector turístico.
- PI10** ¿Cuáles son las principales dificultades en las que se encuentran las personas ante situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?
- PI11** ¿Qué métodos o herramientas de comunicación se emplean para la localización de personas ante situaciones
-

adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PI12 ¿Cuál es el apoyo que brindan las autoridades a las personas que se encuentran frente situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PI13 ¿Qué impacto presenta la infraestructura de telecomunicaciones ante la necesidad de respuesta a personas en situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

Hipótesis

Un prototipo basado en redes temporales de largo alcance LoRaWAN permite simular la comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso durante eventos adversos.

CAPÍTULO II

Marco Metodológico

En este capítulo se presenta el estudio del estado del arte, seguido de la descripción de la metodología empleada en el proyecto, especificando cada una de las actividades a realizar por cada fase del modelo de investigación Design Science y, por último, mediante la formulación de una red de categorías se presenta el marco teórico.

Estado del Arte

El presente estudio se realizó mediante una revisión de literatura preliminar, con el propósito de validar la factibilidad de propuestas de comunicación, ubicación y monitoreo de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso durante situaciones adversas. El análisis se llevó a cabo en la base de datos bibliográfica Scopus.

Planteamiento de la revisión de literatura preliminar

Habiendo establecido el tema, antecedentes y la problemática del proyecto, se procedió a definir un objetivo de la búsqueda y plantear preguntas de investigación para alinear la búsqueda de estudios científicos a un contexto definido de análisis y exploración, lo que corresponde con el objetivo específico 2 y las preguntas de investigación 3, 4, 5 y 6.

Criterios de inclusión y exclusión

Una actividad básica dentro de una revisión de literatura preliminar es la definición de las características requeridas para que un artículo sea considerado, o en su defecto descartado, lo que se denominan criterios de inclusión y exclusión, respectivamente. Estos criterios se especifican a continuación.

Criterios de Inclusión

- Artículos en los cuales se presenten propuestas de conectividad en áreas donde la cobertura de las redes de comunicación tradicionales es nula o escasa.
- Artículos en los cuales se definan zonas de aplicación para la implementación de redes de larga distancia.
- Artículos en los cuales se presenten soluciones a retos y problemas de accesibilidad a servicios de salud en zonas inhóspitas y comunidades rurales sin acceso a las TIC.
- Artículos en los cuales se presenten estudios sobre la comunicación y detección de personas durante eventos adversos en áreas remotas de difícil acceso.

Criterios de Exclusión

- Artículos en los cuales se aborde la comunicación en zonas inhóspitas y áreas de difícil acceso, pero solo se mencionan las tecnologías a ser utilizadas y no se detalla su implementación o uso para solucionar la problemática identificada.
- Artículos en los cuales se implementen comunicaciones en zonas inhóspitas y áreas de difícil acceso, pero únicamente se evalúen las características, propiedades o limitaciones de la tecnología aplicada.
- Artículos en los cuales se aborde la comunicación en zonas inhóspitas y áreas de difícil acceso, pero no se oriente la solución hacia la prestación de servicios en la población.
- Publicaciones anteriores al 2008, que se encuentren redactadas en un idioma que no sea el inglés o que su procedencia sea de estudios en revistas, discursos o conferencias no fiables.

Grupo de control

Después de realizar el análisis de varios estudios científicos referentes al tema, se ha realizado la conformación de un grupo de control, el cual se caracteriza por reunir aquellos artículos relevantes que cumplen con los criterios de inclusión y exclusión antes indicados. Más específicamente, el grupo de control permite la selección de términos relevantes, considerando que estos deben encontrarse estrechamente alineadas al objetivo de la investigación (ver tabla 2), estos términos servirán como insumo para la creación de la cadena de búsqueda.

Tabla 2

Artículos que conforman el Grupo de Control.

Código	Título	Términos relevantes
EC1	Self-Sustainable Energy Efficient Long-Range Wi-Fi Network for Rural Communities.	rural areas, remote locations, top of a mountain, tropical rainforest, long-range communication, self-sustainable, network model
EC2	Rural Area Deployment of Internet of Things Connectivity: LTE and LoRaWAN Case Study for War Soldiers using Machine Learning.	rural areas, remote areas. wireless communications, optimize coverage, wireless network, environment constraints, limited energy sources

- | | | |
|------------|---|--|
| EC3 | LoRaWAN Network for Fire Monitoring in Rural Environments. | rural areas, inhabited areas, forest areas. communications system, difficult access. |
| EC4 | Forestry Monitoring System using Lora and Drone. | farm area, monitoring system, climate change, forest fires. |
| EC5 | The Design of a Wireless Solar-Powered Router for Rural Environments Isolated from Health Facilities. | rural areas, data communications, lack terrestrial telecommunication. |
| EC6 | TLTN – The local things network: on the design of a LoRaWAN gateway with autonomous servers for disconnected communities. | rural areas, became lost, inadequate Internet access. |
| EC7 | Deploying a Social Community Network in Rural Areas Based on Wireless Mesh Networks. | rural areas, remote areas, rural communities, inadequate Internet access. |
| EC8 | IoT-based Healthcare Monitoring System for War Soldiers using Machine Learning. | healthcare monitoring, health monitoring, health assistance, health status. |

Nota: La tabla muestra los artículos seleccionados por los investigadores para formar del grupo de control.

Cadena de búsqueda

Con los términos relevantes obtenidos de cada uno de los estudios científicos, se estableció cuatro contextos claves en los que se pueden agrupar los términos según su finalidad:

- **Entorno:** Medio donde se suscita la problemática como tal.
- **Propósito:** Describe la razón de ser de la solución.
- **Propuesta:** Solución a la temática identificada.
- **Problema:** Detalles o características del fenómeno de interés.

Una vez que se identificaron los términos relevantes, y habiendo ubicado cada uno de estos en su contexto específico, se procedió a establecer un pilotaje de la cadena de búsqueda en un proceso de ensayo y error. Mediante este método se fue probando combinaciones de los términos más relevantes de cada contexto, lo cual se realizó de forma iterativa hasta encontrar la cadena de búsqueda ideal, la cual se muestra en la tabla 3, junto a los ensayos más relevantes.

Tabla 3

Trazabilidad de la Cadena de Búsqueda.

Cadena de Búsqueda	Número de Artículos obtenidos	Estudios del Grupo de Control	Títulos Relacionados
((“rural areas” OR “remote locations”) AND (“access” OR “network connectivity”) AND (“monitoring system” OR “wireless network”) AND (“long	28 artículos obtenidos	0 artículos del GC	Los títulos de los artículos encontrados con esta cadena de búsqueda no

range communication" OR "low power consumption"))			tienen ninguna relación con el objetivo de la investigación.
(("remote locations" OR "isolated locations" OR "remote areas" OR "inhabited areas") AND ("location of people" OR "connecting people" OR "populations") AND ("communications system" OR "network model") AND ("wireless network" OR "wireless communications"))	31 artículos obtenidos	1 artículo del GC	Los títulos de los artículos encontrados con esta cadena de búsqueda tienen una relación baja con el objetivo de la investigación.
(("remote locations" OR "remote areas" OR "inhabited areas" OR "rural areas" OR "rural communities" OR "forest areas" OR "top of a mountain" OR "tropical rainforest" OR "farm area") AND ("health monitoring" OR "health assistance" OR "healthcare monitoring" OR "health status" OR "long-range communication" OR "wireless communications" OR "optimize coverage" OR "data communications" OR "self-sustainable") AND ("communications system" OR "monitoring system" OR "network model" OR "wireless network") AND ("environment constraints" OR "limited energy sources" OR "climate change" OR "difficult access" OR "lack terrestrial	143 artículos obtenidos	4 artículos del GC	Los títulos de los artículos encontrados con esta cadena de búsqueda están acordes al objetivo de la investigación.

telecommunication" OR "forest
fires" OR "became lost" OR
"inadequate Internet access"))

Nota: La tabla muestra la trazabilidad de la cadena de búsqueda basándonos en términos obtenidos por los artículos seleccionados en el grupo de control por los investigadores.

Para que una cadena sea calificada como ideal, se consideró que cumpla las siguientes características:

- El número de artículos obtenidos es un grupo suficientemente extenso y manejable para el análisis.
- Los artículos obtenidos se encuentran relacionados con la temática y alineados con los criterios de inclusión y exclusión.
- Al menos un 50% de los artículos seleccionados para el grupo de control deben aparecer dentro de los artículos obtenidos.

Proceso de selección

Al aplicar la cadena de búsqueda en la base digital SCOPUS se obtuvieron *143 estudios candidatos* que se orientan al objetivo de investigación.

A continuación, cada investigador³ procedió a leer y a analizar los títulos y resúmenes de cada uno de los estudios candidatos para luego, mediante consenso, se seleccionó aquellos que

³ Es preciso mencionar que cuando se hace referencia a los investigadores, se refiere a los tesisistas y al tutor del proyecto de titulación.

cumplían con el objetivo de investigación. El resultado de esta depuración dio como resultado *12 estudios relevantes*.

Finalmente, se realizó una revisión del texto completo de los estudios relevantes. Como resultado de esta revisión se descartaron tres artículos, obteniéndose *9 estudios primarios*; estos estudios se especifican en la tabla 4

Tabla 4

Estudios Primarios.

Código	Título	Cita
EP1	An Integrated Visual Signaling, localization & Health Monitoring System for Soldier Assistance.	(Hota et al., 2019)
EP2	IoT-based Healthcare Monitoring System for War Soldiers using Machine Learning.	(Gondalia et al., 2018)
EP3	IOT based monitoring system to detect the ECG of soldiers using GPS and GPRS.	(Anuradha et al., 2018)
EP4	Health Monitoring and Tracking System for Soldiers Using Internet of Things (IoT).	(Patil & Iyer, 2017)
EP5	Review of risk management for landslide forecasting, monitoring and prediction using wireless sensors network.	(Suryawanshi & Deshpande, 2018)
EP6	Design of a telemedicine ubiquitous architecture based on the smart device health Arduino 4G.	(Rivera, 2016)

- EP7** A sustainable and affordable support system (Barjis et al., 2013) for rural healthcare delivery.
- EP8** Design of Soldier Status Monitoring and Command and Control System Based on Beidou System. (Ba & Wang, 2012)
- EP9** A Soldier Health Monitoring System for Military Applications. (Lim et al., 2010)
-

***Nota:** La tabla muestra los artículos seleccionados por los investigadores para formar del grupo de estudios primarios.*

Resumen de los Estudios Primarios

EP1 (Hota et al., 2019): An Integrated Visual Signaling, localization & Health Monitoring System for Soldier Assistance.

Para garantizar la seguridad, localización y la condición corporal saludable de los soldados, los autores del presente artículo proponen una red tanto interior como exterior para informar si algunos de ellos faltan en su tropa, sus condiciones de salud son óptimas o si desean comunicarse con otros soldados a larga distancia. Para llevar a cabo este cometido presentan un sistema que incorpora un gestor de reconocimiento de señalización visual, una banda de localización interior y exterior de corto alcance asociada con módulos de monitorización de parámetros. El objetivo de este sistema es evitar la muerte de soldados causada por la falta de comunicación, falta de conectividad con compañeros soldados y monitoreo continuo de parámetros corporales y vitales a través de la comunicación de gestos utilizados ampliamente en el ejército.

EP2 (Gondalia et al., 2018): IoT-based Healthcare Monitoring System for War Soldiers using Machine Learning.

Con el objetivo de conservar la salud de los soldados en los campos de guerra, el siguiente artículo tiene como meta desarrollar un sistema que permita obtener la geolocalización y monitorio de los signos vitales de los soldados al momento que se suscite algún cambio dentro de estos. Con esto el tiempo de respuesta para brindar ayuda en sus operaciones se reduce y ayuda a optimizar los recursos de los diversos centros de control militares. Esto se llevará a cabo por medio de sensores que captan principalmente el ritmo cardiaco y la temperatura del individuo, un módulo de geolocalización. Todo esto se conecta de manera síncrona con un módulo ZigBee distribuido en el grupo que está siendo monitoreado. Se tiene por otra parte un módulo LoRaWAN con el que existe comunicación entre la unidad de control y el líder al mando de todo el grupo que están dentro de una zona de guerra.

EP3 (Anuradha et al., 2018): IOT based monitoring system to detect the ECG of soldiers using GPS and GPRS.

El presente estudio plantea a través de un dispositivo de comunicación por un canal (emisor - receptor) crear un mecanismo que precautele la situación en la cual se encuentra la tropa asociada con un grupo de élite de las Fuerzas Armadas para generar una alerta de emergencia. Esto se logrará utilizando un sistema que tiene arraigada la frecuencia cardiaca del soldado y lo generación de las coordenadas de latitud y longitud para conocer el sitio donde se está ocasionando la batalla; si no se encuentra en un escenario de peligro dentro de la estación de control no se generará ninguna alerta al contrario cuando se ocasione un combate

se generará una alerta para mantenerse al tanto de la situación y poder brindar pronta ayuda a sus tropas.

EP4 (Patil & Iyer, 2017): Health Monitoring and Tracking System for Soldiers Using Internet of Things (IoT).

El presente artículo consta de un sistema para dar continuidad y seguimiento a las personas que tengan un déficit de salud en tropas de guerra. Se integra al casco del soldado para poder obtener un seguimiento en tiempo real del estado de salud del mismo y su localización por un módulo de geolocalización. Toda la información receptada se enviará por medio de IoT a equipos que van a validar el estado actual de la persona, optimizando costos y resguardando la vida de estas personas que se encuentra en constante peligro.

EP5 (Suryawanshi & Deshpande, 2018): Review of risk management for landslide forecasting, monitoring and prediction using wireless sensors network.

Los deslizamientos de tierra (derrumbes) son un fenómeno natural que se repite continuamente causando estragos tanto en la vida humana como en las pérdidas materiales y económicas a nivel mundial. Para evitar el impacto negativo de este suceso natural se propone un sistema sofisticado en tiempo real para la detección previa de deslizamientos de tierra basado en factores como el cambio de clima y el aumento de las actividades humanas en el medio ambiente. Este sistema está compuesto por tres etapas de desarrollo, la primera que pretende ubicar áreas propensas a deslizamientos de tierra, la segunda basada en el despliegue en tiempo real del área propensa a deslizamientos de tierra y por último el análisis, monitoreo continuo y la predicción de riesgos en dichas áreas a través de varios tipos sensores

de monitoreo continuo relacionados con varias redes de sensores inalámbricos colocadas estratégicamente en áreas donde se susciten este tipo de fenómenos naturales.

EP6 (Rivera, 2016): Design of a telemedicine ubiquitous architecture based on the smart device health Arduino 4G.

El presente artículo se centra en la vinculación de la telemedicina con los dispositivos móviles por medio de una conexión de red de datos móviles. Por medio de este dispositivo móvil se pretende realizar lecturas biométricas a través de sensores especializados y colocados en diversas partes del cuerpo de una persona para poder definir cuáles son sus signos vitales entre otros factores claves para determinar cualquier tipo de pronóstico médico previo. Esto tiene como objetivo recopilar datos los cuales se envían y guardan dentro de un sistema de información geográfica de salud, el cual consta de un middleware con una función de georreferenciación en tiempo real con los diversos centros de salud especializados en la patología que posee la persona que ha sido monitoreada previamente, para que sea atendida con toda la infraestructura física pertinente.

EP7 (Barjis et al., 2013): A sustainable and affordable support system for rural healthcare delivery.

En los países en vías de desarrollo existe un índice alto de densidad poblacional en zonas rurales en las cuales se dificulta mucho el acceso a los servicios médicos básicos y a las tecnologías de apoyo que brindan dichos servicios. Por lo cual existe una gran brecha en la calidad de la atención médica desde la mala infraestructura hasta el monitoreo inadecuado de pacientes con enfermedades crónicas, graves o terminales. Por ello los autores de este artículo

proponen un mecanismo de apoyo para la decisión prematura del estado médico del paciente y por medio de esto evitar errores básicos o cualquier tipo de negligencia que se pueda suscitar. Este sistema se basa en el apoyo a la decisión de los médicos al momento de inferir sobre el tratamiento que se le tiene que dar al paciente basado en sus signos vitales, los cuales van a ser tele controlados regularmente por medio de la monitorización en tiempo real, lo que permite facilitar la información del paciente a través de la atención en sus domicilios (telemedicina) y saber qué paciente necesita una intervención inmediata y acelerar el proceso de toma de decisiones por parte del personal médico.

EP8 (Ba & Wang, 2012): Design of Soldier Status Monitoring and Command and Control System Based on Beidou System.

En el ámbito militar existe diversos eventos situacionales dentro del campo de batalla los cuales han segado la vida de muchos soldados cumpliendo su labor, por ello los autores del presente artículo propone un sistema para el control remoto del estado del soldado, la adquisición inalámbrica de sus signos vitales, su localización dentro de un mapa electrónico y la comunicación a través de mensajes cortos. Con el objetivo de realizar un rescate en el campo de batalla eficiente, encontrando soldados heridos en donde sus signos vitales sean muy críticos y se pueda brindar rápidamente un servicio de primeros auxilios para poder reducir la tasa de mortalidad, el grado de lesión y de discapacidad.

EP9 (Lim et al., 2010): A Soldier Health Monitoring System for Military Applications.

Los autores de este artículo buscan a través de sensores portátiles para el monitoreo de parámetros fisiológicos humanos proporcionar en tiempo real el monitoreo de salud de los

soldados por medio de un sistema integral de vigilancia de salud. El componente clave de dicho sistema se basa en la integración de varios sensores fisiológicos y biomédicos los cuales se incrustan dentro del casco de combate usado por cada soldado. Este sistema permite el continuo monitoreo del estado de salud de los soldados, en caso de que exista un caso de muerte súbita o lesiones fatales, el sistema puede generar señales de alerta del casco del soldado hasta la sala principal de control que se encuentra en una gran área sin ninguna infraestructura de red existente.

Resumen general y conclusión del estado del arte

Se han determinado componentes y características comunes en los artículos identificados como estudios primarios. A continuación, se presenta la información relevante que, además da respuesta a las preguntas de investigación planteadas para esta revisión de literatura preliminar.

Los autores proponen soluciones para el monitoreo, ubicación y control de salud de personas dentro de diversas situaciones, tales como; desastres naturales (Suryawanshi & Deshpande, 2018), ambientes de zonas de guerra (Lim et al., 2010), telemedicina (Rivera, 2016), etc. Estas soluciones son propuestas que basan su conectividad en tecnologías como GPS, LoRa, Sigfox, Zigbee, IoT o la conexión de redes de datos móviles. Para el envío y recepción de información, los autores plantean estrategias o técnicas fundamentadas en el rastreo en tiempo real, la utilización de redes inalámbricas, georreferenciación y sensores de área. Con lo cual, buscan minimizar el tiempo de comunicación del usuario y contrarrestar la incapacidad de respuesta por parte de las autoridades (Patil & Iyer, 2017).

Como respuesta ante las estrategias antes mencionadas, la tecnología LoRa presenta una alternativa muy flexible para solucionar diversas problemáticas en cuanto a la cobertura de red limitada, gracias a su largo alcance y al bajo consumo de recursos, lo cual, la hace una tecnología económica y fácil de implementar. LoRa utiliza bandas libres, a diferencia de sus principales competidores que utilizan bandas licenciadas. El uso de otras tecnologías que utilizan bandas libres como *Sigfox* o *RPMA*, dependen de si las empresas propietarias, proporcionan cobertura dentro de la localización particular, al contrario de LoRa, que, a través de adquirir un punto de acceso, este está listo para brindar cobertura dentro de una localización a especificar.

Finalmente, en el monitoreo del estado de salud y la prestación de primeros auxilios, los estudios se enfocan en la utilización de sensores portátiles que varían en su especificación como, por ejemplo: fisiológicos, biomédicos, de transmisión, etc. Cabe destacar que la frecuencia cardíaca se presenta como un parámetro de análisis fundamental.

Por lo tanto, el presente estudio busca aumentar el conocimiento basado en el uso de redes LoRaWAN para la ubicación de personas en zonas inhóspitas durante eventos adversos donde la cobertura de redes tradicionales es nula o escasa.

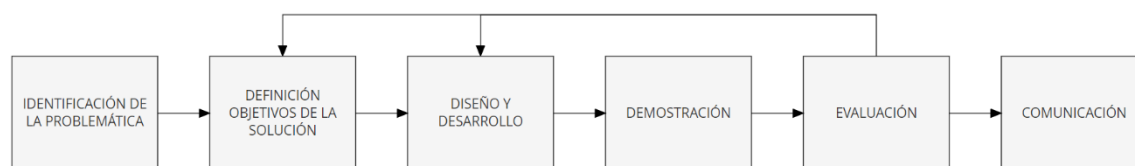
Metodología

Para el desarrollo del proyecto, tomando en cuenta el ámbito de la problemática, se consideró la aplicación de una metodología que se oriente hacia temas de tecnologías de la información. La metodología de investigación Design Science se enfoca principalmente en la ejecución de un proceso iterativo, el cual, tiene como objetivo generar conocimiento, mayor

comprensión de la problemática y un producto final durante el diseño, desarrollo y evaluación de este (Cataldo, 2015). En la Figura 6 se muestra el modelo de la metodología Design Science.

