

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Despliegue de una red de acceso para la intercomunicación de drones en
situaciones de emergencia

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telecomunicaciones

Presentado por:

Isaías Francesco Gómez Suárez

Cristopher Alexander Terán Otero

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Francisco Gómez Tavares y Cecibell Suárez Toala, cuyo apoyo incondicional y enseñanzas han sido la fuerza que me impulsó a convertirme en una mejor persona y profesional. Agradezco a mi tía Letis Suárez y a mi mamita Vicenta Toala Marcillo, quienes desde la distancia siempre brindaron su apoyo inquebrantable. También, quiero honrar la memoria de mi papi Claudio Suárez, quien me dejó muchas enseñanzas. A mis hermanos Miguel, Anier y Caleb, quienes fueron mi constante inspiración y me motivaron a seguir adelante. Agradezco a mi novia Allison Icaza, cuya llegada fue en el momento indicado, llenando mi vida de amor y apoyo. Quiero reconocer a mi compañero de tesis, un colega con grandes valores y responsabilidad, cuya colaboración fue fundamental en este proyecto académico. Finalmente, mi agradecimiento más profundo a Dios; sin Su guía y ayuda, nada de esto hubiera sido posible. Su amor y misericordia han sido mi constante fuente de fortaleza.

ISAÍAS GÓMEZ SUÁREZ.

A mis padres, Kleber Terán Mosquera y Sonnya Otero Tobar, quienes han sido mis pilares inquebrantables en esta vida, les dedico con gratitud y amor este trabajo, en reconocimiento a su infinito amor y comprensión incondicional, a la inspiración constante que me han brindado a lo largo de los años y su dedicación constante por ayudarme a convertirme en la persona de principio y valores que soy ahora. Asimismo, dedico este trabajo a mi hermana Karellyss Teran, quien ha sido una fuente inagotable de inspiración. Su firme convicción en la importancia de no rendirse ha sido un faro que ilumina mi camino, recordándome constantemente la fuerza que reside dentro de mí. Siendo igual de importantes mis abuelos Hugo Castro Cortez y Paquita Tobar Ochoa, quienes han sido como un farol de esperanza en mis días más tormentosos, ayudándome a crecer como ser humano, buscando siempre ver lo mejor de cada situación, aprendiendo de los errores y compartir valiosos consejos que siempre están llenos de sabiduría para sobrellevar cada problema que se deba afrontar en el camino.

CRISTOPHER TERÁN OTERO

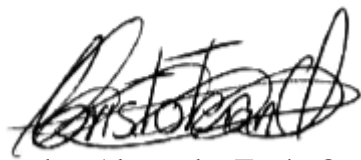
Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestra alma mater, una institución que ha sido el pilar de nuestra formación académica. Agradecemos profundamente a todos los docentes que, con su dedicación y esfuerzo, nos han proporcionado los conocimientos necesarios para crecer y nos han preparado para convertirnos en sus futuros colegas. Un agradecimiento especial a nuestra amiga, Shirley Medina, quien siempre nos ha brindado una mano de manera incondicional. Su apoyo y amistad han sido un valioso respaldo en cada etapa de este proyecto. También queremos agradecer a nuestra tutora, cuya amabilidad, sabios consejos, guía constante y carisma excepcional han sido fundamentales en cada etapa de este proyecto. Su compromiso con nuestra formación y su apoyo incondicional han dejado una marca significativa en nuestro camino académico compartido. Su dedicación ha sido un faro que nos ha iluminado en la complejidad de esta investigación, y estamos profundamente agradecidos por su invaluable contribución.

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Isaías Francesco Gómez Suárez y Cristopher Alexander Terán Otero damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”


Isaías Francesco Gómez Suárez


Cristopher Alexander Terán Otero

Evaluadores

Verónica Alexandra Soto Vera, Mgtr.

Profesor de Materia

Patricia Ximena Chávez Burbano, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto se centra en implementar una red de comunicación aérea basada en la tecnología FANET (Red de Vuelo Ad hoc) para situaciones de emergencia. En la introducción, se establecen objetivos actuales, hipótesis y justificación, destacando la movilidad tridimensional de los UAVs (Vehículos Aéreos No Tripulados) como clave en entornos dinámicos. El desarrollo del proyecto, con materiales y técnicas, destaca la elección estratégica de HTML (Lenguaje Marcado de Hipertexto) y JavaScript para la interfaz y la integración entre Python y Java para la ejecución eficiente de comandos en el sistema FANET.

Los resultados, obtenidos mediante pruebas simuladas, revelan una conectividad efectiva en situaciones de emergencia, destacando la capacidad de envío de mensajes de manera bilateral y la simulación de conexiones en distintas distancias para denotar su rango de cobertura. Las conclusiones actuales resaltan la eficacia de FANET en movilidad tridimensional, a pesar de limitaciones en la duración de la batería. Se recomienda investigar baterías eficientes, realizar pruebas en entornos reales y colaborar interdisciplinariamente para abordar desafíos identificados.

Palabras Clave: FANET, Comunicación Aérea, Red de Emergencia, Red de acceso.

Abstract

This project focuses on implementing an aerial communication network based on FANET (Flying Ad Hoc Network) technology for emergency situations. The introduction establishes current objectives, hypotheses, and justification, emphasizing the three-dimensional mobility of UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) as crucial in dynamic environments. The project's development, including materials and techniques, highlights the strategic choice of HTML (Hypertext Markup Language) and JavaScript for the interface and the integration between Python and Java for the efficient execution of commands in the FANET system.

The results, obtained through simulated tests, reveal effective connectivity in emergency situations, emphasizing the ability to send messages bilaterally and simulating connections at different distances to denote its coverage range. Concluding remarks highlight the efficacy of FANET in three-dimensional mobility, despite limitations in battery duration. Recommendations include researching efficient batteries, conducting tests in real environments, and collaborating interdisciplinary to address identified challenges.

Keywords: FANET; Aerial Communication; Emergency Network; Access Network.

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas	V
Simbología	VI
Índice de Figuras	VII
Índice de Tablas	VIII
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación del problema	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Marco teórico	4
1.5.1 Redes Ad-Hoc	4
1.5.2 Tipos de redes Ad-Hoc	5
1.5.3 Raspberry Pi como servidor en redes Ad-Hoc.....	6
1.5.4 Redes FANET y aplicaciones en desastres	7
Capítulo 2.....	8
2. Metodología	9
2.1 Investigación del estado actual del sistema de drones.....	10
2.2 Selección de tecnología.....	12
2.3 Selección de protocolo.....	13
2.4 Algoritmos de gestión de red	14

2.5	Diseño e implementación	14
2.6	Simulaciones	15
2.7	Enfoque multidisciplinario	17
Capítulo 3	.....	19
3. Resultados y análisis	.....	20
3.1	Implementación del sistema de comunicación de la red de acceso	20
3.2	Resultados de conectividad de la red.....	23
3.3	Resultados adicionales	28
3.4	Compilación de resultados.....	29
Capítulo 4	.....	31
4. Conclusiones y recomendaciones	.....	32
4.1	Conclusiones	32
4.2	Recomendaciones.....	33
4.3	Trabajo futuro.....	33
Referencias	.....	34
Apéndice	.....	36

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FANET	Red de Vuelo Ad-Hoc
HTML	Lenguaje Marcado de Hipertexto
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto
iMANET	Red Ad-Hoc Móvil Basadas en Internet
LAN	Red de Área Local
LoS	Línea de Vista
MANET	Red Móvil Ad-Hoc
NLoS	Sin Línea de Vista
P2P	Punto a Punto
ReDADEC	Red Alternativa de Comunicación mediante Drones
SPAN	Red Ad-Hoc de Teléfonos Inteligentes
SSID	Identificador de Conjunto de Servicio
UAV	Vehículos Aéreos No Tripulados
VANET	Red Vehicular Ad-Hoc
WPA	Acceso Wifi Protegido
WANET	Red Inalámbrica Ad-Hoc
Wi-Fi	Fidelidad Inalámbrica

Simbología

A Amperio

DC Corriente Directa

g Gramo

GHz Giga hertzio

m Metro

mA Miliamperio

mg Miligramo

V Voltios

μ A Microamperio

Índice de Figuras

Figura 1: Diagrama de bloque	10
Figura 2: Diagrama de flujo	16
Figura 3: Inicialización de la red de Drones	21
Figura 4: Envío correcto de mensajes	22
Figura 5: Fallo de envío de mensajes.....	23
Figura 6: Dispositivo móvil conectado a la red	24
Figura 7: Página principal de la red de drones	25
Figura 8: Promedio de latencia con línea de vista (LoS).....	26
Figura 9: Promedio de latencia sin línea de vista (NLoS)	27
Figura 10: Interfaz de usuario.....	29

Índice de Tablas

Tabla 1: Parámetros de hardware Raspberry Pi Pico W	11
Tabla 2: Parámetros de consumo energético Raspberry Pi Pico W	11
Tabla 3: Latencias promedio en distancias de conexión con LoS y NLoS	27
Tabla 4: Latencias en distancias de conexión de 5 metros con LoS y NLoS.....	37
Tabla 5: Latencias en distancias de conexión de 10 metros con LoS y NLoS.....	38
Tabla 6: Latencias en distancias de conexión de 15 metros con LoS y NLoS.....	39
Tabla 7: Latencias en distancias de conexión de 20 metros con LoS y NLoS.....	40
Tabla 8: Latencias en distancias de conexión de 25 metros con LoS.....	41

Capítulo 1

1.1 Introducción

En el panorama contemporáneo, las situaciones de emergencia y catástrofes requieren respuestas ágiles para asegurar la integridad de las comunidades afectadas. La vulnerabilidad evidente de las infraestructuras de comunicación convencionales en estos escenarios críticos ha instigado la búsqueda de soluciones innovadoras que garanticen la continuidad de las comunicaciones. Este proyecto se centra en la implementación de una red de acceso para la comunicación entre drones y dispositivos móviles en escenarios de crisis.

