UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"KIT TELEMÁTICO PARA LA MONITORIZACIÓN DE FACTORES CRÍTICOS EN LA INTEGRIDAD DE LOS BOMBEROS DURANTE INCENDIOS FORESTALES"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

GUERRA GOYES FERNANDO JOSÉ

DIRECTOR:

MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA.

Ibarra, Ecuador, 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	GUERRA GOYES FERNANDO JOSÉ

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"KIT TELEMÁTICO PARA LA MONITORIZACIÓN DE FACTORES CRÍTICOS EN LA INTEGRIDAD DE LOS BOMBEROS DURANTE INCENDIOS FORESTALES"
AUTOR (ES):	GUERRA GOYES FERNANDO JOSÉ
FECHA: DD/MM/AAAA	19/06/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR /ASESOR:	MSC.CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA. MSC.JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días del mes de junio de 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FERNANDO JOSE GUERRA GOYES

(Firma)……
Nombre: Guerra Goyes Fernando José

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 19 de junio de 2026

MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CARLOS ALBERTO VASQUEZ AYALA

f) ……

MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA.

C.C.:1002424982



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mi amada familia, cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida, permitiendo que hoy se concrete este nuevo y trascendental objetivo. Expreso mi más profunda gratitud a cada uno de ustedes, por ser mi mayor fortaleza y el motor que me impulsó a seguir adelante ante cualquier adversidad.

De igual manera, dedico este logro a todas aquellas personas que, de una u otra forma, estuvieron presentes, creyeron en mí y brindaron su invaluable apoyo a lo largo de este camino.

Guerra Goyes Fernando José



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en cada momento. Su presencia ha sido el pilar fundamental a lo largo de toda mi trayectoria de preparación, acompañándome en esta etapa trascendental de mi vida. Asimismo, elevo mi gratitud a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar este proceso con éxito.

Expreso mis más sinceros agradecimientos a mi tutor, MSc. Carlos Vásquez, y a mi asesor, MSc. Jaime Michilena. Los cuales fueron muy fundamentales para la orientación académica, paciencia y dedicación fueron elementos muy cruciales para el desarrollo y la finalización exitosa del trabajo de grado. Donde deseo los mayores éxitos en sus futuras gestiones y proyectos.

A mis compañeros e amigos de carrera en dar gracias por ser parte fundamental de este camino. Donde las observaciones e sugerencias respectivas y retroalimentación constructiva resultaron invaluables para el enriquecimiento y la mejora continua de esta investigación.

Extiendo un agradecimiento dirigido al Cuerpo de Bomberos de Bolívar por su colaboración. Agradezco la oportunidad que me permitieran ejecutar todas las pruebas de campo necesarias, así como la amabilidad y disposición del personal con la coordinación y apoyo logístico fueron indispensables en llevar a cabo el funcionamiento y la validación del kit telemático.

Guerra Goyes Fernando José

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

RESUMEN

El presente proyecto se centra en la recolección de datos críticos para salvaguardar la integridad del personal de bomberos mediante un kit telemático distribuido en dos bloques: el nodo casco (Bloque A) y el nodo principal (Bloque B). Este sistema integra tecnologías de comunicación como LoRa para el enlace de largo alcance, Wi-Fi para la visualización local de datos y redes móviles (LTE) para la transmisión remota. La articulación eficiente de estos componentes es fundamental para garantizar un funcionamiento en tiempo real, optimizando el tiempo de respuesta y la eficacia operativa durante las emergencias.

En cuanto al rendimiento de la comunicación del sistema obtuvo una tasa de entrega de paquetes (PDR) global del 95.37 % y una eficiencia en la plataforma ThingsBoard del 95.12 %, con un tiempo de activación inicial de dos a tres minutos. Las pruebas de la atenuación revelaron en eventos con exposición de humo convencional que genera una pérdida de 40.8 dB y para el evento de humo denso con llantas causa una atenuación crítica de 61.6 dB las cuales afectando severamente la propagación de la señal. Donde se evidencia que la distancia es el factor dominante en la degradación del enlace con las pérdidas cercanas al 24 % entre 500 m y 1 km que son independientemente del entorno. A pesar de estas condiciones se menciona que la autonomía del sistema se mantiene muy robusta, con siete horas de duración para el sensor del casco y hasta dieciocho horas para el nodo principal.

Respecto a la monitorización ambiental y la escalabilidad, el equipo registró temperaturas promedio de 61.3 °C y concentraciones de monóxido de carbono de 62.63 ppm bajo condiciones extremas. Ante estas variables, las alertas por temperatura crítica o caída del

efectivo se activan en un lapso de uno a tres segundos, garantizando una respuesta inmediata con avisos visuales y sonoros. Finalmente, la arquitectura del sistema demostró una óptima escalabilidad; las pruebas con una red en malla de tres nodos operando de manera simultánea confirmaron la transmisión autónoma de datos sin interferencias, validando su idoneidad para el monitoreo concurrente de múltiples bomberos en incidentes complejos.

Palabras clave: Internet de las Cosas (IoT), LoRa, Cuerpo de bomberos, Monitorización en tiempo real, Telemetría, Redes de sensores inalámbricos (WSN), Seguridad laboral, Comunicaciones de emergencia.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ABSTRACT

The present project focuses on the collection of critical data to safeguard the physical integrity of firefighting personnel by means of a telematic kit distributed across two main blocks: the helmet node (Block A) and the main node (Block B). This system integrates communication technologies such as LoRa for long-range links, Wi-Fi for local data visualization, and mobile networks (LTE) for remote transmission. The efficient integration of these components is fundamental to ensuring real-time operation, thereby optimizing response times and operational effectiveness during emergencies.

Regarding the system's communication performance, it achieved an overall Packet Delivery Ratio (PDR) of 95.37% and a ThingsBoard platform efficiency of 95.12%, with an initial activation time of two to three minutes. Attenuation tests revealed that events with conventional smoke exposure generate a loss of 40.8 dB, while dense smoke events with tires cause a critical attenuation of 61.6 dB, severely affecting signal propagation. It is evident that distance is the dominant factor in link degradation, with losses close to 24% between 500 m and 1 km, regardless of the environment. Despite these conditions, the system's autonomy remains very robust, with a runtime of seven hours for the helmet sensor and up to eighteen hours for the main node.

Regarding environmental monitoring and scalability, the equipment recorded average temperatures of 61.3 °C and carbon monoxide concentrations of 62.63 ppm under extreme

conditions. In response to these variables, alerts for critical temperatures or a fallen firefighter are triggered within one to three seconds, ensuring an immediate response through visual and audible warnings. Finally, the system architecture demonstrated optimal scalability; tests using a mesh network of three nodes operating simultaneously confirmed autonomous data transmission without interference, validating its suitability for the concurrent monitoring of multiple firefighters in complex incidents.

Keywords: Internet of Things (IoT), LoRa, Fire department, Real-time monitoring, Telemetry, Wireless Sensor Networks (WSN), Occupational safety, Emergency communications.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Capítulo I: Antecedentes 1

1.1 Tema 1

1.2 Problema 1

1.3 Objetivos 3

1.3.1 Objetivo General 4

1.3.2 Objetivos Específicos 4

1.4 Alcance 4

1.5 Justificación 8

2. Capítulo II: Marco Teórico 12

2.1 Descripción de Incendios Forestales 12

2.1.1 Clasificación de los Incendios 13

2.1.1.1 Incendios de superficie, copa, subterráneos. 13

2.1.2 Riesgos y Accidentes Comunes en Incendios Forestales 14

2.1.2.1 Quemaduras y lesiones Térmicas 14

2.1.2.2 Asfixia e Intoxicación por Humo 15

2.1.2.3 Golpes y Atrapamientos en el Terreno. 16

2.1.2.4 Intervención de rescate en incendio forestal 16

2.2 Uso de Tecnologías Inalámbricas en Incendios Forestales 20

2.2.1 Aplicaciones del monitoreo en incendios forestales 20

2.3 Tecnologías inalámbricas: Introducción y Características. 21

2.3.1 Bluetooth y sus características. 22

2.3.2 Wi-Fi y su Características. 23
2.3.3 LPWAN: en entornos críticos y áreas remotas. 24
2.4 Tecnologías LPWAN con Enfoque en LoRa 25
2.4.1 Visión General LPWAN 25
2.4.2 Introducción a LoRa 26
2.4.2.1 Características técnicas LoRa. 26
2.4.2.2 Frecuencias operativas en Ecuador 28
2.4.3 Comparativa entre tecnologías LPWAN y LoRa: 29
2.4.3.1 LoRa vs Zigbee 30
2.4.3.2 LoRa vs Sigfox. 31
2.4.3.3 LoRa *vs NB-IoT* 33
2.4.4 Introducción a los protocolos de comunicación. 34
2.4.4.1 Protocolo LoRa "LoRaWAN" 34
2.5 Tecnologías IoT y Sensores para Incendios Forestales 35
2.5.1 Introducción al Internet de las Cosas (IoT). 36
2.5.2 Funcionamiento del IoT en sistemas de monitoreo ambiental. 36
2.5.2.1 Sensor de temperatura 36
2.5.2.2 Sensor de CO_2 37
2.5.2.3 Sensor de movimiento 38
2.5.2.4 GPS para posicionamiento 38
2.6 Topologías de red aplicables en WSN 39
2.6.1 Topología estrella 40
2.6.2 Topología árbol 40
2.6.3 Topología Mesh 40
2.7 Redes Mesh Aplicadas a Incendios Forestales 40

2.7.1 Funcionamiento de redes Mesh 40
2.7.2 Transmisión de datos en áreas de difícil acceso 41
2.7.3 Integración de LoRa con redes Mesh 41
2.7.3.1 Herramientas como Meshtastic para la comunicación. 42
2.8 Sensores aplicados a la detección y monitoreo: 42
2.8.1 Parámetros ambientales más críticos en incendios forestales 43
2.9 Beneficios del Sistema Automatizado en Incendios 43
2.9.1 Optimización en la detección y respuesta 44
2.9.2 Reducción de riesgos para los bomberos. 44
2.9.2.1 Reducción de daños a la naturaleza y comunidades. 45
2.9.2.2 Beneficios para la salud y seguridad de los bomberos. 46
2.10 Metodología del Kit Telemático 47
2.10.1 Metodología en V 47
3. Capítulo III: Diseño del Kit 48
3.1 Metodología del diseño 48
3.2 Requerimientos 49
3.2.1 Cuerpos de Bomberos y requerimientos 50
3.2.2 Requerimientos basados en la información recolectada 52
3.2.2.1 Finalidad de kit Telemático 56
3.2.3 Beneficiarios Stakeholders 57
3.2.3.1 Nomenclatura de requerimientos 58
3.2.3.2 Requerimientos de Stakeholders 59
3.2.4 Requerimientos Sistema 61
3.2.5 Requerimientos Arquitectura 68
3.3 Benchmarking (Selección de Hardware y Software) 76

3.3.1 Evaluación y Selección de Hardware 76
3.3.1.1 Sensores y Módulos: Nodo del Casco 76
3.3.1.2 Sensores y Módulos: Nodo Principal 90
3.3.2 Evaluación y Selección de Software 99
3.3.2.1 Herramientas y Plataformas de Desarrollo 100
3.3.2.2 Entorno y Lenguaje de Programación 102
3.3.2.3 Plataforma en la Nube y Conectividad local 105
3.4 Diseño del Sistema 107
3.4.1 Diagrama de Bloques 107
3.4.2 Diagramas por bloques del kit telemático 110
3.4.2.1 Arquitectura General del Kit telemático 110
3.4.3 Bloque 1 Adquisición de Datos del Casco 111
3.4.3.1 Diagrama de conexiones físicas 111
3.4.3.2 Diagrama de pines (pines de conexión) 113
3.4.3.3 Armado físico de sensores y módulos 115
3.4.3.4 Protocolos de comunicación utilizados 116
3.4.3.5 Formato y envío de tramas de datos 117
3.4.3.6 Configuraciones del sistema (software y plataforma) 119
3.4.4 Bloque 2 Transmisión por LoRa 132
3.4.5 Bloque 3 Procesamiento Local “Nodo Principal” 135
3.4.5.1 Diagrama de conexiones físicas 137
3.4.5.2 Diagrama de pinout (pines de conexión) 138
3.4.5.3 Armado físico de sensores y módulos 140
3.4.5.4 Protocolos de comunicación utilizados 141
3.4.5.5 Formato y envío de tramas de datos 142

3.4.5.6 Configuraciones del sistema (software y plataforma) 145
3.4.5.7 Servicios implementados (aplicación) 160
3.4.6 Bloque 4 Transmisión Sim y Wifi 162
3.4.7 Bloque 5 Tratamiento y almacenamiento datos 164
3.4.8 Bloque 6 Gestión de notificaciones o alertas 172
3.4.9 Bloque 7 Presentación 176
3.5 Diseño de carcasa para nodos Casco 185
3.5.1 Diseño para Nodo Principal 185
3.5.2 Diseño para Nodo Casco 191
3.5.3 Consumo de energía 198
4. Capítulo IV: Pruebas de Funcionamiento 203
4.1 Introducción 203
4.2 Escenario 1: Verificación de funcionamiento del sistema 204
4.2.1 Verificación de operación de sensores 207
4.2.2 Verificación del envío de datos 213
4.2.3 Verificación de generación de alertas 216
4.2.4 Verificación del enlace LoRa 217
4.2.5 Verificación de procesamiento local 219
4.2.6 Verificación de sincronización con plataforma IoT 223
4.2.7 Verificación del consumo energético 227
4.3 Escenario 2: Pruebas en condiciones controladas Campo 231
4.3.1 Eventos en campo 231
4.3.2 Iintensidad de señal (RSSI) 232
4.3.2.1 Pruebas señal (RSSI) expuesto a Humo vs medio ideal 238
4.3.3 Paquetes recibidos y pérdida localmente 239

4.3.4 Alertas registradas localmente 241
4.3.5 Datos registrados en ThingsBoard y alertas 242
4.3.6 Tiempos de fijación gps 243
4.3.7 Consumo de voltaje bloque nodo casco y nodo principal 244
4.3.8 Pruebas temperatura y co (monóxido de carbono) 246
4.3.9 Cobertura por distancia (pérdida de datos) 249
4.3.10 Eficiencia global del sistema 250
4.4 *Esc*enario 3: Simulacros con bomberos 251
4.4.1 Enumeración de los eventos en campo 253
4.4.2 Iintensidad de señal (RSSI) 254
4.4.3 Paquetes recibidos y pérdida localmente 259
4.4.4 Alertas registradas localmente 260
4.4.5 Datos Registrados en Thingsboard y alertas 261
4.4.6 Tiempos de fijación GPS 262
4.4.7 Consumo de voltaje bloque nodo casco y nodo principal 263
4.4.8 Pruebas temperatura y co (monóxido de carbono) 265
4.4.9 Cobertura por distancia (pérdida de datos) 267
4.4.10 Eficiencia global del sistema 268
4.5 Pruebas con dos Nodos 270
4.6 Resultados de eficiencia Kit 274
4.7 Costo de Implementación 288
4.7.1 Costo de Hardware 288
4.7.2 Costo de Software 290
4.7.3 Costo de Ingeniería 291
4.7.4 Costo Global del Sistema 292

5. Conclusiones y Recomendaciones 294

5.1 Conclusiones 294

5.2 Recomendaciones 296

***Bibliografía* 298**

Anexos 306

Anexo1: Encuestas 306

Anexo2: Resultados de encuestas 310

Anexo3: Manual para manipular el kit telemático 319

Manual para generación de reportes 330

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Identificación y estructura del problema del Kit*.....3

Figura 2 *Arquitectura del kit telemático por bloques*.....8

Figura 3 *Triángulo del fuego*.....12

Figura 4 *Tipos incendios forestales por la vegetación*.....13

Figura 5 *Mecanismo de Lesional*.....14

Figura 6 *Humo de posible combustión incompleta*.....15

Figura 7 *Topología de la mini-red de detección*.....21

Figura 8 *Tecnologías Inalámbricas*.....22

Figura 9 *Tecnología LPWAN*.....25

Figura 10 *Logo de LoRa*.....26

Figura 11 *La pila de protocolos LoRaWAN*.....35

Figura 12 *IoT prevé grandes avances en la parte de control y monitoreo*.....36

Figura 13 *Sensor temperatura y humedad*.....37

Figura 14 *Sensor de CO2*.....37

Figura 15 *Modulo Sensor Imu 10dof*.....38

Figura 16 *Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*.....39

Figura 17 *Topología de red WSN*.....39

Figura 18 *Rede Mesh*.....41

Figura 19 *Proyecto reducción de riesgos*.....45

Figura 20 *Reducción de riesgos en la comunidad*.....46

Figura 21 *Bomberos Portoviejo prioriza la salud de su personal*.....46

Figura 22 *Modelo en V*.....47

Figura 23 *Modelo en V*.....48

Figura 24 *Bomberos: Despliegue rápida en incendios forestales*.....51

Figura 25 *Diagrama general del sistema* 108

Figura 26 *Arquitectura del sistema* 110

Figura 27 *Diagramas de Bloque Adquisición de Datos* 111

Figura 28 *Conexiones Físicas del nodo casco* 112

Figura 29 *Diagrama de Pines nodo casco* 113

Figura 30 *Armado físico del nodo casco* 115

Figura 31 *Estructura de datos* 117

Figura 32 *Liberia IDE para esp32 lora* 120

Figura 33 *Diagrama general de lectura de los sensores nodo casco* 122

Figura 34 *Configuraciones de LoRA* 123

Figura 35 *Diagrama flujo Sensor de Movimiento* 124

Figura 36 *Diagrama flujo de (Sensor MQ-7)* 126

Figura 37 *Diagrama flujo de la Temperatura* 127

Figura 38 *Diagrama flujo del módulo GPS NEO-6M* 128

Figura 39 *Diagrama de flujo de alertas prioritarias del kit telemático* 130

Figura 40 *Diagrama de flujo del Manejo de Alertas* 131

Figura 41 *Envió paquetes desde Nodo origen* 132

Figura 42 *Procesamiento de Paquetes Recibidos renviados* 134

Figura 43 *Proceso locales nodo principal* 136

Figura 44 *Proceso exterior del nodo principal* 137

Figura 45 *Diagrama de conexiones nodo principal* 138

Figura 46 *Pines de conexión Nodo Principal* 139

Figura 47 Armado físico Nodo Principal 140

Figura 48 *Debian GNU/Linux* 146

Figura 49 *Flasheo del sistema operativo* 147

Figura 50 *Configuración del arranque* 148
Figura 51 *Especificaciones de Bananapi-Armbina* 149
Figura 52 *Configuración VNC* 150
Figura 53 *Comando para VNC* 151
Figura 54 *Autenticación VNC* 151
Figura 55 *Interfaz Grafica* 152
Figura 56 *Directorio de Tesis* 153
Figura 57 *Paquetes en Python* 154
Figura 58 *Instalación de las librerías* 155
Figura 59 *Ejecutar pip install* 156
Figura 60 *Otorga permiso de ejecución* 157
Figura 61 *Adaptador USB-UART drives* 158
Figura 62 *Conexión base datos local* 159
Figura 63 *Inicia el servicio localmente* 160
Figura 64 *Creación de Dispositivos* 161
Figura 65 *Telemetría de datos* 162
Figura 66 *Establece conexión con el usuario* 163
Figura 67 *Tratamiento de los Datos* 164
Figura 68 *Parámetros a guardar telemetría* 165
Figura 69 *Reporte de Telemetría* 166
Figura 70 *Conexión Serial USB en Entorno de Desarrollo Flask* 167
Figura 71 *Recepción de Datos con Estructura Optimizada* 167
Figura 72 *Configuración de Conexión a PostgreSQL* 168
Figura 73 *Configuración de Base de Datos y Permisos en PostgreSQL* 169
Figura 74 *Validación de Estructura de Base de Datos para Telemetría* 170

Figura 75 *Visualización de Telemetría* 171
Figura 76 *Historial de Posicionamiento* 171
Figura 77 *Creación de Reglas* 172
Figura 78 *Condiciones de Alerta* 173
Figura 79 *Condición para limpiar las alertas* 174
Figura 80 *Notificación de Alerta Activia* 175
Figura 81 *Icono de audio de notificaciones* 175
Figura 82 *Iniciación sesión Kit telemático* 176
Figura 83 *Dashboard Principal* 177
Figura 84 *Datos históricos* 178
Figura 85 *Historial de GPS* 179
Figura 86 *Administración de Nodos* 180
Figura 87 *Pestaña de Generación de reportes* 181
Figura 88 *Reporte de Datos* 182
Figura 89 *Panel de administración* 183
Figura 90 *Visualización remota desde Thingsboard* 183
Figura 91 *Graficas de temperatura y CO* 184
Figura 92 *Garfias por Numero de Nodo* 185
Figura 93 *Diseño pcb en 3D nodo principal* 186
Figura 94 *Carcasa superior del Kit* 187
Figura 95 *Implementación de 3D* 188
Figura 96 *Armado nodo principal* 189
Figura 97 *Implementación lado derecho* 190
Figura 98 *Interruptores de encendió* 191
Figura 99 *Diseño pcb en 3D nodo casco* 192

Figura 100 *Implementación de la PCB*.....192
Figura 101 *Casco-Bullard-FH911*.....193
Figura 102 *Diseño 3D del nodo Casco*.....194
Figura 103 *Distribución de elementos 3D*.....195
Figura 104 *Implementación en 3D*.....196
Figura 105 *Soportes del casco*.....197
Figura 106 *Implementación Nodo Casco*.....198
Figura 107 *Verificación del Nodo Principal*.....204
Figura 108 *Verificación servidor Local*.....206
Figura 109 *Verificación del nodo casco*.....207
Figura 110 *Evolución de la temperatura*.....209
Figura 111 Resultados del Monóxido de carbono (CO).....210
Figura 112 *Pruebas MPU6050*.....211
Figura 113 *Confirmación de datos (RX)*.....213
Figura 114 *Resultados de los registros*.....215
Figura 115 *Distribución temporal alertas*.....216
Figura 116 *Enumeración de alertas remotas*.....217
Figura 117 *Evolución de la intensidad de señal (RSSI)*.....219
Figura 118 *Servicio activo Kit Telemático*.....220
Figura 119 *Acceso al Plataforma web*.....221
Figura 120 *Led de estados referente las alertas*.....221
Figura 121 *Dos estados activos por las alertas*.....222
Figura 122 *Generación reporte en base a pruebas*.....223
Figura 123 *Verificación conexión al servidor*.....224
Figura 124 *Dashboard de en ThingsBoard*.....224

Figura 125 *Tiempos de envíos de datos* 225

Figura 126 *Tiempos de respuesta local y remota* 227

Figura 127 *Consumo energético nodo casco* 228

Figura 128 *Nivel de consumo con Leds* 230

Figura 129 *Enumeración de los 10 eventos en campo* 232

Figura 130 *Comparativa de RSSI por tramos* 235

Figura 131 *Pruebas de campo (Los y NLoS Árboles)* 236

Figura 132 *Pruebas de campo (Los con obstáculos y NLoS Infraestructura)* 237

Figura 133 *Comparación (RSSI) expuesto en humo vs medio ideal* 239

Figura 134 *Paquetes recibidos* 240

Figura 135 *Pérdida de paquetes Total 1-12: 7.5% | Primeras 10 pruebas: 9.0%...* 241