Figura 6

Fases de la metodología Design Science.



Nota: En el presente gráfico se muestra todo el flujo de las fases de la metodología Design Science. Tomado de (Azasoo & Boateng, 2015).

Cada una de estas fases se definen a continuación (Azasoo & Boateng, 2015).

Identificación de la Problemática

El objetivo principal de la metodología radica en dar soluciones y respuestas de tecnología que busquen resolver o mitigar problemas sociales relevantes.

Definición de los Objetivos de la Solución

En esta fase se describen y delimitan los resultados específicos como indicadores cuantitativos, buscando reflejar el valor del producto final que se pretende lograr dentro de un marco de tiempo y con recursos disponibles.

Diseño y Desarrollo

Mediante un diseño inicial se propone un modelo conceptual del artefacto, por medio de la aplicación de abstracción apropiada, se estiman recursos y comportamientos esperados. Se procede a construir el artefacto centrándose en la solución como objetivo.

Demostración

Se pone a prueba el funcionamiento del artefacto. Primero, se depura y valida las funciones básicas y, se utilizan métricas y métodos, como la simulación, para evidenciar el correcto rendimiento, eficiencia, precisión y estabilidad del prototipo final.

Evaluación

Mediante la ejecución de métodos de evaluación, se valida y verifica el correcto desempeño del artefacto, siendo susceptible a cambios si no se logra el resultado esperado, es aquí donde se puede aplicar la iteración del modelo, pudiendo volver a las etapas de diseño y desarrollo o a la definición de objetivos de la solución.

Comunicación

Habiendo logrado los resultados buscados, se presenta de manera eficaz el modelo del artefacto y sus conclusiones a la comunidad de tecnologías de la información.

La metodología Design Science, provee de diferentes beneficios para la investigación y desarrollo del presente proyecto software, entre ellas se pueden identificar:

- Se emplean métodos rigurosos para la construcción y evaluación del artefacto
- Posibilidad de generar alternativas de diseño en el ciclo iterativo.
- Minimización de costos y recursos.
- Detección temprana de fallas y errores.
- Fomenta la investigación para garantizar la innovación del prototipo.

Cada una de las fases expuestas se encuentran relacionadas con los objetivos específicos planteados para el proyecto. A continuación, se detalla este proceso:

- En la identificación de la problemática se realizó un estudio de la situación actual a través de la revisión y análisis de estudios exploratorios y bibliográficos, y se definió los objetivos de la solución mediante un estudio de factibilidad de propuestas, obtenido a través de una revisión de literatura preliminar. De esta forma también se abarcó la etapa de definición de objetivos de la solución.
- A través de la construcción de un prototipo se ve implementada la etapa de diseño y desarrollo, que se alimenta por medio de la implementación de protocolos e infraestructura IoT, basada en redes de sensores, comunicación inalámbrica y metodologías de desarrollo de software.
- Las etapas de demostración, evaluación y comunicación se llevaron a cabo de forma secuencial mediante la validación del prototipo, a través de la simulación de un caso de estudio y la aplicación de la técnica de la entrevista a diferentes expertos dentro del sector turístico, los resultados fueron obtenidos mediante una validación cruzada de la información

Marco Teórico

Red de Categorías

Con el propósito de buscar la coherencia en el fundamento teórico de la presente investigación, se estructura las redes de categorías tanto para la variable independiente, como para la dependiente. Partiendo de la hipótesis de trabajo planteada en la introducción, se estableció dichas variables de la siguiente manera:

VI: Prototipo de comunicación de largo alcance LoRaWAN

VD: Comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas durante eventos adversos.

Las redes de categorías para las variables independiente y dependiente se muestran en las Figuras 7 y 8, respectivamente.

Figura 7

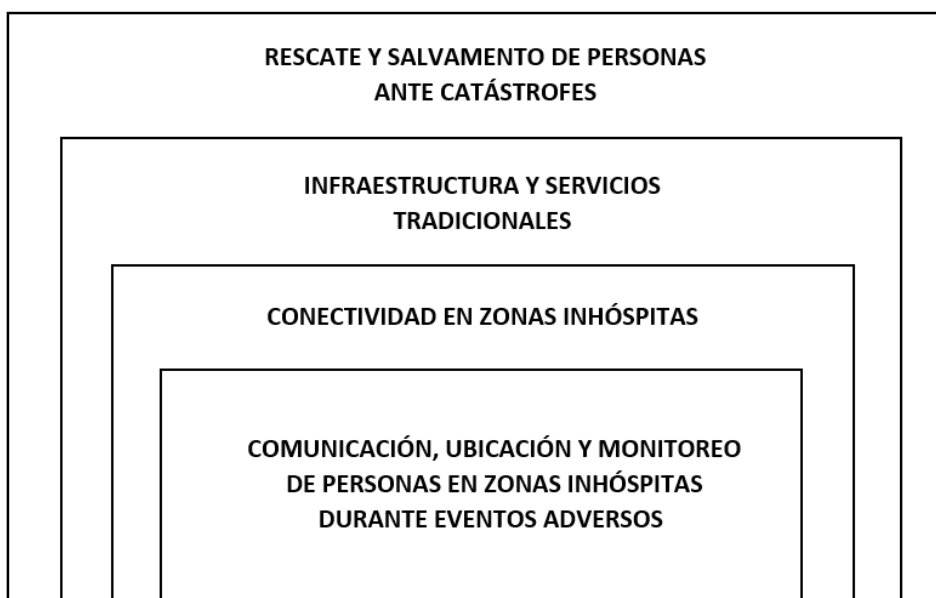
Red de Categorías correspondiente a la variable independiente.



Nota: *El gráfico representa cada uno de los contextos a tratar dentro de la variable independiente.*

Figura 8

Red de Categorías correspondiente a la variable dependiente.



Nota: El gráfico representa cada uno de los contextos a tratar dentro de la variable dependiente.

Fundamentación Científica de la Variable Independiente

Tecnologías de la Información y Comunicación

Estas tecnologías se conforman como un grupo de instrumentos, herramientas, fundamentos y canales desarrollados y sustentados por las tecnologías (informática, programas, telecomunicaciones, etc) que permiten la producción, tratamiento, comunicación y presentación de información a través de datos, multimedia, voz con el propósito de mejorar la calidad de vida de las personas (Ávila, 2013).

Las tecnologías de la información y comunicación son utilizadas de manera indistinta para designar diferentes tipos de tecnologías dentro de diversos campos con el objetivo de

generar, transmitir y distribuir información para aportar al desarrollo de nuevas competencias y habilidades (Serafín & Torres, 2008).

Las tecnologías de la información y la comunicación no tienen solamente un impacto tecnológico, sino también social, por su gran número de cambios dentro de las estructuras económicas, culturales, sociales, ambientales; dentro de las organizaciones estas se adaptan y se transforman con el propósito de generar ventajas competitivas dentro del sector al que pertenecen (Ávila, 2013).

Redes de comunicación

Las redes de comunicación, es un conjunto de elementos con características similares conectados entre sí a través de un medio físico en común, con la meta de compartir algún recurso por medio de una petición (Martínez J. , 2002).

Para (Barceló & Peig, 2015), las características fundamentales de una red de comunicación son las siguientes:

- Las redes de comunicación deben de tener un medio en común para que exista comunicación.
- Siempre debe de existir una conexión entre todos los dispositivos conectados entre sí.
- Cada uno de los dispositivos conectados entre sí, deben tener características comunes tanto a nivel de software como hardware.

- Se debe hacer un análisis profundo de la disposición e implementación física de la red en un sitio determinado.

Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas *Wireless* conforman un tipo de comunicación que se basa en dispositivos no guiados a través de ondas de frecuencia electromagnética, utilizan como medios de transmisión y recepción de datos; dispositivos como antenas, sensores, etc (Andreu, 2011).

Una red de sensores, es una red con dispositivos pequeños equipos con sensores que ayudan a colaborar con un fin en común (Martínez et al., 2009).

Para (Varela & Domínguez, 2002), las ventajas que tienen las redes inalámbricas sobre otro tipo de redes son las siguientes:

- **Diseño:** los receptores de señal son bastantes cómodos y pequeños para integrarse dentro de cualquier tipo de dispositivo para llevarlo a diversos lugares donde las redes tradicionales no tendrían acceso.
- **Robustez:** una red cableada puede llegar a quedar inutilizada frente a eventos inesperados tales como: terremotos, deslaves, etc. Por lo contrario, una red inalámbrica puede mantenerse activa frente a cualquier tipo de eventos inesperados.
- **Poca Planificación:** al momento de llevar un cableado estructurado dentro de cualquier tipo de edificio, se debe realizar un estudio previo de cómo va a estar distribuida toda la

red, mientras que una red inalámbrica debe enfocarse en si el sitio en donde se va a instalar se encuentra dentro de la cobertura de red.

- **Flexibilidad:** en la cobertura de redes inalámbricas los nodos se deben comunicar se comunican sin necesidad de tener un medio físico de conexión.

Tecnología LPWAN

La tecnología LPWAN, son redes inalámbricas de área amplia y que presentan un bajo consumo de recursos, adicionalmente tienen la cualidad de transmitir pequeñas cantidades de datos en grandes distancias (Hernández, 2020).

Para (Hernández, 2020), en la actualidad se puede encontrar un sin número de tecnologías LPWAN que cumplen con las siguientes características:

- **Bajo coste:** utiliza protocolos livianos de LPWAN, los cuales reducen la complejidad dentro del diseño de hardware, así como sus costos de implementación.
- **Cobertura amplia:** el alcance de LPWAN varía tanto en zonas urbanas como rurales. Esto permite una comunicación efectiva para emitir datos en ubicaciones alejadas como subterráneas.
- **Baja potencia:** para el consumo de energía para que estos puedan funcionar a través de baterías económicas y pequeñas.
- **Larga duración de la batería:** la limitada señal ayuda a que la batería de LPWAN prolongue su duración.
- **Soporte para un elevado número de dispositivos:** por la baja señalización que tienen estos dispositivos, esto genera una gran demanda en el soporte de los mismos.

Dentro de las tecnologías LPWAN se encuentra la siguiente división: las redes LPWAN sin licencia como Sigfox y LoRaWAN, las cuales, no cuentan con mecanismos de protección contra interferencias, por otra parte, existen las redes LPWAN con licencia donde se encuentran NB-IoT y LTE-M (Hernández, 2020).

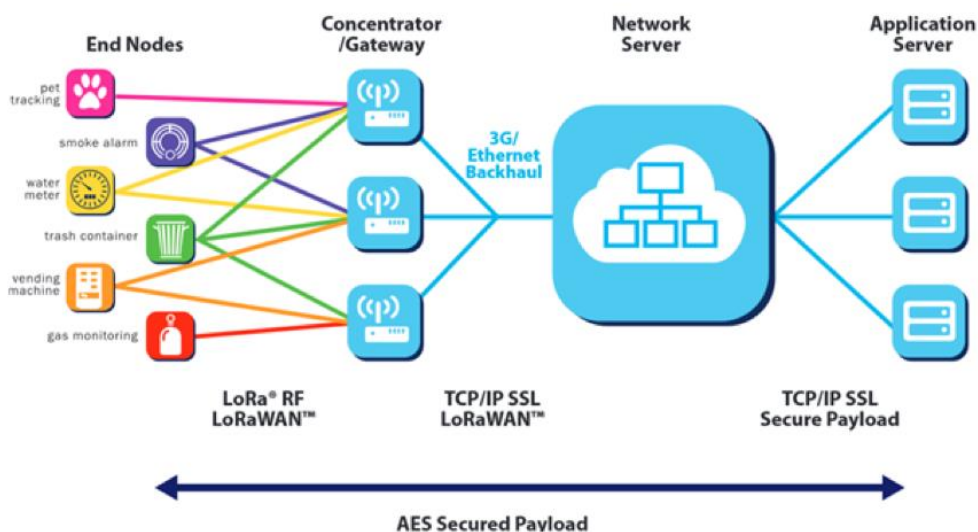
Prototipo LoRaWAN

LoRaWAN es una tecnología que está dentro de la capa física, está basada en una técnica de comunicación llamada modulación de espectro expandido. Esta técnica de comunicación permite transmitir datos y ayuda a difundir la señal portadora en un ancho de banda que es más grande que un ancho de banda de una señal de datos real (Naik, 2018).

El desarrollo de un prototipo LoRaWAN, es un desafío nuevo ya que deja al modelo de referencia OSI obsoleto y toma la arquitectura de todas las tecnologías LPWAN (Alhamedi et al., 2014). No existe un modelo de referencia que agrupe todas las tecnologías LPWAN para la creación de un prototipo que se base en solucionar una problemática en común. Cada tecnología tiene su propio modelo, en la Figura 9 se detalla el modelo de referencia propuesto por LoRa Alliance (Alliance, 2020).

Figura 9

Modelo de referencia propuesto para LoRaWAN.



Nota: El gráfico representa cada una de las partes de la arquitectura LoRaWAN y sus diversos servicios. Tomado de (Alliance, 2020).

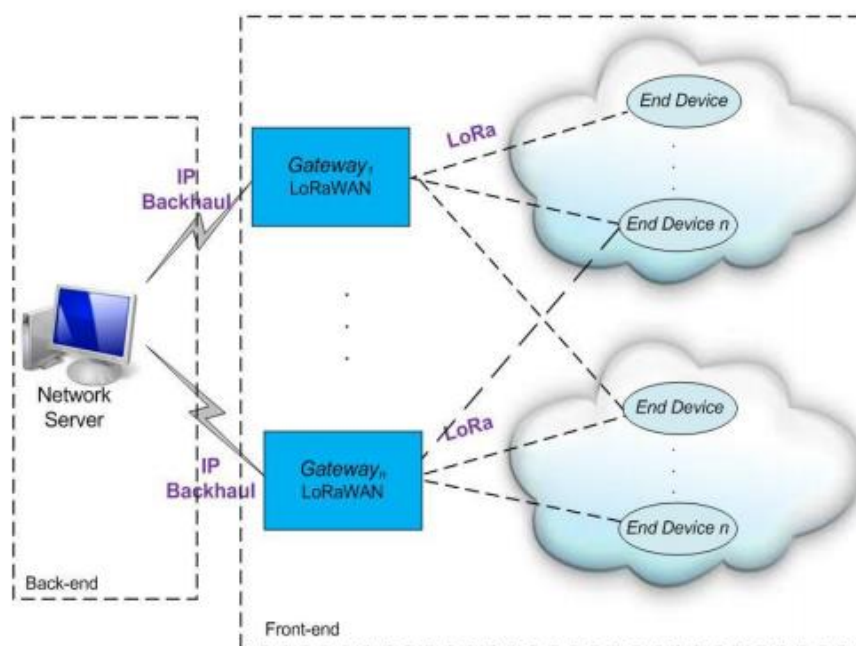
LoRaWAN sostiene una robusta topología de estrella, en la cual el servidor central y las puertas de enlace (Gateway) por medio de conexiones IP, permite retransmitir todo tipo de datos desde un dispositivo inicial hacia un dispositivo final o viceversa de manera bidireccional (Manrique et al., 2019). Cada uno de estos componentes se detallan, a continuación:

- **Gateway o pasarela:** como su nombre lo indica son estaciones que cumplen la función de recibir la información transmitida por dispositivos finales y la envía hacia los servidores de red.
- **Dispositivos clientes o finales:** son dispositivos utilizado para la conexión de diversos sensores, cables entre otros dentro de la red LoRa. Cumplen la función de realizar la recolección de datos para procesarla a través de Gateway.

- **Servidores de red:** son equipos los cuales pueden ser utilizados de manera local o en la nube que tienen la función de procesamiento y recepción de información que proviene de dispositivos finales. Estos servidores gestionan los dispositivos conectados a la red, tal como se detalla en la Figura 10.

Figura 10

Servidor LoRaWAN.



Nota: El gráfico representa los módulos que tiene un servidor LoRaWAN tanto en su Frontend como Backend. Tomado de (Manrique et al., 2019).

Fundamentación Científica de la Variable Dependiente

Rescate y salvamento de personas ante desastres

El desastre es un evento repentino y calamitoso, que ocasiona grandes daños, pérdidas, destrucción y devastación a vidas y propiedades. El daño causado por los desastres es inconmensurable e influye en el estado mental, socioeconómico, político y cultural de la zona afectada. Su origen puede ser natural, como terremotos, inundaciones y huracanes, o de origen humano: accidentes y actos terroristas (Srivastava, 2010).

Es esencial responder a las necesidades específicas del caso e involucrar a la población local, particularmente en un entorno de emergencia. Los servicios médicos de búsqueda y rescate y de emergencia son fundamentales. La prioridad inmediata después de un desastre natural es brindar primeros auxilios de emergencia y servicios médicos a las personas heridas (IFRC, 2000).

Las instalaciones médicas y la infraestructura física también suelen sufrir, lo que agrava la presión sobre los sistemas médicos. Debe emplearse la flexibilidad logística a medida que se presentan desafíos únicos. Los cuellos de botella en la respuesta de emergencia a menudo ocurren cuando los esfuerzos para traer personal y asistencia material convergen en un área con infraestructura dañada (IFRC, 2000).

Las evaluaciones de almacenamiento, transporte, comunicaciones y necesidades son difíciles en tales circunstancias. En los últimos años, ha habido varios informes que muestran cómo la introducción de artículos no esenciales o innecesarios puede obstaculizar los esfuerzos de socorro al obstruir los canales de distribución y comunicación en la zona afectada (IFRC, 2000).

Mecanismos y acciones de respuesta

Hay muchos mecanismos y estrategias de preparación que fortalecerán y aumentarán la eficacia de una respuesta ante un evento de emergencia (Chou & Cheng, 2013). A continuación, los más representativos:

- Procedimientos de evacuación.
- Equipos de búsqueda y rescate.
- Equipos de evaluación y logística.
- Proceso de evaluación y asignación de prioridades para una respuesta de emergencia.
- Medidas para activar instalaciones especiales, como hospitales móviles o campamentos de emergencia.
- Procedimientos para activar los sistemas de comunicación.
- Procedimientos para activar servicios básicos.

Infraestructura y Servicios Tradicionales

La infraestructura en una locación desempeña un papel esencial en el funcionamiento de la sociedad y de su economía, en estas se incluyen las instalaciones para la generación de electricidad, el acceso al agua y los alimentos, la salud pública, las telecomunicaciones, la educación y el transporte. Además, se considera aquellos aspectos no físicos como, las reglas y regulaciones que rigen los sistemas, los medios de apoyo financiero, las habilidades y la especialización en la fuerza laboral y los servicios del ecosistema (Lovell, 2015).

Los servicios tradicionales son servicios estatales o privados que los ciudadanos pagan mediante impuestos u otras contribuciones. Estos pueden incluir saneamiento, agua, escuelas, servicios de emergencia, transporte y servicios de salud (Lovell, 2015).

Como se ha definido, tanto la infraestructura como los servicios tradicionales juegan un papel fundamental apoyando la economía y las comunidades y en este caso, respondiendo contra desastres de imprevisto para reducir sus impactos (Lovell, 2015).

Para salvaguardar esta infraestructura ante posibles eventualidades (Teitelbaum et al., 2015), propone métodos y protocolos, mediante una combinación de las siguientes medidas:

- Aplicación estricta de normativas de construcción aplicables a los distintos peligros y al entorno local.
- Revisión y replanteamiento de las normativas de construcción a medida que va cambiando el riesgo de desastres.
- Inversión en mantenimiento.
- Remodelación de las instalaciones existentes que no cumplan los códigos de construcción.
- Empleo de características y tecnologías modernas de diseño resiliente y adecuadas a las condiciones locales.

Infraestructura de Telecomunicaciones

La ruptura de las comunicaciones es una de las características más compartidas de todos los eventos adversos y catástrofes. Ya sea parcial o completa, el fallo o ausencia de la infraestructura de telecomunicaciones conduce a pérdidas de vidas y daños evitables en recursos materiales, al causar retrasos y errores en la respuesta de emergencia y en los esfuerzos de socorro en casos de desastre. Sin embargo, a pesar de la creciente fiabilidad y resistencia de las redes de telecomunicaciones a daños físicos, el riesgo asociado con fallas de comunicación sigue siendo grave debido a la creciente dependencia de estas herramientas en operaciones de emergencia (Townsend & Moss, 2005).

Conectividad en Zonas Inhóspitas

El sector de las tecnologías de las telecomunicaciones / TIC han evolucionado durante un largo período de tiempo. El desarrollo de nueva tecnología se ha incrementado con la aparición de diferentes factores como el Internet, la tecnología de telefonía digital, los medios digitales y una revolución inalámbrica, que marcó el comienzo de los servicios móviles (Thakur & Hota, 2013).

En las zonas inhóspitas el principal método de comunicación, comenzaron siendo las tecnologías alámbricas, el reto durante esta etapa fue cómo conectar áreas rurales y remotas utilizando telecomunicaciones alámbricas para comunicaciones principalmente telefónicas y de voz y para en cierta medida, comunicaciones por radio, ya que los costos eran elevados (Thakur & Hota, 2013).