El proyecto previo aborda la problemática de la comunicación en situaciones de catástrofe, proponiendo una solución innovadora denominada ReDADEC (Red Alternativa de Comunicación mediante Drones). Desarrollado a través de un riguroso proceso de pruebas y correcciones, este módulo ha demostrado su capacidad para establecer comunicaciones confiables en emergencias, destacándose en el ámbito de las telecomunicaciones de emergencia. La implementación de ReDADEC promete mejorar significativamente la seguridad y el bienestar de la población durante eventos devastadores, resaltando su importancia e impacto positivo en este campo [7].

Al expandir el Proyecto ReDADEC, se propone abordar dos objetivos principales: la selección de terminales móviles, protocolos y codificación para la comunicación con la red de drones de emergencia, y el diseño e implementación de una red de acceso que facilite la intercomunicación entre dispositivos móviles y drones de emergencia. Esta red no solo amplía la capacidad de intercomunicación entre dispositivos móviles y drones de emergencia, sino que constituye una respuesta innovadora y robusta ante la complejidad de escenarios críticos.

En el marco de la interdependencia tecnológica y la urgencia de soluciones resilientes, este proyecto no solo representa un avance en la capacidad de respuesta en emergencias, sino que también refleja la convergencia de la tecnología y la acción humanitaria.

1.2 Descripción del problema

Las catástrofes naturales y eventos catastróficos de origen humano conllevan a la interrupción de las redes tradicionales de comunicación, limitando la capacidad de respuesta de los organismos de socorro y dificultando la coordinación eficaz de los esfuerzos de rescate. Esta problemática se agrava por la necesidad de mantener comunicaciones activas para la búsqueda de supervivientes y la coordinación de las operaciones de emergencia. La vulnerabilidad de las infraestructuras de comunicación existentes ante eventos extremos exige una respuesta innovadora, siendo esta la motivación principal que sustenta la propuesta del despliegue de una red de acceso a través de drones.

1.3 Justificación del problema

La implementación de una red de acceso mediante drones se erige como una solución prometedora, ya que los drones ofrecen movilidad, rapidez y capacidad de despliegue inmediato. La experiencia previa del Proyecto ReDADEC, donde se ha logrado implementar la red de comunicación entre drones, sienta las bases para la expansión de esta infraestructura, permitiendo la comunicación directa con dispositivos terminales en el área afectada.

Adicionalmente, la creciente incidencia de desastres naturales ha subrayado la necesidad crítica de implementar planes de emergencia para mitigar sus efectos y proporcionar respuestas rápidas. La reactivación de los servicios de telecomunicaciones se destaca como fundamental en estas circunstancias, ya que su colapso deja a las áreas afectadas incomunicadas, generando incertidumbre y obstaculizando las labores de rescate. Un ejemplo elocuente es el terremoto en la provincia de Manabí, Ecuador, en abril de 2016, donde la caída de infraestructuras, incluyendo las de telecomunicaciones, generó aislamiento en la zona del desastre. La movilización y restauración de redes convencionales se convierten en tareas titánicas, impulsando la necesidad de implementar redes inalámbricas temporales, especialmente utilizando drones [5].

Asimismo, la vulnerabilidad de los sistemas de comunicación para servicios de emergencia, finanzas y salud requiere un análisis detenido. La interrupción durante desastres es común, aunque los sistemas suelen superar estas carencias en operación cotidiana mediante redundancias y técnicas de confiabilidad. Sin embargo, esta vulnerabilidad destaca la importancia de evaluar y mejorar sistemas de comunicación durante situaciones de emergencia, subrayando la pertinencia y urgencia del enfoque innovador propuesto por el Proyecto ReDADEC [5].

1.4 Objetivos

En este apartado, se detallan los objetivos del proyecto, abordando tanto el objetivo general como los específicos que guiarán el desarrollo de la red de acceso.

1.4.1 Objetivo general

Crear una red de acceso que permita la comunicación entre dispositivos móviles y los drones de acceso.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Seleccionar los terminales móviles, protocolos y codificación adecuada para la comunicación con la red de drones de emergencia.
2. Integrar la comunicación entre las redes utilizando tecnologías que se ajusten a las necesidades del sistema.

1.5 Marco teórico

En esta sección, se explorará la información relacionada con las redes Ad-Hoc y sus aplicaciones específicas en diversos contextos.

1.5.1 Redes Ad-Hoc

En el ámbito de las comunicaciones inalámbricas, se encuentra la red Ad-Hoc, también conocida como WANET. Este tipo de red local (LAN) se forma de manera instantánea, permitiendo la interconexión de dos o más dispositivos sin depender de un dispositivo central,

como un router o un punto de acceso. En el modo Ad-Hoc de las redes Wi-Fi, cada dispositivo participante actúa como un nodo que reenvía datos a otros nodos, estableciendo así una comunicación sin necesidad de una infraestructura centralizada [8].

Los dispositivos tienen acceso directo a los recursos de otros mediante una conexión inalámbrica básica punto a punto, esto elimina la necesidad de servidores centrales. En una red inalámbrica Ad-Hoc, un conjunto de terminales asume responsabilidades en las operaciones de la red [8].

Los dispositivos necesitan contar con un adaptador de red inalámbrico capaz de permitir una red residente. Al configurarse como una red inalámbrica, cada adaptador está obligado a ser ajustado al modo Ad-Hoc en lugar de optar por el modo de infraestructura. Es crucial que todos los adaptadores inalámbricos compartan tanto el Identificador de Conjunto de Servicio (SSID) como el número de canal, asegurando así una conexión fluida y eficiente entre ellos. [8].

En vez de depender de un dispositivo de gestión central, como un enrutador, donde los datos de la red fluyen constantemente de ida y vuelta antes de llegar a los dispositivos secundarios, en una red Ad-Hoc, cada nodo redistribuye datos de manera uniforme en toda la estructura [3].

1.5.2 Tipos de redes Ad-Hoc

La diversidad en las redes inalámbricas Ad-Hoc se manifiesta a través de sus distintas aplicaciones.

La red móvil Ad-Hoc (MANET) se caracteriza por la comunicación directa entre dispositivos móviles, organizándose y configurándose de manera autónoma, a veces denominada "red sobre la marcha" o "red espontánea" [8].

Las redes Ad-Hoc móviles basadas en Internet (iMANET) emplean protocolos como TCP/IP y UDP, utilizando un protocolo de enrutamiento de capa de red para establecer rutas de manera automática [8].

En el ámbito de la conectividad inteligente, las redes Ad-Hoc de Teléfonos Inteligentes (SPAN) destacan al utilizar equipo existente, como Bluetooth y Wi-Fi, junto con programas en teléfonos inteligentes, formando redes punto a punto (P2P) independientes de infraestructuras tradicionales [8].

La red Ad-Hoc Vehicular (VANET), centrada en la comunicación entre dispositivos en automóviles, encuentra aplicación en la intercomunicación entre todo tipo de automóviles y dispositivos de carretera. Las redes de malla inalámbricas, configuradas en una topología de malla, incorporan clientes, routers y puertas de enlace, proporcionando múltiples rutas para la transmisión de información y fortaleciendo la resistencia de la red ante posibles fallos [8].

1.5.3 Raspberry Pi como servidor en redes Ad-Hoc

Las ventajas derivadas de la implementación de la Raspberry Pi como hub de conectividad, con usuarios móviles, comprende diversos aspectos:

- Portabilidad del sistema [2].
- Compatibilidad con dispositivos móviles [2].
- Aplicabilidad en entornos desprovistos de conectividad a internet [2].

Al explorar la funcionalidad de la Raspberry Pi como servidor de contenidos se presenta como una propuesta interesante, esto facilita la disponibilidad para numerosos dispositivos con capacidad wifi, como teléfonos celulares, notebooks, tabletas, entre otros. Su capacidad para ofrecer soluciones asequibles elimina la necesidad de hardware adicional para establecer la infraestructura de red y prescindiendo de una computadora dedicada como servidor. Su idoneidad para entornos carentes de conectividad, abarcando áreas rurales, y en la facilidad de acceso y aprovechamiento de recursos de manera eficiente [2].

1.5.4 Redes FANET y aplicaciones en desastres

Las redes de vuelo Ad-Hoc (FANET) emergen como soluciones dinámicas para establecer comunicaciones temporales en zonas de desastre. Utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAVs), estas redes FANET conectan múltiples UAVs en un entorno altamente dinámico. El diseño de estas redes debe considerar adaptabilidad, escalabilidad, latencia y limitaciones de plataformas UAV, siendo los drones una opción eficaz para su implementación [4].

Capítulo 2

2. Metodología

Este capítulo ha abordado la formulación de alternativas de solución, la selección de la opción más adecuada, así como el diseño conceptual y la metodología de diseño aplicada para la implementación de la red de acceso mediante drones destinada a comunicaciones de emergencia, tal como se puede apreciar en la figura 1 que muestra el diagrama de bloque con la estructura planificada para este capítulo.