Figura 136 *Alertas registradas semana 2* 242

Figura 137 *Registrados en ThingsBoard* 243

Figura 138 *Tiempo espera del GPS* 244

Figura 139 *Evolución del consumo de voltaje* 245

Figura 140 *Consumo de voltaje del nodo Principal de la Power bank* 246

Figura 141 *Evolución de temperatura por prueba* 247

Figura 142 *Concentración de monóxido carbono CO (ppm) en las 12 pruebas* 248

Figura 143 *Pruebas controladas* 249

Figura 144 *Cobertura por distancia* 250

Figura 145 *RSSI – Condiciones de distancia (Gráfico A, pruebas 1 al 4)* 255

Figura 146 *RSSI – Simulaciones de incendio / humo (Gráfico B, pruebas 5,6,7)* .. 256

Figura 147 *Pruebas de distancia en eventos 1 a 4 y Simulacro evento 5* 257

Figura 148 *Evento 7 Quema de llantas* 258

Figura 149 *Evento 7 Incendio forestal monitoreo* 259

Figura 150 *Paquetes recibidos vs pérdida de datos* 260

Figura 151 *Alertas registradas semana 3* 261

Figura 152 *Registro eventos en Thingsboard* 262

Figura 153 *Resultados tiempo espera de la señal de GPS* 263

Figura 154 *Evolución del consumo de voltaje* 264

Figura 155 *Consumo de la batería por el nodo Principal* 265

Figura 156 *Evolución de temperatura en la semana* 266

Figura 157 *Evaluación del monóxido carbono en la semana 3* 267

Figura 158 *Resumen final de cobertura por distancia (pérdida de datos)* 268

Figura 159 *Verificación de conexión de n nodos* 270

Figura 160 *Ubicación por nodo localmente* 271

Figura 161 *N grafica por nodo nuevo* 272

Figura 162 *Alertas generadas y registro* 273

Figura 163 *Verificación conexión y números equipos* 274

Figura 164 *Resumen de la temperatura* 275

Figura 165 *Resultados de Monóxido de carbono* 276

Figura 166 *Resumen de Intensidad de Señal RSSI* 278

Figura 167 *RSSI comparado: Campo vs. Cuerpo de Bomberos condiciones* ……..279

Figura 168 *RSSI en eventos de explosión de humo a corta distancia* 280

Figura 169 *Resumen de Paquetes recibidos y perdidos* 282

Figura 170 *Datos Registrados en Thingsboard* 283

Figura 171 *Perdía por distancia de eventos: P_C vs P_CB 4* 284

Figura 172 *Resumen de consumo de voltaje del nodo casco y puntos de medición*.285

Figura 173 *Consumo en horas del nodo principal* 286

Figura 174 *Alertas locales frente a remotas por tipo (HC y Temperatura)* 286

Figura 175 *Finalización del Kit* 287

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Tipos de Rescate en incendio forestales* 18

Tabla 2 *Principales diferencias entre versiones Bluetooth* 23

Tabla 3 *Características Wifi 5* 24

Tabla 4 *Propiedades de LoRa* 27

Tabla 5 *Banda UDBL* 29

Tabla 6 *Propiedades LoRa vs Zigbee* 30

Tabla 7 *Atributos de LoRa vs Sigfox* 31

Tabla 8 *Diferencias LoRa vs NB-IoT* 33

Tabla 9 *Riesgo Operativos en Incendios* 51

Tabla 10 *Requerimientos de Personal y Equipos Humanos* *53*

Tabla 11 *Requerimientos Técnicos y Equipamiento Esencial* 54

Tabla 12 *Procedimientos Críticos para Intervención* 55

Tabla 13 *Lista de Stakeholders* 57

Tabla 14 *Descripción con sus nomenclatura o acrónimo* 58

Tabla 15 *Prioridad de requerimientos* 58

Tabla 16 *Requerimientos Stakeholders* 60

Tabla 17 *Requerimientos del sistema* 62

Tabla 18 *Requerimientos del Arquitectura* 69

Tabla 19 *Selección del Hardware para el Nodo del Casco* 77

Tabla 20 *Descripción del Heltec Wifi LoRa 32(V3)* 79

Tabla 21 *Antena LoRa 915MHz U.FL a SMA 3dBi* 80

Tabla 22 *Selección del sensor movimiento* 81

Tabla 23 *Especificaciones de Sensores Integrados* 83

Tabla 24 *Sensor GPS* 84

Tabla 25 *Propiedades Claves del GY-GPS6MV2* 85

Tabla 26 *Selección del sensor temperatura* 86

Tabla 27 *Propiedades del sensor DB18B20* 87

Tabla 28 *Selección del sensor humo* 88

Tabla 29 *Sensor de gas* 89

Tabla 30 *Hardware para el nodo principal* 90

Tabla 31 *Especificaciones técnicas de la Banana Pi BPI-M4 Zero* 91

Tabla 32 *Módulo de comunicación GSM/GPRS* 93

Tabla 33 *Modulo A7670SA* 94

Tabla 34 *Expansor LoRa* 95

Tabla 35 *Heltec Wifi LoRa 32(V3)* 96

Tabla 36 *Antena Wifi 2.4 GHz* 98

Tabla 37 *Software del nodo del casco* 100

Tabla 38 *Sistema operativo del nodo principal* 101

Tabla 39 *Selección del lenguaje* 103

Tabla 40 *Selección del lenguaje del Nodo Principal* 104

Tabla 41 *Plataforma en IOT* 105

Tabla 42 *Conexiones principales del nodo casco del kit telemático***.** 114

Tabla 43 *Distribución de pines* 139

Tabla 44 *Verificación tiempos de iniciación* 205

Tabla 45 Tabla de pruebas (DS18B20 temperatura) 208

Tabla 46 *Resultado del GPS* 212

Tabla 47 *Resultados TX y RX de los datos recibidos* 214

Tabla 48 *RSSI por enlace LoRa* 218

Tabla 49 *Dato Registrados ThingsBoard* 226

Tabla 50 *Consumo del Nodo Principal* 229

Tabla 51 *Comparativa rssi promedio por condición y distancia* 233

Tabla 52 *Resumen de eficiencia en campo* 250

Tabla 53 *Registro de eventos* 253

Tabla 54 *Eficiencia global* 269

Tabla 55 *Tiempo de iniciación del kit* 274

Tabla 56 *Tiempo estimado para obtener GPS* 276

Tabla 57 *Costos de materiales para la implementación del sistema* 289

Tabla 58 *Costo de Software* 290

Tabla 59 *Costo de Ingeniería* 291

Tabla 60 *Costo Global Kit* 292

1. Capítulo I: Antecedentes

1.1 Tema

KIT TELEMÁTICO PARA LA MONITORIZACIÓN DE FACTORES CRÍTICOS EN LA INTEGRIDAD DE LOS BOMBEROS DURANTE INCENDIOS FORESTALES.

1.2 Problema

La creciente incidencia de incendios forestales en Ecuador, impulsada por el cambio climático y el déficit de lluvias, ha generado condiciones cada vez más peligrosas para los equipos de rescate y la protección del medio ambiente. En 2024, según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos reportó un récord histórico de 36,399 hectáreas quemadas entre enero y septiembre, la mayor cifra registrada en los últimos 14 años (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2024).

En provincias como son las Imbabura y del Carchi son mayor tendencia que son afectadas por incendios forestales durante los años con un total de 2,720.56 hectáreas consumidas. En Imbabura en fecha de enero hasta el 12 de septiembre se han perdido 1,484.10 hectáreas donde menciona un registró de 316 eventos, siendo Otavalo y Cotacachi con mayor impacto. Y en Carchi, los incendios han devastado 1,236.46 hectáreas en 50 eventos, con Mira y Bolívar como los cantones más afectados(SNGRE, 2024), En donde se resalta la urgencia de implementar medidas efectivas de prevención y respuesta ante tales desastres.

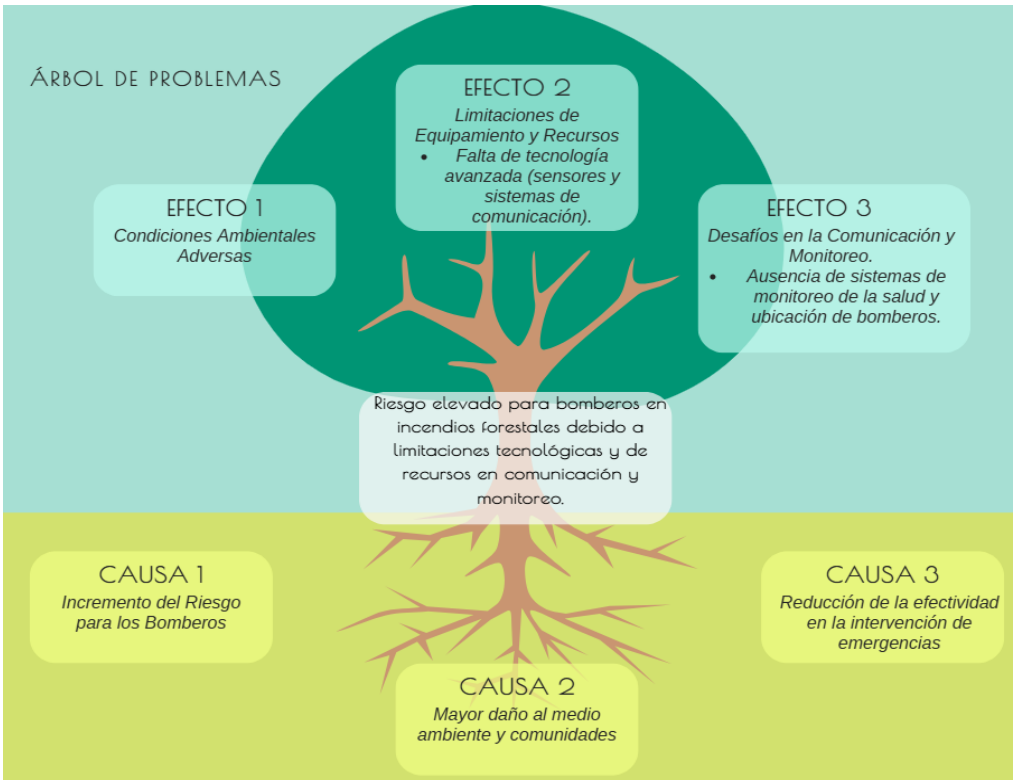
A pesar de los esfuerzos del Cuerpo de Bomberos, los incendios en áreas como el Cantón Bolívar se ven agravados por condiciones climáticas secas y terrenos de difícil acceso, lo que retrasa la capacidad de respuesta y complica la comunicación entre los grupos de rescate (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Bolívar- Provincia del Carchi, 2018).

La falta de equipamiento que se adecuado y la escasez de los recursos como vehículos o herramientasvinculadas en la especializa para combatir incendios limitan significativamente la efectividad de su intervención, especialmente durante la época seca. Estas limitaciones puede no solo exponen a los bomberos a riesgos mayores, sino que también ponen mayor peligro en parte de flora, la fauna y las propiedades en las zonas afectadas.

El método de rescate puede ser en cierta manera ineficiente, pues la intensidad del incendio puede generar daños al bombero antes de reportar su problema. El proceso antes nombrado evidencia la falta de personal especializado en detectar de forma temprana anomalías en la salud de los uniformados en el campo de acción, mediante una tecnología. Se aprecia Figura 1, que presenta el árbol de problemas, detallan las causas y efectos relacionados con el problema general planteado en esta investigación.

Figura 1

Identificación y estructura del problema del Kit



Nota: Árbol problema con enfoque al tema expuesto. Fuente: Autoría propia

La tecnología se presenta como una solución prometedora en mejorar tiempos de respuesta ante incendios forestales, enfocándose en salvaguardar la integridad de los bomberos. Su implementación tendrá un impacto significativo en esta área, permitiendo una administración más segura y eficaz de las situaciones críticas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un kit telemático mediante tecnología LoRa para la detección de factores críticos que afectan en el entorno y la integridad de los bomberos en incendio forestales.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de información sobre tecnologías inalámbricas, referente a incendios forestales
- Definir requerimientos utilizando la metodología del modelo en V para que asegure el correcto funcionamiento del kit en componentes de software y hardware.
- Diseñar el kit telemático integrando bloques, sensores, diagramas de flujo, asegurando que cada componente esté alineado con las etapas definidas y funcione bajo una topología Mesh.
- Realizar pruebas de funcionamiento del kit telemático demostrando recopilación, procesamiento, transmisión, tratamiento de información y presentación de los datos.

1.4 Alcance

Este proyecto se enfoca en el diseño de un kit de monitoreo telemático para que los bomberos operen con mayor seguridad en incendios forestales, reduciendo los riesgos laborales. El kit facilitará la recopilación y transmisión de datos

mediante procesamiento en placa, con el fin de analizar estados de movimiento y condiciones ambientales en las que se encuentra el bombero durante un incendio.

Según Johanna y Cecibel (Johanna & Cecibel, 2018)"El modelo en 'V' de Alan Davis, creado en los años 90, se basa en el modelo en cascada y destaca la importancia de realizar pruebas efectivas desde el inicio del proyecto, evitando defectos al integrar validaciones con el desarrollo."

Se implementará la metodología del modelo V, enfocada en las cuatro fases como son: identificación de stakeholders, definición de requerimientos, diseño del sistema y pruebas funcionales.

En la primera fase, se identificarán los stakeholders y se tendrá realizará una revisión bibliográfica analizar las tecnologías relevantes y estas variables ambientales críticas en escenarios de incendios forestales. Esto incluirá la aplicación de encuestas para la identificar necesidades de comunicación en situaciones de emergencia encuentra. Para seleccionar tecnologías apropiadas y validar los parámetros operativos del kit. La información recopilada proporcionará datos esenciales en facilitar la toma decisiones rápidas en entorno y mejorar la seguridad de los bomberos en el campo.

La segunda fase se enfocará en la definición de los requerimientos del kit, abarcando las necesidades de los stakeholders como la arquitectura y funcionalidad del sistema. En etapa asegura que el dispositivo esté adecuado para las condiciones y solventar problemáticas identificadas medio.

Además, se ejecutará un análisis de campo, complementado con encuestas y entrevistas al personal involucrado. Se seleccionarán los sensores específicos para el prototipo. La arquitectura del sistema se organizará en cuatro bloques funcionales: adquisición y procesamiento de datos, transmisión, tratamiento de datos y presentación de la información al usuario.

En la tercera fase se tendrá el diseño del kit para monitoreo incluye la selección de tecnología este acorde en una comunicación más adecuada. Para transmitir la información en la recopilada por los sensores hacia un tratamiento de datos accesible al usuario. Se definirán los requerimientos de diseño, tales como procesamiento de datos, comunicación y seleccionando un módulo que permitirá una mayor cobertura en la zona de intervención.

En la Figura 2 presenta la arquitectura del kit telemático compuesto por cuatro bloques principales: adquisición y procesamiento de datos, transmisión, tratamiento de datos y presentación información. A continuación, se detalla cada bloque con sus respectivos componentes y funcionalidades:

Adquisición y procesamiento datos: Este bloque integrará sensores para la recolección de datos, como movimiento, temperatura ambiente, concentración de CO_2 y ubicación mediante GPS. Se implementará una plataforma para la transmisión eficiente de la información. Se elaborarán diagramas de flujo para representar el funcionamiento de los módulos de adquisición y procesamiento con siguientes módulos.

Módulo en el casco: Encargado de captar datos de movimiento, temperatura ambiente, co- gases y ubicación mediante GPS, enviándolos al siguiente módulo.

Funcionará como un repetidor con otro nodo casco dentro de la red Mesh o punto a punto, ampliando la cobertura mediante saltos en la red, lo que garantiza la llegada de la información a los demás dispositivos de manera eficiente y confiable.

Módulo remoto: El equipo remoto encuentra nodo principal y tiene como función principal recibir y enviar los datos recopilados al sistema final que se pueda asegura una comunicación eficiente dentro de la red.

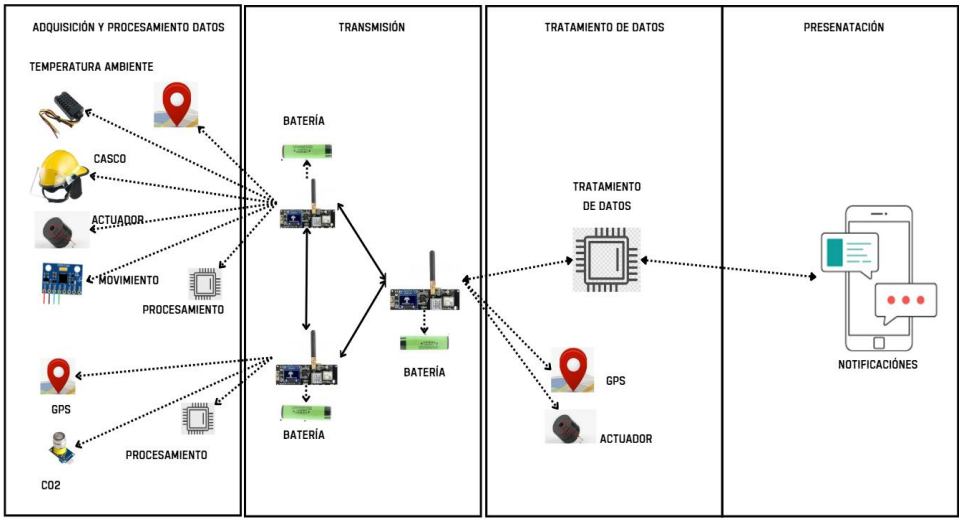
Transmisión: Se considerará una red Mesh o punto a puto entre interconectada con los módulos, complementada con la tecnología LoRa, que proporciona una comunicación eficiente y de largo alcance. Esta red se integrará con la plataforma, permitiendo transferencia de datos.

Tratamiento de Datos: En este bloque tendrá que encargará de procesar y gestionar los datos recopilados en donde se asegura él envió más eficiente hacia el dispositivo más cercano dentro de la red en garantizar la integridad datos y continuidad de la comunicación.

Presentación de Datos: Finalmente, los datos tendrán que ser procesados y visualizados en una interfaz accesible que se accesible para el usuario. En donde esta etapa tiene como objetivo proporcionar información clara y precisa sobre la situación actual del kit.

Figura 2

Arquitectura del kit telemático por bloques



Nota: El gráfico muestra claramente cada paso del modelo en bloques, detallando el procedimiento a seguir en base a la metodología de manera estructurada y Fuente: Autoría propia.

La Cuarta fase se comprende la etapa de pruebas y obtención de resultados donde se somete al dispositivo a un ambiente controlado que simule las condiciones que presenta un incendio forestal y permita comprobar el correcto funcionamiento.

1.5 Justificación

Este proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 3: Salud y Bienestar donde menciona la Meta 3.D "Reforzar la capacidad de todos los países, en particular los países en desarrollo, en materia de alerta temprana, reducción de riesgos y gestión de los riesgos para la salud nacional y

mundial."(Naciones Unidas, 2030), Donde la tecnología de monitoreo que emplea el kit telemático para detectar factores críticos en incendios forestales apoya esta meta al mejorar las capacidades de alerta.

Referente al objetivo ODS 13: Acción por el Clima aborda 13.1 metas "Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países."(Naciones Unidas, 2030), El kit telemático contribuye a la formación de capacidades institucionales en el cuerpo de bomberos, mejorando su adaptación a los desafíos los incendios.

Un incendio forestal es un evento catastrófico para el medio ambiente, su peligro rige en la inestabilidad que posee, pues como lo afirma teniente del cuerpo de bomberos no todos los incendios forestales son iguales, siempre va a influir el medio en que se suscite el hecho por tanto en cada evento se debe primordialmente tomar en cuenta tres factores ambientales; la velocidad de propagación del viento, la intensidad calórica que es la cantidad de calor que desprende el fuego y la dirección de avance del incendio (Torres, 2021). Debido a estas variables y dependiendo de su intensidad es probable que se generen otros fenómenos muy peligrosos durante un incendio forestal, Miembro de la Unidad de Incendios Forestales del Cuerpo de bomberos de Quito, informó en la entrevista realizada por el comercio que son cinco los riesgos que pueden atentar contra la vida de los uniformados, estos son: remolinos de fuego, deslizamientos, explosiones de calor, cambios repentinos en la dirección del viento y los latigazos o lenguas de fuego(El COMERCIO, 2015).

Alrededor del mundo se han generado incendios forestales desastrosos, un hecho suscitado en junio del 2013 cobro la vida de 19 bomberos de elite en Arizona, quienes murieron calcinados; un evento similar ocurrió el 2017 en Chile donde murieron 10 bomberos. Año tras año se han registrado incendios forestales en distintas zonas rurales de Ecuador, según estadísticas presentadas por la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) en el 2016 hubo 22595,80 hectáreas consumidas en el 2016 y para el 2017 se registró 13.969,31 hectáreas afectadas (SGR, 2017). En algunos casos estos percances han cobrado víctimas humanas, el caso más recordado en el país ocurrido el 7 de septiembre del 2015, donde 6 bomberos quedaron atrapados por un remolino de fuego en un incendio producido en Puembo al oriente de Quito, este incidente cobró 3 vidas(El COMERCIO, 2015).

Los eventos indicados anteriormente, manifiestan una necesidad de los uniformados, pues ellos requieren una pronta solución para así evitar más pérdidas humanas; varios han sido los esfuerzos por generar soluciones a esta problemática, pero la mayoría se centra en dotar al cuerpo bomberil con más implementos que se usan convencionalmente, otros intentan mejorar el material de la indumentaria, pero esto representa costos muy altos en la producción(Sánchez, 2014). Un proyecto innovador es el desarrollado por la empresa española Safety Zone (SINC, 2015).Que consta de un sistema que protege a los bomberos de temperatura y del humo generado en un incendio, básicamente consiste en una pantalla de agua y un refugio ignifugo.

No se tiene información del proyecto desarrollados en el país que busquen reducir las muertes que pueden generarse en los incendios forestales; el prototipo que se está planteando y que planea prevenir tragedias en incendios forestales, consta de un Kit dotado de sensores de, movimiento, C02 dióxido de carbono, temperatura ambiente, GPS, los cuales otorgarían información del ambiente a un nodo central.

Con esta tecnología, se pretende guiar al equipo de bomberos de forma más segura durante sus labores contra el incendio, previniendo accidentes y promoviendo una respuesta más efectiva y llevando a cabo un proceso riguroso basado en la metodología en V con la participación de los stakeholders son esenciales porque son los más relevantes. Se refieren a aquellos que tienen un interés directo en los resultados de las acciones y que contribuyen activamente a los proyectos. En este grupo se incluyen tanto a los clientes como a los gerentes (ESIC, 2024).