Con la llegada de la banda ancha fija, continuó el problema con una distribución de telecomunicaciones desigual. Se han logrado grandes avances en todo el mundo en la construcción e instalación de infraestructura troncal de telecomunicaciones / TIC para permitir tanto la conectividad básica como despliegue de servicios de banda ancha en zonas inhóspitas (ITU-D, 2021).

Sin embargo, sin eficientes soluciones de conectividad, es probable que las comunidades rurales y remotas permanezcan aún en gran parte desconectadas. Esto se complica aún más dados los desafíos del terreno, la falta de inversión y altos costos de instalación de infraestructura (ITU-D, 2021).

Alternativas de conectividad

Aunque hay muchas tecnologías disponibles para telecomunicaciones, se pueden enumerar algunas opciones básicas bajo criterios que orienten hacia una combinación adecuada de tecnologías. Las tecnologías inalámbricas y por cable han producido notables avances, por lo que, el costo de construcción y mantenimiento se ha mantenido estable en términos cualitativos. A continuación, se enumeran algunas alternativas de conectividad dentro de zonas inhóspitas (ITU-D, 2021).

- Las tecnologías cableadas ofrecen mayor ancho de banda, pero requieren un alto costo de construcción.
- Las tecnologías inalámbricas de baja frecuencia proporcionan una red menos costosa, pero de menor capacidad que la que emplea tecnologías inalámbricas de alta frecuencia.
- La banda ancha móvil es un enfoque rápido para abordar la demanda de conectividad en áreas rurales y remotas.

Comunicación, ubicación y monitoreo de personas

Comunicación

La comunicación interpersonal es vital para los humanos. Algunas formas de comunicación incluyen: comunicación cara a cara, correo electrónico, chats, redes sociales, mensajería instantánea y mensajería de texto. Principalmente la mensajería de texto se ha convertido en todo un fenómeno de comunicación, ya que es una forma rápida, fácil, conveniente y permite realizar múltiples tareas (Hemmer, 2009).

Ubicación

La geolocalización o sistema de seguimiento por radiolocalización es un área de creciente importancia en el campo de las comunicaciones inalámbricas. Promete revolucionar

la tecnología de rastreo de ubicación a medida que aumenta el uso comercial. Ofrecido de forma gratuita y accesible en todo el mundo, el GPS se está convirtiendo rápidamente en una utilidad universal a medida que disminuye el costo de integración de la tecnología, puede aplicarse en vehículos, maquinaria, computadoras y teléfonos celulares (Bajaj et al., 2002).

Monitoreo

Los signos vitales se miden para obtener indicadores básicos del estado de salud de una persona. Si están fuera de un rango normal de valores, pueden indicar una disfunción o un estado de enfermedad. (Mercuri et al., 2019), los principales a considerar son los siguientes:

- Temperatura corporal.
- Ritmo Cardíaco.
- Respiración.
- Presión sanguínea.

Existe solo información limitada sobre la frecuencia con la que se deben monitorear los signos vitales y gran parte de ella se basa en encuestas, informes de práctica clínica y opiniones de expertos (Mercuri et al., 2019).

Sin embargo, por lo general los cambios bruscos en los signos vitales de una persona puede ser una indicación temprana de un evento crítico inminente. (Iglesias et al., 2016).

CAPÍTULO III

Construcción de la Solución

Introducción

Con el objetivo de satisfacer los requerimientos de la temática, mediante la construcción de un prototipo, se ha propuesto un caso de estudio que describe; los desafíos y posibilidades que las personas deben enfrentar cuando se encuentran ante eventos adversos, durante la realización de actividades en zonas inhóspitas carentes de redes de comunicación tradicionales.

Las personas para escapar del estrés que causan las actividades laborales cotidianas tienden a realizar actividades recreacionales y deportivas en espacios naturales en su tiempo libre, donde por situaciones como: deslaves de tierra, neblina, erupciones volcánicas, tormentas eléctricas, picaduras o intoxicaciones producidas por plantas y animales en el medio, crecientes de los ríos, entre otras (Cockerham, 2005), pueden quedar aisladas sin conocerse su ubicación o su estado de salud.

Para lograr una primera evaluación del estado de salud de una persona, es necesario acudir a los signos vitales de esta para medir las funciones básicas del cuerpo. Estas medidas se toman para ayudar a evaluar la salud física general de una persona, dar pistas sobre posibles enfermedades y mostrar el progreso hacia la recuperación (Mok et al., 2015). Los rangos normales de los signos vitales de una persona varían con la edad, el peso, el sexo y la salud en general. Debido a características técnicas de la infraestructura tecnológica usada, el prototipo monitoreará dos signos vitales: frecuencia cardíaca y temperatura corporal (Mok et al., 2015). Estos signos se detallan a continuación:

Signos Vitales

Frecuencia Cardíaca

La frecuencia cardíaca de una persona está definida como la pulsación que provoca la expansión de las arterias, a través de la sangre bombeada por el corazón (Arias, 2017). Existen algunos valores para determinar si la frecuencia cardíaca en una persona es correcta o no dependiendo de su sexo, edad y pulsaciones o latidos por minuto; dichos valores se encuentran detallados en la Figura 11.

Figura 11

Frecuencia Cardíaca.

Pulso cardíaco en adultos				
Hombre Edad/Pulsaciones	Mala	Normal	Buena	Muy buena
20 – 29	86 o más	70 – 84	62 – 68	60 o menos
30 – 39	86 o más	72 – 84	64 – 70	62 o menos
40 – 49	90 o más	74 – 88	66 – 72	64 o menos
50 – 59	90 o más	74 – 88	68 – 74	66 o menos
60 + años	94 o más	76 – 90	70 – 76	68 o menos
Mujer Edad/Pulsaciones	Mala	Normal	Buena	Muy buena
20 – 29	96 o más	78 – 94	72 – 76	70 o menos
30 – 39	98 o más	80 – 96	72 – 78	70 o menos
40 – 49	100 o más	80 – 98	74 – 78	72 o menos
50 – 59	104 o más	84 – 102	76 – 82	74 o menos
60 + años	108 o más	88 – 106	78 – 88	78 o menos

Nota: La presente tabla representa las pulsaciones cardiacas dependiendo del género y edad de las personas. Tomado de (Arias, 2017).

Por otra parte, existen algunos factores que producen diversas enfermedades cardiovasculares y no presentan algún tipo de síntoma como: patologías hereditarias, presión alta y colesterol elevado.

Temperatura Corporal

La temperatura corporal es un proceso natural del cuerpo que consiste en la activación de mecanismos periféricos y centrales dentro del organismo de los individuos para mantener la homeostasis corporal y las funciones vitales (Picón-Jaimes et al., 2020).

La regulación de la temperatura juega un papel clave en el individuo, debido a que los seres humanos responden a modulaciones dependiendo del nivel de temperatura en el que se encuentren con respuestas voluntarias como: calor, sensibilidad al frío, reacciones de protección, actividades físicas (Gómez, 2007).

Esta regulación es causada por receptores que se encuentran localizados en la piel, en la región posterior del hipotálamo manteniendo un valor estándar de 37° C como referencia (Nakamura, 2011).

Arquitectura del Prototipo

El prototipo se basa en un sistema de comunicación, ubicación y monitoreo de personas para zonas inhóspitas, donde la cobertura de las redes tradicionales es escasa o nula y suelen ocurrir eventos adversos que podrían atentar en contra de la integridad física de las personas o privarlos de su movilidad. El prototipo será desarrollado utilizando protocolos e infraestructura

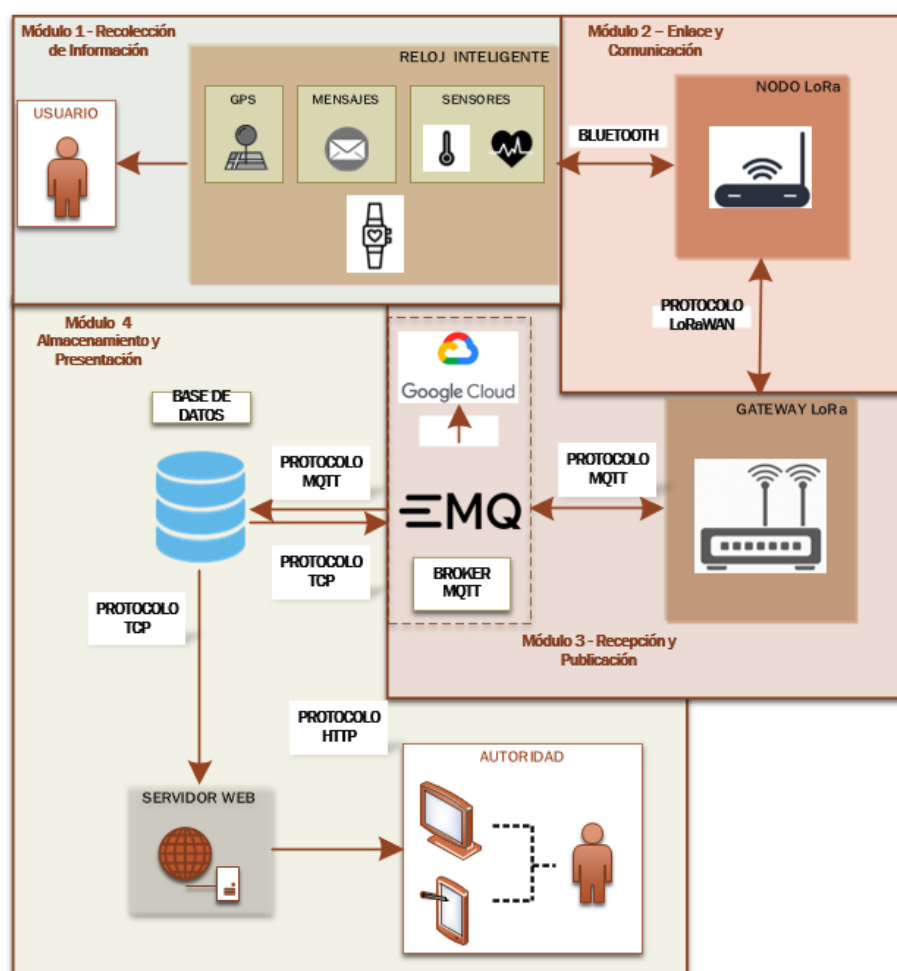
IoT que estructuren redes inalámbricas temporales de la mano de sensores y software de gestión de datos.

Diagrama general de la arquitectura

En la Figura 12, se muestra la arquitectura del prototipo que será implementada, la cual consta de 4 módulos conectados de forma secuencial.

Figura 12

Arquitectura del Prototipo LoRa.



Nota: El gráfico representa cada uno de los módulos del prototipo LoRaWAN para comunicación, ubicación y monitoreo de personas para zonas inhóspitas durante eventos adversos.

Módulos de la arquitectura

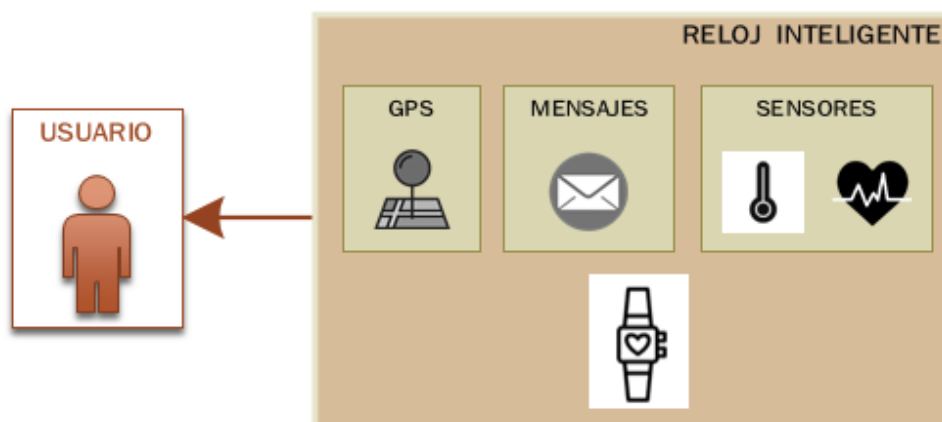
Las características, componentes y conexiones de cada uno de los módulos se detallan a continuación.

Módulo de recolección de información

Este módulo se encarga de obtener los datos correspondientes a signos vitales de la persona (temperatura y frecuencia cardíaca) y su geolocalización por medio de tecnología GPS y sensores integrados en el reloj Fossil Gen 5 (ver Figura 13). Este smartwatch, por medio de una aplicación Android en el sistema operativo Wear OS de Google (Fossil, 2020), actuará como el dispositivo inteligente que permitirá la comunicación inalámbrica y envío de paquetes desde la persona a la red LoRa mediante tecnología bluetooth.

Figura 13

Módulo de recolección de información.



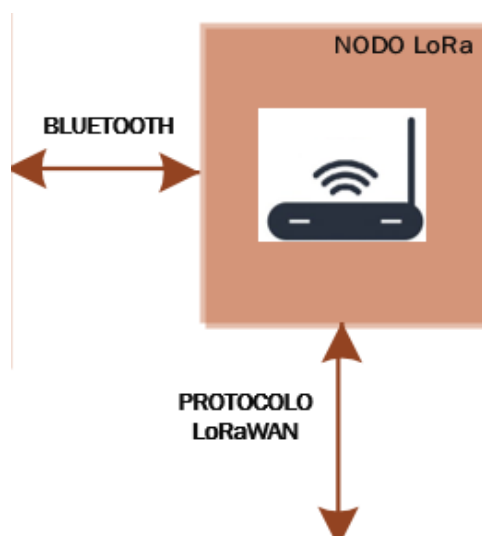
Nota: El gráfico representa el módulo para obtener información a través de sensores, mensajes y geolocalización (latitud, longitud).

Módulo de enlace y comunicación de información

Una vez enviada la información, este módulo captará los datos mediante el dispositivo Heltec Wifi LoRa32, este posee un microprocesador ESP32 con un chip de tecnología LoRa SX1276 incorporado, adicionalmente dispone una pantalla OLED SSD1306 de 0.96 pulgadas (Heltec, 2020) (ver Figura 14). El dispositivo, por medio del protocolo LoRaWAN, proporcionará el canal necesario para el envío de datos hacia el siguiente módulo, a modo de enlace en la comunicación.

Figura 14

Módulo de enlace y comunicación de información.



Nota: El gráfico representa el módulo de enlace y comunicación por medio de un nodo LoRaWAN.

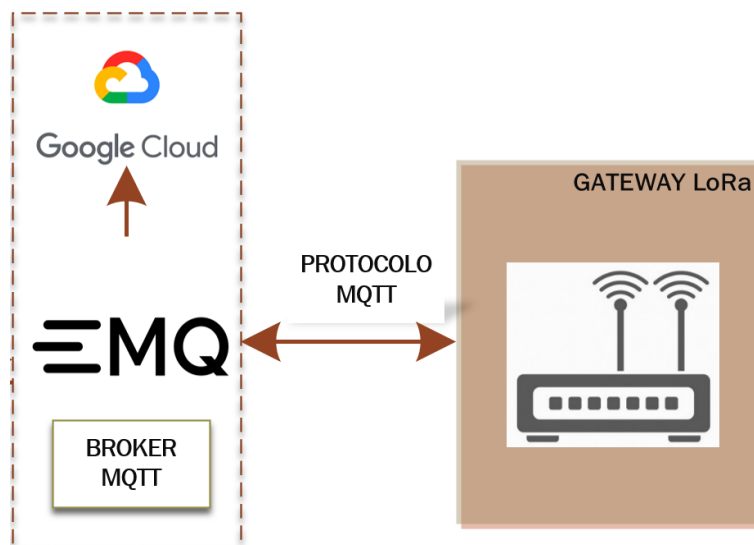
Módulo de recepción y publicación de información

El presente módulo se encarga de gestionar la información proveniente del módulo anterior, esto se realiza mediante la implementación de un Gateway LoRa, el cual, obtiene cada segmento de paquete y procesa su información en valores o datos de entrada.

Por medio del protocolo MQTT se generará la publicación de un tópico, al cual se tendrá acceso por web socket desde el Gateway, este se suscribirá al tópico con la validación de credenciales y el acceso a una dirección IP. La implementación de la infraestructura que proveerá este protocolo se realizará mediante la instalación del bróker EMQ, en una instancia de máquina virtual alojada en Google Cloud Platform. Esta comunicación se ve presentada en la Figura 15.

Figura 15

Módulo de recepción y publicación de información.



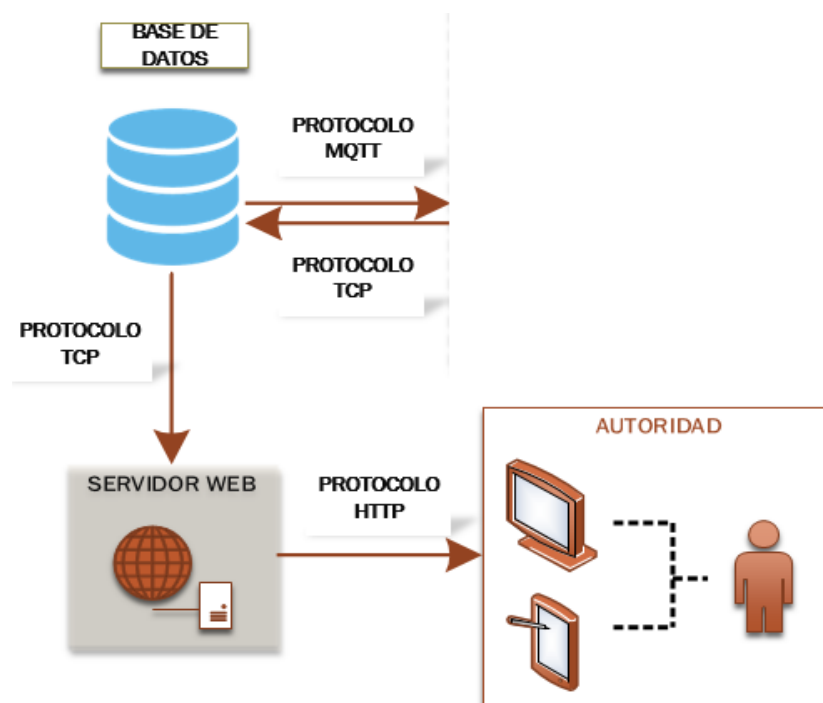
Nota: El gráfico representa el módulo para recibir y publicar la información por medio de un bróker MQTT y enviado hacia un gateway LoRaWAN.

Módulo de almacenamiento y presentación de información

Una vez publicada la información, este módulo se conectará al bróker MQTT y mediante el protocolo TCP almacenará la información en una base de datos MySQL. La información se podrá visualizar y monitorear desde una página web por medio de un navegador con conexión HTTP a un servidor web (ver Figura 16).

Figura 16

Módulo de presentación de información.



Nota: El gráfico representa el módulo para presentar la información receptando la información en una base de datos y mostrándola dentro de una página web.

Funcionalidad del Prototipo

Para la construcción del prototipo LoRaWAN, se utilizó la metodología de desarrollo ágil XP (Extreme Programming), puesto que brinda un modelo dinámico que se ajusta al cambio en cada uno de los ciclos de vida del software (Joskowicz, 2008). Una de las principales ventajas de XP es que sus procesos de planificación y pruebas en el desarrollo de software son muy eficientes, dado que su tasa de error es muy baja y facilita los cambios en una etapa temprana del desarrollo para así obtener un producto de software funcional de calidad y en el tiempo estimado por cada una de las partes del equipo de desarrollo (Letelier & Penadés, 2017).

La funcionalidad del prototipo LoRaWAN está delimitada por los casos de uso, los actores que se encuentran involucrados dentro del sistema, requisitos funcionales y no funcionales, modelo de base de datos y la construcción como tal del prototipo, este último apartado presenta de forma detallada el desarrollo de la aplicación para el reloj inteligente, aplicativo web para la presentación de información y la comunicación a través de dispositivos con tecnología LoRa.

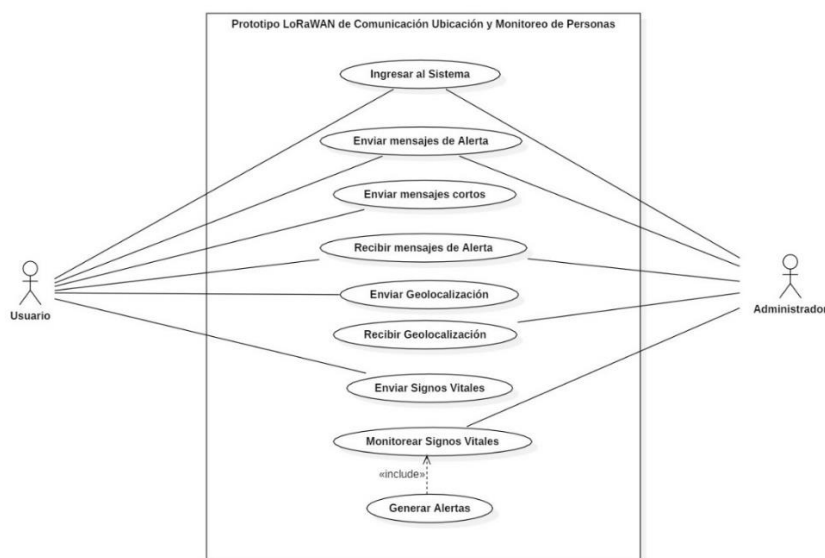
A continuación, se presenta cada uno de estos apartados:

Diagrama De Casos de uso

En la Figura 17, se aprecia cada uno de los casos de uso involucrados en el prototipo LoRaWAN y su interacción con los actores del sistema.