En la realización de este proyecto, se optó por la utilización de HTML (Lenguaje Marcado de Hipertexto) como lenguaje de marcado para la creación de una página web. La implementación de JavaScript complementó este enfoque, permitiendo la ejecución de comandos en HTML. La integración de HTML y JavaScript se diseñó con el objetivo claro de armonizar la programación en Python con los scripts de Java, buscando así la ejecución sin contratiempos de los comandos en el sistema FANET.

En este contexto, la página web creada con HTML no solo actúa como un interfaz accesible para los usuarios finales, sino que también desempeña un papel esencial en la interconexión entre los módulos de drones y el sistema de acceso. La capacidad de ejecutar comandos a través de JavaScript permitió una comunicación fluida entre los diferentes elementos del sistema, contribuyendo así a la funcionalidad integral de la red de acceso.

Esta estrategia de integración tecnológica, centrada en la interoperabilidad entre Python y Java, se seleccionó en la fase de diseño conceptual. Se consideró que esta aproximación no solo facilitaría la cooperación efectiva entre los diferentes componentes del proyecto, sino que también garantizaría una ejecución coordinada de los comandos en el contexto del sistema FANET.

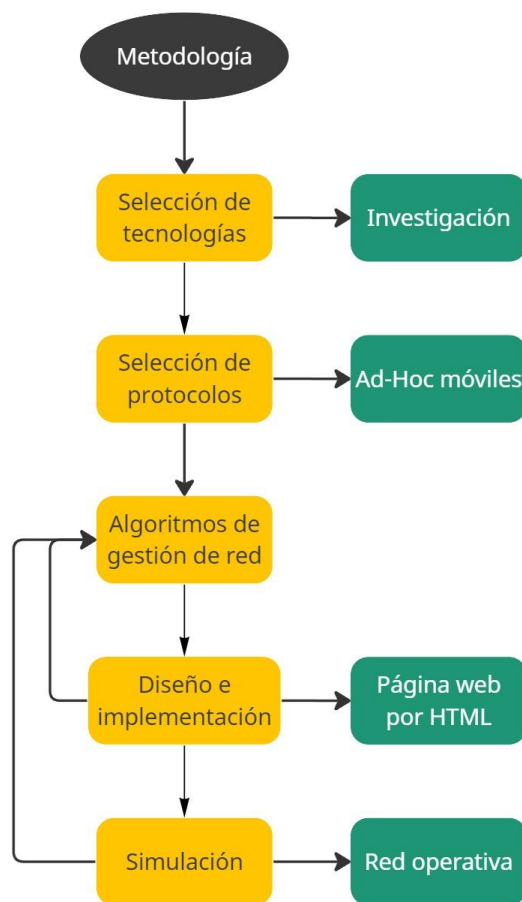


Figura 1: Diagrama de bloque

2.1 Investigación del estado actual del sistema de drones

El sistema previo de drones que forma del proyecto multidisciplinario se encontraba en un estado operativo, compuesto por un módulo principal y dos módulos secundarios que facilitan la comunicación entre ellos. Este proyecto da continuidad a esa iniciativa, focalizándose en el diseño e implementación del módulo de comunicación para establecer una red de drones destinada a situaciones de emergencias y catástrofes.

Se detallan las especificaciones técnicas del producto final en la tabla 1 y tabla 2, destacando los parámetros físicos y de hardware de la Raspberry Pi Pico W, la plataforma central para el desarrollo del módulo de comunicación.

Tabla 1: Parámetros de hardware Raspberry Pi Pico W

Parámetro	Valor
Dimensiones	21 mm × 51 mm
Chip de microcontrolador	RP2040
Procesador	Arm Cortex-M0+ de doble núcleo
Reloj	133 MHz
SRAM	264 kB
Memoria flash	2MB (QSPI a bordo)
Pines	26 GPIO
Entradas analógicas	3

Tabla 2: Parámetros de consumo energético Raspberry Pi Pico W

Parámetro	Mínimo	Máximo
Voltaje de entrada	1.8 V DC	5.5 V DC
Temperatura de funcionamiento	-20°C	70°C
Consumo en modo reposo		0.01 mA
Consumo en transmisión Wi-Fi	32 mA	80 mA
Consumo en recepción Wi-Fi	32 mA	80 mA

Estos parámetros proporcionan una visión integral del hardware utilizado, permitiendo evaluar su rendimiento en diversos escenarios y condiciones operativas. La elección de la Raspberry Pi Pico W se fundamenta en su capacidad para cumplir con los requisitos específicos del módulo de comunicación y garantizar una integración en el sistema de drones existente [7].

2.2 Selección de tecnología

Inicialmente, se llevó a cabo una investigación de las tecnologías disponibles, tomando en consideración los requisitos establecidos en el Capítulo 1. Se evaluaron aspectos como la capacidad de movilidad, la eficiencia energética y la interoperabilidad.

Justificación de la selección:

Movilidad: La capacidad de movilidad es esencial, especialmente en situaciones de emergencia. La selección de tecnología Ad-Hoc se basó en la evaluación de cómo las opciones disponibles cumplían con los criterios de movilidad requeridos para el despliegue de drones en entornos dinámicos y cambiantes, es decir, en contraste con las redes móviles MANET que se organizan automáticamente entre dispositivos móviles, las redes VANET se centran en la comunicación entre vehículos, FANET utiliza drones no tripulados para establecer comunicaciones aéreas temporales. Esto resulta crucial en situaciones donde la infraestructura terrestre puede estar comprometida, permitiendo una cobertura amplia y rápida de áreas afectadas.

Interoperabilidad: La interoperabilidad es crucial en entornos dinámicos. La tecnología Ad-Hoc fue evaluada en términos de su capacidad para integrarse con otras tecnologías y sistemas, asegurando una comunicación, colaboración con dispositivos y redes. FANET destaca en este aspecto al demostrar una integración sin inconvenientes con diversas tecnologías. Esta característica se aprecia en la posibilidad utilizar sensores para transmitir datos, entre otras funciones. Además de controlar UAV's, también posee la habilidad de emplear redes de telefonía celular para ampliar su alcance. Esta capacidad ha mejorado significativamente la coordinación y eficacia en las operaciones de rescate conjuntas.

Por otro lado, la tecnología Ad-Hoc puede interoperar en sistemas de comunicación tales como sensores ambientales, de infraestructura y biométricos.

También se integra sin problemas en sistemas de comunicación de dispositivos móviles como smartphones, tablets y drones, así como en otros sistemas destinados al control industrial y gestión de tráfico.

Los datos recopilados durante esta fase incluyeron detalles sobre las tecnologías de comunicación inalámbrica, la capacidad de los drones y su estabilidad para operar en entornos de emergencia.

2.3 Selección de protocolo

En la selección de protocolo, se evaluaron las opciones disponibles, centrándose en las necesidades específicas del proyecto. Después de varios análisis, la elección se inclinó hacia la implementación de la Red Ad-Hoc de vuelo como el protocolo principal para la red de acceso en el proyecto.

Justificación de la selección:

Adaptabilidad a la movilidad aérea: FANET, especializada en establecer comunicaciones temporales mediante UAVs, ofrece una adaptabilidad a la movilidad tridimensional de los drones. Esto se alinea con las necesidades del proyecto, donde la conectividad fluida entre los dispositivos móviles y los drones es esencial en entornos dinámicos y de emergencia. Un ejemplo es "FANET-UAV", un proyecto desarrollado por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), utilizado para el levantamiento de información agrícola. Asimismo, Enviro-FANET, una red inalámbrica que permite el monitoreo del medio ambiente gracias a la utilización de sensores. Estos proyectos ejemplifican como una red FANET se adapta a los cambios en la topología de la red, además de demostrar que no es vulnerable a fallos de nodos ya que puede ser reemplazados por otros drones cercanos.

Escalabilidad: La capacidad de FANET para escalar según la cantidad de drones involucrados proporciona flexibilidad operativa. En situaciones de emergencia,

donde la cantidad de UAV's puede variar según la magnitud del evento, la escalabilidad de la red es fundamental para garantizar una cobertura y una comunicación continua. La cantidad de dispositivos que se pueden conectar a esta red depende de su capacidad de transmisión de datos, ancho de banda disponible y potencia de transmisión. En general este tipo de red puede conectar hasta 100 dispositivos en un área de 1 kilómetro cuadrado, pero en aplicaciones con baja tasa de transmisión de datos se puede conectar más dispositivos. Un ejemplo de esto es Proyecto Loon, una red FANET desarrollada por Google que utiliza globos aerostáticos para conectar a personas en zonas rurales. En Kenia en el año 2020, mediante la utilización de estos se dio acceso a internet en un área de 50.000 kilómetros cuadrados.

La elección de FANET como protocolo principal se fundamenta en su capacidad para proporcionar una conectividad robusta y adaptable en situaciones de emergencia, donde la movilidad y la rápida respuesta son cruciales.

2.4 Algoritmos de gestión de red

La integración de algoritmos de gestión de red diseñados para optimizar la eficiencia y confiabilidad de la red de acceso mediante drones. Una vez logrado el acceso a la red, el sistema entra en la ejecución del protocolo de comunicación entre los usuarios. Este protocolo, estructurado, garantiza una transferencia de datos y segura en el entorno dinámico de la red.