2. Capítulo II: Marco Teórico

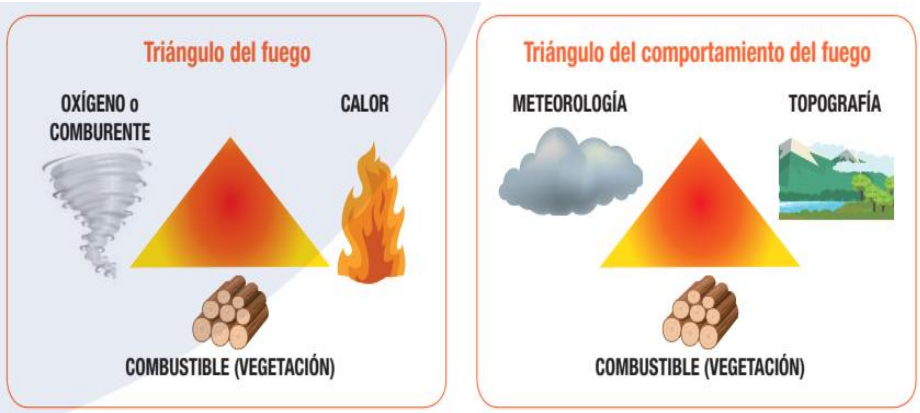
2.1 Descripción de Incendios Forestales

Los autores mencionan (Plana et al., 2016) afirman “Los incendios forestales ocurren cuando la vegetación de un área se quema debido a un fuego originado por causas naturales o humanas. La propagación descontrolada del fuego que afecta la vegetación a su paso, incluyendo árboles, arbustos, pastos o cultivos.”

Iniciar el un fuego es necesaria tener la coincidencia de estos tres elementos, como se observa en la Figura 3. Estos elementos incluyen una es la fuente de calor, combustible(vegetación) y el oxígeno.

Figura 3

Triángulo del fuego



Nota: Los triángulos esta definidos: el primero (izquierda) representa a los componentes puede ser esenciales en el fuego o (triángulo del fuego), y el segundo (derecha) ilustra las variables que afectan su intensidad (triángulo del comportamiento del fuego). Tomada de (Plana et al., 2016).

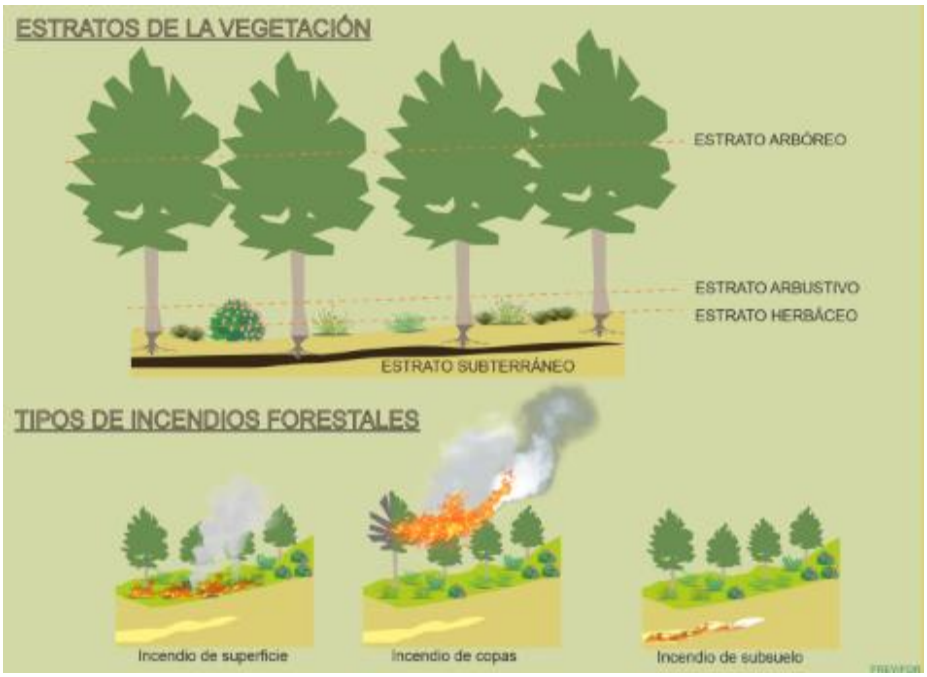
2.1.1 Clasificación de los Incendios

2.1.1.1 Incendios de superficie, copa, subterráneos.

Según (PREVIFOR, 2023) los incendios forestales pueden clasificarse en tres tipos principales según su forma de propagación, como se muestra en la Figura 4. Los incendios de superficie se desarrollan en la vegetación baja encuentra en contacto directo con el suelo, como hierbas y pequeños matorrales, que actúan como combustibles finos. Por otro lado, los incendios de copas afectan las partes superiores de los árboles, propagándose a través de sus copas. Finalmente, los incendios de subsuelo ocurren bajo tierra, afectando tanto a raíces, materia es orgánica o también turba; estos incendios son de combustión puede ser lenta, generan poco humo y pueden permanecer en el subsuelo o emerger a la superficie.

Figura 4

Tipos incendios forestales por la vegetación



Nota: En la ilustración identifica tipos de incendios forestales producidos por la vegetación. Tomada de(PREVIFOR, 2023).

2.1.2 Riesgos y Accidentes Comunes en Incendios Forestales

2.1.2.1 Quemaduras y lesiones Térmicas

El estrés por calor representa una de las principales causas de lesiones durante el manejo de incendios forestales y tiene una incidencia aún mayor en incendios estructurales. En Figura 5 muestra la actividad física intensa en ambientes con altas temperaturas, los bomberos ven afectada su capacidad de regular la temperatura corporal mediante la sudoración, que es el mecanismo natural de termorregulación. Esta dificultad incrementa significativamente su vulnerabilidad a sufrir tensión térmica. (Ansón, 2021).

Figura 5

Mecanismo de Lesional

Tipo de lesión	Temperatura de la piel	Sensación	Color de la piel	Proceso	Lesión
Inmediata destrucción de la piel	72 °C	Insensibilidad	Blanca	Coagulación de las proteínas	Irreversible
Quemaduras de tercer grado	68 °C		Moteada roja y blanca	Piel térmicamente inactiva	Posible reversible
	62 °C				
Quemaduras de segundo grado	60 °C	Dolor máximo	Rojo fuerte		Reversible
	52 °C	Dolor serio			
Quemaduras de primer grado	48 °C	Dolor	Rojizo		
Dolor e incomodidad	44 °C	Frontera del dolor			
	40 °C	Calor	Ruboroso	Metabolismo normal	Ninguna

Nota: La ilustración muestra la correlación entre los tipos de lesiones y las temperaturas a las que pueden ocurrir, destacando cómo las diferentes intensidades de calor afectan al cuerpo humano. Tomada de (Ansón, 2021).

Es común que los bomberos sufran quemaduras, incluso cuando la capa externa de su traje de protección no muestra signos de daño térmico. Además, los golpes de calor son reportados con frecuencia durante las intervenciones y se consideran uno de los principales riesgos para su seguridad.

2.1.2.2 Asfixia e Intoxicación por Humo

La asfixia y la intoxicación por humo en incendios forestales son riesgos graves causados por la inhalación esta los gases tóxicos, monóxido de carbono, generado en combustiones incompletas. Este gas, indetectable para los sentidos humanos, se vuelve peligroso en concentraciones superiores a 35 ppm (Alvarado & Pascual, 2007).La Figura 6 ilustra humo denso y oscuro, un indicador visual típico de combustiones incompletas que señala la posible presencia de monóxido de carbono y sugiere un alto riesgo de intoxicación. Además, el aire sobrecalentado, que puede superar los 150 °C, puede dañar gravemente las vías respiratorias, causando edema pulmonar y asfixia.

Figura 6

Humo de posible combustión incompleta



Nota: Combustión incompleta (humo muy oscuro y espeso). Tomada de (Alvarado & Pascual, 2007).

2.1.2.3 Golpes y Atrapamientos en el Terreno.

Los incendios forestales se pueden desarrollarse en terrenos irregulares y complejos. Lo tiende a aumenta significativamente el riesgo de golpes, caídas y atrapamientos para los personales en respuesta. Según el manual, la topografía, combinada con la acumulación de combustible vegetal y el comportamiento impredecible del fuego, puede generar situaciones peligrosas (Alfaro et al., 2020).

Factores de Riesgo:

Desprendimiento de Materiales: Caída de ramas, árboles y rocas debilitados por el fuego. Terreno Accidente: Pendientes y suelos inestables que aumentan el riesgo de caídas. Desorientación: Humo denso y llamas que dificultan la visibilidad y las rutas seguras. Atrapamientos: Cambios inesperados en la dirección del fuego que ponen en riesgo al personal.

2.1.2.4 Intervención de rescate en incendio forestal

En situaciones de incendios forestales, la prioridad principal es salvaguardar vidas humanas y animales, proteger estructuras cercanas y prevenir la propagación del fuego hacia áreas sensibles. La intervención de rescate implica acciones rápidas, coordinadas y seguras, considerando las condiciones climáticas, topográficas y el comportamiento del incendio (Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito, 2009)

Detalles para rescate en incendio forestal:

1. Evaluación inicial de la emergencia: Recolección de información sobre ubicación, magnitud en las posibles víctimas o personas atrapadas, acceso al lugar y recursos disponibles (CB-DMQ, 2009).

2. Activación de alarma por incendio forestal: Señalización mediante 4 tonos de sirena (según protocolo interno) para emergencias referentes a incendios forestales en verano y emergencias por inundaciones en invierno (CB-DMQ, 2009).
3. El despliegue inmediato de las unidades: Se movilización con el equipo de las autobombas, autotanques, ambulancias y el personal está especializado en circunstancias del rescate (CB-DMQ, 2009).
4. Arribo al lugar del siniestro: Evaluación del perímetro y evaluación de riesgos en saber el estado.
5. En la parte de localización de víctimas o personas en estado de peligro: Se tiene los equipos térmicos, drones, perros para el rescate o barrido visual del medio.
6. Rescate técnico y seguro: La extracción de las personas o animales enfocado con los siguiendo protocolos de seguridad y reducir los riesgos adicionales.
7. Traslado para las zonas seguras: Se tiene coordinación con el personal de la ambulancia o puede ser gestionar los servicios de salud si hay heridos.
8. Monitoreo posterior: En la verificación constante en reducir número de las nuevas víctimas o riesgos durante la extinción del incendio.

Se detalla en la Tabla 1 lasa principales tipos de rescate son para los incendios forestales los cuales se menciona con su descripción y el equipamiento que sea necesario para una buena ejecución en los rescates.

Tabla 1

Tipos de Rescate en incendio forestales

Tipo de rescate	**Descripción**	**Equipamiento necesario**
Rescate humano en terreno abierto	Extracción de personas atrapadas en medio del bosque o vegetación densa	GPS, radio comunicación, equipo de rescate básico, cuerdas, botiquín
Rescate animal	Salvamento de fauna silvestre afectada por el incendio	Redes de rescate, jaulas transportadoras, personal capacitado en fauna
Rescate en pendientes o terrenos difíciles	Extracción de personas en laderas o zonas escarpadas	Equipo de rescate vertical, cuerdas, arneses, poleas
Evacuación masiva de comunidades cercanas	Traslado de poblaciones cercanas en riesgo de ser alcanzadas por el fuego	Vehículos de transporte, coordinadores comunitarios, apoyo policial
Rescate aéreo	Extracción mediante helicópteros de	Helicóptero, arnés de rescate aéreo, operador certificado

personas en áreas de difícil acceso

Nota: Puede clasificación resume los principales tipos de rescate en incendios forestales y el equipo requerido. En reducir la respuesta rápida, segura y coordinada según el entorno y nivel de riesgo. Tomada de (CB-DMQ, 2009).

Detalles técnicos para estos rescates

Equipo de protección personal (EPP): Casco, chaquetón y pantalón ignífugos, guantes resistentes al calor y también esta las gafas protectoras, mascarilla contra humo y equipo de respiración autónoma (SCBA) cuando sea necesario. El uso del EPP es obligatorio durante toda la intervención se encuentre (CB-DMQ, 2009).

Equipos de comunicación: Están los Radios portátiles, frecuencia asignada para rescate en incendios forestales se puede mencionar como (ejemplo: Bomberos 4), sistema de señalización visual (CB-DMQ, 2009).

Técnicas de aproximación: Crear las brechas cortafuegos cerca de las zonas de rescate con finalidad de utilizar senderos naturales o también caminos alternativos para acercarse sin exponer al personal.

Maniobras de contención: Se puede establecer zonas seguras previas al rescate en reducir que el avance del fuego y dificulte la evacuación en medio.

Coordinación con otras entidades: Trabajo se toma eje en conjunto con instituciones componentes como el Cuerpo de Bomberos, Policía Metropolitana, Defensa Civil, Ministerio del Ambiente y ONGs de rescate animal (CB-DMQ, 2009).

2.2 Uso de Tecnologías Inalámbricas en Incendios Forestales

La aplicación de tecnologías inalámbricas estará en gestión de incendios forestales ha transformado los enfoques convencionales como es monitoreo y respuesta que este proporcionando soluciones innovadoras o mejorar eficaces y sostenibles.

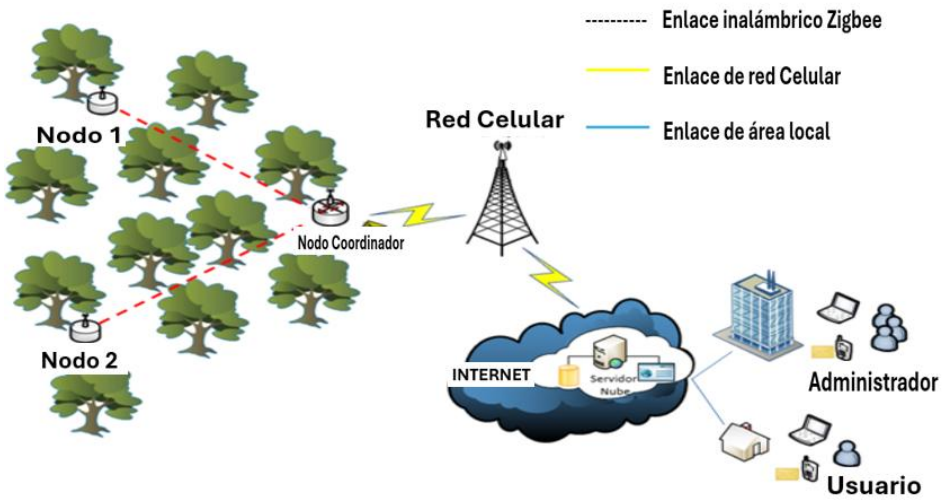
Se enfoca en tecnologías ayudan la recopilación, el procesamiento y la transmisión de datos cruciales en tiempo real esto tendrá una mejora la capacidad de prevención, la detección temprana y reducción de la mitigación de los efectos de los incendios forestales (Erazo P & Hervas P, 2014).

2.2.1 Aplicaciones del monitoreo en incendios forestales.

El monitoreo se aplica principalmente en la mitigación de incendios forestales; se presenta un ejemplo. Según (Tatayo Vinueza & Llugsi Cañar, 2022) menciona que “Implementación de mini-red de sensores inalámbricos para la detección temprana de incendios forestales donde es un sistema de alerta temprana previene la pérdida de bosques, protege flora y fauna, y reduce riesgos a la salud”. Se representa en la Figura 7 se visualiza la mini red propuesta enfocada en tener nodos en varios lugares y uno principal en recolección de datos.

Figura 7

Topología de la mini-red de detección.



Nota: El sistema esta para monitoreo de incendios forestales estos nodos conectados mediante ZigBee. Tomada de (Tatayo Vinueza & Llugsi Cañar, 2022)

2.3 Tecnologías inalámbricas: Introducción y Características.

Tanto el autor (Cruel, 2018) expone que “Las tecnologías inalámbricas permiten la transmisión de datos sin necesidad de conexiones físicas se utiliza las ondas electromagnéticas para establecer comunicación entre dispositivos”.

En la cual se identifica una gran variedad de las tecnologías inalámbricas se destacando lo más importante como ilustra en Figura 8. Donde se tiene que incluir tecnologías como la satelitales, Bluetooth, Wi-Fi, 5G y redes móviles. Que permite desarrollar de soluciones de comunicación más eficientes y versátiles en la adaptadas a diversas necesidades en tener mayor monitoreo del medio ambiente y (IoT) es primordial para la transmisión de datos.

Figura 8

Tecnologías Inalámbricas



Nota: Representación de diversas tecnologías inalámbricas utilizadas en la comunicación. Tomada de (La Razon, 2018).

2.3.1 Bluetooth y sus características.

Bluetooth es una tecnología que la comunicación inalámbrica esta relacionada a transmisión de datos distancia cortas con dispositivo digital entre otro. Bluetooth es esencialmente una conexión inalámbrica uno a uno que usa ondas de radio están en rango de banda de 2,4 GHz (SONY, 2022).

Bluetooth, Bluetooth, tal y como se puede observar en la Tabla 1, utiliza los diferentes modos de funcionamiento para otras necesidades específicas. Basic Rate (BR) permite transferencias de hasta 1 Mbit/s, el Enhanced Data Rate (EDR) alcanza velocidades de hasta 3 Mbit/s y el modo High Speed (HS) alcanza velocidades de hasta 24 Mbit/s usando la capa 802.11. La especificación Low Energy (LE) se utiliza en aquellos casos donde el bajo consumo de energía es fundamental para que el dispositivo IoT haga su trabajo, y el aumento de la Slot Hawking Availability (SAM) permite aumentar la disponibilidad de las señales

mediante la reducción de interferencias. Todas estas capacidades las hacen una opción versátil a la hora de su uso en diferentes aplicaciones.(Geeknetic, 2022).

Tabla 2

Principales diferencias entre versiones Bluetooth

Versión Bluetooth	Alcance	Velocidad Básica (BR)	Tasa de Datos Mejorada (EDR)	Alta Velocidad (HS)	Baja Energía (LE)
Bluetooth 1.0	Hasta 10 m	✓	X	X	X
Bluetooth 2.0	Hasta 30 m	✓	✓	X	X
Bluetooth 3.0	Hasta 30 m	✓	✓	✓	X
Bluetooth 4.0	Hasta 60 m	✓	✓	X	✓
Bluetooth 5.0	Hasta 240 m	✓	✓	X	✓

Nota: Se idéntica la se presenta la versión de Bluetooth y diferentes características. Tomada de (Geeknetic, 2022)

2.3.2 Wi-Fi y su Características.

La tecnología menciona es inalámbrica Wi-Fi ha transformado nuestra vida al ofrecer mayor accesibilidad y movilidad. Eliminando la dependencia de cables y

permitiendo trabajar sin importar cualquier lugar donde identifica en Tabla 3 las propiedades más específicas de wifi 5.

Tabla 3

Características Wifi 5

Versión Wifi	Fecha de lanzamiento	Estándar IEEE	Velocidad máxima transmisión de datos	Bandas	Modulación
Wi-Fi 5	2013	802.11 es ac	3.5 a Gbps	5 GHz	256 a QAM De OFDM

Nota: Se enlista estándares como son principales características Wi-Fi 5. Destacando aspectos técnicos y funcionales relacionados a las tecnologías. Tomada de (Visiotech, 2024).

Destaca por su flexibilidad y adaptabilidad, facilitando el uso de múltiples dispositivos en donde se adaptándose a nuevas tecnologías. Esto se mejora la productividad y eficiencia facilitar el acceso rápido a información y tener una colaboración en tiempo real. En el ámbito empresarial, Wi-Fi reduce costos al eliminar infraestructuras cableadas y mejora la movilidad y eficiencia operativa. Y su mayor alcance y cobertura garantiza conectividad en áreas inaccesibles para redes cableadas, mejorando nuestra experiencia en diversos espacios (Muvit, 2023).

2.3.3 LPWAN: en entornos críticos y áreas remotas.

LPWAN se refiere a redes que funcionan sin hilos basadas en el principio de bajo consumo y con un bajo uso de energía. Según la Figura 9, las redes LPWAN

son asequibles y puede estar bajo consumo energético, son perfectas para el envío de datos de bajo tamaño en IoT tienen mejor alcance y son prefectas ideales para aplicaciones en localidades grandes o de difícil acceso. (Alfaiot, 2023)

Figura 9

Tecnología LPWAN



Nota: Ideal para aplicaciones conectadas que exigen simplicidad se mencionara el bajo costo y eficiencia energética. Tomada de (Azuton, 2019)

2.4 Tecnologías LPWAN con Enfoque en LoRa

Se menciona que tanto LPWAN conecta dispositivos IoT con alta eficiencia energética y amplio alcance. LoRa se puede tener la flexibilidad y rendimiento en aplicaciones como el monitoreo ambiental.

2.4.1 Visión General LPWAN

LPWAN, abreviatura de *Low Power Wide Area Network*, estas redes inalámbricas pueden cubrir áreas amplias utilizando un consumo de energía muy bajo. También conocidas como LPWAN o LPN, estas redes se han convertido en un elemento eficaz para el desarrollo de aplicaciones en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT) (Vega & Gonzales, 2023).

Donde LPWAN están diseñadas para aplicaciones de IoT de baja complejidad en dar prioridad en la economía y se distinguen por: 1) transmisiones

ocasionales en forma de pequeños paquetes de datos, 2) la integración de numerosos dispositivos distribuidos en amplias áreas geográficas y en ultimo punto es 3) la capacidad de los dispositivos para operar de manera autónoma durante largos períodos (Pascua, 2021).

2.4.2 Introducción a LoRa

LoRa (Long Range) es una tecnología está relacionada a comunicación inalámbrica reduce el consumo de energía está en rango efectivo en tener largo alcance. Dependiendo del entorno y las posibles obstrucciones. LoRa suele tener un alcance entre 13 y 15 km se pude mencionar que significa el enlace LoRa puede proporcionar cobertura para una amplia superficie o llegar a puntos remotos, con mucha interferencia o atenuación (Hernandez, 2023). En la Figura 10, observa una representación tecnología LoRa.

Figura 10

Logo de LoRa



Nota: LoRa que está diseñada específicamente para la comunicación de largo alcance. Tomada de (Lee, 2023).

2.4.2.1 Características técnicas LoRa.

En la siguiente Tabla 4 se enlista propiedad más esencial de Lora tanto enlace a microcontroladores se puede utilizar en caso los estudio.

Tabla 4

Propiedades de LoRa

Características	**Detalles**
Técnica de Modulación	Utiliza Chirp Spread Spectrum (CSS) para largo alcance y bajo consumo.
CSS	Resistente del efecto del Doppler y la interferencia par las señales débiles (SNR son negativo).
Frecuencias	Europa: En 868 a MHz América del Norte: En 915 a MHz Asia y diferentes regiones: En 433 a MHz
Tasa de Datos Adaptativa	Factor de las expansiones (SF) se ajustable en los alcance o tasa . Ancho de banda está en (125 kHz, 250 kHz, 500 kHz) ajusta sensibilidad y tiempo de transmisión. ADR permite ajustes dinámicos según condiciones de enlace.
Combinaciones de SF y Ancho de Banda	SF7 y 500 kHz: Alta tasa de datos, corto alcance. SF12 y 125 kHz: Mayor alcance, menor tasa de datos.

	Combinaciones intermedias equilibran alcance y tasa de datos.
Eficiencia	Diseñado para IoT, garantiza bajo consumo de energía con dispositivos que operan años en batería.

Nota: La tabla menciona las especificaciones de LoRa. Tomada de(Lee, 2023).

2.4.2.2 Frecuencias operativas en Ecuador.

En Ecuador, las frecuencias operativas para tecnologías LoRa se encuentran dentro del rango de 915 MHz a 928 MHz, según lo establecido en la Resolución ARCOTEL-2018-0661. Este rango es asignado para aplicaciones están corto relacionadas con alcance y baja rangos de potencia, como las redes IoT, cumpliendo en la disposiciones de las técnicas de potencia y en la mitigación para la interferencias definidas por el regulador, promoviendo el desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en comunicación inalámbrica está en ámbito largo alcance o caso contrario esta de bajo consumo energético (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2018).