Figura 17

Diagrama Casos de Uso.



Nota: El gráfico representa el diagrama de casos de uso con dos roles: usuario y administrador del sistema.

Actores

Los actores que interactúan con el reloj inteligente y con el sistema web del prototipo LoRa son los siguientes:

- **Administrador:** Persona que se encuentra en constante monitoreo del usuario, dispone de las siguientes opciones como ingresar al sistema, envió/recepción de mensajes tanto predeterminados como propios hacia el reloj inteligente, monitoreo de signos vitales (frecuencia cardíaca, temperatura) y ubicación en tiempo real.
- **Usuario:** Persona que lleva el reloj inteligente, dispone de las siguientes opciones como ingresar a la aplicación, envió/recepción de mensajes tanto predeterminados como propios hacia la aplicación web, envió de signos vitales (frecuencia cardíaca, temperatura) y de la geolocalización.

Requisitos específicos

Requisitos funcionales

Requisito 1 Ingresar al sistema

Mediante un formulario de ingreso en la aplicación, la autoridad puede acceder como administrador al módulo web de monitoreo y a los datos que reporta el usuario a la aplicación a través del reloj inteligente. Se presenta a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5*Ingresar al Sistema.*

Nombre Caso de Uso: <i>Ingresar al Sistema</i>	
---	--

Identificador:	CU1
Descripción:	Acceso a los perfiles de usuario y administrador para el ingreso al sistema web y a la aplicación en el reloj respectivamente.
Meta:	Crear una comunicación entre el administrador y usuario, para comunicación por mensajes, monitoreo de signos vitales y geolocalización en tiempo real.
Estado:	Activo
Versión:	v 1.0
Autores:	Giovanni Calero - Daniel Pallo.
Incidencia:	En cada acceso
Condiciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresar a la aplicación web a través de un usuario y contraseña. • El usuario debe tener el reloj con la aplicación abierta.

Flujo Básico**Actor****Sistema**

2. El administrador ingresa el usuario y la contraseña para acceder al módulo web.

1. Muestra la interfaz grafica tanto del la aplicación web como la del reloj inteligente.

3. Valida la información ingresada en los parámetros usuario y contraseña.

4. Se cargan las pantallas tanto del reloj inteligente como del módulo web de la siguiente manera:

Administrador:

- Envío/Recepción de mensaje propios.
- Monitoreo de Signos Vitales.
- Gestión de Alertas.
- Geolocalización del usuario.

Usuario:

- Conexión Bluetooth
- Envío/Recepción de mensajes predeterminados por medio de botones (incendio, tormenta, derrumbe y lesiones).
- Envío/Recepción de mensajes propios.
- Envío de signos vitales (frecuencia cardíaca, temperatura).
- Geolocalización

Flujo Alternativo

3.a El sistema despliega un mensaje de *“Usuario y Contraseña incorrectos”*.

3.b El sistema solicita nuevamente el Usuario y Contraseña.

Requisito 2 Enviar Mensajes de Alerta

El sistema permite al usuario enviar un mensaje de alerta predeterminado dependiendo de la situación adversa que se encuentre hacia el administrador. El sistema puede notificar al usuario de alteraciones en su estado de salud o mensajes de

información por parte de la autoridad encargada de la plataforma web. Se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6

Enviar Mensajes de Alerta.

Nombre Caso de Uso: <i>Enviar mensajes de alerta</i>	
Identificador:	CU2
Descripción:	<p>Posibilidad del usuario de enviar mensajes predeterminados dependiendo de la situación adversa en la que se encuentre hacia el administrador.</p> <p>Permite al administrador enviar mensajes de respuesta con recomendaciones hacia el usuario.</p>
Meta:	Enviar mensajes de texto o alertas predefinidas con un delay mínimo entre el usuario y la autoridad encargada de la plataforma web.
Estado:	Activo
Versión:	v 1.0
Autores:	Giovanni Calero - Daniel Pallo.
Incidencia:	En cada acceso
Condiciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresar a la aplicación web a través de un usuario y contraseña. • El usuario debe tener el reloj con la aplicación abierta. • El usuario debe ingresar en el reloj al submenú “<i>Alertas Predefinidas</i>”.

Flujo Básico

Actor	Sistema
2. El administrador ingresa el usuario y la contraseña para acceder al módulo web.	1. Muestra la interfaz gráfica tanto de la aplicación web como la del reloj inteligente.
4. El usuario ingresa al submenú “ <i>Alertas Predefinidas</i> ”.	3. Valida la información ingresada en los parámetros usuario y contraseña.
6. El usuario da clic en cualquiera de los botones con las opciones predeterminadas y se envía un mensaje.	5. Se despliega dentro del reloj botones con las siguientes opciones predeterminadas <ul style="list-style-type: none"> • Incendio. • Tormenta. • Derrumbe. • Lesiones.
8.El administrador visualiza el mensaje predeterminado y puede enviar otro mensaje en respuesta.	7. El sistema envía el mensaje predeterminado hacia el administrador.

Flujo Alternativo

7.a El sistema despliega un mensaje de “*Error de Conexión*”.

7.b El sistema despliega un mensaje de “*Envío de Mensaje Fallido*”.

Requisito 3 Recibir Mensajes de Alerta

El sistema permite al usuario recibir un mensaje de respuesta en función de la situación adversa que está pasando desde el administrador.

El sistema permite al administrador recibir un mensaje de alerta predeterminado de la situación adversa en la que se encuentra el usuario. Se presenta a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7

Recibir Mensajes de Alerta.

Nombre Caso de Uso: <i>Recibir Mensajes de Alerta</i>	
Identificador:	CU3
Descripción:	<p>Permite al usuario recibir mensajes de respuesta en función de la situación adversa en la que se encuentre desde el administrador.</p> <p>Permite al administrador recibir mensajes predeterminados de alerta desde el usuario.</p>
Meta:	Enviar mensajes de texto o alertas predefinidas con un delay mínimo entre el usuario y la autoridad encargada de la plataforma web.
Estado:	Activo
Versión:	v 1.0
Autores:	Giovanni Calero - Daniel Pallo.
Incidencia:	En cada acceso
Condiciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresar a la aplicación web a través de un usuario y contraseña. • El usuario debe tener el reloj con la aplicación abierta. • El usuario debe ingresar en el reloj al submenú <i>“Alertas Predefinidas”</i>.

Flujo Básico

Actor	Sistema
2. El administrador ingresa el usuario y la contraseña para acceder al módulo web.	1. Muestra la interfaz gráfica tanto de la aplicación web como la del reloj inteligente.
4. El usuario ingresa al submenú “ <i>Alertas Predefinidas</i> ”.	3. Valida la información ingresada en los parámetros usuario y contraseña.
6. El usuario puede visualizar los mensajes de respuesta enviados desde el administrador.	5. Se despliega los mensajes recibidos dentro del sistema en una caja de texto.
7. El administrador puede visualizar los mensajes de alerta enviados desde el usuario.	

Flujo Alternativo

7.a El sistema despliega un mensaje de “*Error de Conexión*”.

Requisito 4 Enviar Mensajes cortos

El sistema permite al usuario enviar un mensaje corto propio de alerta dependiendo de la situación adversa que se encuentre hacia el administrador. Se presenta a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8*Enviar Mensajes Cortos.*

Nombre Caso de Uso: <i>Enviar Mensajes Cortos</i>	
Identificador:	CU4
Descripción:	Permite al usuario enviar mensajes propios cortos de alerta hacia el administrador.
Meta:	Enviar mensajes propios de alerta en tiempo real desde el usuario hasta el administrador.
Estado:	Activo
Versión:	v 1.0
Autores:	Giovanni Calero - Daniel Pallo.
Incidencia:	En cada acceso
Condiciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresar a la aplicación web a través de un usuario y contraseña. • El usuario debe tener el reloj con la aplicación abierta. • El usuario debe ingresar en el reloj al submenú <i>“Mensaje de Texto”</i>.

Flujo Básico**Actor****Sistema**

2. El administrador ingresa el usuario y la contraseña para acceder al módulo web.

1. Muestra la interfaz gráfica tanto de la aplicación web como la del reloj inteligente.

4. El usuario ingresa al submenú *“Mensaje de Texto”*.

3. Valida la información ingresada en los parámetros usuario y contraseña.

5. El usuario escribe en el reloj en mensaje de alerta. 7. Se envía el mensaje de texto ingresado.

6. El usuario da clic en el botón enviar, para enviar el mensaje corto.

Flujo Alternativo

7.a El sistema despliega un mensaje de “*Error de Conexión*”.

7.b El sistema despliega un mensaje de “*Envío de Mensaje Fallido*”.

Requisito 5 Enviar Geolocalización

El sistema permite al usuario enviar las coordenadas de latitud y longitud donde se encuentra de manera automática dentro de un periodo de 45 segundos. Se presenta a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9

Enviar Geolocalización.

Nombre Caso de Uso: *Enviar Geolocalización*

Identificador: CU5

Descripción: Permite al usuario enviar sus coordenadas de ubicación (latitud, longitud).

Meta:	Enviar coordenadas de ubicación del usuario hacia el administrador cada 45 segundos.		
Estado:	Activo	Versión:	v 1.0
Autores:	Giovanni Calero - Daniel Pallo.		
Incidencia:	Una vez al día		
Condiciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresar a la aplicación web a través de un usuario y contraseña. • El usuario debe tener el reloj con la aplicación abierta. 		

Flujo Básico

Actor	Sistema
2. El administrador ingresa el usuario y la contraseña para acceder al módulo web.	1. Muestra la interfaz gráfica tanto de la aplicación web como la del reloj inteligente.
4. El usuario debe tener abierta la aplicación.	3. Valida la información ingresada en los parámetros usuario y contraseña.
	5. Se envía de manera automática tanto las coordenadas de latitud y longitud en un lapso de 45 segundos.

Flujo Alternativo

5.a El sistema despliega un mensaje de *“Error de Conexión”*.

Requisito 6 Recibir Geolocalización

El sistema permite al administrador recibir las coordenadas de latitud y longitud donde se encuentra el usuario de manera automática dentro de un periodo de 45 segundos. Se presenta a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10

Recibir Geolocalización.

Nombre Caso de Uso: <i>Recibir Geolocalización</i>	
Identificador:	CU6
Descripción:	El usuario o autoridad puede recibir las coordenadas de ubicación (latitud, longitud) del usuario..
Meta:	Recibir las coordenadas de ubicación del usuario hacia el administrador cada 45 segundos.
Estado:	Activo
Versión:	v 1.0
Autores:	Giovanni Calero - Daniel Pallo.
Incidencia:	En cada acceso
Condiciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresar a la aplicación web a través de un usuario y contraseña. • El usuario debe tener el reloj con la aplicación abierta.

Flujo Básico

Actor

2. El administrador ingresa el usuario y la contraseña para acceder al módulo web.

Sistema

1. Muestra la interfaz gráfica tanto de la aplicación web como la del reloj inteligente.

4. El administrador debe tener abierta la aplicación.
3. Valida la información ingresada en los parámetros usuario y contraseña.
6. El administrador puede visualizar la ubicación del usuario a través de la API de google.
5. Se envía de manera automática tanto las coordenadas de latitud y longitud en un lapso de 45 segundos.

Flujo Alternativo

5.a El sistema despliega un mensaje de “*Error de Conexión*”.

Requisito 7 Enviar Signos Vitales

El sistema permite al usuario enviar sus signos vitales (ritmo cardíaco, temperatura) de manera automática dentro de un periodo de 45 segundos. Se presenta a continuación en la Tabla 11

Tabla 11

Enviar Signos Vitales.

Nombre Caso de Uso: *Enviar Signos Vitales*

Identificador: CU7

Descripción: Permite al usuario enviar sus signos vitales (ritmo cardíaco, temperatura).

Meta:	Enviar signos vitales del usuario hacia el administrador cada 45 segundos.		
Estado:	Activo	Versión:	v 1.0
Autores:	Giovanni Calero - Daniel Pallo.		
Incidencia:	En cada acceso		
Condiciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresar a la aplicación web a través de un usuario y contraseña. • El usuario debe tener el reloj con la aplicación abierta. 		

Flujo Básico

Actor	Sistema
2. El administrador ingresa el usuario y la contraseña para acceder al módulo web.	1. Muestra la interfaz gráfica tanto de la aplicación web como la del reloj inteligente.
4. El usuario debe tener abierta la aplicación.	3. Valida la información ingresada en los parámetros usuario y contraseña.
5. El usuario debe tener colocado el reloj inteligente en su muñeca.	6. Se envía de manera automática tanto las coordenadas de latitud y longitud en un lapso de 45 segundos.

Flujo Alternativo

6.a El sistema despliega un mensaje de “*Error de Conexión*”.

Requisito 8 Monitorear Signos Vitales

El sistema permite al administrador monitorear los signos vitales (ritmo cardíaco, temperatura) del usuario para validar si estos, muestran un cambio considerable. Se presenta a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12

Monitorear Signos Vitales.

Nombre Caso de Uso: <i>Enviar Signos Vitales</i>	
Identificador:	CU8
Descripción:	Permite al administrador monitorear los signos vitales (ritmo cardíaco, temperatura) enviados por el usuario.
Meta:	Monitorear los signos vitales enviados por el usuario hacia el administrador cada 45 segundos.
Estado:	Activo
Versión:	v 1.0
Autores:	Giovanni Calero - Daniel Pallo.
Incidencia:	En cada acceso
Condiciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresar a la aplicación web a través de un usuario y contraseña. • El usuario debe tener el reloj con la aplicación abierta.

Flujo Básico

Actor

2. El administrador ingresa el usuario y la contraseña para acceder al módulo web.

Sistema

1. Muestra la interfaz gráfica tanto de la aplicación web como la del reloj inteligente.

4. El usuario debe tener abierta la aplicación.
5. El usuario debe tener colocado el reloj inteligente en su muñeca.
7. El administrador monitorea los cambios que existen en los signos vitales del usuario a través de una gráfica en tiempo real.
3. Valida la información ingresada en los parámetros usuario y contraseña.
6. Se envía de manera automática tanto las coordenadas de latitud y longitud en un lapso de 45 segundos.

Flujo Alternativo

6.a El sistema despliega un mensaje de “*Error de Conexión*”.

Requisito 9 Generar Alertas

El sistema permite al administrador generar alertas dependiendo del estado de los signos vitales (ritmo cardíaco, temperatura) enviados por el usuario. Se presenta a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13

Generar Alertas.

Nombre Caso de Uso: ***Generar Alertas***

Identificador: CU9

Descripción: Permite al administrador generar alertas dependiendo de los signos vitales (ritmo cardíaco, temperatura) enviados por el usuario.

Meta:	Generar alertas y recomendaciones dependiendo del estado de los signos vitales enviados por el usuario hacia el administrador cada 45 segundos.		
Estado:	Activo	Versión:	v 1.0
Autores:	Giovanni Calero - Daniel Pallo.		
Incidencia:	En cada acceso		
Condiciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresar a la aplicación web a través de un usuario y contraseña. • El usuario debe tener el reloj con la aplicación abierta. 		

Flujo Básico

Actor	Sistema
2. El administrador ingresa el usuario y la contraseña para acceder al módulo web.	1. Muestra la interfaz gráfica tanto de la aplicación web como la del reloj inteligente.
4. El usuario debe tener abierta la aplicación.	3. Valida la información ingresada en los parámetros usuario y contraseña.
5. El usuario debe tener colocado el reloj inteligente en su muñeca.	6. Se envía de manera automática tanto las coordenadas de latitud y longitud en un lapso de 45 segundos.
7. El administrador puede visualizar alertas con recomendaciones dependiendo de los datos tomados del usuario.	

Temperatura

- Normal.
- Alta.

- Baja.

Ritmo Cardíaco

- Normal.
- Alto.

Flujo Alternativo

6.a El sistema despliega un mensaje de “*Error de Conexión*”.

Requisitos no funcionales

En la Tabla 14, se especifican cada uno de los requisitos no funcionales del prototipo LoRaWAN:

Tabla 14

Requisitos No Funcionales.

Id. Requerimiento	Nombre	Descripción
RNF01	Interfaz de usuario	El sistema web tiene una interfaz dinámica, amigable y sencilla de usuario.
RNF02	Usabilidad del sistema del reloj inteligente.	El sistema dentro del reloj inteligente será sencillo, atractivo y práctico para el uso del usuario.
RNF03	Conexión LoRaWAN	La aplicación necesita tener una conexión LoRaWAN.

RNF04	Conexión Bluetooth	La aplicación necesita tener una conexión Bluetooth.
RNF05	Despliegue del sistema web	El sitio web necesita un dispositivo móvil o computador para su despliegue.
RNF06	Seguridad del sistema web	El sistema asegura cumplir con los pilares de la seguridad: confidencialidad, integridad y disponibilidad.

Base de datos

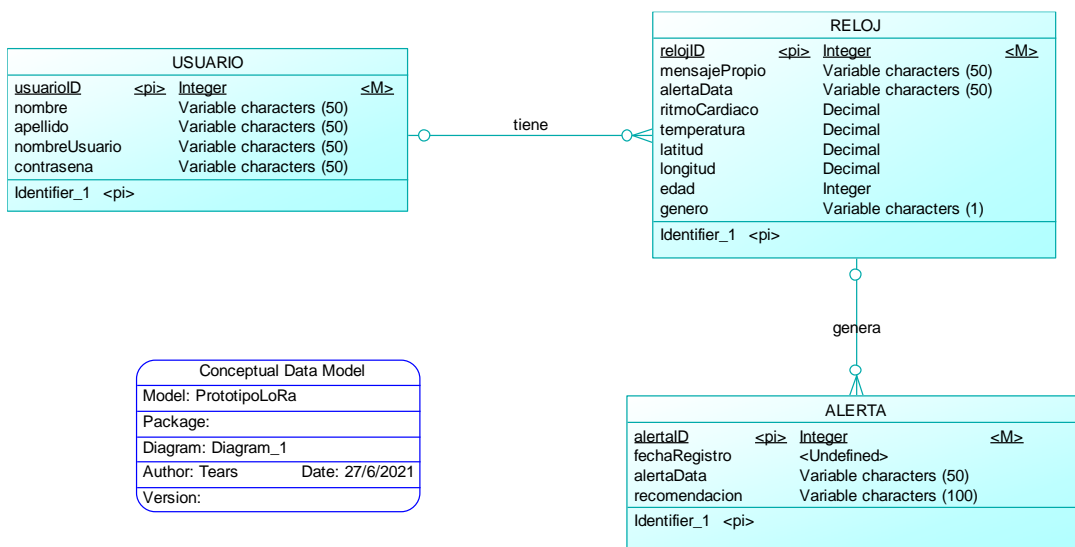
Para el prototipo LoRaWAN para comunicación, ubicación y monitoreo es fundamental la persistencia de datos, por ello se necesita el alojamiento dentro de una base de datos, para lo cual se ha desarrollado tres modelos: conceptual, lógico y físico detallados a continuación.

Modelo Conceptual

En la Figura 18, se muestra las relaciones y entidades dentro de la BDD de manera conceptual, considerado como el primer nivel de abstracción de datos.

Figura 18

Modelo Conceptual BDD.

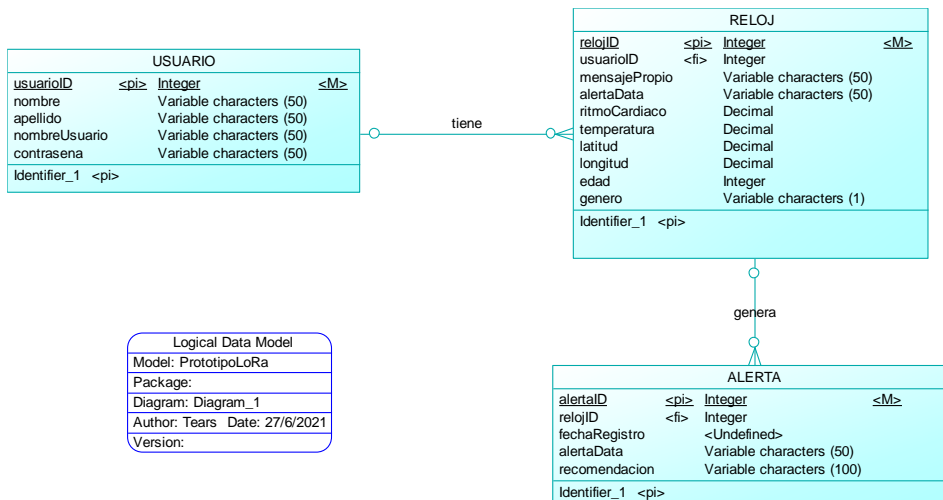


Modelo Lógico

En la Figura 19, se muestra las relaciones y entidades dentro de la BDD de manera lógico, se puede observar la herencia de claves primarias que tienen cada una de las relaciones.