En situaciones en las que la conexión inicial no puede establecerse, se ha implementado un proceso automático de reconexión. Esta función proactiva busca restablecer la conexión de manera rápida, asegurando así una continuidad operativa incluso en escenarios adversos o en constante cambio.

2.5 Diseño e implementación

Se procedió con el diseño detallado e implementación de la red de acceso utilizando FANET como protocolo principal. Esta etapa implicó pasos que se detallan a continuación:

Diseño de la red con FANET:

Se elaboró un diseño integral de la red, considerando la topología, la disposición de los drones, y la comunicación tridimensional necesaria. Se establecieron protocolos específicos para gestionar la altitud de los drones y superar los desafíos relacionados con la movilidad aérea.

Configuración de parámetros:

Se definieron los parámetros de configuración de la red, incluyendo la frecuencia de comunicación, la potencia de transmisión y otros aspectos críticos para optimizar el rendimiento de FANET en el contexto del proyecto.

2.6 Simulaciones

Las pruebas se llevaron a cabo mediante el uso de páginas HTML interconectadas entre ellas, lo cual permitió vincular la información de ubicación proporcionada por los drones desplegados en el escenario de emergencia. Este enfoque facilitó la localización de personas en riesgo, estableciendo una comunicación entre ellas y minimizando el consumo de recursos.

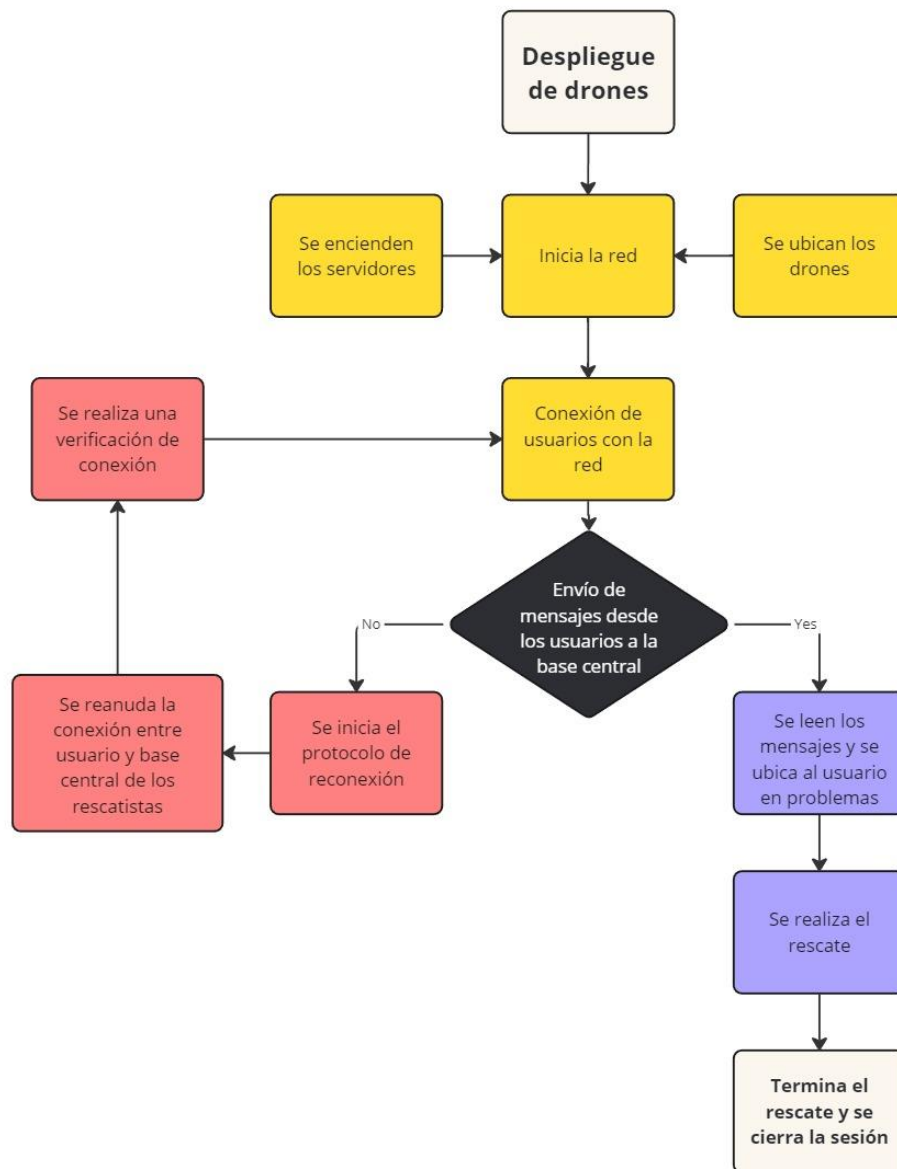


Figura 2: Diagrama de flujo

El diagrama de flujo presentado en la figura 2 establece el funcionamiento secuencial del sistema. El sistema se inicia con el despliegue de drones, marcando el inicio de una operación coordinada. En este proceso, se activan los servidores y se designan las ubicaciones en el que los drones empezaran a operar, estableciendo así la infraestructura. Posteriormente, se inicia la red, permitiendo a los usuarios conectarse a través de los drones desplegados.

Una vez se encuentran conectados, los usuarios transmiten los datos hacia la base central a través de la red drones. En el caso de una interrupción de la conexión, se activa el protocolo de reconexión, desencadenando la reanudación de la conexión entre los usuarios y la base central. Si la reconexión es exitosa, se restablece la conexión de los usuarios con la red, permitiendo el envío de mensajes.

Al recibir los mensajes, la base central realiza la lectura y proporciona la ubicación de usuarios que puedan estar afrontando un riesgo o peligro. Esta etapa del proceso es crucial para el siguiente bloque: el proceso de rescate. Si se identifican usuarios en situaciones críticas, se inicia el rescate, llevándose a cabo gracias a la ubicación suministrada y asistencia de profesionales.

Finalmente, una vez completado el proceso de rescate se procede al cierre de sesión. Este último paso implica la finalización ordenada de la operación, dejando el sistema en espera para futuras operaciones y garantizando una conclusión adecuada de la misión.

En el capítulo 3 se abordará de manera más detallada esta sección.

2.7 Enfoque multidisciplinario

En el contexto del proyecto ReDADEC, el enfoque multidisciplinario se manifiesta de manera integral, donde diversas disciplinas convergen para lograr una solución completa. En la contribución de la Ingeniería en Telecomunicaciones, recae en el diseño y desarrollo de la red de acceso mediante drones para comunicaciones de emergencia.

Durante el desarrollo de la tesis, el equipo de Ingeniería en Telecomunicaciones asume la responsabilidad de establecer una red de acceso utilizando tecnologías avanzadas, como redes Ad-Hoc (FANET) y protocolos específicos, para facilitar la comunicación en situaciones de emergencia. Este componente permite garantizar la conectividad fluida entre dispositivos terminales y la red de emergencia de drones.

Por otro lado, el componente energético del proyecto está a cargo del equipo de Ingeniería Electrónica, quienes se encargan de desarrollar soluciones para el suministro y gestión de energía de los drones. Sus expertos contribuyen a garantizar la autonomía y eficiencia energética de la red en situaciones críticas.

La Ingeniería de Telecomunicaciones continuará su aporte en la optimización de las antenas utilizadas en la red, asegurando una transmisión de datos y una cobertura adecuada. Por último, el equipo de Ingeniería Mecánica se encarga de diseñar y construir el armazón que albergará los módulos creados en la tesis anterior.

En conjunto, estas disciplinas convergen para formar una solución integral y sólida en el proyecto ReDADEC, destacando la importancia del enfoque multidisciplinario para abordar los desafíos complejos y diversos asociados con las comunicaciones de emergencia mediante drones.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

Esta sección destaca los resultados de la implementación de la solución propuesta, esquematizando la red de comunicación a través de un enfoque basado en bloques. La implementación del sistema de comunicación de la red de acceso va desde el despliegue de drones hasta la activación y seguridad de la red.

En cuanto a la conectividad de la red, basada en la tecnología FANET, demuestra tener un rendimiento favorable en situaciones de emergencia simulada. Las pruebas de envío de mensajes comprueban la consistencia de la conectividad, el cual se encuentra detallado en la sección 3.2. Se implementó un sistema para visualizar la ubicación de los usuarios terminales, como se muestra en la figura 7, el cual busca mejorar la coordinación en operaciones de rescate.

3.1 Implementación del sistema de comunicación de la red de acceso

La implementación del sistema de comunicación de la red de acceso se rige por un diagrama de bloques que detalla las etapas para garantizar la comunicación durante situaciones de emergencia. En primer lugar, en la figura 3 se muestra cómo se inicia con el despliegue de la red de drones en la zona afectada por la emergencia, seguido por la activación de la red de comunicación mediante la tecnología FANET.

Una vez desplegados, se inicia el protocolo WPA (Acceso Wifi Protegido) para salvaguardar la integridad de la comunicación y garantizar la protección contra amenazas externas. Simultáneamente, el sistema de emergencia se pone en marcha, preparándose para gestionar y coordinar las operaciones de rescate que se llevarán a cabo.