Bandas UDBL esta puede corresponder en los segmentos del espectro radioeléctrico que es designados para aplicaciones específicas en medio libre. La Tabla 5 muestra los rangos de frecuencia y los diferentes tipos de enlace autorizados.

Tabla 5

Banda UDBL

Banda UDBL	Punto A Punto	Punto A Multipunto	Móvil
De 915 a 928 MHz	X	X	X
De 2400 a 2483.5 MHz	X	X	X
De 5150 a 5250 MHz	X	X	X
De 5250 a 5350 MHz	X	X	X
De5470 a 5725 MHz	X	X	X
De 5725 a5850 MHz	X	X	X
De 24.05 a 24.25 GHz	X	No permitido	No permitido
De 57 a 66 GHz	X	No permitido	No permitido

Nota: Bandas UDBL y tipo de enlaces. Tomada de (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2018).

2.4.3 Comparativa entre tecnologías LPWAN y LoRa:

LPWAN (Low Power Wide Area Network) está diseñada para aplicaciones IoT de bajo consumo energético y alta eficiencia. Dentro de estas, **LoRa** se destaca por su fiabilidad y bajo costo, ideal para proyectos como ciudades inteligentes, agricultura y monitoreo ambiental (Prometec, 2023).

2.4.3.1 LoRa vs Zigbee.

Tabla *6*

Propiedades LoRa vs Zigbee

Característica	LoRa	Zigbee
Bandas de Frecuencia	433 MHz, 863 a 870 de MHz, 902 de 928 a MHz, 779 a 787 de MHz	868 MHz, 915 MHz, 2450 MHz
Distancia de Cobertura	2-5 km (zonas urbanas), 15 km (zonas suburbanas)	10-100 metros
Consumo de Energía	Inferior en comparación con Zigbee	Bajo
Técnica de Modulación	Modulación LoRa (CSS), FSK o GFSK	Modulación BPSK, OQPSK, utiliza DSSS
Velocidad promedio de Datos	0.3 a 22 Kbps con la (modulación LoRa) de 100 Kbps (con GFSK)	20 estará en kbps a (868 MHz), 40 Kbps de (915 MHz), 250 Kbps son (2450 MHz)
Arquitectura de Red	Consta de Gateway LoRa,	Se compone de equipos los finales
Pila de Protocolos	RF de PHY al MAC y capas puede ser aplicación	RF, PHY, MAC, red, seguridad y aplicación

Capa Física (PHY)	Incorpora sincronización, corrección en errores y CRC completo	Dos capas: 868/915 MHz (BPSK) y 2450 MHz (OQPSK)
Aplicaciones	Red como la de Área Amplia a (WAN)	LR-WPAN (Red de Área Personal Inalámbrica de Baja Velocidad)
Estándar/Alianza	IEEE 802.15.4g en cual esta , LoRa Alliance	IEEE 802.15.4 en parte (PHY y MAC) o Zigbee Alliance

Nota: Compara LoRa y Zigbee está destacando que LoRa es ideal para comunicación a larga distancia y bajo consumo y caso de mientras que Zigbee es óptimo para corto alcance (LoRa vs Zigbee | Difference between LoRa and Zigbee, 2024).

2.4.3.2 LoRa vs Sigfox.

La Tabla 7 se compara información es más detalla LoRa y SigFox, dos tecnologías fundamentales como son las redes LPWAN ampliamente son utilizadas en soluciones IoT.

Tabla 7

Atributos de LoRa vs Sigfox

Característica	**LoRa**	**SigFox**

Propósito	Tecnología para desarrollar redes IoT, adaptable por operadores	Operador global de redes IoT
Bandas de Frecuencia	433 MHz, 863-870 MHz (Europa), 902-928 MHz (EE.UU.)	868 MHz (Europa), 902 MHz (EE.UU.)
Tecnología Base	Modulación LoRa (CSS)	Ultra-NarrowBand (UNB)
Capacidad de Mensajes	Configurable por el usuario	140 mensajes/día por dispositivo, 7 mensajes/ o es hora en caul cada mensaje de 12 bytes
Bidireccionalidad	Completa: módulos pueden enviar y recibir mensajes	Limitada: 4 transmisiones entrantes por día
API de Integración	Más configurable, pero más compleja	Sencilla, no requiere configuración
Gestión de la Red	Gestionada por el usuario o por operadores según la red	Totalmente gestionada por SigFox
Cifrado y Autenticación	Cifrado de extremo a extremo mediante LoRaWAN	Proporciona autenticación e identificación de dispositivos
Control de la Red	Total, si se despliega una red propia	Limitado al esquema SigFox

Nota: Destaca las diferencias clave entre LoRa y SigFox, resaltando sus enfoques únicos para redes IoT. Tomada de (*Sigfox vs LoRa: Comparando en las Redes LPWAN a un Blog de Sofia2 de IoT de Platform*, 2017).

2.4.3.3 LoRa *vs NB-IoT*

LoRa y NB-IoT estas dos tecnologías son más esenciales en redes LPWAN. LoRa sobresale por su flexibilidad y posibilidad de redes privadas, mientras que NB-IoT integra mayores volúmenes de datos en infraestructuras móviles. Refleja en la Tabla 8, se detallan sus similitudes clave entre LoRa o NB-IoT.

Tabla 8

Diferencias LoRa vs NB-IoT

Característica	LoRa	NB-IoT
Modulación	CSS (Chirp Spread Spectrum), FSK o GFSK	QPSK
Bandas de Frecuencia	433 MHz, 863-870 MHz (Europa), 902-928 MHz (América del Norte)	Bandas LTE licenciadas
Ancho de Banda	250 kHz y 125 kHz	200 kHz
Velocidad Máxima de Datos	0.3-22 kbps (CSS), 100 kbps (GFSK)	200 kbps
Bidireccional	Sí / Half-duplex	Sí / Half-duplex
Longitud Máxima de Payload	243 bytes	1600 bytes

Alcance	2-5 km (urbano), 15-20 km (rural)	1 km (urbano), 10 km (rural)
Autenticación y Cifrado	Sí (AES 128b)	Sí (cifrado LTE)

Nota: Es utilizada como base para esta comparación resume las diferencias clave entre LoRa, NB-IoT y otras tecnologías LPWAN, destacando aspectos técnicos, operativos y de implementación. Tomada de (Mekki et al., 2018).

2.4.4 Introducción a los protocolos de comunicación.

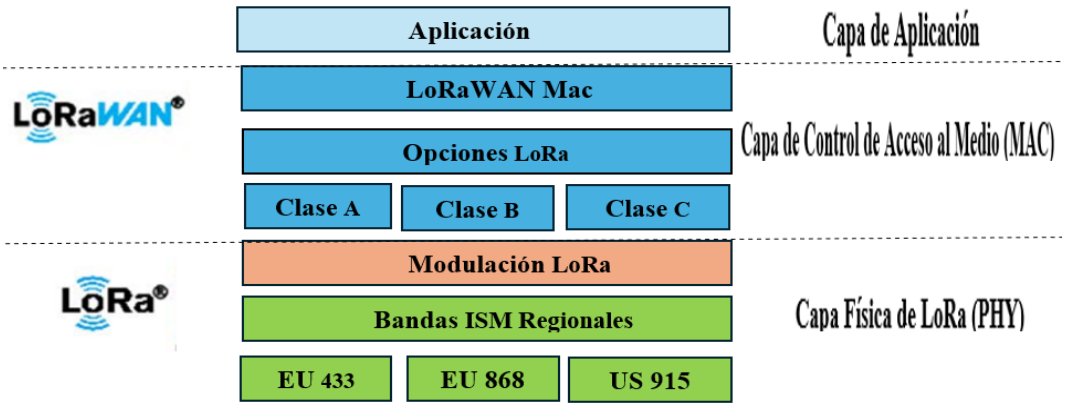
2.4.4.1 Protocolo LoRa "LoRaWAN"

El protocolo **LoRaWAN** es un estándar desarrollado para redes que conforma área amplia de bajo a tener consumo (LPWAN), diseñado en etapa de permitir la en tener una comunicación eficiente dispositivos IoT dispersos e un servidor central.

Según la Figura 11, se comprende varias capas: la **capa física (PHY)**, encargada de la modulación LoRa y el uso de bandas ISM sin licencia (433 MHz, 868 MHz y 915 MHz) para proporcionar comunicación de largo alcance y resistencia al ruido; la capa de control de acceso al medio (MAC). Gestiona la interacción entre los dispositivos finales y gateways se manejando frecuencias, factores de expansión, tasas de datos y eliminación de duplicados; y la capa de aplicación, responsable de la encriptación, decodificación y manejo de datos transmitidos, interactuando directamente con las aplicaciones finales. (Odongo et al., 2022)

Figura 11

La pila de protocolos LoRaWAN



Nota: La imagen muestra la pila de protocolo **LoRaWAN** con sus capas principales (PHY, MAC, Aplicación) y el soporte para las clases de dispositivos A, B y C. Tomada de (Odongo et al., 2022).

Además, LoRaWAN tienedea soporta tres grupos de dispositivos que esta el (A, B y final C) para adaptarse a distintas necesidades de consumo energético y latencia.

2.5 Tecnologías IoT y Sensores para Incendios Forestales

La ITU-T define la IOT es “una infraestructura global que conecta objetos físicos y virtuales. Permitiendo que los servicios avanzados mediante de tecnologías de la información y comunicación (TIC) actuales y en las futuras, con impacto tecnológico y social significativo.”(ITU, 2012)

Estos sensores permiten que el asimismo se pueda detectar incendios de manera inmediata y sin falsas alarmas. En minimizar el tiempo de respuesta, los riesgos están asociados a este tipo de catástrofes y los gastos derivados de una actuación tardía(Conaf, 2024).

2.5.1 Introducción al Internet de las Cosas (IoT).

El (IoT) transforma medio de qué forma obtiene que las personas interactúan con los dispositivos electrónicos. Facilitando una conexión efectiva entre ellos y con sus usuarios. Este enfoque permite un avance significativo en áreas como la automatización en la precisión y la gestión inteligente del hogar, en medio (Gahona & Gavilena, 2020).

2.5.2 Funcionamiento del IoT en sistemas de monitoreo ambiental.

El IoT impulsa el monitoreo para el ambiental mediante sensores conectados que recopilan datos y comparten la autónoma en la optimizando la gestión del entorno. Como se identifica en en la Figura 12, estos dispositivos capturan información en tiempo real para previo análisis y visualización, facilitando decisiones eficientes (Magazieee, 2021).

Figura 12

IoT prevé grandes avances en la parte de control y monitoreo



Nota: El IoT se implementa a estos sistemas con un bajo costo invertir y mayor eficiencia. Tomada de (Magazieee, 2021).

2.5.2.1 Sensor de temperatura

Uno de varios distribuidores comenta (Naylampmechatronics, 2023) “El sensor DHT22 permite monitorear la temperatura y humedad relativa de forma

precisa y sencilla a un bajo precio. La salida en donde se suministra es de tipo digital, no requiriéndose utilizar entradas analógicas", como identifica en la Figura 13 el sensor obtiene los datos temperatura y otro es humedad ambiente.

Figura 13

Sensor para medir temperatura y humedad



Nota: Es sensor estas ligadas a digital en cual temperatura y la humedad tiene buena eficiencia y bajo costo. Tomada de (Naylampmechatronics, 2023).

2.5.2.2 Sensor de CO_2

Un sensor de monóxido carbono el cual puede mide la concentración del dióxido de carbono en un espacio específico, registrándola en partes por millón en unidades (ppm). Como se muestra en la Figura 14, estos dispositivos son clave para monitorear la calidad del aire en interiores se puede garantizando condiciones saludables y más seguras.(Industrias GSL, 2021)

Figura 14

Sensor de CO2



Nota: Dióxido de carbono está presente en quema vegetación (CO2) es un gas este es incoloro e inodoro producido por respiración, combustión y descomposición orgánica. Tomada de (Robotshop, 2023).

2.5.2.3 Sensor de movimiento

El módulo en GY-87 permite la analizar el movimiento en los 10 ejes gracias a su acelerómetro, giroscopio, magnetómetro y barómetro integrados. Admite comunicación por SPI e I2C esto permite que se mas facilita su uso en aplicaciones como navegación, realidad virtual se acople a las funciones activadas por movimiento (*Gy-87 de Modulo Sensor como Imu 10dof a UNIT de Electronics*, 2025) .Como se observa en la Figura 15, cuenta con 8 pines para una fácil integración en proyectos electrónicos.

Figura 15

Modulo Sensor Imu 10dof



Nota: Tiene una función del en los 6 ejes del módulo estará incluir en diferentes proyectos de navegación. Tomada de(*Gy-87 Modulo Sensor Imu 10dof - UNIT Electronics*, 2025)

2.5.2.4 GPS para posicionamiento

El GPS comprende en navegación como es satelital compuesto 24 satélites están órbita, desarrollado equipo Departamento de Defensa Estados Unidos. Inicialmente fue diseñado para fines militares, fue habilitado para uso civil en la

década de 1980 (Carvalza, 2024). Se identificará en la Figura 16, el sistema es ampliamente ejecuta diversas aplicaciones hoy en día.

Figura 16

Sistema de Posicionamiento Global (GPS)



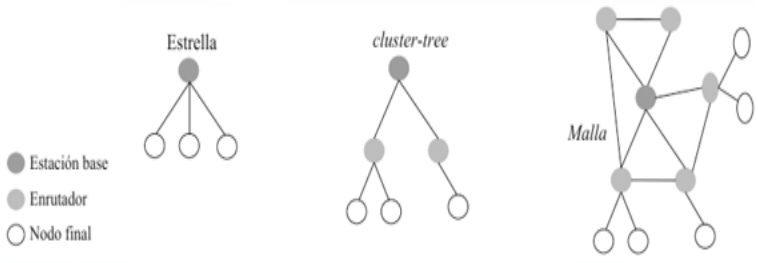
Nota: La comunidad científica aprovecha el GPS por su alta precisión en la sincronización en la provisión de datos de ubicación. Tomada de(Carvalza, 2024)

2.6 Topologías de red aplicables en WSN

La topología de una red de sensores inalámbricos (WSN) es un elemento crucial en su diseño se define la forma en que los nodos están conectados y se comunican entre sí (Lidice et al., 2018). Figura 17, toma en cuenta describen las principales topologías que se utilizada en diferentes redes:

Figura 17

Topología de red WSN



Nota: WSN se tiene una planificación para su topología y selección la mejor tecnología de comunicación. Tomado de (Lídice et al., 2018).

2.6.1 Topología estrella

Los nodos se comunican directamente a la estación base, simplifica a la red y reduce fallos locales. En la cual depende más completamente de la estación base como único punto central al conectar, afectando su escalabilidad (Gómez, 2022).

2.6.2 Topología árbol

Los nodos se agrupan en clústeres liderados y la optimizando la energía y mejorando más la escalabilidad en aplicaciones de media escala. Que los nodos pueden reducir energía mediante períodos programados de actividad y reposo, en la comunicación depende de rutas (Gómez, 2022).

2.6.3 Topología Mesh

Los nodos se conectan entre sí, formando rutas alternativas que aumentan la fiabilidad de la red. Sin embargo, implicara un mayor consumo de la energético en los nodos que realizan tareas de enrutamiento, especialmente en redes densas (Gómez, 2022).

2.7 Redes Mesh Aplicadas a Incendios Forestales

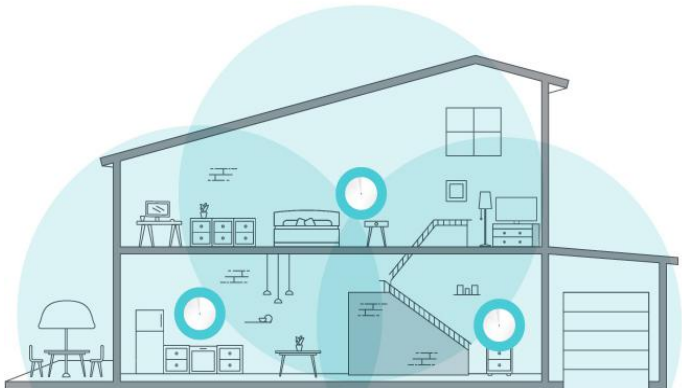
2.7.1 Funcionamiento de redes Mesh

La red de malla se estructura de una red el nodo puede conectar varios o múltiples nodos adicionales. En este tipo de red, la información puede seguir diversas rutas para alcanzar su destino, lo que ofrece redundancia y resistencia. Esto permite que la red se ajuste ante fallos en los nodos y encuentre nuevas trayectorias para transmitir los datos (Mosquera & Cepeda, 2023). En la Figura 18 define una

red de malla. En donde cada equipo tiene la conecta a varios otros en medio, permitiendo múltiples rutas a definir.

Figura 18

Rede Mesh



Nota: Red MESH está en un conjunto de equipos intercomunicándose con finalidad de compartir datos. Tomada de (Tp-Link, 2020).

2.7.2 Transmisión de datos áreas de difícil acceso

La transmisión de datos es esencial en el contexto actual, facilita comunicación fluida entre equipos y sistemas. Este permitiendo la integración efectiva de diversas tecnologías. Una transferencia se tenga una eficiente de información en operaciones empresariales modernas. También esto impulsa la innovación y mejora la capacidad de respuesta en diferentes sectores (Unisystem, 2024).

2.7.3 Integración de LoRa con redes Mesh

LoRa con aplicación redes Mesh puede ofrecer una solución eficaz para garantizar la comunicación en entornos sin infraestructura externa. Al combinar el bajo consumo de LoRa con la flexibilidad de las redes Mesh. Se comunicará

autónoma y escalable, en las áreas remotas o situaciones de emergencia y monitoreo ambiental (Suanzes, 2024).

2.7.3.1 Herramientas como Meshtastic para la comunicación.

Meshtastic es un proyecto está iniciando código abierto por Sintecho facilita la comunicación entre dispositivos de bajo coste utilizando LoRa. Esto permite crear redes de largo alcance sin necesidad de infraestructura adicional. Esto soportando hasta 100 nodos interconectados. El funcionamiento de Meshtastic se basa en LoRa, una tecnología sin licencias que habilita redes "off-grid", operando de manera autónoma sin depender de internet (Suanzes, 2024).

Funcionamiento básico de Meshtastic

- Transmisión de mensajes: Los dispositivos envían mensajes limitados de saltos predeterminado (generalmente tres).
- Confirmación de recepción: se confirma la recepción, el mensaje se retransmite hasta alcanzar el límite de saltos requeridos.
- Gestión de paquetes: Para los nodos se tiene los receptores que retransmiten el mensaje o datos si es nuevo en la reducción del límite de los saltos hasta que llegue al destino.

Meshtastic es nueva de aplicaciones que se relaciona las redes Mesh en entornos de larga distancia en la cual se asegura la comunicación sin infraestructura externa y costosa en que sea útil en las situaciones críticas como el diseño de redes de mando y control.

2.8 Sensores aplicados a la detección y monitoreo:

Por el ámbito de sensores para incendios forestales se tomó en cuenta el proyecto Loriot Verso, titulado "Evaluación del riesgo de incendios forestales en

Salzburgo, tiene como propósito identificar de forma temprana el riesgo de incendios forestales mediante el monitoreo de sensores ambientales.”(Verso, 2024),en cual menciona una lista de aplicación de Sensor DL-ATM41 IoT LoRaWAN: Estación Meteorológica:

- Radiación esta la Solar
- Precipitación
- La Presión del Vapor
- La Humedad Relativa
- Temperatura del medio
- Presión Barométrica
- Velocidad se encuentra Viento dirección Horizontal
- Ráfaga de Viento
- Inclinación

2.8.1 Parámetros ambientales más críticos en incendios forestales

Los parámetros destacados por Pazmiño incluyen la velocidad como es el viento (km/h), la humedad relativa (%), y caso es sequía, identificados como elementos clave relacionados menciona incendios forestales ubicados en Ecuador. Según el autor, las principales causas de estos incendios están asociadas a la temperatura promedio (°C), la velocidad del viento, la humedad relativa y las condiciones de sequía(Pazmiño, 2019).

2.9 Beneficios del Sistema Automatizado en Incendios

La automatización juega un papel muy importante en la seguridad, en particular se tiene como caso de incendios. La mayoría de las soluciones automatizadas se centran en el monitoreado permanente, subrayando el caso de los

sistemas contra incendios es esencial herramienta fundamental. Estos sistemas se encuentran muy extendidos y su uso contribuye a un objetivo que es bienestar y seguridad de las personas se involucren en trabajo visitan los espacios, al garantizar una respuesta oportuna y eficiente ante situaciones de riesgo (Tecnelec, 2019)

2.9.1 Optimización en la detección y respuesta.

La automatizados contra incendios optimizan la seguridad y eficiencia en situaciones de emergencia mediante las siguientes ventajas clave:

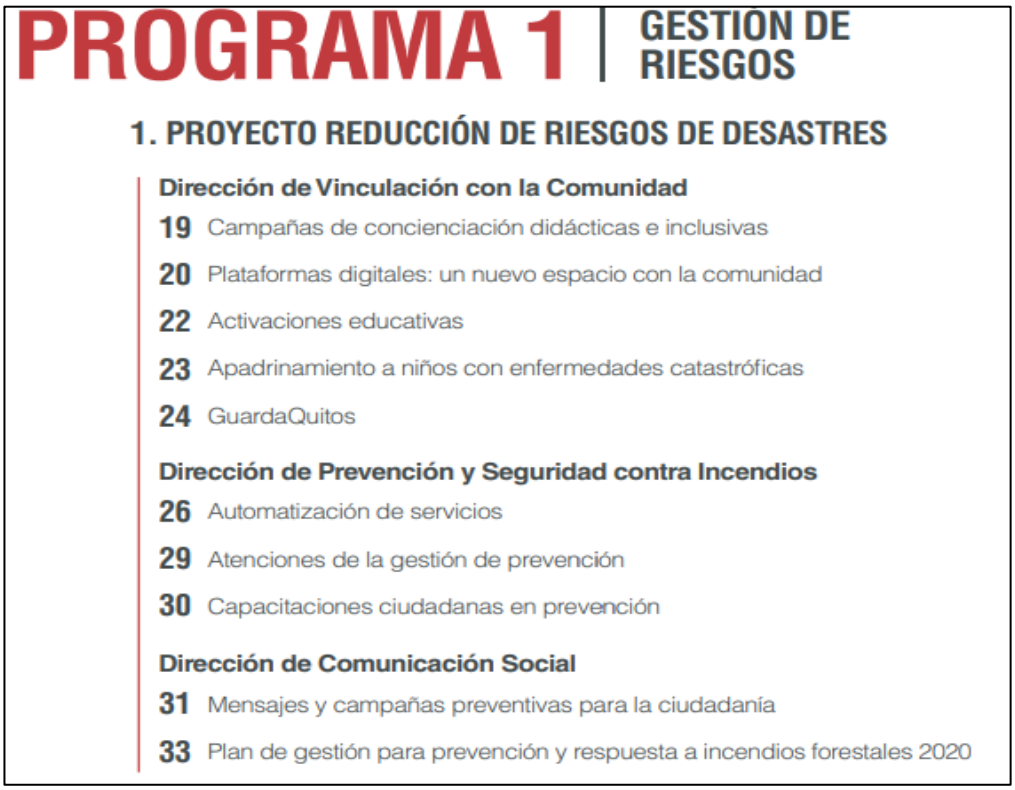
Los sistemas de la automatizados contra los incendios ofrecen monitoreo continuo las 24 horas en detectar humo, fuego o aumentos de temperatura y en que se activa los mecanismos que tiende a la extinción con alertas. En Mejora las probabilidades de salvar vidas y reducir los daños físicos. Se acopla a diversos espacios esto aunque requieren una primera inversión inicial en ofrecer los beneficios a largo plazo. Además, se integran otros sistemas, garantizando una protección confiable y constante (Tecnelec, 2019)

2.9.2 Reducción de riesgos para los bomberos.

En el Programa 1: Reducción de Riesgos de Desastres, según (Bomberos Quito, 2020) la Figura 19 resalta estas acciones clave de diversas direcciones se tiene campañas de concienciación en las plataformas digitales y programas comunitarios de la Dirección de Vinculación con la Comunidad. La automatización de servicios y la capacitación ciudadana en la Dirección de Prevención y Seguridad en combatir Incendios con ayuda de campañas preventivas y el Plan de Gestión para Prevención y Respuesta a Incendios Forestales 2020 en la Dirección de Comunicación Social

Figura 19

Proyecto reducción de riesgos



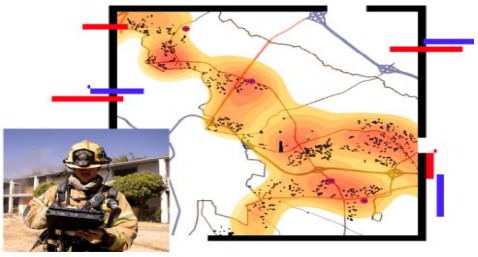
Nota: Acciones clave del Programa 1: Trata de Reducción de Riesgos, como campaña en la automatización de servicios, capacitación y el Plan estructurado para los Incendios Forestales 2020.Tomada de (Bomberos Quito, 2020)

2.9.2.1 Reducción de daños a la naturaleza y comunidades.

La reducción de riesgos coordina emergencia y prevención, mejorando la seguridad comunitaria para el personal de bomberos. La tecnología SIG facilita la identificación de riesgos y el desarrollo de estrategias para proteger a ocupantes y bomberos (Esri, 2022). Esto se muestra en Figura 20, que muestra mapas con tecnología SIG en las comunidades e zonas del medio.