Figura 19

Modelo Lógico BDD.

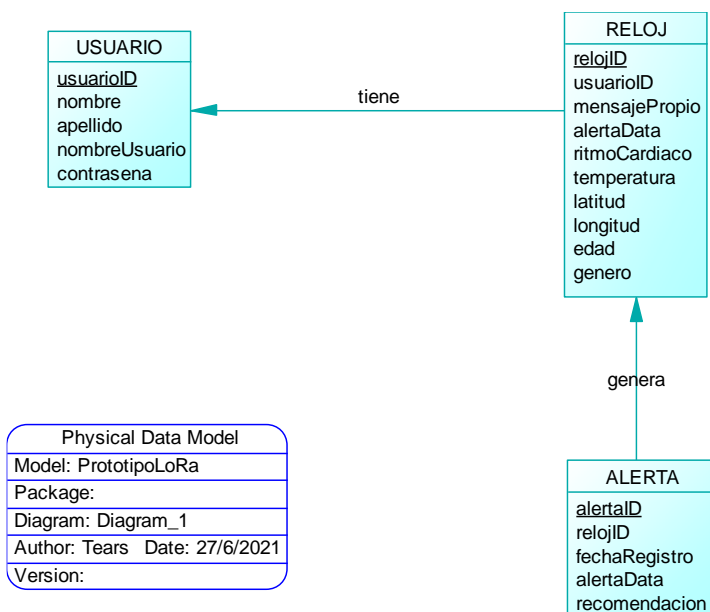


Modelo Físico

En la Figura 20, se muestra el modelo físico, en el cual se generan las tablas, columnas, claves primarias y foráneas dentro de la Base de Datos.

Figura 20

Modelo Físico BDD.



Construcción del prototipo

El prototipo se alimenta de diferentes componentes, correspondiente a cada uno de los módulos expuestos en la arquitectura, estos componentes interactúan entre sí logrando un flujo de datos desde el usuario hasta la presentación de la información. Estos componentes difieren en el lenguaje, plataforma y arquitectura de su desarrollo. A continuación, se presenta su desarrollo, la tecnología a la que hace referencia y su implementación.

Aplicación Móvil

Descripción de la aplicación

La aplicación está enfocada a ser desplegada en dispositivos con Wear OS de Google, el cual es un sistema operativo para relojes inteligentes. El desarrollo de la aplicación es soportado por el entorno de desarrollo integrado Android Studio, este IDE principal para realizar desarrollo de apps en lenguaje nativo. Android Studio es un editor de código y una herramienta potenciada para el desarrollo de diversas funcionales que aumentan la productividad dentro del desarrollo de apps móviles (Android Studio, 2021).

El reloj inteligente permitirá la instalación de una aplicación que tendrá diversas funcionalidades, como el envío de alertas predeterminadas, mensajes personalizados y la recepción de datos mediante sensores de: temperatura, ritmo cardíaco, latitud y longitud. La aplicación a través de conexión bluetooth permite comunicar estos parámetros hacia un nodo LoRa.

Estructura de la aplicación

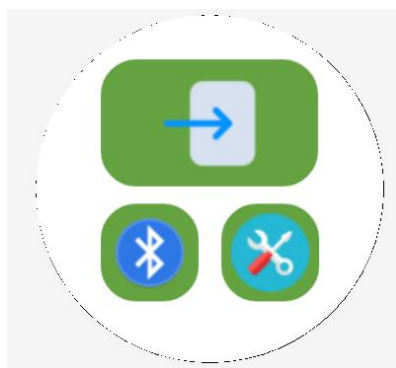
Menú Principal

En la Figura 21, se muestra la interfaz principal del reloj que consta de 3 opciones:

- Comunicación de Mensajes o Alertas.
- Conexión Bluetooth.
- Ajustes.

Figura 21

Menú principal de la aplicación móvil.



Nota: El gráfico representa el menú principal del reloj inteligente con sus opciones de envío de mensajes, conexión Bluetooth y configuraciones.

Comunicación de Mensajes o Alertas

En la Figura 22, se muestra la interfaz del reloj inteligente para enviar mensajes propios o mensajes predeterminados en momentos adversos predeterminados por parte de la persona monitoreada hacia el centro de las autoridades competentes.

Figura 22

Comunicación de Mensajes o Alertas.



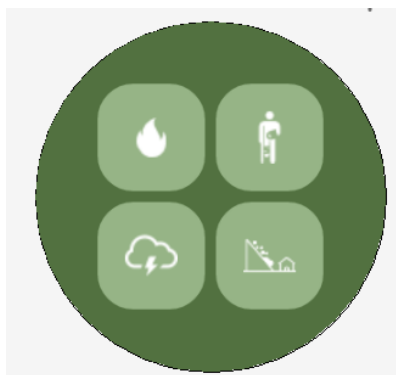
Nota: El gráfico representa el envío de mensajes propios desde el reloj inteligente.

Envío de Alertas

En la Figura 23, se muestra la interfaz del reloj inteligente para enviar mensajes de alertas predeterminadas en momentos adversos predeterminados, tales como: incendios, tormentas, deslaves de tierra y todo tipo de lesiones.

Figura 23

Envío de Alertas Predeterminadas.



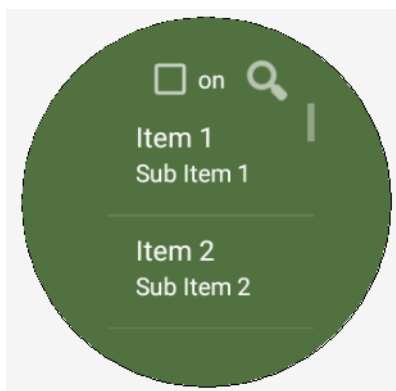
Nota: El gráfico representa el envío de mensajes predeterminados desde el reloj inteligente.

Conexión Bluetooth

En la Figura 24, se muestra la interfaz del reloj inteligente donde se lista los dispositivos con conexión Bluetooth disponibles, mediante esta tecnología se realizará la comunicación al nodo LoRa.

Figura 24

Conexión Bluetooth.



Nota: El gráfico representa los dispositivos con Bluetooth a los cuales se puede conectar el teléfono inteligente.

Ajustes

En la Figura 25, se muestra la interfaz del reloj inteligente que establece el nombre de la persona monitoreada, su edad y sexo para la debida validación de datos según su condición.

Figura 25

Ajustes.



Nota: El gráfico representa los datos principales de la persona que utiliza el reloj inteligente como: id, género y edad.

Nodo LoRa

El nodo LoRa es un dispositivo Heltec Wifi LoRa32, el cual soporta la implementación de código mediante la plataforma de código abierto Arduino, el cual, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en lenguaje C/C++ simplificado debido al compilador GCC que posee) y como IDE, el Software Arduino, estructurado bajo sketches que se basan en Processing (Arduino, 2020). La alimentación de energía del dispositivo se verá realizada por una batería solar portátil.

El desarrollo del código se caracteriza por la inclusión de librerías que permiten la comunicación mediante los protocolos LoRaWAN y Bluetooth y la visualización de información en la pantalla OLED SSD1306 de 0.96 pulgadas que posee el dispositivo. Cabe destacar la definición de la banda de radiofrecuencia disponible según la zona de localización, en este caso es 915MHz. En la Figura 26, se puede apreciar la especificación de estas librerías y banda.

Figura 26

Librerías Arduino LoRa.

```
//Libraries for LoRa
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

//Libraries for OLED Display
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#include "BluetoothSerial.h"

#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth is not enabled! Please run `make menuconfig` to and enable it
#endif

#define BAND 915E6

BluetoothSerial SerialBT;
```

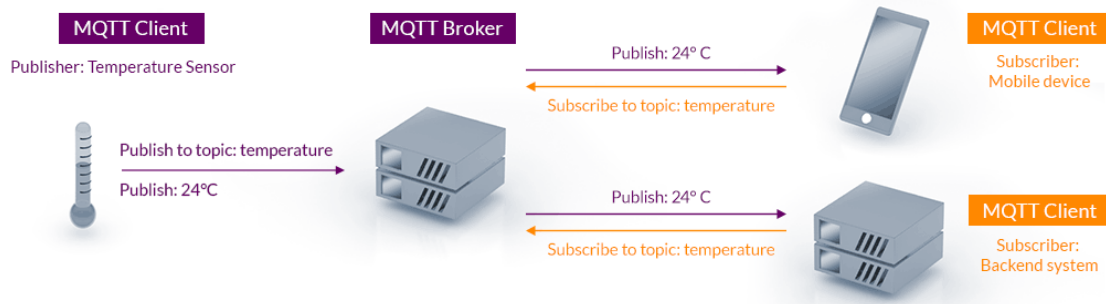
Nota: El gráfico representa las librerías para el uso la tecnología LoRaWAN y la conexión Bluetooth.

Bróker MQTT

Un bróker MQTT es una plataforma que sirve como servidor de comunicación y almacenamiento de datos mediante la publicación y suscripción de tópicos, con la principal característica de servir como enlace, debido al bajo consumo de recursos, a un gran número de nodos o clientes en su topología de red (MQTT, 2021). A continuación, en la Figura 27 se aprecia el funcionamiento de la arquitectura de un bróker MQTT.

Figura 27

Bróker MQTT.



Nota: El gráfico representa las capas de comunicación de un MQTT, desde el cliente, bróker y su publicación. Tomado de (MQTT, 2021).

El prototipo utiliza el bróker EMQ el cual es un agente de mensajes MQTT con una distribución en tiempo real y altamente escalable para aplicaciones de IoT (EMQX, 2021). Al encontrarse basado en código abierto, es posible la instanciación en su versión gratuita de un agente en un servidor privado.

La prestación de infraestructura y recursos para el funcionamiento de este bróker se realiza mediante el consumo de una instancia de una máquina virtual, bajo sistema operativo Ubuntu 20.04, alojada en un servidor virtual privado de Google Cloud Platform.

La configuración del agente EMQ se compone básicamente de la personalización de apertura de puertos y el inicio del servicio, estas sentencias se pueden visualizar en la Figura 28.

Figura 28

Configuración Agente EMQ.

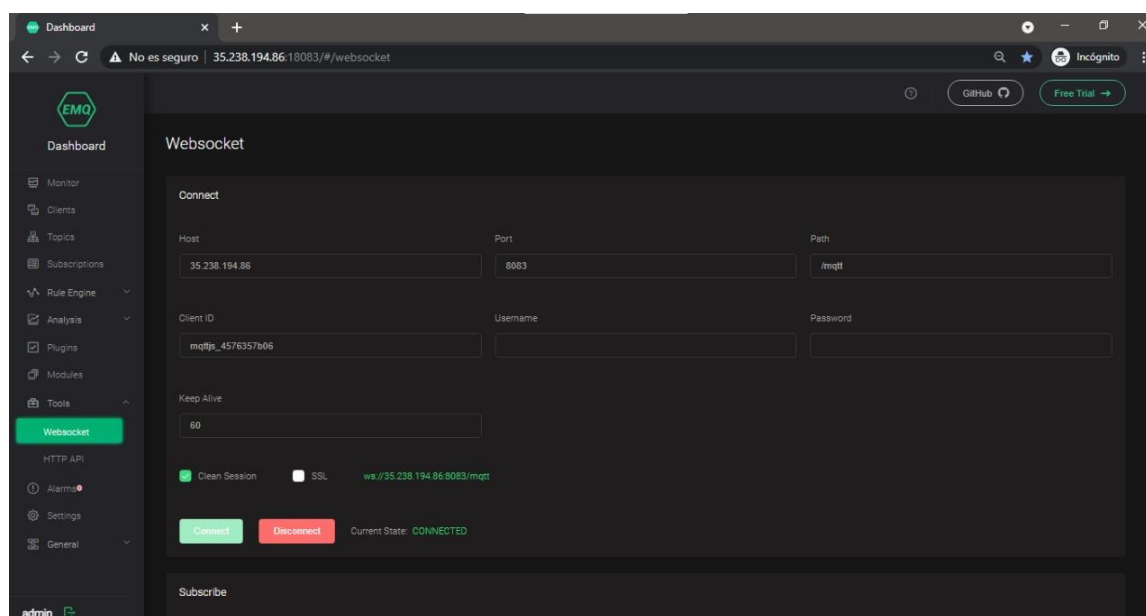
```
root@ :/emqx# ufw allow from any to any port proto tcp
Rules updated
Rules updated (v6)
root@ :/emqx# ./bin/emqx start
```

Nota: El gráfico representa los comandos para la configuración del Agente EMQ.

Una vez realizada la instalación del bróker en el servidor virtual privado, la plataforma presenta la siguiente interfaz, ver Figura 29. Esta plataforma permite, entre otros, la suscripción y publicación de tópicos y la visualización de la información receptada.

Figura 29

Dashboard Bróker.



Nota: El gráfico representa el área de trabajo para las conexiones por medio de web sockets hacia el servidor.

Finalmente, para poder almacenar la información en una base de datos, se realiza la ejecución de un script en lenguaje Python, este script cuenta con permisos de acceso al bróker, con esto se obtiene la información y se almacena en la base de datos, en este caso MySQL. Las librerías que se utilizaron para el desarrollo del script fueron las que permiten la utilización

de componentes para cadenas Json, base de datos MySQL y para comunicación con el protocolo MQTT, el cliente Paho. Ver Figura 30.

Figura 30

Librerías Script Python.

```
import json
#!/usr/bin/env python 1
# -*- coding: utf-8 -*-

import paho.mqtt.client as mqtt
import sys
import MySQLdb
from MySQLdb import Error
```

Nota: El gráfico representa las librerías en Python para la conexión del Broker MQTT.

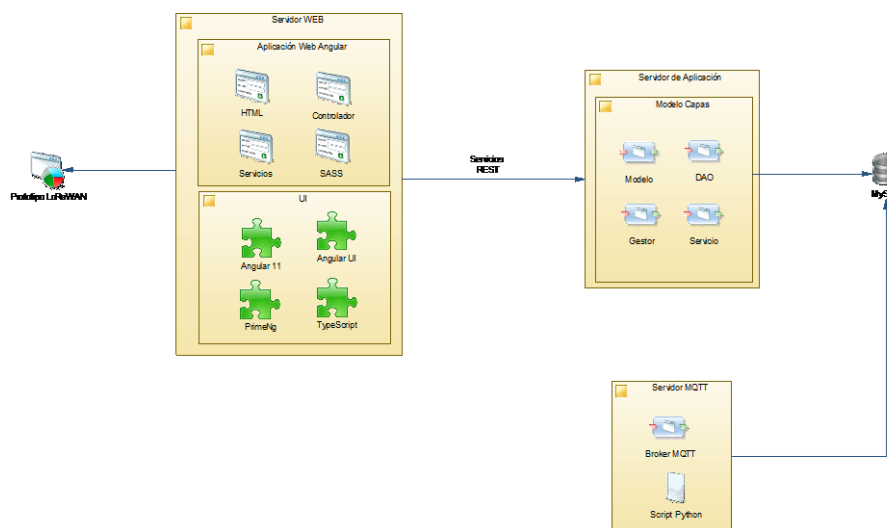
Sistema Web

Arquitectura del Sistema web

La arquitectura del sistema web se detalla en la Figura 31. Está conformado de 3 módulos: manejo de datos con MySQL, Backend con servicios REST en Node JS (Next JS) y Frontend con Angular 11 (Material UI, PrimeNg). El usuario se encuentra conectado a la red LoRa por medio del reloj inteligente y el administrador puede acceder para monitorear los datos desde el Frontend del sistema web.

Figura 31

Diagrama Componentes SW.



Nota: El gráfico representa el diagrama de componentes con sus módulos: MQTT, Aplicación y Web.

Angular 11

Angular es una plataforma de desarrollo, construida sobre mecanografiado. Como plataforma, Angular incluye un marco basado en componentes para crear aplicaciones web escalables, una colección de bibliotecas bien integradas que cubren una amplia variedad de características, que incluyen enrutamiento, administración de formularios, comunicación cliente-servidor y más (Angular, 2021).

Angular es un framework que brinda un conjunto de herramientas para desarrolladores que lo ayudarán a desarrollar, compilar, probar y actualizar su código (Angular, 2021).

Dentro del módulo web el Frontend desarrollado en angular consta de 2 interfaces principales: el ingreso a la aplicación web solicitando un “*Usuario*” y “*Contraseña*”, y la interfaz principal dividida en 3 submódulos: comunicación, ubicación y monitoreo.

Node JS

Node JS es un framework de JavaScript basado en un esquema de entrada y salida por eventos que ayuda a la trazabilidad y eficiencia del desarrollo. Para cualquier tipo de operación desde lectura, escritura, solicitudes HTTP, etc. (Node JS, 2021).

Node JS se puede utilizar frente a las aplicaciones en tiempo real de uso de datos que se ejecutan en diversos dispositivos multiplataforma (OpenJS, 2021). Dentro del Backend de nuestro módulo web se tiene 8 servicios REST con diversas peticiones hacia la base de datos para la extracción de información hacia nuestro Frontend para su despliegue en pantalla.

MySQL

MySQL es un motor de base de datos relacional basado en código abierto con un gran potencial para el manejo de registros estructurados, por otra parte, tiene una capacidad de lectura rápido puesto que uso un motor no transaccional, pero puede provocar problemas tanto de integridad como de concurrencia (MySQL, 2021). Es muy utilizado dentro del desarrollo de aplicaciones web en diversas plataformas como Angular, React, Vue JS, etc.

Para el desarrollo del módulo web del prototipo LoRaWAN se utilizó MySQL 2019 con el fin de gestionar los datos desde el administrador para el seguimiento del estado de salud y geolocalización del usuario.

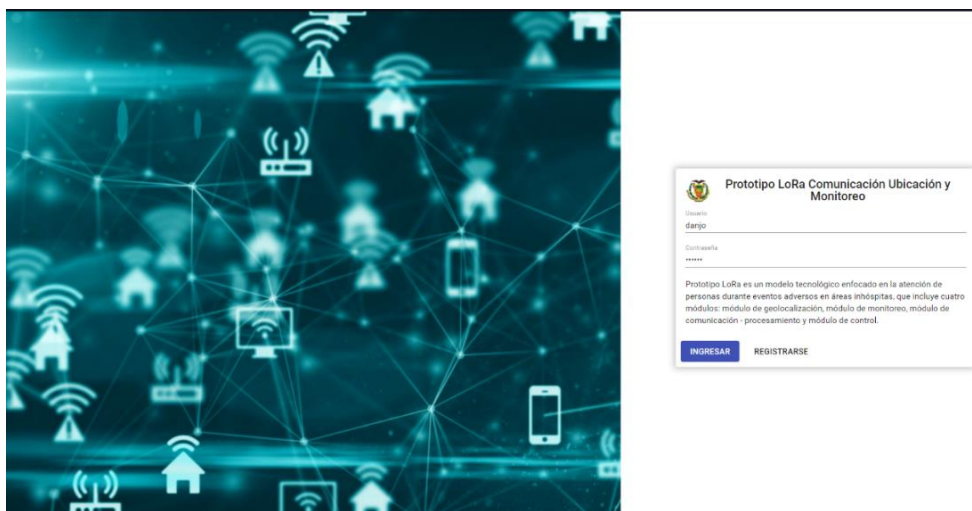
Interfaz del Sistema Web

En la Figura 32 se muestra la interfaz del ingreso al Prototipo LoRaWAN Web para comunicación, ubicación y monitoreo. El centro de control de las autoridades debe ingresar el

usuario y la contraseña proporcionada por el administrador del sistema para poder acceder a las funcionalidades brindadas por el prototipo.

Figura 32

Interfaz Principal.



Nota: El gráfico representa la interfaz principal donde se solicita un nombre de usuario y contraseña para entrar al sistema.

Interfaz Menú Principal

La Interfaz principal del prototipo consta de 3 módulos, los cuales son: comunicación, monitoreo de signos vitales y geolocalización como se presenta en la Figura 33.

Figura 33

Módulos Prototipo LoRa.