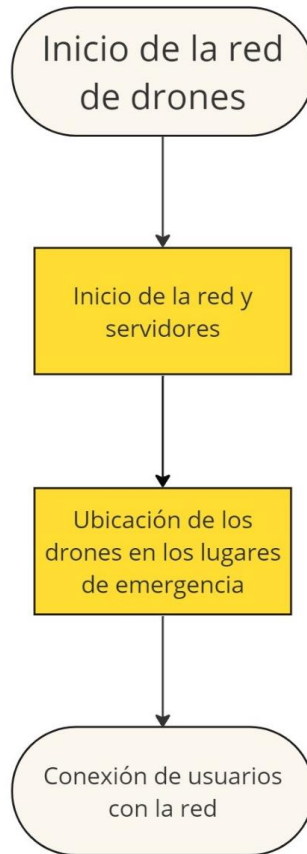


Figura 3: Inicialización de la red de Drones

En la figura 4 se muestra la verificación del acceso a la red, donde se determina si los drones tienen acceso a la red de comunicación. Si la respuesta es positiva, se establece y utiliza el canal de comunicación entre usuarios y equipos de rescate, permitiendo la recepción y procesamiento de mensajes de emergencia, lo que facilita la coordinación para las labores de rescate.

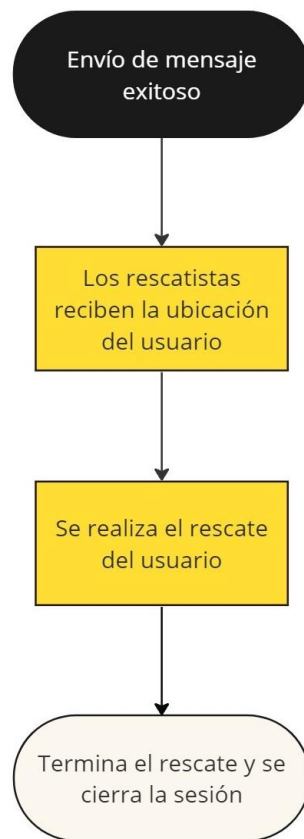


Figura 4: Envío correcto de mensajes

En casos donde la verificación revela un acceso negativo como se muestra en la figura 5, se activa automáticamente el protocolo de reconexión. Este protocolo lleva a cabo múltiples intentos de reconexión para restablecer la comunicación. Si se logra la reconexión, el sistema retoma el flujo normal de la comunicación entre usuarios y rescatistas.

Este diseño modular y secuencial del sistema de comunicación de la red de acceso se concibe para mantener una operación fluida, destacando la importancia de la seguridad y la eficacia en entornos críticos y dinámicos.

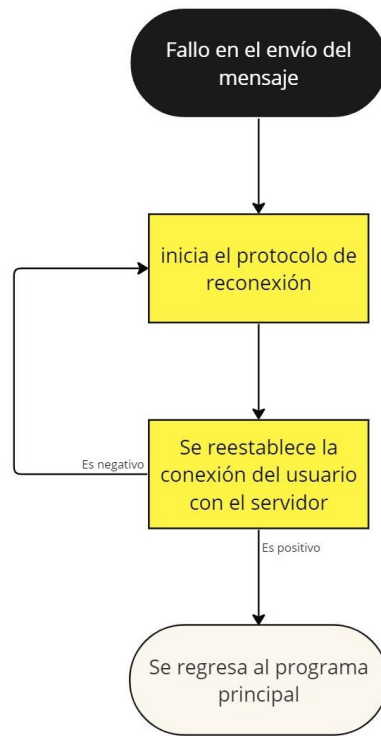


Figura 5: Fallo de envío de mensajes

3.2 Resultados de conectividad de la red

La red de acceso se sometió a pruebas de funcionamiento que se describen detalladamente a continuación:

Pruebas de envío de mensajes entre dispositivos

Durante las pruebas de conectividad, se ejecutó el envío de diversos mensajes desde los usuarios hacia los rescatistas en la interfaz principal y viceversa. Estas pruebas validaron la capacidad de enviar y recibir mensajes.

En situaciones con línea de vista, se constató que al menos en 50 mensajes transmitidos no se registraron errores de envío, lo que indica una comunicación dentro de ese rango de mensajes. Por otro lado, en escenarios sin línea de vista, se observó que al menos en 40 mensajes transmitidos, todos fueron entregados, destacando la capacidad del

sistema en condiciones desafiantes, dado el caso particular de paredes gruesas simulando condiciones reales donde espesor de los escombros puede imposibilitar comunicación.

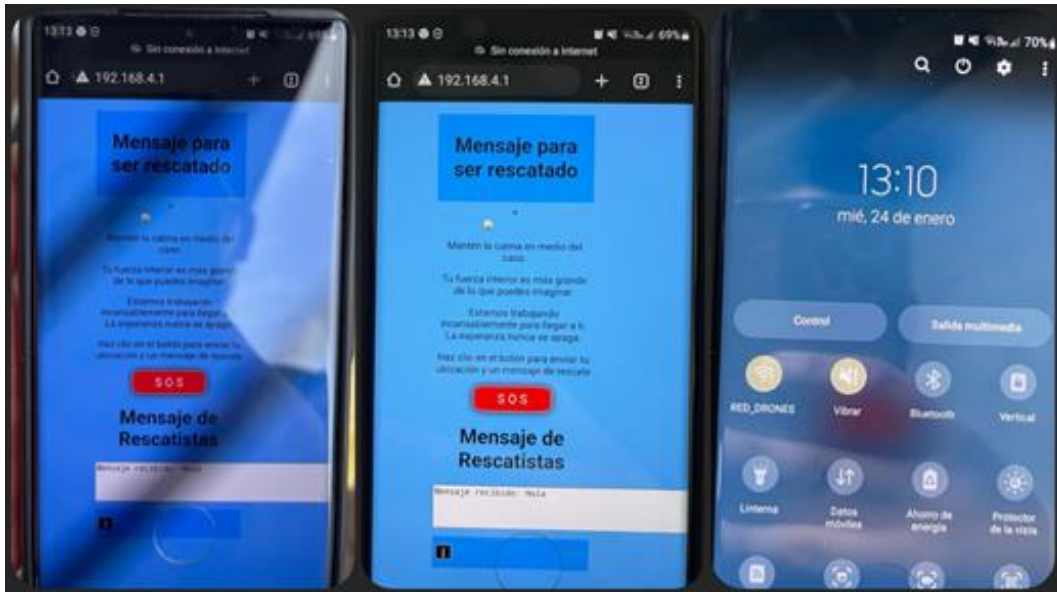


Figura 6: Dispositivo móvil conectado a la red

Dado los ejemplos que se pueden apreciar en la figura 6, tomamos como prioridad las pruebas sin línea de vista, la primer figura es con conectividad a 15 metros, la segunda figura es a 10 metros y la tercer figura nos muestra la red a la cual estamos conectados, se aprecia los distintos niveles de conexión con 5, 10 y 15 metros, viendo que a los 15 metros de distancia ya se dificulta mantener la conexión y aumenta el tiempo que demora en la recepción de mensajes en la interfaz principal de los rescatistas, sin embargo, mantiene la conexión y llegan todos los paquetes dentro del rango específico.



Figura 7: Página principal de la red de drones

En la figura 7, se presenta la interfaz principal del Sistema de Red de Drones, destacando información como la longitud y latitud del usuario, así como el contenido del mensaje enviado. En la parte inferior de la interfaz, se habilita una funcionalidad adicional que permite a los rescatistas enviar mensajes directos a los usuarios. Esta disposición facilita la localización del usuario y también establece una vía de comunicación bidireccional para coordinar y ejecutar operaciones de rescate.

Simulación de conexión en la red

En la fase de simulación de acceso a la red, se llevaron a cabo pruebas de transmisión de datos a varias distancias, iniciando desde 5 metros y extendiéndose hasta el punto en el cual la señal se perdió, superando los 25 metros en el escenario de línea de vista, según se ilustra en la figura 8. Se destaca que la transmisión se limitó a caracteres alfanuméricos y especiales durante estas pruebas.

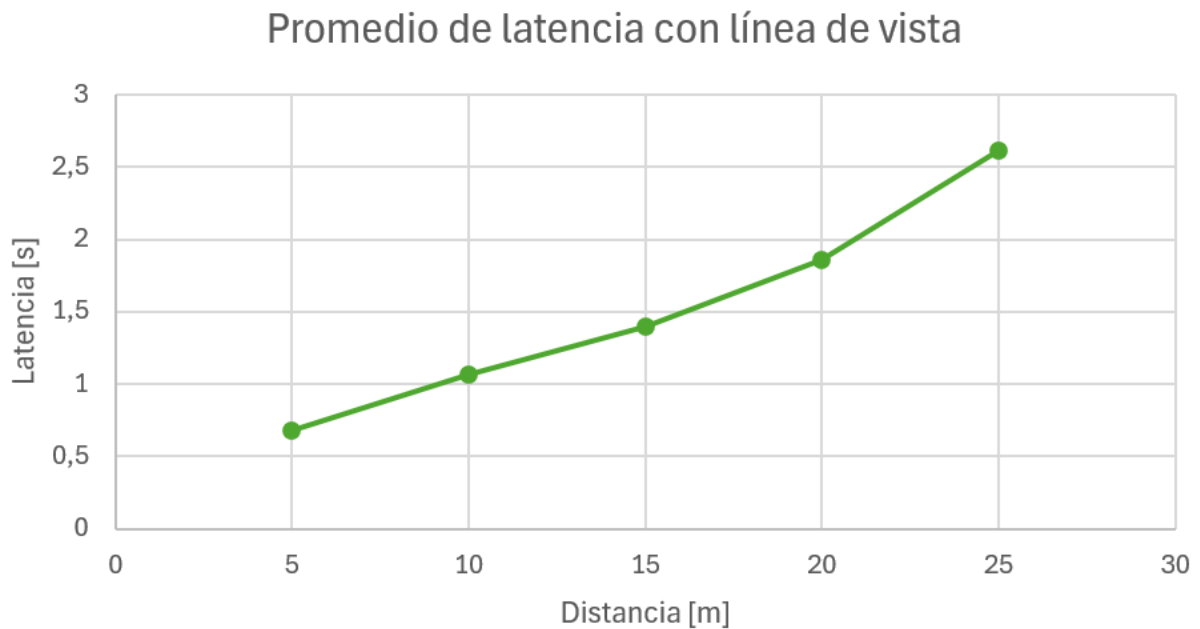


Figura 8: Promedio de latencia con línea de vista (LoS)

En entornos sin línea de vista, se observa una disminución en la cobertura, como se representa en la figura 9. En esta figura, se ilustra la latencia promedio en distancias que varían de 5 a 20 metros. En estas condiciones, se registra un incremento en los tiempos tanto de envío como de recepción de mensajes, debido a los desafíos adicionales presentes en la transmisión de datos sin una línea de vista directa.