Figura 20

Reducción de riesgos de la comunidad



Nota: Soluciones integradas para la solventar los riesgos presenta en la comunidad. Tomada de (Esri, 2022)

2.9.2.2 Beneficios para la salud y seguridad de los bomberos.

El Cuerpo de Bomberos de Portoviejo priorizado salud del personal inspectores. Dentro sesión Figura 21, se destacan algunos exámenes médicos estaría realizando para asegurar la solventar los problemas de salud está relacionado al (Bomberos de Portoviejo en Priorizar La Salud de Su Personal del Cuerpo de Bomberos Portoviejo, 2023).

Figura 21

Bomberos de Portoviejo en priorizar la salud de su personal



Nota: Prioridad para la persona es la salud de Bomberos Portoviejo.Tomada de (*Bomberos de Portoviejo en Priorizar La Salud de Su Personal del Cuerpo de Bomberos Portoviejo*, 2023)

2.10 Metodología del Kit Telemático

La **Metodología del Kit Telemático** se basa en el uso del **modelo en V**, que asegura la organizada y efectiva para el desarrollo del kit, garantizando integración tanto de hardware y el software. Este modelo abarca desde la definición de requerimientos hasta las pruebas finales que se asegura que cada fase se valide antes de avanzar a la siguiente. Se enfoca en la recopilación, procesamiento y transmisión de los datos en tiempo real, implantando LoRa para la comunicación inalámbrica en donde emplea una topología puede ser tanta estrella o mesh para garantizar la cobertura y confiabilidad del sistema.

2.10.1 Metodología en V

Según Johanna y Cecibel (Johanna & Cecibel, 2018)"El modelo en 'V' de Alan Davis, creado en los años 90, el modelo en cascada y destaca la importancia de realizar pruebas efectivas desde el inicio del proyecto, evitando defectos al integrar validaciones con el desarrollo." Figura 22 muestra el modelo en V, especificando cada paso del desarrollo y validación del kit telemático.

Figura 22

Modelo en V



Nota: Representación del modelo en V, destacando las fases de desarrollo y validación del kit telemático. *Tomada de (Sarco, 2012).*

3. Capítulo III: Diseño del Kit

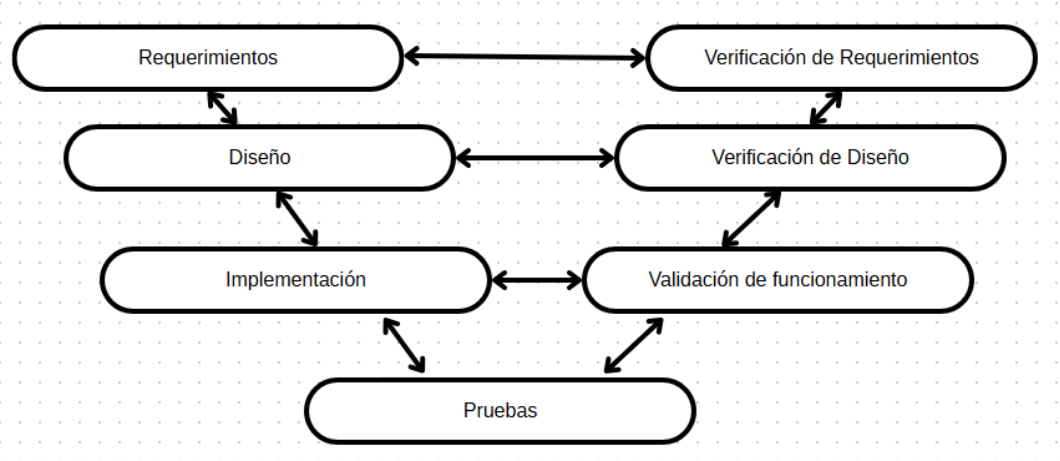
En siguiente capítulo se presentará un desglose de la metodología "Modelo en V", detallando sus etapas y fases propuestas para el desarrollo en base la planificación establecida en la finalización del capítulo 3.

3.1 Metodología del diseño

La metodología presentada se basa en un modelo en V, el cual se estructura en cuatro etapas principales que corresponden a las fases del proyecto: Requerimientos, Diseño, Implementación y Pruebas. En la Figura 23 se detallan procesos muy detallado para llevarán a cabo en función del desarrollo del kit telemático.

Figura 23

Modelo en V



Nota: Se identifica un modelo que consta cuatro etapas o también fases en lado izquierdo y lado derecho encuentra la validación de cada una ellas. Fuente: Autoría propia.

Paso a paso

La etapa 1 Requerimientos se definen los requerimientos clave del kit y de los stakeholders, determinando las variables técnicas críticas. Las mejores opciones se mencionan con el desarrollo estará seleccionando las tecnologías, equipos y módulos necesarios para garantizar que el sistema funcione correctamente y cumpla con sus objetivos desde el inicio.

En la etapa 2 del Diseño se establece una de la arquitectura sugerida das por bloques funcionales se tendrá definir los tipos de sensores más adecuados se toma en cuenta los diagramas de flujo de cada evento de proceso y las interconexiones entre componentes. Esto se garantiza que cada elemento cumpla su función dentro de la topología planteada se tiene que alinear con los requisitos definidos y asegurando un sistema coherente y eficiente.

La etapa 3 de Implementación de las pruebas el kit en cada escenarios o eventos, detectando los fallos y optimizando la conexión de módulos e sensores. Se tendrá que validar su funcionamiento en la topología diseñada para asegurando que se cumpla con el objetivo inicial será operativo y vinculado especialmente para bomberos.

La etapa 4 final de Pruebas se evalúa el rendimiento y funcionalidad del kit, comprender el funcionamiento en diferentes tipos de zonas. Se tendrá la recopilación y procesamiento, transmisión, tratamiento de información, presentación de datos y demostrando su funcionamiento de cada etapa.

3.2 Requerimientos

En este apartado, se menciona los requisitos técnicos y las normativos para el desarrollo del kit telemático se incorpora a trabajar con ISO/IEC/IEEE 29148:2018. Este marco tiene directrices integrales la ingeniería para los requisitos

del sistema en la integran componentes esenciales como son hardware y software se espera tener un enfoque estructurado y trazable.

La norma ISO/IEC/IEEE 29148:2018 establece ámbitos en los procesos y requisitos para la gestión previa de requisitos en el desarrollo del sistemas y también software, integrando las directrices de ISO/IEC/IEEE 15288 (ingeniería de sistemas)(*ISO/IEC/IEEE 29148:2018 Ingeniería de Sistemas y Software de Procesos Del Ciclo de Vida de Ingeniería de Requisitos*, 2018). Su objetivo principal es garantizar eficiencia con claridad, estructurada y trazable en requisitos a lo largo del ciclo de vida de útil.

3.2.1 Cuerpos de Bomberos y requerimientos

Los Cuerpos de Bomberos desempeñan un rol vital en ciudades y zonas circundantes se asegura una actuación eficiente frente a los incendios y otras emergencias en la Figura 23. Operando desde su sede central, extienden sus servicios a comunidades urbanas y rurales para extinguir siniestros en salvaguardar vidas y propiedades en la optimización en la asistencia en áreas impactadas o afectadas.

Figura 24

Bomberos: Despliegue rápida en incendios forestales



Nota: Intervención del Cuerpo de Bomberos ante un incendio. Respuesta rápida, protección garantizada. Tomada de (LA NACIÓN, 2024).

Durante este tipo de emergencias se indicará en la tabla 9, el personal se enfrenta a múltiples riesgos que pueden afectar tanto a su seguridad y desempeño. Entre estos eventos son los principales como:

Tabla 9

Riesgo Operativos en Incendios

Riesgo Operativo	**Descripción breve**
Golpes o lesiones por colisiones o también estos derrumbes	Riesgo de los impactos por caída de árboles o estructuras debilitadas
Fatiga extrema por esfuerzo físico se prolongado	Exceso de trabajo físico sin descanso adecuado
Sofocación por altas temperaturas en zonas de fuego activo	Exposición a calor extremo que puede llevar a desmayos o golpes de calor

Asfixia por la inhalación de humo tóxico y gases	Inhalación de CO_2 o partículas peligrosas para personal
Dificultad visual para ubicar al personal entre llamas y humo denso	Problemas para localizar compañeros en zonas de poca visibilidad reducida

Nota: Estos riesgos abarcan desde golpes o también a lesiones causadas por colisiones o derrumbes aumenta las dificultades para localizar al personal en condiciones de baja visibilidad. Tomada de *(LA NACIÓN, 2024)*

El incremento en la intensidad y propagación del fuego eleva la complejidad operativa en donde se tomará en cuenta los protocolos especializados. La prioridad de la coordinación interinstitucional y equipamiento avanzado permitirá salvaguardar la integridad del personal bomberil en intervenciones de alto riesgo.

3.2.2 Requerimientos basados en la información recolectada

Datos iniciales del análisis se toma en cuenta la (ubicación del foco, velocidad de propagación, tipo de vegetación, clima y terreno) esto permite la evaluación de los recursos, acceso se más factible y el riesgo para comunidades del ecosistema. Se tendrá que definir la enumeración de requerimientos clave: integrar los equipos con tecnología que serán con (drones, sensores) y estas acciones humanas (evacuaciones, contención) para una intervención ágil y segura.

Tabla 10 se detalla el personal crítico para la intervención en destacar la necesidad de personal o de bomberos sean capacitados para los terrenos irregulares,

médicos disponibles en el perímetro de seguridad. Con los operadores de drones más experimentados ayudara en mejora la coordinación de la logísticos en la comunicación en eventos que se puede presentar.

Tabla 10

Requerimientos de Personal y Equipos Humanos

Recurso	**Función clave**	**Condiciones criticas**
Bomberos especializados	Ejecutar maniobras en la contención y rescate.	Capacitación en terreno irregular y uso de EPP.
Médicos de emergencias	Atención inmediata a quemaduras, intoxicaciones o golpes de calor.	Disponibilidad en el perímetro de seguridad.
Operador con el drones	Monitoreo térmico y ubicar de las víctimas.	En zonas de baja visibilidad y sugerir en reducir tiempos.
Coordinadores logística	Gestión de los recursos y tener una mejor comunicación con los equipos.	Uso de las frecuencias asignadas para uso de las radios por el personal seria de 1 a 4 puntos comunicación

Nota: Las recomendaciones técnicas están la coordinación entre los equipos son muy esenciales para la mitigar riesgos como es fatiga extrema o dificultad visual en zonas de humo denso. Fuente: Autoría propia.

Esta son aplicaciones tecnológicas y para los equipos de protección se menciona en Tabla 11 en los trajes ignífugos y respiradores autónomos se usa las

autobombas con capacidad ≥ 5,000 litros y otros implementos como los drones de alta resolución térmica.

Tabla 11

Requerimientos Técnicos y Equipamiento Esencial

Equipo	**Función**	**Condición de Uso**
Equipo de Protección Personal (EPP)	Protección contra calor, humo y caídas.	Traje ignífugo o mascarilla SCBA y los arneses anticaídas.
Drones con cámaras térmicas	Identificación puntos de rescate en humo denso.	Tomar en cuenta la duración de batería.
Autobombas y autotanques	Extinción directa y creación de cortafuegos.	Capacidad es de 5,000 litros en terrenos difíciles.
Radios comunicación	Coordinación en cada equipo real.	Frecuencia asignada

Nota: Se tendrá el equipamiento incorporase a adaptarse en las condiciones extremas como seria de las temperaturas pueden ser superiores a 60°C o terrenos accidentados, para garantizar la seguridad del personal. Fuente: Autoría propia.

Presenta protocolos prioritarios en Tabla 12, como la evaluación inicial del riesgo (considerando viento y topografía), la creación de zonas seguras y el rescate técnico en pendientes mediante cuerdas y arneses

Tabla 12

Procedimientos Críticos para Intervención

Procedimiento	**Acciones clave**	**Objetivo**
Evaluación inicial del riesgo	Diagnóstico de ubicación, viento, humedad y topografía.	Priorizar recursos y evitar lesiones
Zonas seguras	Establecer las rutas de evacuación con las áreas libres de fuego.	Proteger los equipos y las comunidades mas cercanas.
Rescate técnico en terreno	Uso de cuerdas, arneses y técnicas verticales en pendientes.	Extracción en las zonas críticas.
Monitoreo continuo	Estar pendiente a cambios en la dirección del fuego con los (vía drones o sensores).	Tendrá que ajustar estrategias sean eficientes.

Nota: La integración del monitoreo continuo con los equipos como son los (vía drones o sensores) se tendrá que ajustar estrategias dinámicamente en la priorizando la protección de vidas y ecosistemas. Fuente: Autoría propia.

Las mejores opciones para la intervención

Se analizan la optimización de tiempo implantado equipo tecnológicos e intervención humana. En tener modelados predictivos permite anticipar el comportamiento del fuego, mientras que equipos especializados en tierra ejecutan

maniobras de control directo. A medida que se integren ambas dimensiones de una manera más eficiente, la respuesta será más ágil, los tiempos de reacción serán más cortos y la seguridad de los operativos será mejor. La puesta en marcha de los requerimientos finales tendrá que ajustarse a las condiciones variopintas del evento, y tendrá que primar la protección de las vidas humanas, la protección del medio ambiente y el trabajo de interinstitucional con el equipo.

3.2.2.1 Finalidad de kit Telemático

Este proyecto de titulación tiene como objetivo desarrollar un Kit Telemático basado en tecnología LoRa para monitorear factores críticos ambientales y de integridad física de los bomberos durante incendios forestales, en coordinación con el Cuerpo de Bomberos. El sistema implementará una red en malla (mesh) o punto a punto basada en la tecnología LoRa, con el fin de garantizar una comunicación eficiente y sea confiable entre los distintos componentes del sistema. El casco contará con el módulo electrónico o controladores integrado que se incluirá sensores como son sensores GPS, medidores de CO_2 e detector de gases, y sensores de movimiento que permitirá monitorear en tiempo real en saber estado o la ubicación para las condiciones ambientales y la actividad física del operativo.

Este módulo del casco se encargará de recopilar los datos en tiempo real y transmitirlos mediante la red LoRa hacia un nodo principal en donde cual tendrá la función de analizar y procesar dicha información. Una vez procesada, los datos serán enviados a una base de datos central, donde podrán ser accedidos y visualizados a través de una interfaz gráfica desarrollada específicamente para este propósito.

La interfaz ofrecerá al usuario la posibilidad de una previa visualización de los datos del nodo casco esto tendrá datos importantes como una es su ubicación exacta, los niveles de gases en el ambiente, estado de movimiento. En cuanto conectividad el kit podrá operar de forma local mediante Wi-Fi o de forma remota a través de redes móviles 3G/4G lo permite conocer el estado actual del operativo, incluso cuando se encuentre en zonas alejadas.

3.2.3 Beneficiarios Stakeholders

Los stakeholders son fundamentales para visualizar previamente qué grupos se beneficiarán el kit telemático tanto a las personas individuales como a colectivos involucrados como ser la planificación. El Cuerpo de Bomberos principal utilizará este sistema para recopilar datos e identificar variables críticas que ayuden a salvaguardar la integridad del personal durante incendios forestales. Tabla 13 esta stakeholders relacionados estará identificando los grupos y actores clave asociados al desarrollo e implementación de este kit telemático.

Tabla 13

Lista de Stakeholders

LISTA DE STAKEHOLDERS
1. Tcrnl. Vinueza Rolando Cuerpo de Bomberos
2. Miembros del Cuerpo de Bomberos
3. MSc. Carlos Vásquez (Director del trabajo de titulación)
4. MSc. Jaime Michilena (Asesor del trabajo de titulación)
5. Fernando Guerra (Desarrollador del trabajo de titulación)

Fuente: Elaborada por el Autor.

3.2.3.1 Nomenclatura de requerimientos

A continuación, en Tabla 14, se identifica la simbología y acrónimos correspondientes a cada uno del ítem presentado. Este sistema de siglas permite diferenciar claramente siglas o terminología utilizada, facilitando la comprensión de cómo están organizados y distribuidos los requerimientos del kit.

Tabla 14

Descripción con sus nomenclatura o acrónimo

DESCRIPCIÓN DE REQUERIMINETOS	ACRÓNIMO
Stakeholders	STSR
Sistema	SYSR
Arquitectura	SRSH

Nota: Nomenclatura de requerimientos. Fuente: Autoría propia.

El proceso identificará los requerimientos según las necesidades específicas del proyecto, asignándoles una ponderación. Se cabe mencionar en Tabla 15, dicha ponderación se categoriza en Alta, Media o Baja, lo permite la facilitar la selección de la mejor alternativa a implementar.

Tabla 15

Prioridad de requerimientos

Prioridad	Descripción
Alta	Es un requisito muy esencial muy que debe ser implementar de forma obligatoriamente para el sistema. La misión estiraría comprometería directamente en la funcionalidad clave del proyecto.

Media	Aunque su inclusión es recomendable para garantizar un sistema óptimo, este requerimiento puede excluirse en situaciones excepcionales sin afectar gravemente el resultado final.
Baja	La implementación puede ser opcional en la que ausencia no generaría un impacto tan relevante para el desempeño o la efectividad del sistema o kit a ejecutar.

Nota: Prioridad que se base requerimientos del proyecto**.** Fuente: Autoría propia.

3.2.3.2 Requerimientos de Stakeholders

Para reconocer cada grupo o las personas fundamentales, es necesario saber quiénes son los agentes que tienen un interés directo en el proyecto que se propone. Los intervinientes son las más importantes dado que su intervención da lugar a conocer detalladamente los requerimientos del sistema.

La investigación supone una muestra de 9 profesionales clave: 6 bomberos de técnicas de extinción, 1 profesional paramédico, 1 contadora y 1 Primer Jefe (ver Anexo 1). Esta muestra quiere representar a los intervinientes clave en la gestión operativa de incendios forestales, de forma que los datos obtenidos reflejen las verdaderas necesidades del personal en la línea. Con ello, se quiere captar los datos que permitirán reducir tiempos de respuesta y minimizar riesgos en los tiempos difíciles, en favor de la seguridad del equipo en situaciones de adversidad.

Empleando encuestas estructuradas se procederá a determinar las demandas concretas del cuerpo de Bomberos haciendo hincapié en su entorno operativo, lo cual permitirá definir los parámetros técnicos del sistema que permitan visualizar en tiempo real el estado de los nodos, la generación de alertas instantáneas y

proteger tanto la integridad del sistema como la del personal que lo utiliza. Estos requerimientos se validarán cruzando los datos de campo con las soluciones técnicas propuestas, asegurando su viabilidad y efectividad.

La información obtenida se recogió en la Tabla 11, que especifica tanto los requerimientos que afectan a la operativa como las necesidades que poseen los usuarios (inspirado del Anexo 2); esto permite entender las demandas concretas junto con las necesidades que las funcionalidades del sistema tienen a su vez; con lo cual el diseño final quedará fundamentado en los problemas que se dieron en la actuación durante los incendios forestales. La integración de estos insumos asegurará un desarrollo técnico alineado con las exigencias del trabajo en campo.

Tabla 16

Requerimientos Stakeholders

STSR				
		Prioridad		
	Requerimientos	**Alta**	**Media**	**Baja**
	Requerimientos operacionales			
STSR1	El kit debe garantizar comunicación en zonas con poca o nula cobertura.		**x**	
STSR2	El sistema debe ser compacto, ligero y resistente a impactos.	**x**		
STSR3	El sistema tiene que soportar altas temperaturas propias de incendios forestales.		**x**	

STSR4	La comunicación del sistema debe adaptarse a la zona geográfica y el terreno.	**x**
STSR5	El sistema debe almacenar datos y enviarlos automáticamente a una plataforma.	**x**
	Requerimientos de usuario	
STSR6	Los datos deben visualizarse en tiempo real a través de una app o interfaz web.	**x**
STSR7	Se deberá de emitir las notificaciones automáticas del nodo principal y enviarlas por medio de dispositivos más cercanos.	**x**
STSR8	El sistema debe contar con un inventario histórico de incendios para análisis posterior.	**x**
STSR9	Tendrá que ser compatible con los dispositivos móviles para facilitar el uso.	**x**
STSR10	La interfaz debe ser clara, con iconos simples para facilitar el uso en medio del campo.	**x**

Nota: En cuanto la tabla se recopilo información más relevante tanto en requerimiento operacionales y del usuario se parte en conocer necesidades del cuerpo de bomberos. Fuente: Autoría propia.

3.2.4 Requerimientos Sistema

La siguiente información corresponde a los requerimientos del sistema, los cuales incluyen: usos, rendimiento (*performance*), estados, interfaces y componentes físicos (detallados en la Tabla 17). Estos puntos de evaluación forman parte del proceso de recolección de datos, priorizando un cumplimiento enfocado

en requerimientos establecidos, tanto los definidos inicialmente como aquellos identificados en relación con el sistema.