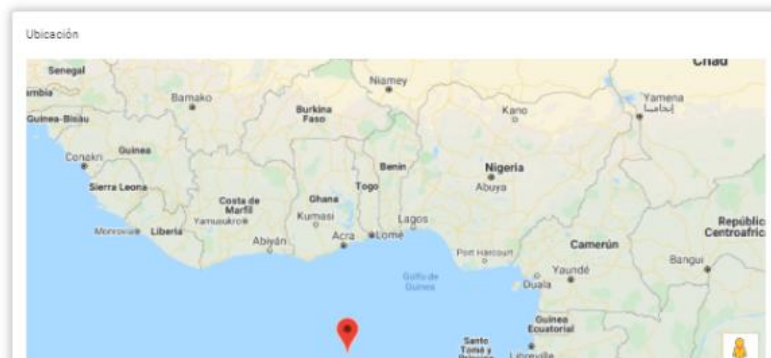
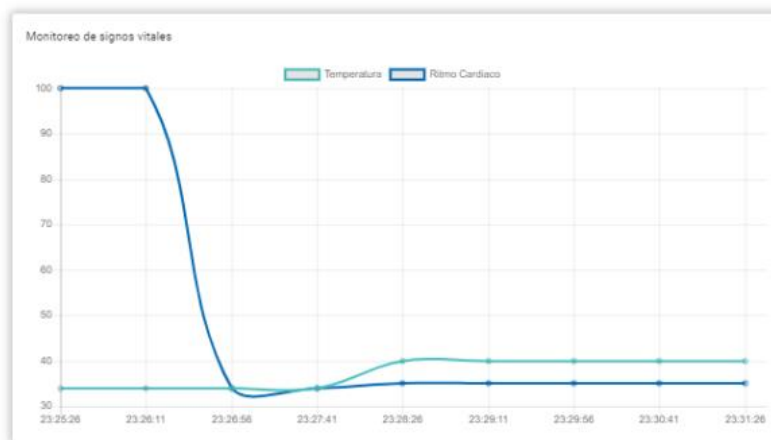
Comunicación

Historial Mensajes

Mensaje Usuario (23:26:56): Falta de aire
 Centro de Control: Reposar un momento
 Mensaje Usuario (23:27:41): Falta de aire
 Mensaje Usuario (23:28:26): Me encuentro solo
 Centro de Control: Que tiene a su alrededor
 Centro de Control:
 Mensaje Usuario (23:29:11): Me encuentro solo
 Mensaje Usuario (23:29:56): Me encuentro solo
 Mensaje Usuario (23:30:41): Me encuentro solo
 Centro de Control: Que encuentra cercano
 Centro de Control: Que puede observar a su alrededor
 Centro de Control: me puede describir
 Mensaje Usuario (23:31:26): Me encuentro solo
 Centro de Control: se encuentra ahí

Mensaje
 Ingrese Mensaje

Enviar



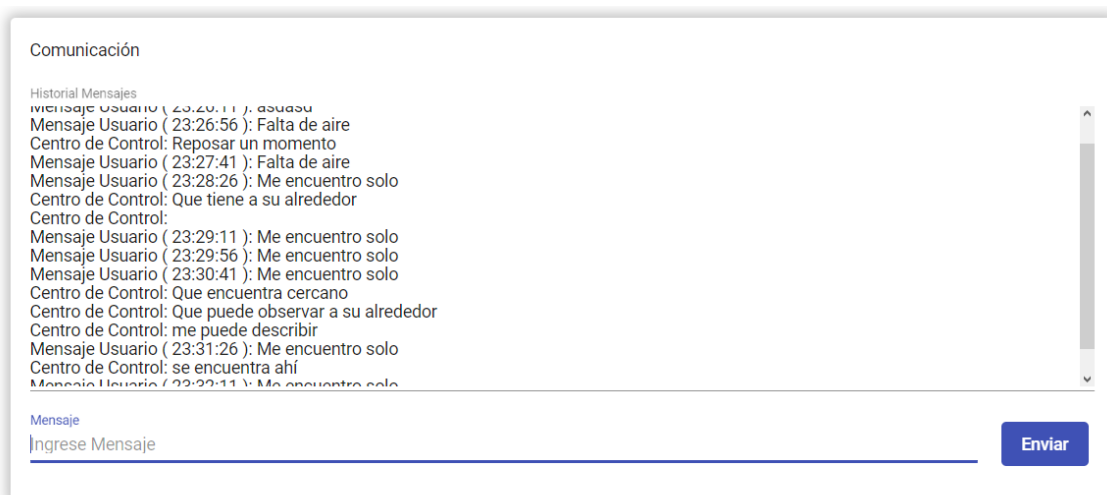
Nota: El gráfico representa los módulos de comunicación, monitoreo y geolocalización dentro del sistema web.

Módulo Comunicación

En la Figura 34 se muestra la interfaz del módulo de comunicación, el cual se encarga del envío y recepción de mensajes cortos o predeterminados entre la persona monitoreada y el centro de control. Se presenta la información como una bitácora de mensajes a través de la fecha y hora y el usuario.

Figura 34

Módulo Comunicación.



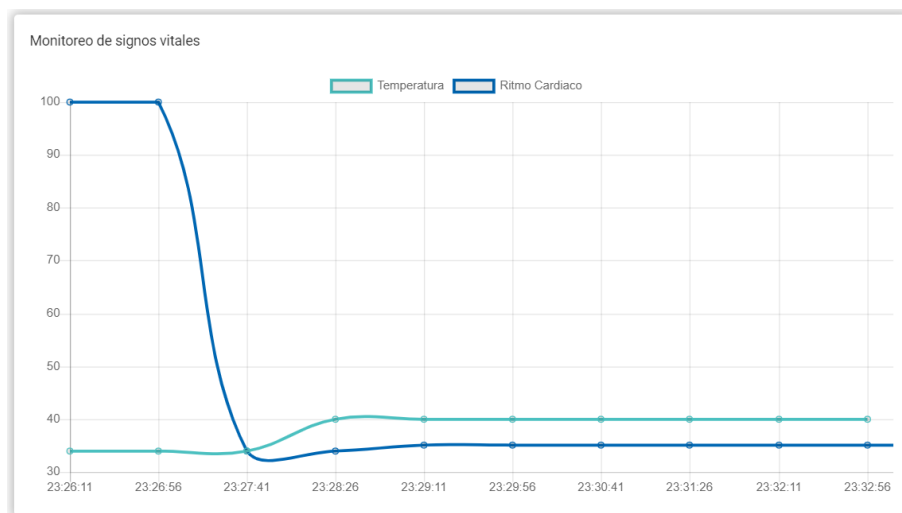
Nota: El campo por ingresar es el “Mensaje” hacia la persona monitoreada que porta el reloj inteligente.

Módulo Monitoreo de Signos Vitales

En la Figura 35 se muestra la interfaz del módulo de monitoreo de signos vitales, el gráfico se actualiza en un lapso constante de 45 segundos, se receipta la información obtenida a través de los sensores del reloj inteligente, el cual provee tanto el valor de temperatura como de frecuencia cardiaca medida por el número de latidos por minuto.

Figura 35

Módulo Monitoreo de Signos Vitales.



Nota: El gráfico representa el flujo de información en tiempo real del monitoreo de signos vitales (temperatura, ritmo cardíaco).

Generación de Alertas

En la Figura 36 se muestra la interfaz de los componentes que generan alertas dependiendo de los valores que son receptados por los sensores del reloj inteligente. Estas alertas se generan cada 45 segundos de acuerdo con los valores obtenidos de la persona monitoreada.

Figura 36

Generación de Alertas.



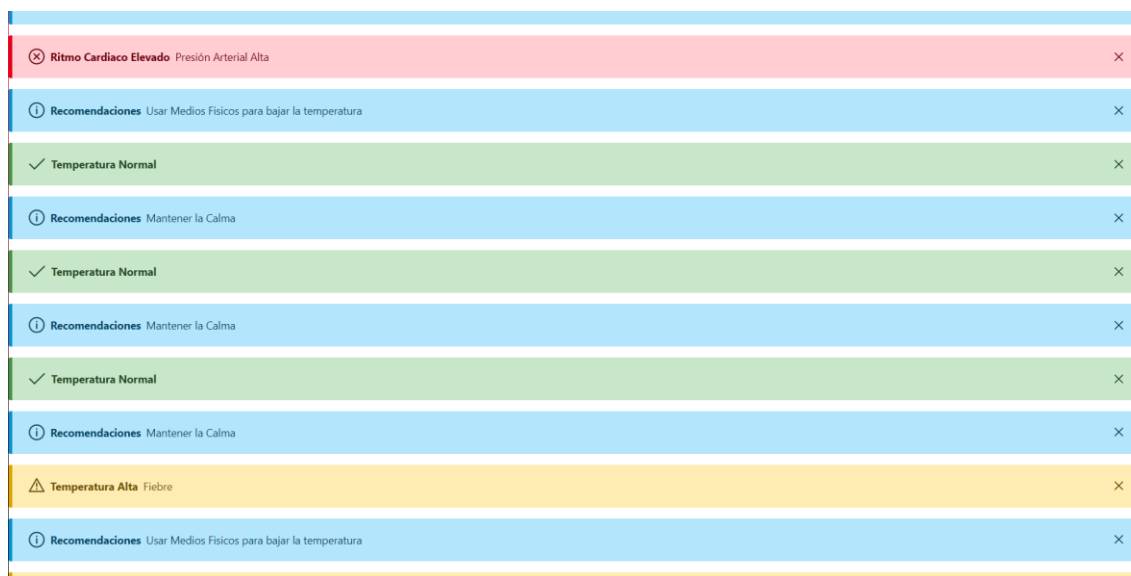
Nota: El gráfico representa la generación de alerta dependiendo del género y edad de la persona que esta siendo monitoreada.

Historial de Alertas

En la Figura 37 se muestra la interfaz del historial de cada posible alerta que se genera al momento de la recepción de los datos correspondientes al monitoreo de los signos vitales.

Figura 37

Historial de Alertas.



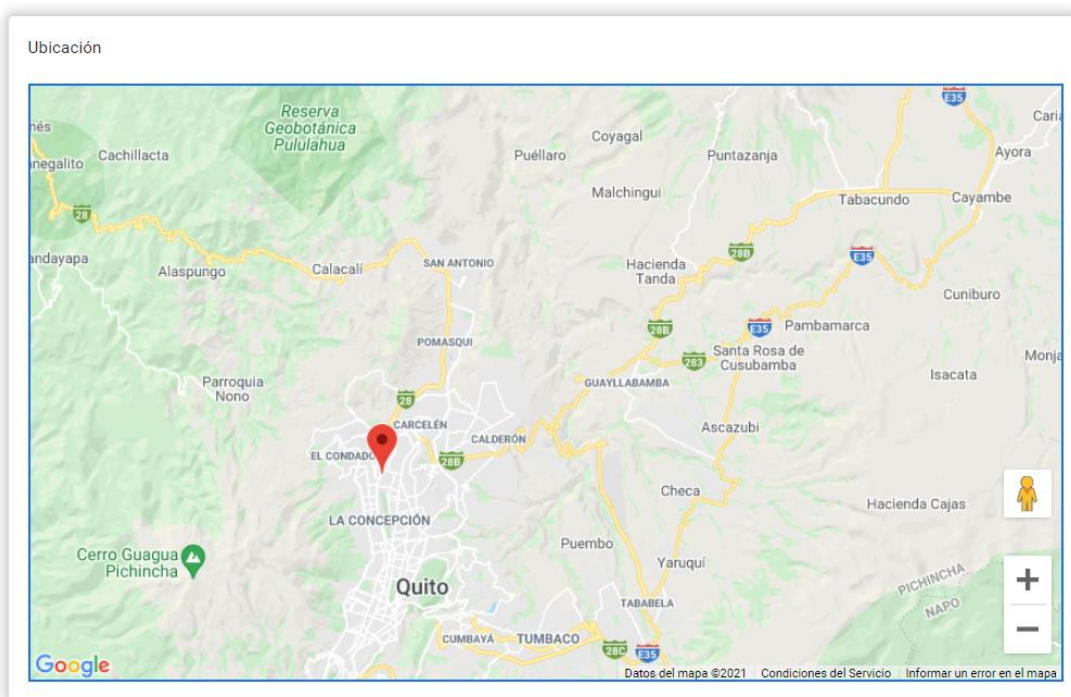
Nota: El gráfico representa el historial de las alertas generadas para obtener los principales cambios en los signos vitales de la persona monitoreada.

Módulo Geolocalización

En la Figura 38 se muestra la interfaz del módulo de geolocalización donde se muestra la ubicación de la persona monitoreada según las coordenadas de longitud y latitud tomadas por el reloj inteligente, estos valores son receptados cada 45 segundos, su presentación en la plataforma se realiza mediante la utilización de la Api de Google Maps para geolocalización de coordenadas.

Figura 38

Módulo Geolocalización.



Nota: El gráfico representa las coordenadas tanto de latitud como longitud de la persona que está siendo monitoreada.

CAPÍTULO IV

Validación del Prototipo

Para validar el prototipo LoRaWAN de comunicación, ubicación y monitoreo de personas para eventos adversos en zonas inhóspitas, se describe un caso de estudio que tiene dos escenarios que nos permitirán evaluar el prototipo en situaciones específicas dependiendo de los datos receptados por la persona que está siendo monitoreada. Tomando en cuenta los parámetros mencionados se plantea el siguiente caso de estudio:

Planteamiento del Caso de Estudio

Imaginemos que un grupo de personas se disponen a realizar un viaje de carácter recreacional a uno de los picos de la sierra ecuatoriana en donde no hay cobertura de las redes tradicionales. En el transcurso del recorrido las personas se ven inmersas en diferentes estados en los que comienzan a sentir mareos, subida de temperatura, aumento de la frecuencia cardíaca, entre otros.

Adicionalmente, debido a un deslave de tierra se bloquean los accesos para la búsqueda de ayuda, ocasionando que no se pueda llevar a cabo una acción de auxilio pertinente y la seguridad del grupo se podrían ver amenazada seriamente.

Las posibilidades del grupo se centrarán en la búsqueda de refugios o centros que permitan la utilización de un medio de comunicación y la atención en primeros auxilios a la personas afectadas, esto se realizaría mediante el desplazamiento de un miembro del grupo, lo que conlleva; desgaste, tiempo de espera, la incursión en caminos no explorados o correr el

riesgo de amenaza por animales salvajes o por la climatología de la zona, de esta forma, se lleva al límite la integridad del grupo de personas.

Para la simulación del caso de estudio se establece valores de comunicación entre el grupo y las autoridades, coordenadas de geolocalización y se presenta dos escenarios en los que se definirá diferentes parámetros de monitoreo a dos personas del grupo mencionado, estos escenarios son:

- La persona monitoreada es de sexo masculino, con una edad entre 20 a 39 años y presenta valores de temperatura corporal y frecuencia cardíaca estables.
- La persona monitoreada es de sexo femenino, con una edad entre 60 a 69 años y presenta valores de temperatura corporal y frecuencia cardíaca inestables.

Los resultados obtenidos se detallan a continuación, además, el contenido expuesto se puede visualizar en video en este [enlace](#).

El usuario, en primer lugar, debe conectar el reloj inteligente con el nodo mediante bluetooth. En las imágenes se aprecia como el reloj detecta el nombre del nodo y el nodo a su vez el nombre del reloj, en este caso por defecto; Q Explorist HR.

Figura 39

Conexión Bluetooth Reloj Inteligente – Nodo.



Nota: El gráfico representa la conexión Bluetooth hacia el módulo ESP32Lora.

Figura 40

Display Nodo Prototipo LoRaWAN.



Nota: El gráfico representa el estado de la conexión del prototipo LoRaWAN actual.

Habiendo realizado la conexión entre el reloj inteligente y el nodo LoRaWAN, se procede a presentar cada módulo, su funcionamiento y características de los mismos

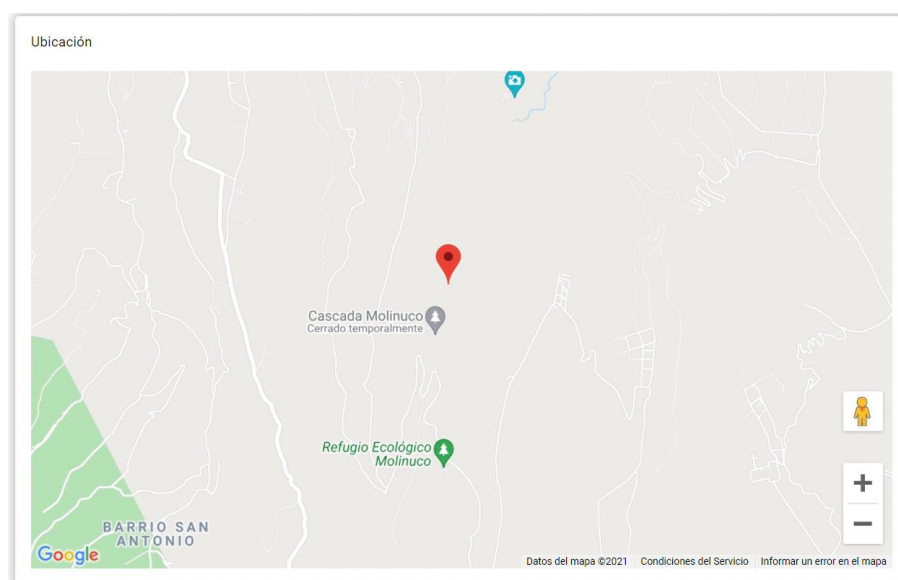
Módulo de Geolocalización: en la plataforma web se visualiza la ubicación geográfica del usuario mediante la comunicación de parámetros de latitud y longitud, estos valores los obtiene el reloj de forma automática. La plataforma web presenta la interfaz proporcionada por la Api de Google Maps para la geolocalización de coordenadas. La distancia máxima obtenida

en la comunicación entre nodo y Gateway es de 1058 metros, este valor se presentó en un escenario donde la vista entre los dispositivos fue directa con una intensidad de señal recibida de -118 dBm, este valor indica una potencia de señal baja.

El principal factor que intervino en este resultado, es la utilización de dispositivos con tecnología LoRa orientados hacia la investigación y desarrollo con el protocolo LoRaWAN, lo que con dispositivos de mayor potencia garantizaría una mayor distancia entre nodo y Gateway.

Figura 41

Geolocalización Sitio Inhóspito.



Nota: El gráfico representa las coordenadas de latitud y longitud dentro de un sitio inhóspito en tiempo real.

Escenario 1

El usuario realiza la asignación de parámetros, para el ejemplo se establecerá; Giovanni
– Hombre – 25 años.

Figura 42

Información Reloj – Escenario 1.



Módulo de Comunicación: mediante el despliegue de un teclado, el usuario digita la palabra “Ayuda” en el reloj y procede a enviar, a continuación, se visualiza un aviso del envío correcto del mensaje. La información enviada se muestra en la plataforma web.

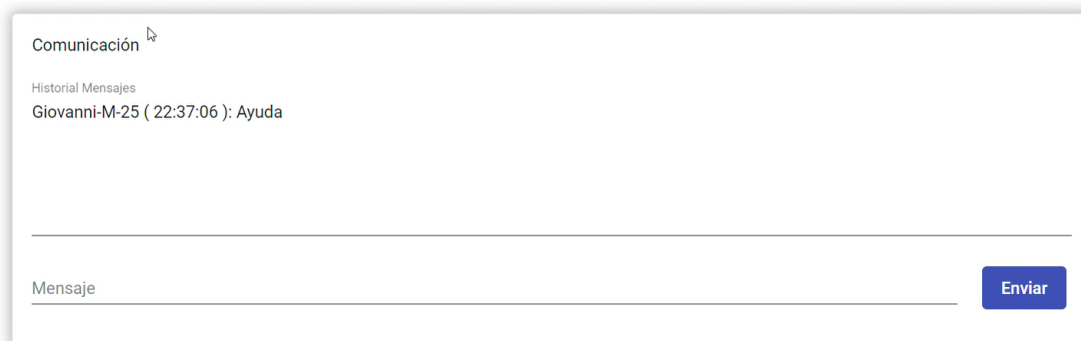
Figura 43

Enviar Mensaje Reloj – Escenario 1.



Figura 44

Recepción Mensaje Web – Escenario 1.



Módulo de Comunicación: se presentan 4 alertas de eventos adversos de forma predeterminada, en este caso se selecciona la alerta de mensaje “Deslave de tierra”. La información enviada se muestra en la plataforma web.

Figura 45

Enviar Mensaje Predeterminado Reloj – Escenario 1.

**Figura 46**

Recepción Mensaje Predeterminado Web – Escenario 1.

Comunicación

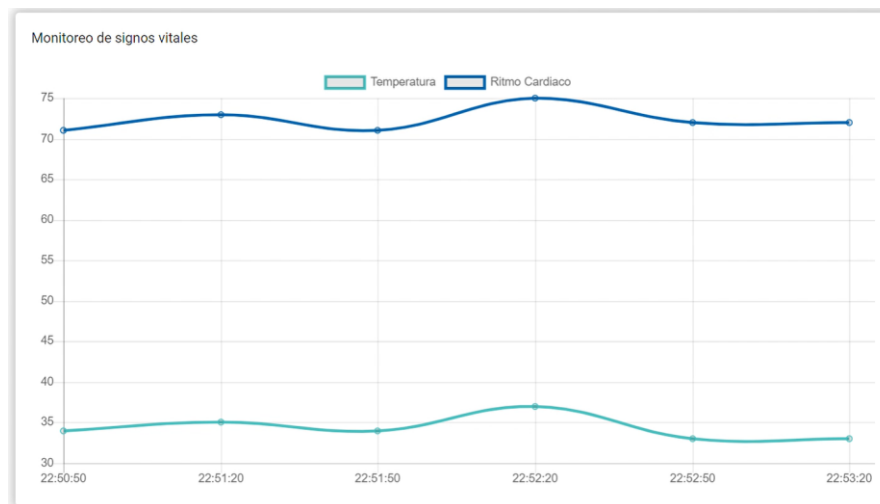
Historial Mensajes
Giovanni-M-25 (23:05:18): Deslave de tierra

Mensaje

Módulo de Monitoreo: en la plataforma web se visualiza como varía la temperatura y frecuencia cardíaca del usuario, estos valores los obtiene el reloj mediante sensores de forma automática. En caso de detectar variaciones fuera de los límites establecidos para ambos parámetros, la plataforma desplegará alertas visuales.