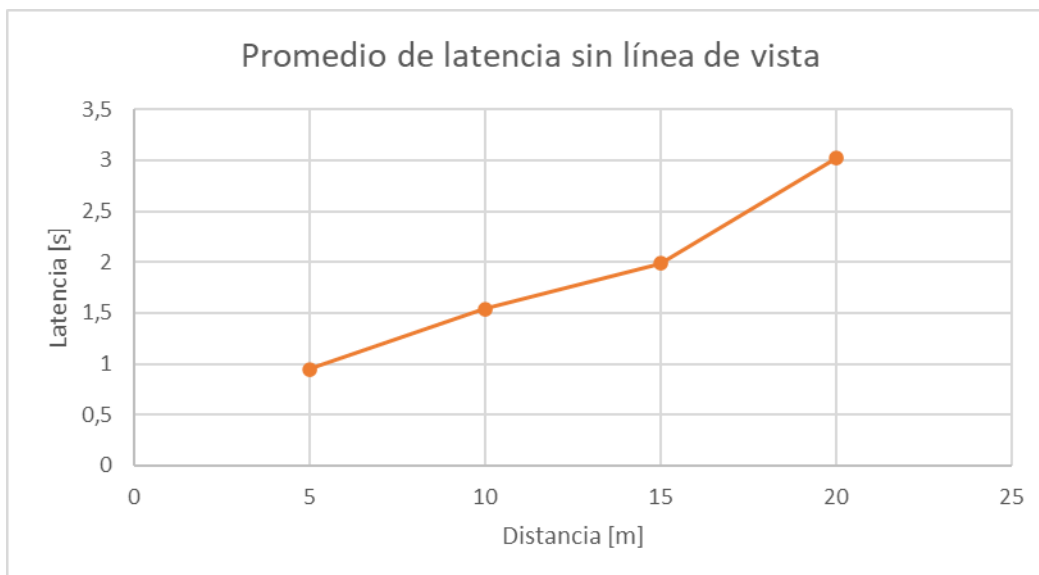


Figura 9: Promedio de latencia sin línea de vista (NLoS)

La tabla 3, que presenta las distancias de conexión tanto con LoS y NLoS, evidencia un patrón claro: a medida que la distancia se incrementa, la latencia experimenta un aumento proporcional. En presencia de línea de vista, la latencia es notablemente inferior en comparación con los escenarios sin línea de vista, donde los tiempos de espera para la llegada de los mensajes se incrementan significativamente.

Tabla 3: Latencias promedio en distancias de conexión con LoS y NLoS

Distancia [metros]	Promedio de Latencia Los [segundos]	Promedio de Latencia NLoS [segundos]
5	0.68	0.94
10	1.06	1.54
15	1.39	1.98
20	1.86	3.02
25	2.6	9.99

En condiciones ideales, la Raspberry Pi Pico W tendría una cobertura de 100 metros. Sin embargo, en entornos no óptimos, como situaciones de emergencia con escombros y obstáculos, esta cobertura se ve afectada negativamente. La tabla 3 proporciona una descripción detallada de los resultados obtenidos, demostrando cómo diversos factores impactan directamente en la cobertura, esto lo podemos apreciar directamente a la hora de comparar el tiempo de envío de mensajes a 10 metros de distancia y esa variación está ligada directamente a la línea de visión del dispositivo con respecto al usuario.

3.3 Resultados adicionales

Se implementó un sistema para visualizar la ubicación de los usuarios terminales, lo cual se observa en la figura 10. Al presionar el botón "S.O.S.", los usuarios envían un mensaje con su longitud y latitud, un aporte invaluable en situaciones de emergencia. Esto permite a los rescatistas conocer la ubicación exacta de los afectados y planificar de manera efectiva las rutas de rescate. Es importante señalar que, dado el escenario de emergencia, los usuarios solo necesitan presionar el botón rojo con la inscripción S.O.S., eliminando la necesidad de redactar un mensaje. Además, la interfaz del sistema posibilita la visualización de los mensajes enviados por los rescatistas, promoviendo una comunicación bidireccional eficaz durante las operaciones de rescate.



Figura 10: Interfaz de usuario

3.4 Compilación de resultados

En el trabajo realizado por Fausto Astudillo y Andrés Luna en su proyecto integrador titulado: “Diseño e implementación del módulo de comunicación para el despliegue de una red conformada por drones para su uso en emergencias y catástrofes”, se lograron avances significativos en la implementación de una red inalámbrica de drones utilizando módulos Raspberry Pi Pico W. Se encargaron de la realización del servidor, optando por establecer un modelo servidor-cliente basado en Wi-Fi y sockets, proporcionando una estructura efectiva para la interacción fluida entre los drones en concordancia con lo previsto, la influencia de la línea de vista afecta la comunicación, lo que impacta los tiempos de respuesta y la potencia de la señal. Cabe mencionar la importancia de considerar estos factores al planificar y diseñar redes de comunicación para drones en situaciones delicadas [7].

Este proyecto se centra en la comunicación terminal a terminal, específicamente en la red de acceso. Al realizar las pruebas de conectividad, se tomaron en cuenta un límite de 50 mensajes tanto para línea de

vista como sin línea de vista, teniendo así una eficacia del 100% en la transmisión de mensajes en ambas situaciones planteadas.

La relación entre distancia y latencia es otro punto importante a tener en cuenta, la simulación de conexión en la red nos muestra patrones que se deben analizar, tal como se muestra en las figuras 8 y 9 de la sección 3.2. En escenarios con línea de vista, se aprecia un aumento promedio de latencia conforme se incrementaba la distancia. En entornos sin línea de vista, se observa un incremento en los tiempos de espera para la llegada de los mensajes en distancias de 5 a 20 metros. La tabla 3 proporciona una descripción detallada de las latencias en distancias con y sin línea de vista.

Además, se implementa un sistema de ubicación que permite visualizar la ubicación de los usuarios terminales. Al activar el botón "S.O.S.", los usuarios envían automáticamente su longitud y latitud, proporcionando información en situaciones de emergencia. Esto facilita a los rescatistas conocer la ubicación exacta de los afectados y planificar rutas de rescate. La interfaz de usuario también permite la visualización de mensajes enviados por los rescatistas, fomentando una comunicación bidireccional durante las operaciones de rescate.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

El desarrollo de este proyecto ha arrojado resultados que contribuyen al avance en la implementación de sistemas de comunicación en entornos de emergencia, específicamente mediante la tecnología FANET. A continuación, se presentan las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros derivados de los objetivos planteados en el proyecto:

4.1 Conclusiones

- La red de comunicación para drones logró mantener una comunicación a distancias cortas, como 5 y 10 metros. Sin embargo, a medida que se incrementó la separación a 15, 20 y 25 metros, se observó un aumento de 48% en los tiempos de respuesta, especialmente en condiciones sin línea de vista (NLoS) un 63%. Este hallazgo sugiere que, aunque el sistema es eficaz en entornos cercanos, presenta limitaciones en la cobertura y rendimiento a distancias mayores.
- Las pruebas de conectividad demostraron un rendimiento notable, con tasas de éxito del 100% en situaciones tanto con línea de vista (LoS) como sin ella (NLoS). Es importante destacar que las pruebas LoS se llevaron a cabo en lugares despejados con línea clara de visión, mientras que las pruebas NLoS se realizaron en el interior de una casa con paredes de 15 cm de espesor, incluyendo varios obstáculos como puertas. La implementación del botón "S.O.S." para visualizar la ubicación de los usuarios terminales es una herramienta para la coordinación en operaciones de rescate. Esto resalta el funcionamiento del sistema en situaciones de críticas, ya sean en desastres como terremotos, inundaciones o incendios, rescates en áreas urbanas y rurales.
- La variación en los tiempos de latencia y la disminución del rendimiento a distancias mayores a 25 metros demuestran la importancia de considerar las limitaciones de distancia y la presencia de obstáculos al diseñar redes de comunicación de emergencia.