Tabla 17

Requerimientos del sistema

SYSR					
		Prioridad			Relación
	Requerimientos	Alta	Media	Baja	
	Requerimientos de uso				
SYSR1	Operación continua en temperaturas extremas (-5°C a 60°C) y entornos con humo denso.		**x**		
SYSR2	La comunicación será estable en red Mesh o punto a puto LoRa la cual se adaptable a terrenos irregulares.		**x**		
SYSR3	Se tendrá desactivación forma manual la alarma "hombre caído" mediante pulsador físico.	**x**			
SYSR4	Interfaz intuitiva y sea fácil de usar para los bomberos e incluso con equipos de protección.	**x**			

SYSR5	Un almacenamiento automático con datos (temperatura, CO_2, GPS, alarmas).		**x**
SYSR6	Se requiere diseño acople al equipo que evite reducir la eficiencia.	**x**	
SYSR7	El sistema debe ser fácilmente des infectable y limpiable tras su uso en entornos con ceniza, humo o residuos tóxicos.		**x**
SYSR8	Detección automática de niveles críticos y alerta inmediata al equipo base.		**x**
	Requerimientos de performance		
SYSR9	Autonomía mínima de 1 a 3 horas (baterías recargables en todos los módulos).		**x**
SYSR10	Recepción de alertas se tendrá a que dar prioridad al nodo principal.	**x**	
SYSR11	La transmisión de datos debe ser segura y confiable, en reducir la pérdida de información.		**x**

SYSR12	Tomar en cuenta la escalabilidad para la integrar más módulos adicionales.		**x**	
SYSR13	Los tiempos de tendrá estar en 1 <5 segundos en por el envío/recepción de alertas.		**x**	
SYSR14	Capacidad de operación continua bajo condiciones climáticas			**x**
SYSR15	Sincronización automática de datos al restablecer conexión con la base		**x**	
SYSR16	Capacidad de funcionamiento en modo offline		**x**	
	Requerimientos de estados			
SYSR17	El sistema se considerará en funcionamiento mientras esté enviando o recibiendo datos.	**x**		
SYSR18	El sistema debe ser capaz de recuperarse automáticamente de fallos en la comunicación.		**x**	
SYSR19	Debe registrar y almacenar datos en el historial de eventos y alertas se generaron.	**x**		

SYSR20	Reinicio automático del sensor "hombre caído" al desactivar manualmente la alarma.	**x**	
SYSR21	Precisión estar con distancia del GPS de ±10 metros en la ubicación de cada nodo.		**x**
SYSR22	Modo de bajo consumo energético cuando no se detecten eventos críticos durante un periodo definido.	**x**	
SYSR23	El sistema debe indicar visual o auditivamente su estado.		**x**
SYSR24	Al detectar caída o inmovilidad prolongada, el sistema debe pasar automáticamente al estado de "emergencia".	**x**	
	Requerimientos de Interfaz		
SYSR25	Interfaz gráfica interactiva con mapas en tiempo real (plataforma web o app).	**x**	
SYSR26	Alertas visuales/auditivas personalizables (tonos y colores).		**x**

SYSR27	La interfaz debe mostrar la información de manera clara y concisa	**x**		
SYSR28	El sistema deberá ser compatible con sensores y puertos Micro USB.		**x**	
SYSR29	Tomar en cuenta la compatibilidad con Android y sincronización automática por la vía inalámbrica .			**x**
SYSR30	Previos indicadores visuales en diferenciar por el nivel de alerta.		**x**	
SYSR31	Botones y acciones principales deben ser seleccionables con un solo toque o pulsación física.		**x**	
SYSR32	Las Notificaciones tendrá prioridad para las alertas críticas e incluso cuando la app esté en segundo plano.			**x**
	Requerimientos Físicos			
SYSR33	El sistema debe tener propiedad de ser muy versátil para instalar y para retirar	**x**		

SYSR34	Los módulos deben ser ligeros y ergonómicos para no dificultar el movimiento del bombero		**x**	
SYSR35	Los materiales del sistema deben ser resistentes al fuego y a la corrosión.	**x**		
SYSR36	El sistema debe contar con un sistema de sujeción seguro para evitar que se desprenda durante la operación.		**x**	
SYSR37	El sistema debe ser fácil de limpiar y mantener.			**x**
SYSR38	Dimensiones serán compactas que permitan que el su uso de los espacios reducidos o evitar los movimientos dentro del equipos de rescate a usar.		**x**	
SYSR39	Tendrá que resistencia a impactos físicos en eventos de (caídas, golpes leves) sin afectar al funcionamiento interno del kit.		**x**	
SYSR40	Diseño un sistema que se modula que permita reemplazar		**x**	

	componentes se tanto individuales sin afectar a los demás componentes de todo el sistema.

Nota: Los requerimientos del sistema SYSR priorizan funcionalidad crítica (operación en condiciones extremas, comunicación estable y autonomía) sobre mejoras secundarias. El diseño garantiza robustez, usabilidad en emergencias y escalabilidad, cumpliendo estándares para equipos de rescate**.** Fuente: Autoría propia.

Los Para conseguir una buena eficiencia, la seguridad y el cumplimiento de las necesidades de operación de los incendios forestales, se diseñaron los requerimientos del sistema (SYSR). Las funcionalidades de SYSR serán, al menos, operar en condiciones extremas, proporcionar conectividad en redes de tipo Mesh o punto a punto, operar de forma autónoma, tener tiempos de respuesta al enviar una alerta lo más corto posible, almacenar y sincronizar los datos obtenidos, presentar los resultados a los usuarios con interfaces fáciles de usar para poder seguir el flujo de trabajo de las búsquedas sin perder capacidad de respuesta, tener propiedades físicas que la hagan resistente entre otras.

3.2.5 Requerimientos Arquitectura

En Requerimientos Arquitectura en la tabla 18 se identifica que juega un papel muy fundamental al consolidar de manera precisa y detallada los requisitos esenciales que debe dar prioridad a cumplir la arquitectura del sistema. Esta tabla es clave para entender las bases técnicas y funcionales

Tabla 18

Requerimientos del Arquitectura

SRSH					
		Prioridad			Relación
	Requerimientos	**Alta**	**Media**	**Baja**	
	Requerimientos lógicos				
SRSH1	El sistema debe soportar la comunicación simultánea de múltiples nodos.	**x**			
SSRH2	El sistema debe gestionar la priorización de alertas de emergencia.	**x**			
SRSH3	El sistema asegurar la integridad de datos transmitidos.	**x**			
SRSH4	El kit debe implementar un mecanismo de detección de fallos en los nodos.			**x**	
SRSH5	Se tiene que mantener un registro de la hora y fecha de cada uno del evento crítico.		**x**		
SRSH6	Se tendrá que asignar prioridad de alertas por		**x**		

	proximidad geográfica y nivel del riesgo detectado.		
SRSH7	El sistema mantendrá consistencia del historial de la base de datos local envió remoto.	**x**	
SRSH8	Debe registrar automáticamente los cambios de estado de cada dispositivo (activo, en alerta, fuera de línea).		**x**
	Requerimientos de Diseño		
SRSH9	El sistema debe basarse en una arquitectura modular y escalable.	**x**	
SRSH10	El sistema debe utilizar el protocolo LoRaWAN para la comunicación inalámbrica.	**x**	
SRSH11	El sistema debe implementar una topología de red Mesh o punto a punto para la interconexión de los nodos.	**x**	

SRSH12	El sistema debe definir claramente las interfaces entre los diferentes módulos.		**x**
SRSH13	El sistema debe considerar el uso de un nodo principal para la conexión a la red y lora.	**x**	
SRSH14	La arquitectura debe soportar múltiples tipos de sensores conectados al mismo módulo base.		**x**
SRSH15	Los datos intercambiados entre módulos deben seguir un formato estandarizado		**x**
SRSH16	El sistema debe permitir la configuración automática de nuevos nodos al integrarse a la red.	**x**	
	Requerimientos de Software		
SRSH17	El software debe ser capaz de procesar datos obtenidos.	**x**	
SRSH18	El software tendrá que implementar los algoritmos en la detección de cada eventos críticos genrado	**x**	

SRSH19	El software deberá proporcionar la interfaz del usuario en la visualización de datos y alertas primordiales.	**x**		
SRSH20	El software debe permitir el almacenamiento y la búsqueda de datos históricos.	**x**		
SRSH21	El software será compatible con equipos móviles Android.			**x**
SRSH22	Debe incluir un sistema de logs que registre todas las acciones realizadas por usuarios y nodos para auditoría y análisis posterior.	**x**		
SRSH23	Una prioridad será exportación de datos históricos en formatos como (CSV, PDF, JSON) con su resumen	**x**		
	Requerimientos de Hardware			
SRSH24	Los módulos deben ser compatibles con sensores de	**x**		

	temperatura, CO2, movimiento y GPS.		
SYSH25	Los módulos deben tener una autonomía de batería de al menos 1 a 3 horas.		**x**
SYSH26	Los módulos deben ser resistentes a condiciones ambientales		**x**
SRSH27	El nodo del caso y nodo Principal debe tener un alcance suficiente para cubrir el área de operación.		**x**
SRSH28	El sistema debe utilizar microcontroladores de bajo consumo de energía.		**x**
SRSH29	El nodo principal debe ser compatible con sensores LoRa, SMS y Wi-Fi, y debe ofrecer una mejor convergencia.	**x**	
SRSH30	Los nodos y el nodo principal deben soporta a procesar y chache de almacenamiento en envío de datos.	**x**	

	Requerimientos Eléctricos		
SYSR31	El sistema debe operar con una fuente de alimentación estable y segura	**x**	
SRSH32	El consumo tendrá energía tendrá que minimizar para reducir r la vida útil de la batería.		**x**
SRSH33	El sistema debe proteger los componentes electrónicos contra sobretensiones y cortocircuitos.		**x**
SRSH34	Los conectores y cables deben ser robustos y fiables para su uso en entornos exigentes.		**x**
SRSH35	El sistema debe cumplir la seguridad electrónica a aplicables.		**x**
SRSH36	Los módulos deben soportar ciclos repetidos de carga.		**x**
SRSH37	El sistema debe mostrar indicadores visibles del nivel de carga		**x**

SRSH38	El sistema debe incluir un mecanismo de ahorro energético que active modos de bajo consumo cuando no haya actividad crítica detectada.	**x**

Nota: La arquitectura del sistema SYSH prioriza una comunicación robusta (LoRaWAN, topología Mesh), procesamiento de datos en tiempo real y modularidad para escalabilidad. Los requerimientos garantizan operación en entornos críticos, con hardware resistente, bajo consumo energético y cumplimiento de normativas de seguridad. Fuente: Autoría propia.

La arquitectura del sistema estas siglas de SYSH está diseñada para operar en entornos críticos como son loe eventos de incendios forestales. Incluye comunicación simultánea de nodos, uso de red Mesh o punto a punto estrella y protocolo LoRaWAN para conectividad confiable. Cuenta con diseño modular los procesamientos en tiempo real de datos, software debe ser compatible con dispositivos móviles y almacenamiento seguro de información. El hardware es resistente para un bajo consumo energético y autonomía de una duración se aproxima en 3 a 6 horas se tendrá que evaluar. Los requerimientos eléctricos tendrán que garantizan la protección contra sobretensiones de los nodos y evitara cortos circuitos en módulos, conectores robustos y el cumplimiento de las normativas de seguridad para kit. Este conjunto aspectos tendrá que asegurar un sistema seguro, eficiente y adaptable a condiciones extremas requerida.

3.3 Benchmarking (Selección de Hardware y Software)

Durante el proceso de selección de placas, los requerimientos técnicos se podrán establecer mediante el análisis por benchmarking de los sistemas STRS, SYSYR y SRSH, de manera se tendrá calificación de cada placa se desarrollará en un rango de puntuación del 1 al 2, siendo 2 el total cumplimiento referente de las exigencias establecidas por la especificación definitiva y 1, las que no cumplen, es decir, el rendimiento esperado es insuficiente o nulo. Los resultados se expondrán de manera analítica mediante tablas comparativas, que permitan visualizar las oportunidades elegidas.

3.3.1 Evaluación y Selección de Hardware

EL hardware, se elegirán dos módulos: uno para el casco de uso personal y otro para el nodo principal. Adicionalmente, en esta etapa se generará un proceso distinto para evaluar configuraciones específicas según el medio.

El hardware se dividirá en dos partes: una para los nodos del caso y otra para el nodo principal se tendrá separado por bloques.

3.3.1.1 Sensores y Módulos: Nodo del Casco

Se enlistará los tentativos módulos a utilizar para Nodo del Casco

- Heltec Wifi LoRa 32(V3)
- TTGO ESP32
- LILYGO® T-Beam V1.2

Opciones para el Bloque de Casco: el Heltec WiFi LoRa 32 (V3) o el ESP32, LoRa, pantalla OLED y bajo consumo es ideal para comunicaciones a larga distancia; el TTGO ESP32, una placa versátil que se adapta a distintas configuraciones según las necesidades del proyecto; y el LILYGO® T-Beam V1.2

que además incluye un controlador de GPS, lo cual lo hace perfecto para rastreo en exteriores.

La selección más adecuada del hardware para los nodos del casco es muy fundamental para garantizar el mejor rendimiento se apegue a lo óptimo y una operación este eficiente como muestra en la Tabla 19. A continuación, se detallan los aspectos clave a considerar en este proceso en bloque Casco.

Tabla 19

Selección del Hardware para el Nodo del Casco

Selección de la placa de desarrollo						
Hardware	**Requerimientos**					
	SRSH24	SRSH27	SRSH30	SRSH10	SRSH32	Valor Total
Heltec Wifi LoRa 32(V3)	2	2	2	2	2	10
TTGO ESP32	2	1	2	1	2	8
LILYGO®T-Beam V1.2	2	2	2	1	2	9
Cumple totalmente 2						
Cumple parcialmente 1						
No cumple 0						

Elección La placa seleccionada es la Heltec Wifi LoRa 32(V3), ya que obtuvo el puntaje mejor puntuación más alto en la evaluación de los requerimientos técnicos. Esta

placa cumple totalmente con todos los criterios analizados, lo que la hace más preciso para el proyecto comparada con los otros equipos expuestos.

Nota: La Heltec Wifi LoRa 32 (V3) tubo la mejor evaluación en base a los requisitos como son técnicos, superando a otros equipos la TTGO ESP32 y LILYGO®T-Beam V1.2. Cabe recala es una placa ideal para el proyecto. Fuente: Autoría propia.

La Heltec WiFi LoRa 32 (V3) representa una solución más equilibrada entre rendimiento en la eficiencia energética y simplifica en ideal para proyectos IoT donde se requiere conectividad muy robusta tanto en la autonomía prolongada y diseño compacto se acople.

Su capacidad para consolidar múltiples funciones en un solo dispositivo la posiciona la mejor opción más viable para el Bloque de Casco, asegurando escalabilidad y mantenimiento sencillo per eficaz en escenarios reales. En la Tabla 20 se presentan las características del módulo Heltec Wifi LoRa 32, que fue el mejor evaluado en relación con los requerimientos del sistema.



Tabla 20

Descripción del Heltec Wifi LoRa 32(V3)

WiFi LoRa 32(V3)	Descripción
Procesador	ESP32-S3FN8 (Xtensa® 32-bit LX7 dual core)
Wi-Fi	802.11 b/g/n, hasta unas 150 Mbps
Bluetooth	Bluetooth de 5 LE
LoRa	SX1262
Frecuencias LoRa	470 a 510 MHz otro es 863 a 928 MHz
Potencia de transmisión	21 ±1 dBm
Sensibilidad máxima	-134 dBm como @ SF12, BW=125 KHz
Memoria	384 KB ROM a 512 KB SRAM,16 KB RTC SRAM, 8 MB Flash (SiP)
Interfaces	Type-C USB, 2 x IPEX 1.0 (LoRa ANT), 2 x 18 pines (Header), 2 x interfaz batería (1.25 mm)
Recursos del Hardware	7x ADC1, 2x ADC2, 7x en Touch, 3x UART, 2x I2C, 2x SPI
Alimentación	Batería de litio de 3.7V tiende a (soporta carga integrada)
Temperatura operativa	Temperatura está en 20 °C a 70 °C

Dimensiones	50.2 × 25.5 × 10.2 mm

Nota: LoRa 32(V3) (SX1262) es ideal para aplicaciones IoT en entornos de baja potencia y comunicaciones a largas distancia. Tomada desde (WiFi LoRa 32(V3), ESP32S3 a SX1262 LoRa Node, Meshtastic and LoRaWAN Compatible Heltec Automation, 2023)

Selección de la Antena LoRa

La elección de la antena se realizará considerando la que viene incluida con el equipo, la cual funcionará como antena LoRa en el rango de frecuencias de 868 a rango de 915 MHz. En la Tabla 21 se mostrará la descripción técnica de la antena LoRa 915 MHz U.FL a SMA de 3 dBi**.**



Tabla 21

Antena LoRa 915MHz U.FL a SMA 3dBi

Especificación	Valor
Definición de banda	868MHz está en rango 915MHz
Relación de onda estacionaria	<= 1,5
Ganancia	3dBi
Potencia máxima	10W
Impedancia de entrada	50 ohmios

Distancia aproximada	Hasta 10 km (dependiendo del entorno)

Nota: Se especifica la antena incluida por defecto, la cual tendrá mayor relevancia en el proceso de selección, priorizándose su implementación. Fuente: Autoría propia.

Una vez seleccionados el módulo WiFi LoRa 32 (V3) y su respectiva antena, se identificarán los tipos de accesorios y sensores compatibles para determinar cuáles resultan más adecuados en el desarrollo de un kit telemático enfocado en bomberos.

Como primer punto, se tiene la selección del sensor de movimiento, el cual debe permitir el monitoreo de los ejes X, Y y Z entre otros ejes para detectar aceleraciones o movimientos leves. En la tabla 22 se evaluarán las opciones disponibles a la seleccionar mejor sensor se adapte en términos de rendimiento, compatibilidad y funcionalidad con el módulo ya definido**.**

Tabla 22

Selección del sensor movimiento

Selección del sensor Movimiento						
Hardware	**Requerimientos**					
	SRSH24	SRSH28	SRSH30	SRSH31	SRSH32	Valor Total
ADXL345	2	1	1	2	2	8
MPU6050	2	2	2	2	2	10

ADXL345	2	2	2	1	2	9

Cumple totalmente 2

Cumple parcialmente 1

No cumple 0

Elección El sensor seleccionado es el MPU6050, ya que obtuvo el puntaje máximo (10/10) en la evaluación de requisitos técnicos. Este sensor cumple completamente con todos los criterios analizados (SRSH24 a SRSH32) se destacando por su capacidad para medir aceleración y movimientos leves en los ejes X, Y, Z con alta precisión, integrando además un giroscopio de 6 ejes. Su compatibilidad con el módulo principal es muy estabilidad en entornos lo que posicionan como una de las mejor opción más adecuada para el proyecto, superando a alternativas como son los ADXL345 y LSM6DS3.

Nota: El MPU6050 se lo eligió por su funcionalidad que es de bajo consumo energético lo cual facilita mucho mejor la integración en nodo casco. Diferencia otros como es caso del ADXL345, que tiene 3 ejes, su arquitectura de 6DOF captura movimientos complejos aumenta la complejidad, esenciales para detectar vibraciones y desplazamientos sutiles. Fuente: Autoría propia.

La selección con una breve descripción del sensor fue por destacar con las características más esenciales serán clave para el kit telemático, como se presenta en la Tabla 23.



Tabla 23

Especificaciones de Sensores Integrados

Sensor	Características
MPU6050	Acelerómetro + Giroscopio (6DOF)
HMC5883L	Magnetómetro a (3DOF)
BMP180	Barómetro
Alimentación	3.3V a 5V DC
Protocolo de Comunicación	I2C protocolo (con convertidor de niveles lógicos incluido)
Sensores Integrados	MPU6050 + HMC5883L + BMP180
Tamaño	2.2 cm x 1.7 cm

Nota: Este módulo combina múltiples sensores para aplicaciones de medición de movimiento, orientación y presión, con un tamaño compacto y fácil integración. Fuente: Autoría.

La segunda prioridad en los sensores es el GPS, el cual deberá obtener los datos satelitales para registrar información de la ubicación como es el caso de la longitud y latitud. En la Tabla 24 se una de selección el sensor más adecuado y compatible, facilitando una implementación sencilla en el kit telemático.

Tabla 24

Sensor GPS

Selección del sensor GPS						
Hardware	**Requerimientos**					
	SRSH24	SRSH26	SRSH29	SRSH31	SRSH32	Valor Total
GY-GPS6MV2	2	2	2	2	2	10
NEO-6M GPS	2	2	2	2	2	8
ADXL345	2	2	2	1	2	9

Cumple totalmente 2

Cumple parcialmente 1

No cumple 0

Elección Se elige el GY-GPS6MV2 por obtener la mejor puntuación general y cumplir completamente con todos los requisitos evaluados para tiempo respuesta. Es la opción más equilibrada en desempeño, compatibilidad y funcionalidad para el sistema.

Nota: La elección es muy fundamenta en criterios técnicos de desempeño, compatibilidad y cobertura en base a los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema. Fuente: Autoría propia.

Se detallarán las características generales del sensor seleccionado, compatible con módulos ESP32 en verificar sus propiedades y analizar parámetros críticos como las frecuencias de transmisión. Los aspectos más relevantes se especifican en la Tabla 25.

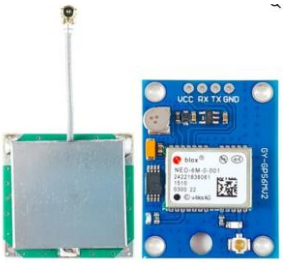


Tabla 25

Propiedades Claves del GY-GPS6MV2

Propiedad	**Detalles**
Modelo	GY-GPS6MV2
Chipset	u-blox NEO-6M
Voltaje	3.0 a 5.0 VDC
Corriente	45 mA
Canales GPS	50 concurrentes
Frecuencia	L1 (1575.42 MHz)
Actualización	1 Hz
Interfaz	UART
Baudrate	9600
Sensibilidad	-148 dBm (captura)
Peso	17 gramos

Nota: El GY-GPS6MV2 es un receptor GPS confiable y tiempo respuesta es ideal para navegación y seguimiento, con fácil conexión a través de UART**.** Fuente: Autoría *propia.*

Un aspecto primordial en el Hardware es la selección de sensores de temperatura la cual es esenciales para obtener mediciones precisas en grados

centígrados y habilitar la toma de decisiones críticas ante riesgo en medio. En la Tabla 26 se evalúan las opciones compatibles con módulos ESP32, priorizando la adaptación técnica para la interfaz intuitiva y la facilidad de integración para garantizar operatividad eficiente.

Tabla 26

Selección del sensor temperatura

Selección del sensor Temperatura						
Hardware	**Requerimientos**					
	SRSH24	SRSH26	SRSH29	SRSH31	SRSH32	Valor Total
DHT22	2	2	2	1	2	9
MAX31855	2	2	1	2	2	9
DB18B20	2	2	2	2	2	10
BMP280	2	2	2	1	2	9

Cumple totalmente 2

Cumple parcialmente 1

No cumple 0

Elección Se selecciona el sensor DB18B20 por obtener la puntuación máxima (10/10) y cumplir integralmente todos los requisitos técnicos detallados. Destaca por su precisión en mediciones en grados centígrados y es compatibilidad nativa con módulos ESP32 en la capacidad para habilitar decisiones críticas ante condiciones de riesgo. Su integración simplificada y estabilidad.

Nota: Selección basada en desempeño técnico y adaptabilidad al sistema**.** Fuente: Autoría propia.

En la descripción del sensor se muestra con las características técnicas claves presentadas en la Tabla 27, donde se enumeran los aspectos primordiales para garantizar su adaptación al entorno operativo y asegurar resultados óptimos en condiciones reales del evento.