Figura 47

Monitoreo – Escenario 1.



Escenario 2

El usuario realiza la asignación de parámetros, para el ejemplo se establecerá; María – Mujer – 65 años.

Figura 48

Información Reloj – Escenario 2.



Módulo de Comunicación: mediante el despliegue de un teclado, el usuario digita la palabra “Atención” en el reloj y procede a enviar, a continuación, se visualiza un aviso del envío correcto del mensaje. La información enviada se muestra en la plataforma web.

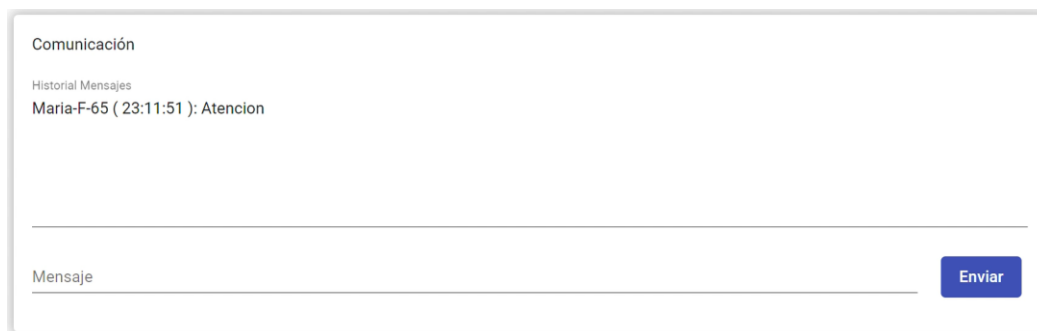
Figura 49

Enviar Mensaje Reloj – Escenario 2.



Figura 50

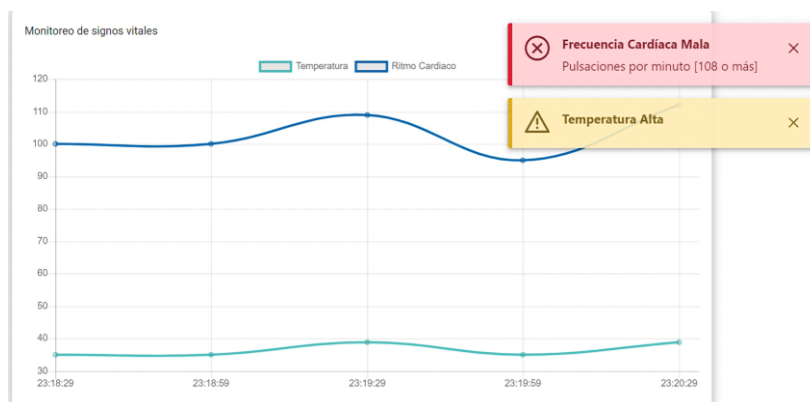
Recepción Mensaje Web – Escenario 2.



Módulo de Monitoreo: en la plataforma web se visualiza como varía la temperatura y frecuencia cardíaca del usuario. Para la simulación de este escenario se modificó valores en la comunicación de datos, con lo cual, se aprecia en la plataforma como la temperatura y frecuencia cardíaca se encuentran en valores notablemente altos. Para este caso se muestra alertas en función a los parámetros monitoreados.

Figura 51

Monitoreo – Escenario 2.



Módulo de Comunicación: en la plataforma web se digita un mensaje, el cual al enviar se muestra en el reloj como una notificación.

Figura 52

Respuesta Centro de Control – Escenario 2.



Figura 53

Mensaje de Respuesta Reloj – Escenario 2.



Por otra parte, se realizó diversas entrevistas a expertos del sector turístico para conocer su opinión en el funcionamiento y valoración del prototipo dentro de las condiciones de su ámbito laboral, con estas opiniones cualitativas se obtuvo información para realizar una

validación cruzada que determinó la factibilidad de uso del prototipo LoRaWAN de comunicación, ubicación y monitoreo de personas para eventos adversos en zonas inhóspitas.

Se propuso la entrevista como método de recopilación de información, ya que su propósito no es ser una diálogo casual, sino, ser una conversación sobre un tema o problema para conocer información relevante, comprobar y relacionar dicha información dependiendo de un objetivo o necesidad (Carmona et al., 2007). El método de la entrevista se estructuró como se detalla a continuación:

Preparación de la Entrevista

Para realizar el proceso de investigación dentro de la entrevista se necesita una preparación previa, según (Nagasawa et al., 1991) se tiene que tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Escoger los entrevistados con personalidad flexible y dispuesta a brindar datos relevantes para la investigación.
- Realizar un agendamiento previo con el entrevistado para realizar la entrevista con un tiempo de duración de 5 a 30 minutos.
- El lugar donde se realizará la entrevista debe ser un espacio de tranquilidad sin la presencia de distractores que desvíen la investigación.
- Los temas y subtemas para tratar deben ocupar el objetivo propuesto de la investigación con una temática abierta.

El tipo de entrevista seleccionada para realizar nuestra investigación es la entrevista en profundidad, la cual se presenta a continuación:

Entrevista en Profundidad

La entrevista en profundidad es una conversación larga, que no tiene ningún tipo de estructura a seguir, persigue que el entrevistado pueda expresar con seguridad cada una de sus opiniones, intereses y actitudes sobre el tema de investigación propuesto por los investigadores (Nagasawa et al., 1991).

El objetivo de este tipo de entrevista está enfocado en obtener la información más clara y concisa a través de preguntas muy objetivas; para lograrlo es necesario generar un ambiente cálido entre el investigador y el entrevistado para, de esta forma, lograr pensamientos y expresiones sinceras de la investigación (Rodríguez et al., 1996).

El objetivo de investigación de la entrevista corresponde a uno de los objetivos específicos planteados en el capítulo 1.

Objetivo de la entrevista

Validar el prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso a través de la opinión de expertos dentro del sector turístico.

Interrogaciones para la Entrevista

Para el desarrollo de la entrevista se propone 10 preguntas abiertas derivadas de las preguntas de investigación del objetivo de la entrevista, estas preguntas se presentan a continuación:

Tabla 15*Preguntas Entrevista.*

PI10 ¿Cuáles son las principales dificultades en las que se encuentran las personas ante situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?	PE1 ¿Cuáles son las dificultades más importantes que han tenido las personas en actividades donde no existe cobertura de las redes tradicionales?
PI11 ¿Qué métodos o herramientas de comunicación se emplean para la localización de personas ante situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?	PE2 ¿Cuál fue el mecanismo de comunicación que se utilizó para saber que las personas se encontraban en un evento adverso dentro de un sitio inhóspito?
PI12 ¿Cuál es el apoyo que brindan las autoridades a las personas que se encuentran frente situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?	PE3 ¿Con que herramientas cuentan para poder comunicarse con las personas que están llevando una actividad en sitios donde la cobertura de las redes tradicionales es escasa o nula?
PI12 ¿Cuál es el apoyo que brindan las autoridades a las personas que se encuentran frente situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?	PE4 ¿Ha pensado en adquirir algún sistema de comunicaciones que supla la carencia de cobertura en las redes tradicionales?
PI12 ¿Cuál es el apoyo que brindan las autoridades a las personas que se encuentran frente situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?	PE5 ¿Cómo han prestado ayuda las autoridades al momento de tener personas afectadas por eventos adversos en sitios inhóspitos?

PI13 ¿Qué impacto presenta la infraestructura de telecomunicaciones ante la necesidad de respuesta a personas en situaciones adversas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PE6 ¿Cree usted que el prototipo LoRaWAN satisface las necesidades de comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PE7 ¿Cree que el tiempo de respuesta del prototipo LoRaWAN es óptimo para brindar comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PE8 ¿Considera complicado el uso y funcionamiento del prototipo LoRaWAN para comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

PE9 ¿Cree que el prototipo LoRaWAN representaría una ventaja competitiva en su ambiente laboral?

PE10 Recomendaría el uso del prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso dentro de su ambiente laboral ¿Por qué?

Nota: Está tabla las preguntas para la ejecución de la entrevista basando en cada una de las preguntas de investigación del OE5.

Desarrollo de la Entrevista

Las entrevistas se realizaron a 4 personas expertas en el ámbito turístico, con diferentes funciones y responsabilidades para abarcar diversos puntos de vista, estas personas son:

Tabla 16

Personas Entrevistadas.

No.	Nombre del Entrevistado	Institución a la que pertenece	Cargo	Enlace Entrevista
1	Daniel Cadena	Hotel “La Casona del Ronda”	Gerente General	<u>Enlace aquí</u>
2	Xavier Rosero	Hotel “Illa”	Subgerente General	<u>Enlace aquí</u>
3	Leonardo Montalvo	Hotel “La Casona del Ronda”	Guía Turístico	<u>Enlace aquí</u>
4	Danny Toctaguano	Agencia de Viajes "Adventure Trips"	Guía Turístico	<u>Enlace aquí</u>

Nota: *Se adjunta el enlace a los vídeos de cada una de las entrevistas realizadas a los expertos en el ámbito turístico.*

En el encuentro con cada uno de los expertos entrevistados se mantuvo una conversación abierta y dinámica, en la cual, por medio de la utilización del reloj inteligente, la presentación de los equipos de conectividad y la visualización de información en la plataforma web, el entrevistado expuso su punto de vista de las características y la funcionalidad que

brinda el prototipo LoRaWAN en la comunicación, monitoreo y ubicación a personas en sitios inhóspitos durante eventos adversos. A continuación, se presenta las opiniones de cada uno de los expertos en base a las preguntas planteadas para el desarrollo de la entrevista en profundidad:

PE1 ¿Cuáles son las dificultades más importantes que han tenido las personas en actividades donde no existe cobertura de las redes tradicionales?

Daniel Cadena: *“Si existen limitante en las señales, nuestros huéspedes generalmente viajan al Cotopaxi, Papallacta o Mindo y siempre dentro de las vías no existe señal o cuando llegas a la cumbre del Cotopaxi tampoco existe señal, entonces si ha pasado que los huéspedes al regresar de algún sitio se encuentran con un derrumbe en las vías y no tenemos manera de comunicarnos con ellos y existe una gran preocupación ya que no sabemos nada de ellos desde su estado actual hasta su hora de retorno.”*

Xavier Rosero: *“Existen huéspedes que tienden a visitar sitios turísticos como el: Cotopaxi y Quilotoa. Puntualmente dentro del Quilotoa no existe señal de las redes tradicionales, pero nunca hemos tenido inconvenientes que un huésped se haya extraviado o sufrido un altercado dentro de este lugar turístico.”*

Leonardo Montalvo: *“Los turistas al visitar sitios turísticos como las cascadas de Mindo o Nambillo, deciden ir por rutas o caminos diferentes y de forma solitaria, al no tener un medio de comunicación supone una preocupación el saber dónde están, que ruta escogerían o en qué lugar se les esperaría.”*

Danny Toctaguano: *“Los turistas son susceptibles a tener accidentes. El principal inconveniente en los lugares donde se realiza turismo es que no se encuentra señal telefónica, la comunicación se centra mediante esta red, por lo que al no haber presenta un gran problema.”*

PE2 ¿Cuál fue el mecanismo de comunicación que se utilizó para saber que las personas se encontraban en un evento adverso dentro de un sitio inhóspito?

Daniel Cadena: *“No contamos con ningún mecanismo para comunicarnos en un escenario donde no existe señal ya que ha sido un tema totalmente desapercibido.”*

Xavier Rosero: *“Tomar un tiempo de espera prudente, luego de esto tratar de contactarse con los guías que están a cargo del grupo, si no se tiene respuesta de estos; ponerse en contacto con las autoridades pertinentes.”*

Leonardo Montalvo: *“La búsqueda se realiza de forma manual, como guía me apersono en la búsqueda yendo por las rutas probables o preguntando a las personas en el camino por las características de los turistas extraviados.”*

Danny Toctaguano: *“Al no obtener respuesta inmediata de las autoridades y al no haber cobertura del celular, la búsqueda se hace de forma personal, con guías en el área intentando abarcar todos los escenarios posibles.”*

PE3 ¿Con que herramientas cuentan para poder comunicarse con las personas que están llevando una actividad en sitios donde la cobertura de las redes tradicionales es escasa o nula?

Daniel Cadena: “No contamos con ninguna herramienta si no tenemos señal no nos vamos a poder comunicar con nuestros huéspedes nunca, no hemos pensado en qué pasaría si se dan este tipo de situaciones.”

Xavier Rosero: “No contamos con ningún tipo de herramienta para poder comunicarse con las personas que se encuentran llevando diversos tipos de actividades donde las redes tradicionales son escasas o nulas.”

Leonardo Montalvo: “No se cuenta con herramientas de comunicación, en sitios o lugares inhóspitas en los que no se cuenta con cobertura telefónica, la comunicación está basada en encontrar al turista extraviado.”

Danny Toctaguano: “Todo se basa en la comunicación por red telefónica, no se dispone de otro método adicional.”

PE4 ¿Ha pensado en adquirir algún sistema de comunicaciones que supla la carencia de cobertura en las redes tradicionales?

Daniel Cadena: “No he pensado en adquirir algún sistema de comunicaciones, más bien esto es algo novedoso no he escuchado nada que brinde este tipo de ayuda en el sector turístico.”

Xavier Rosero: “Sí, estoy dispuesto a adquirir algún sistema que me brinde telecomunicaciones ya que al momento no contamos con ninguno.”

Leonardo Montalvo: “Si fuese un producto al alcance y que presente utilidad, lo compraría ya que no conozco un producto que cumpla estas características en el mercado.”

Danny Toctaguano: “Desconozco algún tipo de herramienta que permita la comunicación en estas condiciones.”

PE5 ¿Cómo han prestado ayuda las autoridades al momento de tener personas afectadas por eventos adversos en sitios inhóspitos?

Daniel Cadena: “Han existido diversas ocasiones en las cuales se han reportado robos y teníamos una persona herida por cuestión de suerte las autoridades respondieron de manera eficaz puesto que esto no suele pasar muy a menudo con las autoridades competentes, existe ocasiones en que llamas a las autoridades y se espera tiempos de media hora, una hora, hora y media toca realizar muchas llamadas para que nos presten atención. En una ocasión los huéspedes se fueron a escalar al Rucu Pichincha y no aparecían, no contestaban, enviamos por nuestra parte guías turísticos que conocen el sitio para poder encontrarlos, pero no los encontramos y como existen casos de que las personas se pierden en ese lugar, nosotros como hotel nos encontrábamos muy preocupados llamamos a las autoridades que nos ayuden a buscar nos abrumaron con otras preguntas y existió un choque con las mismas sin tener una solución óptima.”

Xavier Rosero: “Las autoridades han respondido de manera lenta al pedido de ayuda de los directos del Hotel Illa y se debe realizar un proceso bastante engorroso para poder determinar si una persona está pérdida o no.”

Leonardo Montalvo: “Al reportar una persona desaparecida, las autoridades establecen un tiempo de 24 a 48 horas, en los casos que se presenta una lesión o una emergencia, el tiempo es demasiado. En locaciones de turismo en las que me desempeño, se notifica al encargado o

representante del área, proporcione rutas de búsqueda más rápidas y eficientes. En casos de turismo en donde son días de viaje se encuentra completamente a la expectativa de las autoridades.”

Danny Toctaguano: *“De parte del Ministerio del Turismo u otras entidades no ofertan o especifican herramientas que no sea la línea telefónica. En casos no existen ni comunidades cercanas que puedan facilitar la comunicación.”*

PE6 ¿Cree usted que el prototipo LoRaWAN satisface las necesidades de comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso?

Daniel Cadena: *“Si definitivamente muy útil al menos para el sector turístico brindaría mucha ayuda. Yo lo adquiriría como hotel y si envió grupos de personas yo le daría un reloj tanto al guía como a cada uno de los huéspedes les explicaría el funcionamiento super rápido, tendría esta aplicación web en mi computadora para dar seguimiento al estado actual de mis huéspedes.”*

Xavier Rosero: *“Sí, es un prototipo interesante que cumple con todas las necesidades para brinda comunicación, monitoreo y ubicación de personas en lugares críticos.”*

Leonardo Montalvo: *“Sí, el prototipo me parece muy interesante, cubre bastante las necesidades en el sector turístico de corto tiempo al cual me desempeño, en casos donde el turismo se prolongue por días, ayudaría mucho más.”*

Danny Toctaguano: *“Me parece una herramienta muy útil, cuando las personas se encuentran en estos lugares, ayudaría mucho el poder monitorear el pulso y así saber el estado de la persona.”*

PE7 *¿Cree que el tiempo de respuesta del prototipo LoRaWAN es óptimo para brindar comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso?*

Daniel Cadena: *“Yo creo que el tiempo de respuesta está bastante bien, me parece que es el idóneo.”*

Xavier Rosero: *“Es un tiempo adecuado para ponernos en contacto con las autoridades pertinentes para pedir ayuda y brindar apoyo a las personas.”*

Leonardo Montalvo: *“Sí, es un tiempo correcto.”*

Danny Toctaguano: *“Me parece muy bien el tiempo que está definido para así saber si el usuario o turista se encuentra bien y el lugar, que sea dinámico es bueno.”*

PE8 *¿Considera complicado el uso y funcionamiento del prototipo LoRaWAN para comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso?*

Daniel Cadena: *“Me parece super fácil ahora con las aplicaciones que todo el mundo sabe manejar, solo entraste en la aplicación tienes creado los accesos directos a las catástrofes y si este no fuera el caso puedes escribir un mensaje directamente lo cual es muy útil.”*

Xavier Rosero: “No, puesto que solo hay que manipular cosas básicas tal cual como un Smartphone o una Tablet.”

Leonardo Montalvo: “No, ahora nos encontramos en una época donde la tecnología es fundamental. El funcionamiento es similar a utilizar un celular.”

Danny Toctaguano: “La interfaz es super sencilla, no requiere de grandes conocimientos, en esta era tecnológica es como trabajar con un celular. El aplicativo es intuitivo.”

PE9 ¿Cree que el prototipo LoRaWAN representaría una ventaja competitiva en su ambiente laboral?

Daniel Cadena: “Es una ventaja competitiva definitivamente porque el huésped se sentiría seguro e importante brindándole el dispositivo y dándonos un plus como hotel.”

Xavier Rosero: “Brindaría al hotel una ventaja competitiva muy grande frente a sus competidores directos para mejorar la experiencia y seguridad del huésped en su tiempo de estadía en los diversos tours que disponga a realizar.”

Leonardo Montalvo: “Ahorraría mucho en tiempos, se podría establecer mejor las diferentes opciones al turista. Se optimizaría incluso en recursos humanos.”

Danny Toctaguano: “Se tendría una mejor ventaja a las demás agencias, se añadiría como propuesta adicional al usuario, se promocionaría la seguridad que daría el tener más herramientas de comunicación.”

PE10 Recomendaría el uso del prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso dentro de su ambiente laboral ¿Por qué?

Daniel Cadena: “Sí, definitivamente lo recomendaría se puede ampliar en el futuro para que no sea un reloj, talvez sea algo más pequeño más cómodo como una pulsera o una aplicación para celular, pero es una idea genial que puede extenderse y ayudar mucho al sector turístico.”

Xavier Rosero: “Sí, recomiendo el uso del prototipo LoRaWAN es una idea nueva e innovadora dentro del mercado. “

Leonardo Montalvo: “Sí, recomiendo en especial al sector turístico, como guía me apoyaría en la logística de mi negocio.”

Danny Toctaguano:” Sí, me parece interesante y novedoso, no había escuchado de un producto similar.”

Una vez recolectada toda la información, se ha realizado una validación cruzada para depurar y definir comportamientos comunes en las respuestas de los expertos. La validación cruzada es un proceso iterativo que mediante el establecimiento de conjuntos de datos permite obtener resultados en base a patrones de comportamiento (González, Alvarado, & Marín, 2017).

Teniendo en cuenta un conjunto de datos por cada entrevista y que la información corresponde a un diálogo abierto, se realizó una agrupación por cada pregunta y de forma iterativa se fue comparando cada respuesta buscando similitudes y diferencias, con lo cual,

como resultado se obtuvo una idea común entre los expertos y de esta forma, se valida la apreciación que se dispone del prototipo en escenarios convencionales. A continuación, se presenta los resultados de las entrevistas.