4.2 Recomendaciones

- Es importante considerar los protocolos de comunicación según los requisitos específicos de cada implementación. Mientras que los sistemas de envío por urequests, el cual es una librería de Python que permite realizar peticiones HTTP de forma sencilla y MQTT son eficaces para servidores locales, se debe tener en cuenta que pueden requerir mayores recursos y potencia. Se recomienda evaluar la viabilidad de implementar estos protocolos en escenarios donde se pueda aislar el servidor principal y desplegar una red más extensa, asegurándose de que la infraestructura sea capaz de soportar estas tecnologías sin comprometer el sistema principal.
- Se sugiere explorar alternativas de sistemas flexibles y escalables que permitan su despliegue tanto en servidores locales como en entornos en la nube. A diferencia de sistemas cerrados, que pueden volverse inútiles en emergencias, contar con soluciones versátiles facilita la adaptabilidad a diferentes contextos. La evaluación de sistemas con capacidades de nube puede ofrecer ventajas significativas en términos de acceso y mantenimiento durante situaciones críticas.

4.3 Trabajo futuro

- Como una extensión del proyecto, se propone la revisión y mejora de la configuración del módulo principal y secundarios. Esta optimización tiene el objetivo de maximizar la eficiencia del servidor en términos de rendimiento y velocidad. La revisión de parámetros clave y la implementación de ajustes específicos podrían conducir a un mejor desempeño del servidor, garantizando una comunicación más rápida y estable entre los drones, especialmente en situaciones de carga elevada.
- Como paso adelante en el desarrollo del sistema, se sugiere la incorporación de un sistema de identificación de mensajes en la interfaz. Introducir un identificador único para cada mensaje facilitará la organización y seguimiento de las comunicaciones, mejorando la gestión de la información tanto para usuarios como para rescatistas.

Referencias

- [1] Francisco Carlos Felipe Rodríguez. (7 de 2022). Implementación de un sistema de detección acústica empleando los nodos de una red inalámbrica en zonas. Obtenido de Adobe Acrobat: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/117572/1/TFG%20Francisco_Carlos_Felipe_Rodriguez.pdf
- [2] GIDFIS (Grupo de Investigación, Desarrollo y Formación en Innovación de Software). (2018, 26 de abril). IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES CON RASPBERRY PI ACCESIBLES DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES. SEDICI - Repositorio de la Universidad Nacional de La Plata. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/67965/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [3] IP@P. (7 de 11 de 2023). **【 Configurar Red AD-HOC 】** *Guía Paso a Paso* ▷ 2023. Obtenido de Internet Paso a Paso: <https://internetpasoapaso.com/crear-configurar-red-inalambrica-ad-hoc/>
- [4] León Mateo, F. A., Cruz Felipe, M. d., & Zambrano Solorzano, E. T. (2022). *Revisión de estudios sobre sistemas FANET y drones para emergencias o desastres naturales*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8590692>
- [5] Villao Q, F. C. (2016). *Diseño de un plan de telecomunicaciones para emergencias en desastres naturales en el Ecuador*. Obtenido de ESPOL: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/37277>
- [6] OpenAI. (2023). GPT-3.5. Plataforma de inteligencia artificial de OpenAI. <https://openai.com/gpt>
- [7] Astudillo Idrovo, F. E., Luna Peralta, A. F (2023). Diseño e implementación del módulo de comunicación para el despliegue de una red conformada por drones para su uso en

emergencias y catástrofes [Trabajo de grado, ESPOL]. DSpace en ESPOL.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/browse?type=subject&order=ASC&rpp=30&value=Comunicación+de+emergencia>

- [8] CCNA. (s.f.). ▷ Todo acerca de una Red ad hoc inalámbrica» CCNA desde Cero. CCNA desde Cero. <https://ccnadesdecero.es/red-ad-hoc-inalambrica-wanet/>

Apéndice

A. Tablas de pruebas realizadas

1. Separación de 5 metros

Tabla 4: Latencias en distancias de conexión de 5 metros con LoS y NLoS

Prueba	Latencia LoS [segundos]	Latencia NLoS [segundos]
1	0.78	1.19
2	0.79	1.16
3	0.60	0.82
4	0.58	0.81
5	0.71	0.90
6	0.74	0.95
7	0.64	0.80
8	0.58	0.98
9	0.64	0.85
10	0.71	0.99

En la tabla 4 se muestran los parámetros obtenidos para 20 muestras diferentes, 10 con LoS y 10 NLoS, la media de latencia fue de 0.68 segundos, mientras que en conexiones sin línea de vista (NLoS) fue de 0.94 segundos. La variabilidad en los tiempos se atribuye a fluctuaciones de la señal e interferencia, fenómenos comunes en comunicaciones inalámbricas. Estos resultados indican que la red logra mantener una comunicación eficiente a esta distancia, siendo más rápida en condiciones de LoS.

2. Separación de 10 metros

Tabla 5: Latencias en distancias de conexión de 10 metros con LoS y NLoS

Prueba	Latencia Los [segundos]	Latencia NLoS [segundos]
1	1.08	1.49
2	0.94	1.43
3	1.11	1.60
4	0.85	1.57
5	1.15	1.55
6	1.03	1.59
7	1.12	1.64
8	1.18	1.47
9	1.17	1.59
10	0.94	1.44

En la tabla 5 se observan los parámetros obtenidos para 20 muestras diferentes, 10 con LoS y 10 NLoS, La media de latencia fue de 1.06 segundos en LoS y 1.54 segundos en NLoS. Se observa un ligero aumento en los tiempos de carga, atribuido a fluctuaciones de la señal e interferencia, comunes en comunicaciones inalámbricas. La red demuestra eficiencia en la comunicación, incluso con un aumento en la distancia entre dispositivos.

3. Separación de 15 metros

Tabla 6: Latencias en distancias de conexión de 15 metros con LoS y NLoS

Prueba	Latencia LoS [segundos]	Latencia NLoS [segundos]
1	1.39	2.11
2	1.32	2.04
3	1.45	1.89
4	1.30	1.90
5	1.37	2.16
6	1.44	2.04
7	1.42	1.82
8	1.40	2.00
9	1.37	1.97
10	1.46	1.93

En la tabla 6 muestra los resultados a una separación de 15 metros, en donde muestra una media de latencia es 1.39 segundos en LoS y 1.98 segundos en NLoS. A pesar del incremento en la distancia, la red sigue manteniendo una comunicación eficiente, aunque con tiempos de respuesta mayores.

4. Separación de 20 metros

Tabla 7: Latencias en distancias de conexión de 20 metros con LoS y NLoS

Prueba	Latencia Los [segundos]	Latencia NLoS [segundos]
1	1.68	2.93
2	1.88	3.09
3	2.01	2.56
4	1.52	3.07
5	1.72	3.36
6	1.99	3.37
7	1.94	2.41
8	1.76	3.34
9	2.09	3.29
10	1.99	2.74

En este caso, como se muestra en la tabla 7, la media de latencia fue de 1.86 segundos en LoS y 3.02 segundos en NLoS. Se observa un aumento significativo en los tiempos de respuesta, especialmente en condiciones NLoS, debido a la distancia adicional y la posible interferencia.

5. Separación de 25 metros

Tabla 8: Latencias en distancias de conexión de 25 metros con LoS

Prueba	Latencia LoS [segundos]
1	2.42
2	2.91
3	2.37
4	2.75
5	2.74
6	2.39
7	2.77
8	2.54
9	2.90
10	2.33

En la tabla 8 se muestran se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a 25 metros. En esta prueba con LoS, la media de latencia fue de 2.61 segundos. La red sigue manteniendo una comunicación eficiente, aunque con tiempos de respuesta más prolongados, lo cual es esperado con distancias mayores.

B. Código Utilizado para la creación de la red de acceso

El código implementado en JavaScript para la interfaz de rescatista se divide en dos partes fundamentales, cumpliendo funciones específicas dentro del sistema de comunicación:

1. Receptor de Comandos y Proyección en Cuadro de Texto:

- Esta sección del código actúa como receptor de comandos de ubicación y mensajes provenientes de los usuarios terminales.
- La función principal es proyectar estos datos en el cuadro de texto definido en la interfaz de rescatista.
- Cuando recibe datos de ubicación, los interpreta y los proyecta visualmente, permitiendo al rescatista conocer la ubicación exacta de los usuarios terminales.
- También, cuando recibe mensajes de los rescatistas, los presenta en el cuadro de texto, facilitando la comunicación bidireccional efectiva durante las operaciones de rescate.

2. Emisor de Mensajes a la Interfaz de Usuario:

- La segunda parte del código permite al rescatista enviar mensajes a la interfaz de usuario de los terminales.
- Esta funcionalidad se activa mediante el botón de envío de datos presente en la interfaz de usuario.
- Al presionar este botón, el sistema recoge los parámetros de localización del usuario actual y los proyecta en la interfaz del rescatista, garantizando que la información sea recibida y visualizada por el equipo de rescate.
- Además, esta sección sirve como receptor de mensajes provenientes de otros rescatistas, creando así un canal bidireccional que mejora la coordinación y comunicación entre los miembros del equipo.

Ambas secciones del código utilizan un sistema de emisor-receptor en ambos canales, lo que significa que la interfaz de rescatista puede tanto recibir como enviar datos de ubicación y mensajes, asegurando una comunicación completa y efectiva en el sistema implementado. Este enfoque bidireccional es esencial para el éxito de las operaciones de rescate, ya que permite una coordinación en tiempo real entre los rescatistas y los usuarios terminales.