Tabla 27

Propiedades del sensor DB18B20

Propiedad	**Detalles**
Tipo de Sensor	Digital (temperatura)
Rango de Temperatura	-55°C a más +125°C
Precisión	±0.5°C o (-10°C a +85°C)
Interfaz de Comunicación	1-Wire
Alimentación	3.0V a 5.5V
Resolución	9 a 12 bits es (configurable)
Dimensiones	6 mm diámetro, 30 mm longitud

Nota: El sensor DB18B20 encaja para monitoreo de temperatura, con un amplio rango y alta precisión. Su interfaz comunicación 1-Wire permite una fácil integración en sistemas como el ESP32 se compatible. Fuente: Autoría propia.

Para la selección del sensor de humo se consideraron que se compatible con el módulo ESP32 LoRa como la disponibilidad de librerías accesibles, entre otros parámetros técnicos. En la Tabla 28 se enumera los módulos seleccionados para el kit.

Tabla 28

Selección del sensor humo

Selección del sensor humo "monóxido de carbono"

Hardware	**Requerimientos**					
	SRSH25	SRSH27	SRSH30	SRSH31	SRSH32	Valor Total
MQ7	2	2	2	2	2	10
MH-Z19	2	1	2	2	2	9
TGS 2442	2	2	2	1	2	9

Cumple totalmente 2

Cumple parcialmente 1

No cumple 0

Elección Fue seleccionado por su compatibilidad con ESP32 LoRa y por sus librerías disponibles y eficacia en detección de monóxido de carbono , superando alternativas con requerimientos adicionales.

Nota: Enfatizo la compatibilidad para el módulo ESP32 LoRa y la disponibilidad de librerías y especificaciones técnicas primordiales requeridas para el kit. Fuente*:* Autoría propia.

Se detallan las características del sensor seleccionado, en el que se identifican las propiedades más relevantes, como se indica la Tabla 29 con mayor detalle en cual se especifica los parámetros tanos de voltaje, rangos entre otros.



Tabla 29

Sensor de gas

Descripción	**Detalles**
Tipo	Sensor de CO
Rango	20 a 2000 ppm
Voltaje	5V
Interfaz	Analógica y digital
Tiempo de Respuesta	< 10 s
Temperatura	-20°C a +50°C
Dimensiones	Esta en 30 mm x 40 mm

Nota: Especificaciones del sensor de monóxido de carbono (CO) para monitoreo de aire. Fuente*:* Autoría propia.

En la parte de asesor se encuentra algunos son los adiciones se tendrá los siguientes elementos que son importantes en nodo casco como se puede mencionar

- Buzzer
- Pulsadores

- Baterias

3.3.1.2 Sensores y Módulos: Nodo Principal

La selección del hardware para el nodo principal se detalla en la Tabla 30, es fundamental para asegurar un rendimiento óptimo. Se tendrá que considerar aspectos clave como la capacidad de procesamiento, la memoria y la conectividad, garantizando que el nodo pueda manejar eficientemente las demandas del sistema.

En la cual se enumera posibles placas:

- Banana Pi BPI-M4 ZERO
- Raspberry Pi Zero 2 W
- Radxa Zero

Tabla 30

Hardware para el nodo principal

Selección de la placa de desarrollo						
Hardware	**Requerimientos**					
	SRSH1	SRSH10	SRSH29	SRSH27	SRSH30	Valor Total
Banana Pi BPI-M4 ZERO	2	2	2	2	2	10
Raspberry Pi Zero 2 W	2	2	2	2	1	9
Radxa Zero	2	2	1	2	2	9
Cumple totalmente 2						

Cumple parcialmente 1 No cumple 0
Elección Banana Pi BPI-M4 ZERO es una buena alternativa que es más versátil prestaciones de mejor rendimiento que las otros modulos Raspberry Pi Zero 2 W, con mejor rendimiento en cual tendra mayor capacidad de expansión de almacenamiento, compatibilidad con módulos adicionales y una disposición de pines similar.

Nota: La Banana Pi BPI-M4 ZERO obtiene una de la mejor puntuación en la que se destaca por su mejor rendimiento, expansión de almacenamiento puede soportar, compatibilidad con librerías y similitud en la gran disposición de los pines o puertos respecto del usb o salida alimentación. Fuente: Autoría propia.

En la Tabla 22 se identifica las características de la Banana Pi BPI-M4 Zero esto incluyendo sus especificaciones de hardware y una descripción detallada de sus principales funcionalidades.



Tabla 31

Especificaciones técnicas de la Banana Pi BPI-M4 Zero

Banana Pi BPI-M4 Zero	Descripción

Procesador (UPC)	Allwinner a H618, ARM Cortex™-A53, 4 núcleos, 64 bits esta en 1.5 GHz
GPU	ARM Mali-G31
Memoria RAM	4 GB LPDDR4
Almacenamiento interno	32 GB eMMC Flash
Tarjeta SD	Ranura MicroSD, compatible con SDIO 3.0
Wi-Fi	Dual Band 2.4 GHz / 5 GHz
Bluetooth	Bluetooth 4.2 LE
Salida HDMI	MiniHDMI 2.0a Soporta 4K@60Hz, HDR10, CEC, DDC, SCDC Audio digital HDMI
Puertos USB	- 1 x USB 2.0 Host tipo C 1 a USB 2.0 OTG tipo C
GPIO de 40 pines	- 28 pines GPIO- Alimentación: +5V, +3.3V, GND a UART, SPI, I²C, PWM, I²S
FPC de 24 pines	Conector FPC (0.5 mm pitch):1 x USB 2.0 - IR Ethernet 100 Mbps 9 pines GPIO UART, I²C, PWM, PCM/I²S
Botones	Reiniciar, FEL (para modo de recuperación)
LEDs	1 LED para estado de energía y actividad
Alimentación	5 V a 3 A puerto USB tipo C
Ethernet	Sí, 100 Mbps vía FPC
Dimensiones	65 mm × 30 mm

Nota: La Banana Pi BPI-M4 Zero es una placa esta costo intermedio y alto rendimiento se equipada con procesador ARM Cortex-A53, Wi-Fi dual band, Bluetooth, salida HDMI 4K y múltiples interfaces de conexión que permite convierte en una opción versátil para proyectos embebidos y de automatización. Tomada de (*Banana Pi BPI-M4 Zero with Allwinner H618 Chip Design with 2G RAM-Banana Pi Open Source Hardware Community,Single Board Computer, Router,IoT,STEM Education*, 2022)

La Banana Pi BPI-M4 Zero es una opción destacada para desarrolladores con alto rendimiento, conectividad moderna y versatilidad en un formato pequeño, ideal para innovar en proyectos tecnológicos avanzados en medio. Se deberá seleccionar el mejor sensor para el envío de datos según las muestras de la Tabla 32.

Tabla 32

Módulo de comunicación GSM/GPRS

Selección del sensor SIM						
Hardware	**Requerimientos**					
	SRSH1	SRSH10	SRSH29	SRSH27	SRSH30	Valor Total
SIM800L	2	1	2	2	2	9
A7670SA	2	2	2	2	2	10
SIM900	2	2	1	2	2	9

Cumple totalmente 2
Cumple parcialmente 1
No cumple 0
Elección: Es A7670SA obtiene 10/10 por soportar módulo multibanda LTE-FDD/LTE-TDD/GSM/GPRS/EDGE + GPS con buena comunicación eficiente con equipos, superando a otros módulos con limitaciones.

Nota: El módulo A7670SA es la mejor opción con valoración de 10 puntos, cumpliendo totalmente todos los requisitos establecidos. Fuente*:* Autoría propia.

Se detalla en la Tabla 33 las características de SIM A7670SA en que encarga de enviar los datos a plataforma en establecer la iteración con plataforma web para verificar los datos y alertas obtenidas.



Tabla 33

Modulo A7670SA

Característica	**Detalle**
Modelo	A7670SA (LTE Cat 1)
Datos máximos	DL a 10 Mbps, UL a 5 Mbps
Conectividad móvil	LTE-TDD/LTE-FDD; GSM/GPRS/EDGE
GNSS	Opcional

Interfaz	AT Commands, UART, USB 2.0
Conectores	USB, NanoSIMx2 (opcional)
Alimentación	5 V ±, ~2 A máximo
Nivel lógico	3.3 V TTL
Temperatura	Es rango -40 °C a +85 °C
Dimensiones	~37 × 37 mm (ej. referencia)

Nota: Características más importantes son las más claves necesarias para la evaluación o como la selección y pruebas iniciales del módulo LTE A7670SA. Fuente: Autoría propia.

Se selecciona el módulo LoRa es medio más adecuado, se menciona en Tabla 34, para las librerías y conexión sencilla en el procesamiento de datos recolectados, como se prevé para el nodo principal se adapte al equipo en el medio.

Tabla 34

Expansor LoRa

Selección del expansor LoRa						
Hardware	**Requerimientos**					
	SRSH2	SRSH11	SRSH29	SRSH27	SRSH30	Valor Total
E22 900T22D	2	2	2	2	1	6

Lilygo LoRa shield 20191223	2	2	1	2	2	7
LoRa SX1278	1	2	1	2	2	8

Cumple totalmente 2

Cumple parcialmente 1

No cumple 0

Elección: Se valora mejor puntuación, se puede determinar cuál es la mejor opción según los requisitos. El Lora es un módulo de comunicación inalámbrica que utiliza la tecnología LoRa (Long Range) para la transmisión de datos a largas distancias.

Nota: Se argumenta el sensor con la mayor puntuación es uno de los más ideal para aplicaciones de IoT y sistemas de monitoreo esta largo y corto alcance. Fuente: Autoría propia.

Después de la selección, se presentará la descripción del módulo con mejor puntuación para nodo eb Tabla 35, identificándose las características más importantes

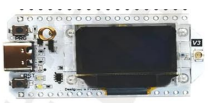


Tabla 35

Heltec Wifi LoRa 32(V3)

WiFi LoRa 32(V3)	**Descripción**

Procesador	ESP32-S3FN8 a (Xtensa® 32-bit LX7 dual core)
Wi-Fi	De 802.11 b/g/n tiene hasta 150 Mbps
Bluetooth	Bluetooth 5 LE
LoRa	SX1262
Frecuencias LoRa	A 470~510 MHz a 863~928 MHz
Potencia de transmisión	21 ±1 dBm
Sensibilidad máxima	-134 dBm @ SF12, BW=125 KHz
Memoria	384 KB ROM, 512 KB SRAM, 16 KB RTC SRAM, 8 MB Flash (SiP)
Interfaces	Type-C USB, 2 x IPEX 1.0 (LoRa ANT), 2 x 18 pines (Header), 2 x interfaz batería (1.25 mm)
Recursos Hardware	7x ADC1, 2x ADC2, 7x Touch, 3x UART, 2x I2C, 2x SPI
Alimentación	Batería de litio 3.7V (soporta carga integrada)
Temperatura operativa	Es de -20 °C a 70 °C
Dimensiones	50.2 × 25.5 × 10.2 mm

Nota: LoRa 32(V3) (SX1262), es mejor opción para los entornos de baja potencia y comunicaciones a larga distancia. Tomada de (*WiFi LoRa 32(V3), ESP32S3 a*

SX1262 LoRa Node, Meshtastic and LoRaWAN Compatible a Heltec Automation, 2023)

Se deberá complementar con una antena Wi-Fi de 2.4 GHZ para realizar configuraciones SSH del equipo y otras aplicaciones, como se indica en la Tabla 36, donde se especifican las características de la antena a utilizar.



Tabla 36

Antena Wifi 2.4 GHz

Característica	Valor
Frecuencia	2.4 a GHz
Ganancia	3 dBi
Conector de antena	RP SMA macho
Cable	U.FL IPX a RP SMA hembra
Longitud del cable	15 cm
Longitud de la antena	11 c

Nota: Esta antena WiFi de 2.4 GHz ofrece una ganancia de 3 dBi, lo que mejora la cobertura para el rendimiento de las conexiones inalámbricas. Fuente: Autoría propia.

En la sección complementaria de actuadores, baterías y reguladores de voltaje se tiende a incluirán los siguientes elementos que son esenciales en el nodo principal. Se presenta una lista de los aspectos más importantes:

- Pulsadores
- Baterías
- Reguladores de voltaje

3.3.2 Evaluación y Selección de Software

En relación con los requerimientos presentados en la definición del hardware es muy considerando la selección realizada para los dispositivos utilizados en el proyecto, se ejecutará en el desarrollar la parte correspondiente al software. Esta etapa tiene como finalidad establecer herramientas y entornos de desarrollo necesarios tanto para el nodo del casco como para el nodo principal, asegurando una correcta integración entre ambos componentes.

Las herramientas más específicas para utilizar en cada uno de los nodos, garantizando su compatibilidad y funcionalidad dentro del sistema general. Estas herramientas permitirán establecer una comunicación fluida entre los módulos, facilitando el procesamiento lógico de los datos recolectados por los sensores y hace así como su transmisión de datos a plataformas de visualización donde se mostrará la información más relevante de manera mu puntual.

La elección del software se basará en criterios técnicos, facilidad de implementación, rendimiento con la capacidad de interoperabilidad entre los distintos componentes del kit telemático que asegurando un funcionamiento integral del sistema bajo la metodología planteada.

3.3.2.1 Herramientas y Plataformas de Desarrollo

El desarrollo del software estuvo dividido en dos partes fundamentales: la programación del módulo o bloques (nodo del casco) y el nodo principal.

Nodo del Casco

Programación del Módulo Heltec LoRa ESP32 (V3) tomará en cuenta la parte de versatilidad en la programación, así como la compatibilidad de sus librerías. En la Tabla 37 muestra los requisitos técnicos y funcionales, lo que permitirá identificar la mejor opción que se adapte a necesidad específica que se tenga al acoplar cada equipo disponible.

Tabla 37

Software del nodo del casco

Selección del Software de programación					
Software	**Requerimientos**				
	SRSH19	SRSH21	SRSH4	SRSH23	Valor Total
IDE	2	2	2	2	8
ESP-IDF	2	1	2	1	6
Cumple totalmente 2					
Cumple parcialmente 1					
No cumple 0					
Elección El software seleccionado es programa de IDE obtuvo la mejor evolución que se tiene más alta, demostrando un cumplimiento total de los requisitos					

establecidos. Esto garantizara la mejor compatibilidad programación de módulos y sensores necesarios con un mejor versatilidad y adaptabilidad a las necesidades del proyecto que se menciona.

Nota: Se tendrá implementar IDE como la opción más adecuada de ESP-IDF esta ya que cumple totalmente con todos los requisitos, garantizando compatibilidad y funcionalidad completa con los módulos y sensores del sistema. Fuente: Autoría propia.

Nodo Principal

En el desarrollo del Nodo Principal basado en la placa Banana Pi BPI-M4 ZERO es fundamental para ls selección del sistema operativo que garantice estabilidad, compatibilidad y rendimiento para las funciones requeridas. Para ello, se evaluaron tres opciones de sistemas operativos: CentOS, Linux y Debian, bajo los criterios definidos en la Tabla 38. Sistema operativo del nodo principal donde sea calificada con base en su nivel de cumplimiento y compatibilidad.

Tabla 38

Sistema operativo del nodo principal

Selección del Sistema Operativo					
Software	**Requerimientos**				
	SRSH1	SRSH29	SRSH27	SRSH30	Valor Total
CentOS	2	2	1	1	5
Linux	2	2	2	2	8

Debian	2	2	2	1	7

Cumple totalmente 2

Cumple parcialmente 1

No cumple 0

Elección Sistema operativo seleccionado es Ubuntu o Linux, por obtener la puntuación más alta y demostrar un cumplimiento total de todos los requisitos técnicos establecidos. Su amplia compatibilidad con herramientas de desarrollo, soporte para aplicaciones embebidas y robustez operativa lo convierten en la opción más adecuada para el funcionamiento eficiente del Nodo Principal.

Nota: Se asegura una base sólida para la ejecución de múltiples tareas críticas del sistema, permitiendo además futuras escalabilidades en facilitar la integración con el resto de los componentes del proyecto. Fuente: Autoría propia.

3.3.2.2 Entorno y Lenguaje de Programación

Nodo Casco

En el desarrollo del Nodo Casco, una etapa fundamental ha sido la selección del lenguaje de programación se adapte a sus requerimientos técnicos y funcionales. Para ello, y tal como se detalla en la Tabla 39 se tiene 3 opciones: C, Python y C++, bajo los requisitos previamente definidos. La evaluación se realizó aplicando una escala estandarizada de valoración (Cumple totalmente = 2, Cumple parcialmente = 1, No cumple = 0), con el objetivo de garantizar una decisión técnica fundamentada.

Tabla 39

Selección del lenguaje

Selección del lenguaje de programación					
Software	**Requerimientos**				
	SRSH17	SRSH21	SRSH23	SRSH22	Valor Total
C	2	1	2	1	6
Python	1	2	2	2	7
C++	2	2	2	2	8
Cumple totalmente 2					
Cumple parcialmente 1					
No cumple 0					
Elección El lenguaje seleccionado es C++ el cual mayor puntaje y demostrar un cumplimiento requerimientos evaluados. Su alto rendimiento, compatibilidad con módulos embebidos y capacidad para manejar procesamiento en tiempo real lo convierten en la opción más adecuada para las exigencias del Nodo Casco.					

Nota: La elección de C++ asegura una implementación eficiente y robusta, ideal para entornos donde la velocidad y el uso optimizado de recursos son críticos, características fundamentales en el funcionamiento del sistema desarrollado. Fuente: Autoría propia.

Nodo Principal

Desarrollo del Nodo Principal es una etapa fundamental ha sido la selección del lenguaje de programación que mejor responda a sus necesidades técnicas y

funcionales. Para este proceso tal se muestra en la Tabla 40 Selección del lenguaje del Nodo Principal, se evaluaron tres opciones: Java , Python y C++, bajo los requisitos establecidos.

Tabla 40

Selección del lenguaje del Nodo Principal

Selección del lenguaje de programación					
Software	**Requerimientos**				
	SRSH19	SRSH7	SRSH21	SRSH22	Valor Total
Java	1	1	1	2	5
Python	2	2	2	2	8
C++	2	2	2	1	7
Cumple totalmente 2 **Cumple parcialmente 1** **No cumple 0**					
Elección El lenguaje seleccionado es Python, por obtener el mayor puntaje y demostrar cumplimiento total en todos los criterios evaluados. Su versatilidad, facilidad la implementación por la biblioteca con el soporte y compatibilidad con sistemas embebidos lo convierten en la opción más adecuada para las funcionalidades requeridas en el Nodo Principal.					

*Nota***:** La elección Python se tendrá garantizar una implementación más factible y escalable como ideal para aplicaciones que requieren integración con interfaces de

los manejos de datos en tiempo real y conectividad avanzada para mantener el nivel eficiencia del sistema. Fuente: Autoría propia.

3.3.2.3 Plataforma en la Nube y Conectividad local

Nodo Principal

En la selección del software necesario mencionar que se selecciona la plataforma que permitirá que se establece comunicación tanto para el envío de datos como para acceder de forma visual a plataforma web a los datos y alarmas; en la Tabla 41 se identifica la mejor opción como aplicación IoT.

Tabla 41

Plataforma en IOT

Selección de Plataforma					
Software	**Requerimientos**				
	SRSH19	SRSH7	SRSH20	SRSH22	Valor Total
Blynk	1	1	1	2	5
Thingsboard	2	2	2	2	8
Grafana	2	2	1	1	6
Cumple totalmente 2					
Cumple parcialmente 1					
No cumple 0					

Elección La mejor puntuación complementa con las características y su adaptación a enviar es ThingsBoard. Facilita conectar dispositivos IoT, controlarlos desde cualquier lugar y analizar sus datos sin tener que programar todo desde cero.

Nota: Thingsboard plataforma en la gestión y visualización de datos de Internet de las Cosas (IoT). Permitiendo a los desarrolladores y empresas a mejora la gestionar y analizar dispositivos IoT. Fuente: Autoría.

Selección de software para la gestión de dispositivos IoT, se evaluaron plataformas como Blynk, ThingsBoard y Grafana. ThingsBoard fue la mejor opción mejor valorada en destacándose por su capacidad para conectar y controlar dispositivos IoT desde cualquier lugar y analizar datos sin necesidad de programación extensa.

La red **WiFi** funcionará de manera local, permitiendo el acceso a través de una dirección IP. Esta IP tendrá dirección que será fija para facilitar la conexión al puerto correspondiente al usuario. A través de esta red, se podrá obtener la información proveniente de todos los sensores instalados en el sistema.

Para la transmisión de información hacia una página web , se implementa el protocolo MQTT estos enlaces con la plataforma remota, permitiendo visualizar los datos en tiempo real. Esta visualización puede realizarse de dos maneras:

- Mediante acceso a internet en donde los datos estarán disponibles públicamente.

- De forma local es el caso de no contar con conectividad a red, garantizando monitoreo continuo dentro de la red local.

Por otro lado, el módulo SMS o red móvil se encargará de enviar los datos recolectados hacia una base de datos por medio mqqt, actuando como intermediario para la salida de los datos hacia el servicio de telefonía móvil (2G, 3G o 4G). Esto permitirá tener acceso remoto a la información recopilada en una Plataforma con tiempos establecidos.

3.4 Diseño del Sistema

Recopilando todos los requerimientos, se comprende que tanto los apartados de software como de hardware definieron lo necesario, complementándose con su evaluación para identificar la mejor opción a tomar. El desarrollo del kit telemático está enfocado en las necesidades de los bomberos.

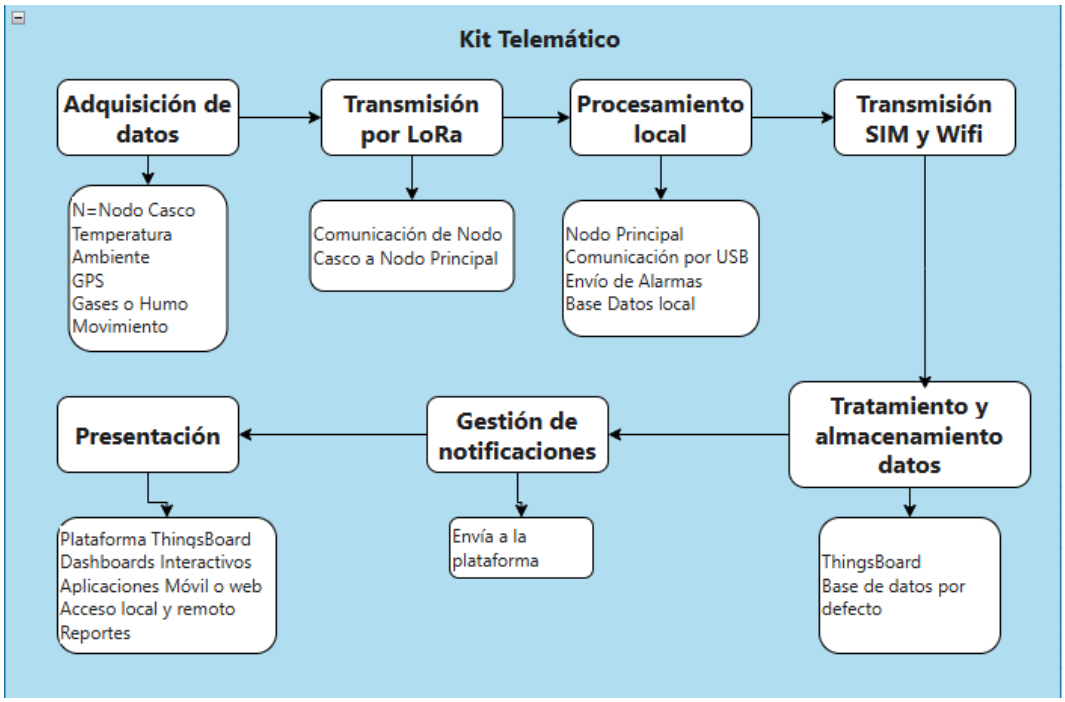
En esta sección, se complementa definiendo cada proceso del kit en cada etapa de su funcionamiento que esto incluyendo los diagramas de flujo y diagramas de bloques permiten identificar la sección correspondiente, desde la toma de datos hasta su presentación al usuario final.