Para la **PE1**, de los 4 expertos entrevistados los 4 concuerdan que la principal dificultad que tienen las personas en actividades donde no existe la cobertura de redes tradicionales, es la baja o nula señal de telefonía móvil que existe para la comunicación con turistas en diversos sitios turísticos como: Cotopaxi, Quilotoa, Papallacta, Mindo, etc. Al momento de no tener respuesta del estado actual de los turistas, tienden a preocuparse y generar desconcierto.

Para la **PE2**, de los 4 expertos entrevistados, 2 concuerdan que el mecanismo de comunicación que se utiliza al momento de que una persona se encuentra en un evento adverso dentro de un sitio inhóspito, es buscar la toma de contacto de forma personal, apoyándose en guías o responsables del área se realizan búsquedas por rutas o lugares probables donde se puedan encontrar los turistas, adicionalmente cabe destacar que en ciertos casos como único método tienen el solicitar ayuda a autoridades públicas.

Para la **PE3**, de los 4 expertos entrevistados los 4 concuerdan que no cuentan con ninguna herramienta para poder comunicarse con las personas que están llevando una actividad en sitios inhóspitos donde la cobertura de red es nula o escasa, más que la red telefónica tradicional que en estos escenarios no garantiza un sistema de comunicación efectivo.

Para la **PE4**, de los 4 expertos entrevistados, 2 concuerdan en adquirir algún sistema de comunicaciones que supla la carencia de cobertura de las redes tradicionales ya que no

disponen con ninguno que cumpla estas características en el mercado, por otra parte, 2 expertos no han pensado en adquirir algún sistema que brinde cobertura puesto que no conocían el posible funcionamiento o desempeño de estos.

Para la **PE5**, de los 4 expertos entrevistados los 4 concuerdan que la respuesta de las autoridades es muy lenta y bastante burocrática al momento de tener personas afectadas por eventos adversos en sitios inhóspitos, ya que exponen que en casos de desaparición de personas se debe esperar un tiempo mínimo para reportar. En otras ocasiones cuando existen lesiones o heridas graves causadas por algún evento adverso, el tiempo de respuesta dista mucho del necesario para brindar apoyo a la persona afectada.

Para la **PE6**, de los 4 expertos entrevistados los 4 concuerdan que el prototipo LoRaWAN satisface las necesidades de comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso, dado que en el sector turístico hay actividades que se prolongan por días y es importante estar en constante contacto con el turista, destacan que se puede suscitar algún inconveniente y la integridad se encuentra constantemente en riesgo.

Para la **PE7**, de los 4 expertos entrevistados los 4 concuerdan que el tipo de respuesta del prototipo LoRaWAN es óptimo para brindar comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso, dado que nos permite mantener un monitoreo constante y actuar de forma inmediata para brindar apoyo a las personas que se encuentran en alguna situación crítica.

Para la **PE8**, de los 4 expertos entrevistados los 4 concuerdan en que el uso y funcionamiento del prototipo LoRaWAN para comunicación, monitoreo y ubicación de personas

en zonas inhóspitas de difícil acceso es sencillo e intuitivo en cada una de sus características, es comparable con el funcionamiento básico de un teléfono inteligente o tablet.

Para la **PE9**, de los 4 expertos entrevistados los 4 concuerdan que el prototipo LoRaWAN representaría una ventaja competitiva en su ambiente laboral, puesto que mejoraría la experiencia y seguridad de los turistas generando un valor agregado frente a sus principales competidores dentro del mercado turístico.

Para la **PE10**, de los 4 expertos entrevistados los 4 concuerdan en recomendar el uso del prototipo LoRaWAN para la comunicación, monitoreo y ubicación de personas en zonas inhóspitas de difícil acceso dentro de su ambiente laboral; ya que es una idea nueva, innovadora y novedosa que puede extenderse y brindar apoyo tanto a la logística como al mercado turístico.

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Una vez culminada la presentación de cada capítulo, se ha podido definir resultados sujetos a cada una de las preguntas de investigación planteadas para la identificación, construcción y validación del prototipo.

Ante el creciente y constante desplazamiento de personas en zonas inhóspitas, se evidenció una deficiente atención y falta de respuesta durante eventos adversos, esta situación se debe principalmente a la pobre infraestructura de telecomunicaciones y a una notable carencia de métodos o herramientas de comunicación.

Como solución a esta problemática, existen propuestas de conectividad que se basan en tecnologías de redes LoRa, Sigfox o la conexión mediante datos móviles, además se prioriza la utilización de sistemas GPS. Esta comunicación de información se busca a través de estrategias o técnicas como el empleo de redes inalámbricas, señalización visual o infraestructura con georreferenciación. Además, se emplean sensores para monitorear el estado de salud de una persona, enfocándose principalmente en su frecuencia cardiaca.

En estas zonas o áreas de difícil acceso, en donde la accesibilidad geográfica presenta un desafío y en donde la inversión por parte de empresas es limitada, se identificó la tecnología LoRa como una solución ante la gran extensión de zonas a cubrir y la escasez de recursos disponibles.

El protocolo LoRaWAN prioriza el bajo consumo de energía y radica su funcionalidad en redes de larga distancia. Debido al posible envío de paquetes de datos, se creó un prototipo mediante la utilización de infraestructura IoT, el cual abarca posibles escenarios para la comunicación durante eventos adversos en zonas inhóspitas, esta comunicación se realiza mediante las tecnologías Bluetooth y LoRa y bajo el soporte del paradigma Cloud. El prototipo se estructuró en tres módulos; comunicación, monitoreo y ubicación.

El módulo de comunicación permite el envío de paquetes de datos, el módulo de monitoreo, mediante la captación de signos vitales, permite vigilar el estado de salud del usuario y el módulo de ubicación parametriza coordenadas de geolocalización. El usuario debe llevar consigo mismo un reloj inteligente con el cual puede comunicarse, la información proveniente de los módulos se visualiza en una plataforma web para el control por parte de autoridades.

En la validación del prototipo para la presentación y evaluación de su funcionamiento, se simuló un caso de estudio en donde se representó el aislamiento e imposibilidad de movimiento de un grupo de turistas en una zona inhóspita (PI8), este caso permitió la estructuración de dos escenarios. El primer escenario buscó realizar el monitoreo de un varón de mediana edad y signos vitales estables y el segundo se enfocó en el monitoreo de una fémina de edad avanzada y signos vitales alterados (PI9). El prototipo notificó alertas mediante la parametrización de los valores de los signos vitales según las características de las personas monitoreadas.

Adicionalmente se realizó entrevistas a expertos del área de turismo en zonas inhóspitas y áreas de difícil acceso. Los resultados de las entrevistas indican que las personas

ante eventos adversos en estas zonas se encuentran ante grandes dificultades de comunicación para la solicitud de ayuda, no poseen ningún tipo de método o herramienta de comunicación y no obtienen una respuesta rápida y eficiente por parte de las autoridades.

El prototipo ante la imperiosa necesidad de un mecanismo de comunicación que no dependa de coberturas telefónicas se presenta como una solución confiable, económica y eficaz para proporcionar seguridad a los usuarios.

Recomendaciones

Para la comunicación de información entre distintas plataformas y bajo diversos protocolos, la utilización de un formato de texto universal como Json o XML, facilita el envío y recepción de datos evitando la pérdida de información o minimizando la probabilidad de error.

Al realizar la conectividad entre dispositivos con tecnología LoRa es recomendable encontrarse en ambientes al aire libre y evitar cualquier tipo de obstáculo entre la vista de los dispositivos.

En la utilización de dispositivos IoT en ambientes donde no existen redes tradicionales, como es principalmente la energía eléctrica, se debe establecer un mecanismo de energía alternativa y sustentable que garantice el correcto desempeño en el flujo de datos de la comunicación. Por ejemplo, en este proyecto se utilizó una batería portátil de carga solar.

Bibliografía

- Alhamedi, A. H., Snasel, V., Aldosari, H. M., & Abraham, A. (2014). Internet of things communication reference model. *2014 6th International Conference on Computational Aspects of Social Networks, CASoN 2014*, 61–66. doi:10.1109/CASoN.2014.6920423
- Alliance, L. (2020). What is LoRaWAN. Obtenido de <https://loralliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>
- Andreu, J. (2011). *Redes inalámbricas (Servicios en red)*. (Editex ed.). Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=98_TAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA209&dq=redes+inalambricas&ots=toKmeprjDO&sig=T-kjdhiSUPtbXmFbETWbuFIPbGI&redir_esc=y#v=onepage&q=redes+inalambricas&f=false
- Android Studio. (2021). Android Studio and SDK tools. *Android Studio and SDK tools*. Obtenido de <https://developer.android.com/studio>
- Angular. (2021). Angular - What is Angular? *Angular - What is Angular?* Obtenido de <https://angular.io/guide/what-is-angular>
- Anuradha, M., Oliver, A. S., Justus, J. J., & Maheswari, N. (2018). IOT based monitoring system to detect the ECG of soldiers using GPS and GPRS. *Biomedical Research (India)*, 29, 3708–3714. doi:10.4066/biomedicalresearch.29-18-1126
- Arduino. (2020). What is Arduino? | Arduino. *What is Arduino? | Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Arias, O. (2017). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para la medición del pulso cardíaco y saturación de oxígeno en la sangre. *11*, 92–105. Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8359/1/UDLA-EC-TIRT-2017-36.pdf>
- Ávila, W. D. (2013). Hacia una reflexión histórica de las TIC. *Hallazgos*, 10, 213–233. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4138/413835217013.pdf>
- Azasoo, J. Q., & Boateng, K. O. (2015). A Retrofit Design Science Methodology for Smart Metering Design in Developing Countries. *Proceedings - 15th International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA 2015*, 1–7. doi:10.1109/ICCSA.2015.23
- Ba, X., & Wang, P. (2012). Design of soldier status monitoring and command and control system based on Beidou system. *Proceedings of 2nd International Conference on*

- Computer Science and Network Technology, ICCSNT 2012*, 1362–1366.
doi:10.1109/ICCSNT.2012.6526174
- Bajaj, R., Ranaweera, S. L., & Agrawal, D. P. (2002). GPS: location-tracking technology. *Computer*, 35, 92–94. doi:10.1109/2.993780
- Barceló, J., & Peig, E. (2015). *Redes de Computadores*. Obtenido de <https://libros.metabiblioteca.org/bitstream/001/341/9/84-9788-117-6.pdf>
- Barjjs, J., Kolfshoten, G., & Maritz, J. (2013). A sustainable and affordable support system for rural healthcare delivery. *Decision Support Systems*, 56, 223–233. doi:10.1016/j.dss.2013.06.005
- Brossard Leiva, F. (2016). Hacia un modelo de inclusión digital rural: una mirada sobre América Latina y el caso de Chile. *Nueva sociedad*, 97–107. Obtenido de https://nuso.org/media/articles/downloads/6.TC_Brossard_262.pdf
- Carmona, V., Siavil, C., Flores, R. D., Siavil, C., & Carmona, V. (2007). Implicaciones coceptuales y metodologías en la aplicación de la entrevista en profundidad. *Laurus, Revista de Educación*, 13, 249–262. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/761/76102313.pdf>
- Castro, M. (2019). Papel de enfermería en los equipos de rescate medicalizado del medio hostil. 3. Obtenido de https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE004886.pdf
- Cataldo, A. (2015). Design Science Research (DSR): Una breve introducción. *// Workshop RedSTI*, 56. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/283018388_Design_science_research_Una_breve_introduccion
- Chou, J.-S., & Cheng, M. Y. (2013). Emergency shelter capacity estimation by earthquake damage analysis. *Nat Hazards*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-012-0461-5>
- Cockerham, W. C. (2005). Health lifestyle theory and the convergence of agency and structure. *Journal of Health and Social Behavior*, 46, 51–67. doi:10.1177/002214650504600105
- Díez, C., & Escalona, A. (2005). Retos y problemas de la accesibilidad a servicios en zonas despobladas: un caso en la provincia de Teruel (España). *Scripta Nova. Revista Electronica de Geografía y Ciencias Sociales*, 9, 188. doi:10.1344/sn2005.9.899
- EMQX. (2021). EMQ X Broker | EMQ Docs. *EMQ X Broker | EMQ Docs*. Obtenido de <https://docs.emqx.io/en/broker/v4.3/>

- Fossil. (2020). Wearables: Android & iPhone Compatible Smartwatches - Fossil. *Wearables: Android & iPhone Compatible Smartwatches - Fossil*. Obtenido de <https://www.fossil.com/en-us/smartwatches/>
- Gómez, A. (2007). *Trastornos de la temperatura corporal*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5324531>
- Gondalia, A., Dixit, D., Parashar, S., Raghava, V., Sengupta, A., & Sarobin, V. R. (2018). IoT-based Healthcare Monitoring System for War Soldiers using Machine Learning. *Procedia Computer Science*, 133, 1005–1013. doi:10.1016/j.procs.2018.07.075
- González, D., Alvarado, C., & Marín, C. (2017). Diseño y Validación de una Encuesta para la Caracterización de Unidades de Producción Caprina. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 58(2), 68-74.
- Granero, A., Baena, A., & Martínez, M. (2010). Contenidos desarrollados mediante las actividades en el medio natural de las clases de Educación Física en Educación Secundaria Obligatoria. *Agora para la educación física y el deporte*, 12, 273–288. Obtenido de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3354737&info=resumen&idioma=ENG>
- Heltec. (2020). LoRa Gateway Module – Heltec Automation. *LoRa Gateway Module – Heltec Automation*. Obtenido de <https://heltec.org/project/lora-gateway-module/>
- Hemmer, H. (2009). Impact of Text Messaging on Communication. *Journal of Undergraduate Research*, 9. Obtenido de <http://cornerstone.lib.mnsu.edu/jur%0Ahttp://cornerstone.lib.mnsu.edu/jur/vol9/iss1/5>
- Hernández, S. (2020). Estudio en detalles de LoraWan y comparacion con otras tecnologias LPWAN considerando diferentes patrones de trafico. *2020*, 1–89. Obtenido de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>
- Hota, G., Sharma, S., Rathore, A., Joshi, S., & Shah, H. (2019). An Integrated Visual Signalling, Localisation Health Monitoring System for Soldier Assistance. *Proceedings of 2019 3rd IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies, ICECCT 2019*, 1–6. doi:10.1109/ICECCT.2019.8869357
- IFRC. (2000). Disaster Preparedness Training Programme. *International immunology*, 26, 380. Obtenido de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25070533>
- Iglesias, D., VILLARRUBIA GONZÁLEZ, G., LÓPEZ BARRIUSO, A., LOZANO MURCIEGO, Á., & REVUELTA HERRERO, J. (2016). Monitoring and analysis of vital signs of a patient

- through a multi-agent application system. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 4, 19. doi:10.14201/adcaij2015431930
- ITU-D. (2021). ITU-D Study Groups Broadband development and connectivity solutions for rural and remote areas ITU-D Study Groups. 1–5.
- Joskowicz, J. (2008). Reglas y prácticas en eXtreme Programming. *Universidad de Vigo. España*, 1–22. Obtenido de <http://ie.fing.edu.uy/~josej/docs/XP - Jose Joskowicz.pdf>
- Letelier, P., & Penadés, C. (2017). Metodologías ágiles para el desarrollo de software: eXtreme Programming (XP). *Metodologías ágiles para el desarrollo de software: eXtreme Programming (XP)*.
- Lim, H. B., Ma, D., Wang, B., Kalbarczyk, Z., Iyer, R. K., & Watkin, K. L. (2010). A soldier health monitoring system for military applications. *2010 International Conference on Body Sensor Networks, BSN 2010*, 246–249. doi:10.1109/BSN.2010.58
- Lovell, E. (2015). Briefing | Target 4.
- Manrique, A., Buitrago, L., & Hernández, J. (2019). Redes LoRaWAN. Revision de componentes funcionales en aplicaciones IoT. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 32.
- Martínez, J. (2002). Redes de Comunicaciones . 289. Obtenido de http://books.google.com/books?id=Kyy_JSoUUJ8C&pgis=1
- Martínez, R., Martínez, F., Alba, E., Lorza, R., & Espinoza, V. (2009). *Redes inalámbricas de sensores : teoría y aplicación práctica Roberto Fernández Martínez , Joaquín Ordieres Meré ,*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Javier-Ascacibar/publication/260265697_Redex_Inalambricas_de_sensores_teoría_y_aplicación_práctica/links/00b7d5386f80425dd4000000/Redes-Inalambricas-de-sensores-teoría-y-aplicación-práctica.pdf
- Mercuri, M., Lorato, I. R., Liu, Y. H., Wieringa, F., Hoof, C. V., & Torfs, T. (2019). Vital-sign monitoring and spatial tracking of multiple people using a contactless radar-based sensor. *Nature Electronics*, 2, 252–262. doi:10.1038/s41928-019-0258-6
- Mok, W. Q., Wang, W., & Liaw, S. Y. (2015). Vital signs monitoring to detect patient deterioration: An integrative literature review. *International Journal of Nursing Practice*, 21, 91–98. doi:10.1111/ijn.12329
- MQTT. (2021). FAQ. FAQ. Obtenido de <https://mqtt.org/faq/>
- MySQL. (2021). MySQL Database. *MySQL Database*. Obtenido de <https://www.mysql.com/>

- Nagasawa, H., Fujii, Y., Kageyama, Y., Segawa, T., & Ben-Amotz, A. (1991). Suppression by beta-carotene-rich algae *Dunaliella bardawil* of the progression, but not the development, of spontaneous mammary tumours in SHN virgin mice. *Anticancer Research*, 11, 713–717.
- Naik, N. (2018). LPWAN Technologies for iot systems: choice between ultra narrow band and spread spectrum. *4th IEEE International Symposium on Systems Engineering, ISSE 2018 - Proceedings*. doi:10.1109/SysEng.2018.8544414
- Nakamura, K. (2011). Central circuitries for body temperature regulation and fever. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 301. doi:10.1152/ajpregu.00109.2011
- Node JS. (2021). Node.js. *Node.js*. Obtenido de <https://nodejs.org/es/>
- Okeleke, K., & Stryjak, J. (2015). Cerrar la brecha de cobertura: Inclusión Digital en América Latina. *GSMA Intelligence*, 42. Obtenido de www.gsmaintelligence.com
- OpenJS. (2021). OpenJS Foundation. *OpenJS Foundation*. Obtenido de <https://openjsf.org/>
- Patil, N., & Iyer, B. (2017). Health monitoring and tracking system for soldiers using Internet of Things(IoT). *Proceeding - IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation, ICCCA 2017, 2017-January*, 1347–1352. doi:10.1109/CCAA.2017.8230007
- Picón-Jaimes, Y. A., Orozco-Chinome, J. E., Molina-Franky, J., & Franky-Rojas, M. P. (2020). Control central de la temperatura corporal y sus alteraciones: fiebre, hipertermia e hipotermia. *MedUNAB*, 23, 118–130. doi:10.29375/01237047.3714
- Rivera, Y. E. (2016). *Applied Computer Sciences in Engineering*. 657, 345–356. doi:10.1007/978-3-319-50880-1
- Rodríguez, G., Gil, J., & García, E. (1996). Tradición y enfoques en la investigación cualitativa. *Metología de la investigación cualitativa*, 23–36. Obtenido de <http://www.albertomayol.cl/wp-content/uploads/2014/03/Rodriguez-Gil-y-Garcia-Metodologia-Investigacion-Cualitativa-Caps-1-y-2.pdf>
- Rodríguez, M. J., & Koester, R. (2018). MANUAL DE BÚSQUEDA Y SALVAMENTO TERRESTRE - Volumen I Búsqueda en entorno rural. 1. Obtenido de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupalajda/Manual_busqueda_y_salvamento_terrestre.pdf
- Serafín, Á., & Torres, V. (2008). *Redes de investigación y universidad pública*.

- Srivastava, K. (2010). Disaster: Challenges and perspectives. *Industry Psychiatry*, 1–4. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3105552/>
- Suryawanshi, S. R., & Deshpande, U. L. (2018). Review of risk management for landslide forecasting, monitoring and prediction using wireless sensors network. *Proceedings of 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems, ICII ECS 2017, 2018-Janua*, 1–6. doi:10.1109/ICII ECS.2017.8276113
- Teitelbaum, L., Ginsburg, M. L., & Hopkins, R. W. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. *Cmaj*, 144, 169–173. Obtenido de https://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf
- Thakur, A., & Hota, C. (2013). Sustainable wireless internet connectivity for rural areas. *Proceedings of the 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2013*, 1335–1340. doi:10.1109/ICACCI.2013.6637371
- Townsend, A. M., & Moss, M. L. (2005). Telecommunications Infrastructure in Disasters: Preparing Cities for Crisis Communications. 45. doi:10.1016/j.tele.2012.11.001
- Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT). (2017). *Telecomunicaciones/ TIC para las zonas rurales y distantes*. Obtenido de https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG01.05-2017-PDF-S.pdf
- Varela, C., & Domínguez, L. (2002). Redes Inalámbricas Tecnologías de las Redes Inalámbricas. *Uni. Valladolid (Escuela Técnica Superior de ING. Informática.)*, 1, 18.