EL código se detalla a continuación:

Interfaz de rescatistas:

```
<!DOCTYPE html>

<html lang="es">

<head>

  <meta charset="UTF-8">

  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">

  <title>Red_Drones_REDADEC</title>

  <style>

    /* Estilos CSS pueden ir aquí */

    body {

      width:60%;

      background-color: rgb(120, 188, 255);

      font-family: Arial, sans-serif;

      text-align: center;

      margin: 20px;

      height: 100%;

      left: 50%;

      position: relative;

      transform: translate(-50%);
```

```
}
```

```
header {
```

```
    text-align: center;
```

```
    padding: 10px;
```

```
    background-color: rgb(77, 166, 255);
```

```
}
```

```
section {
```

```
    margin-top: 20px;
```

```
}
```

```
footer {
```

```
    text-align: center;
```

```
    padding: 10px;
```

```
    background-color: #f2f2f2;
```

```
    position: absolute;
```

```
    bottom: 0;
```

```
    width: 100%;
```

```
}
```

```
ul {
```

```
    list-style-type: none;
```

```
    margin: 0;
```

```
    padding: 0;
```

```
}
```

```
li {  
    display: inline-block;  
    margin-right: 20px;  
}
```

```
ul ul {  
    display: none;  
    position: absolute;  
    background-color: #f2f2f2;  
    padding: 10px;  
    border-radius: 0 0 5px 5px;  
    box-shadow: 0 0 5px rgba(0, 0, 0, 0.1);  
}
```

```
li:hover > ul {  
    display: block;  
}
```

```
#navigation{  
    display: flex;  
    background-color: rgb(77, 166, 255);  
    height: 50px;  
    align-items: center;  
    padding-left: 2%;  
}
```

```
#navigation a {
    border: #f2f2f2 solid 1px;
    border-radius: 15%;
    padding: 2px 10px;
    background-color: black;
    color: white;
}

.gap {
    height: 10px;
}

.centrar{
    margin:auto;
    display:block;
    width: 40%;
}

</style>
</head>
<body>

<header>
    <h1>Sistema de Red de Drones</h1>
</header>
<div class="gap"></div>

```

<section>

<h2>Servicio de Rescate </h2>

<p>Cada vida que salvas es un testimonio de tu coraje y compasión. Tu labor como rescatista inspira a todos a tu alrededor.</p>

<p>Tu valentía no tiene límites.</p>

</section>

<section>

<h2>Recuerde:</h2>

<p>Ser paciente y mantener la calma, pronto estará a salvo y todo estará bien</p>

</section>

<h1>Información de Ubicación</h1>

<p>Mensaje de Rescate a atender</p>

<div id="rescueMessage"></div>

<h1>Mensaje de Rescatistas</h1>

<form id="miFormulario">

<label for="mensaje">Mensaje:</label>

<input type="text" id="mensaje" required>

<button type="button" onclick="enviarMensaje()">Enviar</button>

```
</form>
```

```
<!-- Agregar un elemento para mostrar el mensaje -->
```

```
<div id="mensajeMostrado"></div>
```

```
<div class="gap"></div>
```

```
<div id="navigation">
```

```
  <ul>
```

```
    <li><a href=PagPrincipal.html>I</a></li>
```

```
    <li><a href=GPS_DronPrincipal.html>U</a></li>
```

```
  </ul>
```

```
</div>
```

```
<script>
```

```
  // Función para obtener los parámetros de la URL
```

```
  function obtenerParametro(nombre) {
```

```
    var url = new URL(window.location.href);
```

```
    return url.searchParams.get(nombre);
```

```
  }
```

```
  // Obtener latitud, longitud y mensaje de rescate de la URL
```

```
  var mensajeRescate = obtenerParametro('mensaje');
```

```
  var latitud = obtenerParametro('lat');
```

```
  var longitud = obtenerParametro('long');
```

```
// Mostrar la información en un cuadro de texto

var cuadroTexto = document.createElement('textarea');

cuadroTexto.rows = 5;

cuadroTexto.cols = 50;

cuadroTexto.value = 'Ubicación: Latitud ' + latitud + ', Longitud ' + longitud + '\nMensaje
de Rescate: ' + decodeURIComponent(mensajeRescate);

// Agregar el cuadro de texto al cuerpo del documento

document.getElementById("rescueMessage").appendChild(cuadroTexto);

function enviarMensaje() {

    // Obtener el valor del mensaje

    var mensaje = document.getElementById("mensaje").value;

    // Mostrar el mensaje en la página

    document.getElementById("mensajeMostrado").innerHTML = "Mensaje enviado: " +
mensaje;

    // Opcional: Almacenar el mensaje en localStorage si es necesario

    localStorage.setItem("mensaje", mensaje);

}

</script>

</body>

</html>
```

Interfaz de usuario:

```
<!DOCTYPE html>
```

```
<html lang="es">
```

```
<head>
```

```
  <meta charset="UTF-8">
```

```
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
```

```
  <title>Ubicación_Usuario</title>
```

```
  <style>
```

```
    body {
```

```
      width:60%;
```

```
      background-color: rgb(120, 188, 255);
```

```
      font-family: Arial, sans-serif;
```

```
      text-align: center;
```

```
      margin: 20px;
```

```
      height: 100%;
```

```
      left: 50%;
```

```
      position: relative;
```

```
      transform: translate(-50%);
```

```
    }
```

```
    header {
```

```
      text-align: center;
```

```
      padding: 10px;
```

```
      background-color: rgb(77, 166, 255);
```

```
    }
```



```
section {  
    margin-top: 20px;  
}
```

```
footer {  
    text-align: center;  
    padding: 10px;  
    background-color: #f2f2f2;  
    position: absolute;  
    bottom: 0;  
    width: 100%;  
}
```

```
ul {  
    list-style-type: none;  
    margin: 0;  
    padding: 0;  
}
```

```
li {  
    display: inline-block;  
    margin-right: 20px;  
}
```

```
ul ul {  
    display: none;  
    position: absolute;  
    background-color: #f2f2f2;  
    padding: 10px;  
    border-radius: 0 0 5px 5px;  
    box-shadow: 0 0 5px rgba(0, 0, 0, 0.1);  
}
```

```
li:hover > ul {  
    display: block;  
}
```

```
#navigation{  
    display: flex;  
    background-color: rgb(77, 166, 255);  
    height: 50px;  
    align-items: center;  
    padding-left: 2%;  
}
```

```
#sendData, #navigation a {  
    border: #f2f2f2 solid 1px;  
    color: white;  
}
```

```
#navigation a {
```

```
border: #f2f2f2 solid 1px;

border-radius: 15%;

padding: 2px 10px;

background-color: rgb(0, 0, 0);

color: white;

}

#sendData {

font-size: 15pt;

padding: 3% 15%;

border-radius: 20%;

background-color: rgb(232, 10, 10);

box-shadow: 0px 0px 10px 1px rgb(47, 47, 47);

}

.gap {

height: 10px;

}

.centrar{

margin:auto;

display:block;

width: 40%;

}

</style>

</head>
```

```
<body>
```

```
<header><h1>Mensaje para ser rescatado</h1></header>
```

```
<div class="gap"></div>
```

```

```

```
<p>Mantén la calma en medio del caos.</p>
```

```
<p>Tu fuerza interior es más grande de lo que puedes imaginar.</p>
```

```
<p>Estamos trabajando incansablemente para llegar a ti. La esperanza nunca se  
apaga.</p>
```

```
<p>Haz clic en el botón para enviar tu ubicación y un mensaje de rescate</p>
```

```
<button id="sendData" onclick="enviarDatos()">S O S</button>
```

```
<h1>Mensaje de Rescatistas</h1>
```

```
<!-- Agrega un cuadro de texto para mostrar el mensaje -->
```

```
<textarea id="mensajeBox" rows="4" cols="50" readonly></textarea>
```

```
<div class="gap"></div>
```

```
<ul id="navigation">
```

```
<a href="PagPrincipal.html">I</a>
```

```
</ul>
```

```
<script>
```

```
function enviarDatos() {
```

```

if (navigator.geolocation) {
    navigator.geolocation.getCurrentPosition(function(position) {
        // Obtener la latitud y longitud
        var latitud = position.coords.latitude;
        var longitud = position.coords.longitude;

        // Obtener el mensaje de rescate del usuario
        var mensajeRescate = 'Necesito ayuda';

        // Codificar el mensaje para incluirlo en la URL
        var mensajeCodificado = encodeURIComponent(mensajeRescate);

        // Crear la URL con los parámetros de ubicación y mensaje
        var url = 'PagPrincipal.html?lat=' + latitud + '&long=' + longitud + '&mensaje=' +
mensajeCodificado;

        // Redirigir a la otra página con la ubicación y el mensaje en el cuadro de texto
        window.location.href = url;
    }, function(error) {
        alert('Error al obtener la ubicación: ' + error.message);
    });
} else {
    alert('Geolocalización no es compatible en este navegador.');
```

```
// Obtener el mensaje almacenado en localStorage
var mensaje = localStorage.getItem("mensaje");

// Mostrar el mensaje en el cuadro de texto
document.getElementById("mensajeBox").value = "Mensaje recibido: " + mensaje;

// Función para mostrar u ocultar el submenú
function toggleSubMenu(event) {
    event.preventDefault(); // Evitar que el enlace se siga si es un enlace real
    var submenu = event.target.nextElementSibling;
    submenu.style.display = (submenu.style.display === 'none' || submenu.style.display ===
") ? 'block' : 'none';
}
</script>

</body>
</html>
```