3.4.1 Diagrama de Bloques

En relación del diagrama se comprende bloque de Figura 25 se complementará en recopilar en tiempo real datos de sensores que miden variables como temperatura, humedad, movimiento, gases y ubicación GPS. Se procesan y transmiten de forma segura para ser analizados, almacenados y presentados mediante interfaces intuitivas, permitiendo monitoreo eficiente y de toma de decisiones oportuna.

Figura 25

Diagrama general del sistema



Nota: Se representa el diagrama general en cual se distribuye por bloque está identificado como 6 etapas a desarrollar en que tomar en cuenta. Fuente: Autoría propia.

1. **Adquisición de datos:** Recolección de información desde los sensores físicos los cual se encuentre en el medio o nodo. Consiste toma de datos o la recolección de información en tiempo real desde sensores físicos o dispositivos de medición ubicados en el nodo casco. Estos sensores tendrá que capturar las magnitudes como son la temperatura, humedad, movimiento, gases en medio, GPS, dependiendo de la aplicación específica.
2. **Transmisión por LoRa** : En esta sección se abordará el proceso de envío y recepción de datos tanto desde los nodos casco como a través de una red

mesh. El objetivo es lograr la transmisión de información mediante saltos entre los distintos nodos casco, hasta llegar finalmente al nodo principal.

3. **Procesamiento local:** En cual se da quiere los datos y el módulo se encarga de procesar información recolectados para análisis preliminar de los datos adquiridos para filtrar, validar o transformar la información antes de su transmisión.
4. **Transmisión sim y wifi**: Pare el envío seguro y que se más confiable de los datos hacia un sistema central el cual se mediante las redes inalámbricas GSM/SMS o wifi se tendrá que seleccionada según alcance, consumo y cobertura del área.
5. **Tratamiento y almacenamiento:** Esta función se desarrolla en una placa con capacidad de procesamiento y donde se realiza el análisis avanzado de los datos, su clasificación, integración y posterior almacenamiento en una base de datos estructurada (relacional o no relacional), accesible solo por personal autorizado.
6. **Gestión de notificaciones**: El sistema genera para las alertas proactivas ante eventos los críticos detectados durante el procesamiento. Estas tendrán que notificaciones que se pueden enviarse tanto a plataformas vinculadas. Se tiene la integran advertencias visual y auditivamente a las personas que estén en zonas de riesgo.
7. **Presentación:** Se muy importante como los resultados y alertas que se visualiza de manera clara e intuitiva a través de los dashboards interactivos, aplicaciones móviles o plataformas web. Permitiendo al usuario monitorear

el estado del sistema en tiempo real. Se tiene prioridad de genera los reportes para facilitar el análisis posterior y la toma de decisiones.

3.4.2 Diagramas por bloques del kit telemático

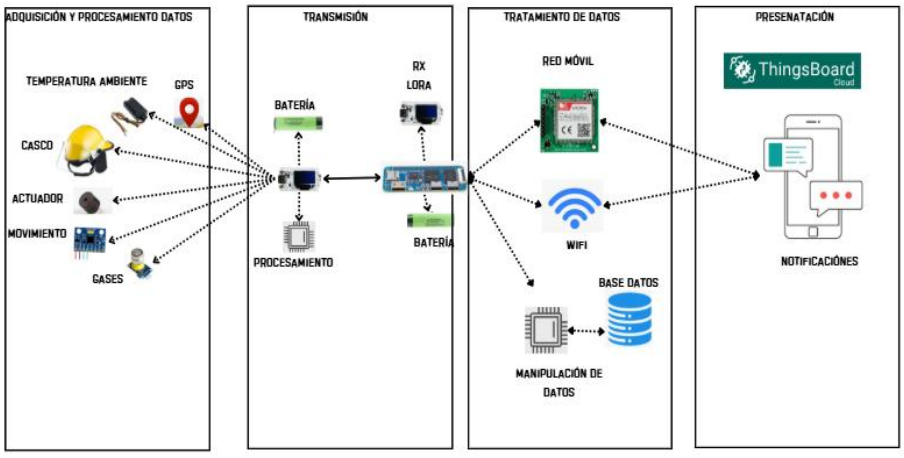
En este aparato se comentar como estará compuesta cada bloque propuesto en el que identificará descripción de cada componente en los bloques en cual se comprende descripción de elementos como módulos e sensores, flujo grama proceso, diseño de circuitos que se menciona en esta etapa.

3.4.2.1 Arquitectura General del Kit telemático

La arquitectura del sistema incluye las etapas en cual se identifica en la Figura 26 se tiene etapa de la adquisición de datos, procesamiento, transmisión, tratamiento y almacenamiento en base de datos, notificaciones, acción mediante actuadores y presentación de resultados.

Figura 26

Arquitectura del sistema



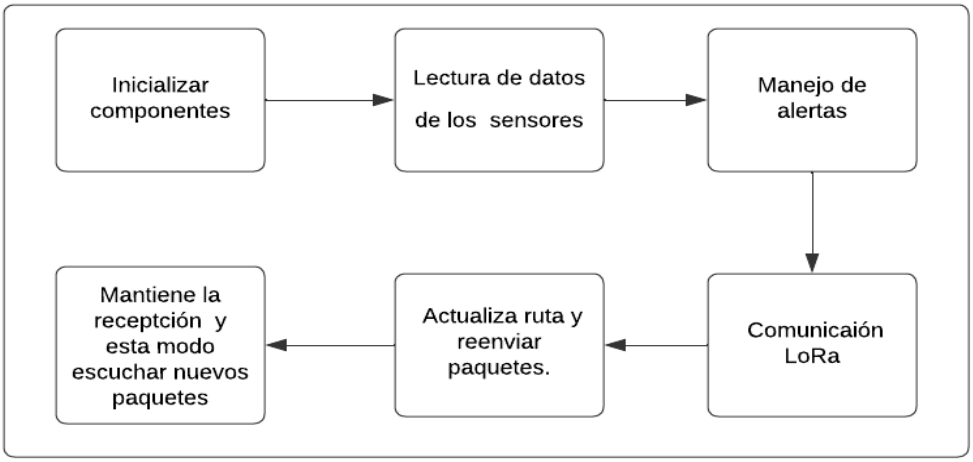
Nota: Arquitectura principal representa la arquitectura general en cual se comprende varias etapas se toma en cuenta cada proceso para su finalidad. Fuente: Autoría propia.

3.4.3 Bloque 1 Adquisición de Datos del Casco

En la primera sección se encuentra el nodo Casco, el cual incluye los sensores receptores que capturan datos como temperatura, posición GPS, niveles de gases y movimiento. En figura 27 identifica las etapas a desarrollar como caso de datos son procesados y almacenados temporalmente en el módulo Hetecl en donde se encarga de empaquetar la información y enviarla mediante tecnología LoRa tanto sea de nodo secundario casco con sus saltos correspondientes has llegar destino final que será nodo principal.

Figura 27

Diagramas de Bloque Adquisición de Datos



Nota: Se identifica en diagramas por el bloque que corresponde la primera etapa como se obtiene los datos respecto a nodo casco se indica las etapas. Fuente: Autoría *propia.*

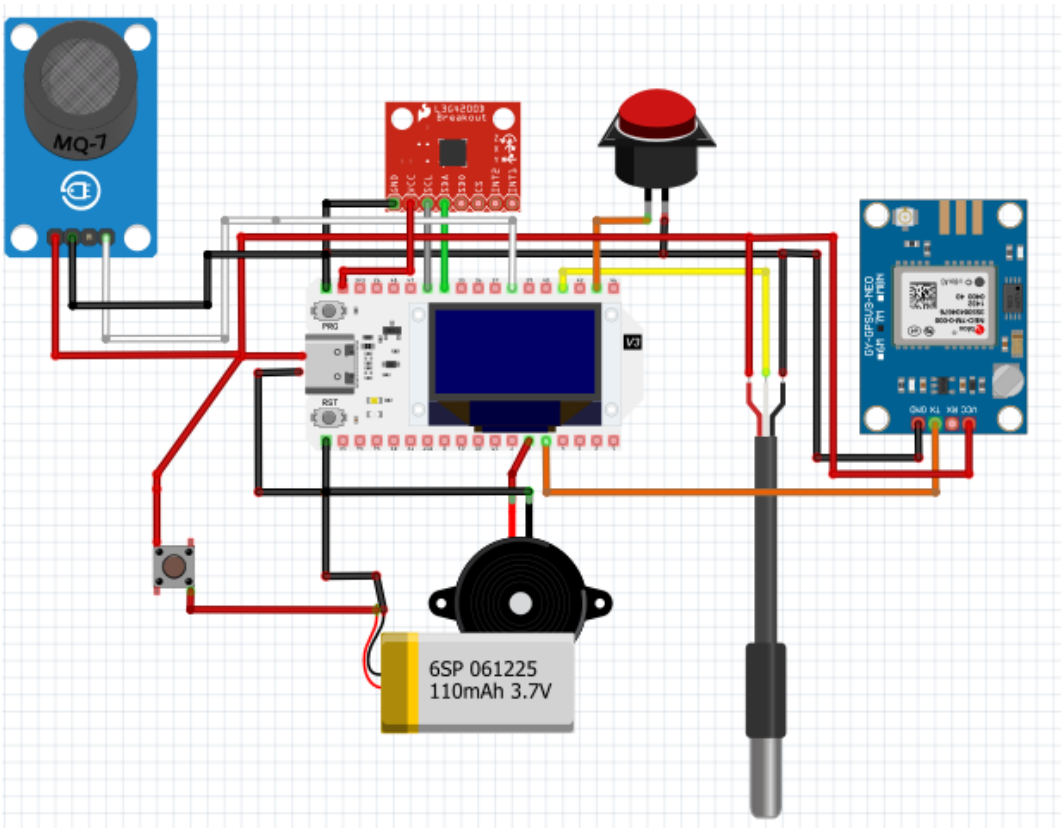
3.4.3.1 Diagrama de conexiones físicas

La conexión está compuesta por varios sensores y otros componentes necesarios para garantizar su correcto funcionamiento y ofrecer el mejor

rendimiento. En la Figura 28 se identifican los componentes que estan los esquemas de los circuitos propuestos y cómo están distribuidos.

Figura 28

Conexiones Físicas del nodo casco



Nota: Representación diagramas de la conexión del nodo casco en la cual comprende cada componente de sensor con la finalidad de reconocer los señores y actuadores. Fuente: Autoría propia.

Se identificaron las gráficamente de los sensores, actuadores y módulo principal, en el cual se identificar la interpretación de las conexiones y su distribución conexiones física dentro del nodo casco. Se representación es

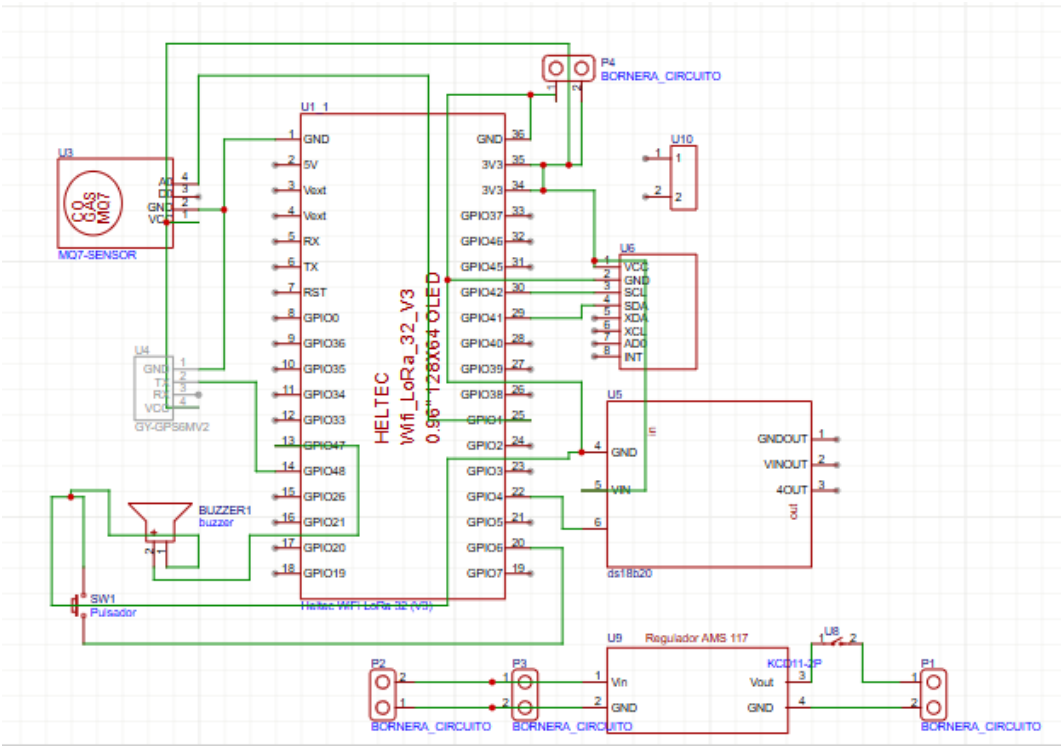
primordial para garantizar el correcto funcionamiento que permite la visualizar cómo se integran y como es la comunican los componentes entre sí.

3.4.3.2 Diagrama de pines (pines de conexión)

En la Figura 29 se muestra un diagrama esquemático que representa la distribución general del sistema. En donde incluyendo las conexiones entre los componentes, la alimentación eléctrica y la disposición física de sensores y actuadores respecto al microcontrolador. Este esquema comprende la arquitectura del sistema y sirve como guía para la implementación práctica del circuito.

Figura 29

Diagrama de Pines nodo casco



Nota: Se establece esquema cómo se distribuirán los pines del módulo y sensores, especificando las conexiones desarrollada**s.** Fuente: Autoría propia.

A partir de la documentación técnica de los pines del microcontrolador, se identificaron los sensores y actuadores a utilizar para entender las conexiones adecuadas entre ellos como se establece en Tabla 42. Esta etapa permitió determinar qué pines debían configurarse los pines y así como asignar aquellos dedicados a señales analógicas, digitales o comunicación serial.

Tabla 42

*Conexiones principales del nodo casco del kit telemático***.**

Componente	**Pin ESP32**	**Función**
DS18B20	D4	Temperatura
MQ-135	A1	CO
MPU6050	SDA/SCL	Movimiento
OLED	SDA/SCL	Visualización
GPS	RX=48	Coordenadas
Buzzer	47	Alarma
Pulsador	6	Reinicio
LoRa	SPI	Comunicación

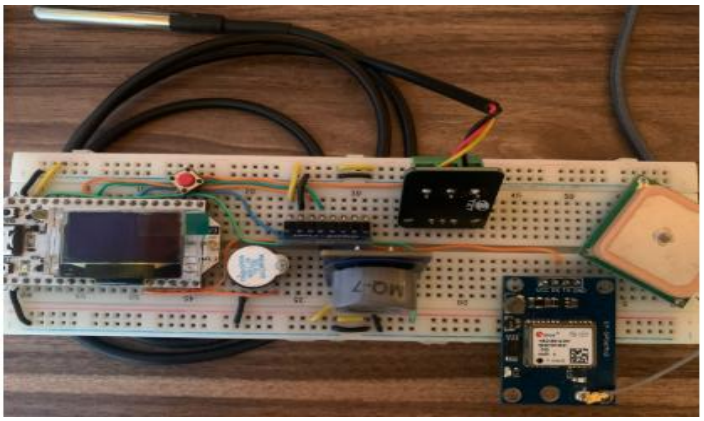
Nota: Se detallan los pines como se conectará cada componente integrado en el nodo casco para la adquisición y transmisión de datos. Fuente: Autoría propia.

3.4.3.3 Armado físico de sensores y módulos

El proceso de armado físico comprende con los componentes se distribuyen de manera uniforme para facilitar la identificación del montaje en la placa y optimizar la disposición entre elementos, tal como se ilustra en la Figura 30, correspondiente a uno de los primeros pasos realizados para garantizar una instalación eficiente.

Figura 30

Armado físico del nodo casco



Nota: Armado físico del nodo casco donde se integran a conectar los sensores de temperatura y movimiento junto con el módulo LoRa y la pantalla OLED para la visualización local de datos. Fuente: Autoría propia.

Las conexiones se identificaron según la distribución de pines correspondientes, estableciéndose todas las interconexiones necesarias para que el funcionamiento cumpla con los requisitos técnicos propuestos y la eficiencia en su operación**.**

3.4.3.4 Protocolos de comunicación utilizados

El sistema pone en funcionamiento diferentes protocolos como el que está específicamente adaptado para conseguir una comunicación eficiente, robusta y ajustada a los límites de funcionamiento operativos del nodo casco se evalúa.

- **SPI (Serial Peripheral Interface):**

Módulo LoRa se tiende a establecer en una conexión de alta velocidad para configurar para enviar tramas de datos, priorizando la integridad de datos en transmisiones críticas en medio expusto.

- **LoRa (Long Range):**

Tecnología inalámbrica de largo alcance y bajo consumo implementada mediante la biblioteca LoRa.h. La cual debe tener la diferencia de LoRaWAN (que requiere redes operadas por terceros) con la cual se emplear una comunicación punto a punto directa en vio tramas estructuradas y eliminando dependencias externas para la optimizando la autonomía del dispositivo.

- **Serial (UART):**

Comunicación del módulo GPS tendrá que recibir datos en forma de NMEA y realiza la parte de depuración en tiempo real mediante para el monitor serial es muy esencial para validación de la precisión de las coordenadas antes de su transmisión en medio expuesto.

- **1-Wire**:

Protocolo esta direccionando para temperatura *Dallas* (DS18B20), destacado por su capacidad para multiplexar dispositivos es la única línea de datos, minimizando el uso de pines GPIO y que simplifica el diseño del hardware.

Justificación técnica de los protocolos responde a un equilibrio entre eficiencia energética, ancho de banda y robustez. En la cual el uso de SPI para componentes críticos para (LoRa), I²C para periféricos secundarios y LoRa para comunicaciones remotas asegura un diseño modular, escalable y adaptado a las limitaciones físicas del casco estará presente en (espacio reducido, bajo consumo). Además, se toma en cuenta exclusión de LoRaWAN evita la sobrecarga de gestores de red en prioriza una comunicación directa y más rápida para escenarios de emergencia.

3.4.3.5 Formato y envío de tramas de datos

Se implementó del formato que tiene una estructurado de tramas de datos mediante el SensorData en la optimizado para transmisión eficiente y fiable a través de LoRa. Esta estructura encapsula los parámetros críticos del nodo casco observa en la Figura 31: identificador de nodo (nodeID) que cuenta con la temperatura ambiente en la cual el estado de alerta, coordenadas GPS, nivel de monóxido de carbono (CO) y ruta de transmisión.

Figura 31

Estructura de datos

```
struct SensorData {
  uint8_t nodeID;             // ID del nodo que originó el mensaje
  float temperature;
  uint8_t alert;              // 1 = alerta activa
  bool gpsValid;
  float latitude;
  float longitude;
  float co2;
  char route[10];             // Registro del camino seguido (por ejemplo: "3->2->1")
  uint8_t hops;               // Número de saltos (nodos por los que ha pasado)
  uint8_t visitedNodes[MAX_NODES]; // Lista de nodos visitados
};
```

Nota: Se representa las siguientes órdenes estructural del envío de datos se usa cual es más fundamental para garantizar una transmisión y recepción de información de manera más simple. Fuente: Autoría propia.

El tamaño total de la trama está en el SensorData es de 40 bytes exactos al usar #pragma pack (1) esto elimina el relleno de memoria. Cada campo aporta un tamaño fijo que se sumando 40 bytes que se garantiza una transmisión compacta, eficiente y uniforme entre los nodos LoRa.

La serialización binaria directa de la estructura (mediante LoRa.write()) minimiza tanto el tamaño de los paquetes en tener una comunicación robusta y de bajo consumo de energía.

La transmisión se ejecuta bajo dos modalidades:

1. Periódica: Cada tiempo es de 60 segundos, para reportar datos normales (temperatura, ubicación, niveles de CO).
2. Urgente: De forma inmediata ante detección o la generación de alertas (caída del bombero o niveles críticos de CO) con finalidad de priorizando la actualización en tiempo real para respuestas rápidas.

   Adicionalmente, el diseño incluye:

- Integridad de datos: En los campos específicos (ej.: alert como indicador binario) este podrá para facilitar el procesamiento en la estación base.

- Eficiencia en ancho de banda conlleva a datos se envían en formato binario sin sobrecarga de metadatos en medio en donde se adaptado a las limitaciones de la tecnología LoRa.
- Sincronización con estado de esta ligada en parte función enviarDatos() y actualiza dinámicamente la trama según el estado que se envía y alertas, asegurando no tendrá datos corruptos el contexto operativo actual.

Este enfoque garantizara que la estación base reciba datos estructurados, coherentes y priorizados en se agregó filtro en optimizar datos esenciales para la toma de decisiones en operaciones de emergencia y no sea alertas falsas.

3.4.3.6 Configuraciones del sistema (software y plataforma)

Programación en IDE

Se comprende ya se identifican las librerías a utilizar para la programación correspondiente de tal manera se encuentra la programación básica del nodo Casco y su primera etapa de ejecución. En la Figura 32 se especifican las librerías necesarias para el funcionamiento como se muestra.

Figura 32

Liberia IDE para esp32 lora

```
#include "LoRaWan_APP.h"
#include "Arduino.h"
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <HardwareSerial.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

Nota: Elección de librerías se agrega a documento en cual los controladores LoRa, sensores entre otros son primordiales en ejecutar en modulo se aplica prioridad. Fuente: Autoría propia.

Se pueden mencionar las librerías clave para el desarrollo. LoraWan_App.h es primordial se puede estar gestionar la comunicación entre nodos, permitiendo enlaces uno a uno o uno a varios. Similares a los gateways, tanto para transmitir como recibir datos se requiera.

Arduino habilita funciones de lectura y escritura en pines, estando estrechamente integrada con plataformas como Arduino y ESP32.

Las librerías **Arduino.h** proporciona las bases del entorno de programación y control de hardware del microcontrolador. En la que **Wire.h** es esencial para la comunicación I2C estará operando mediante señales SDA y SCL, indispensable para sensores de temperatura y acelerómetros.

Adafruit-GFX ofrece parte funciones gráficas básicas para dibujar en. En donde se menciona **TinyGPS++** decodifica datos GPS y obtiene coordenadas como latitud y longitud. **HardwareSerial.h** habilita múltiples puertos para establecer comunicación UART en el ESP32 para comunicación con sensores.

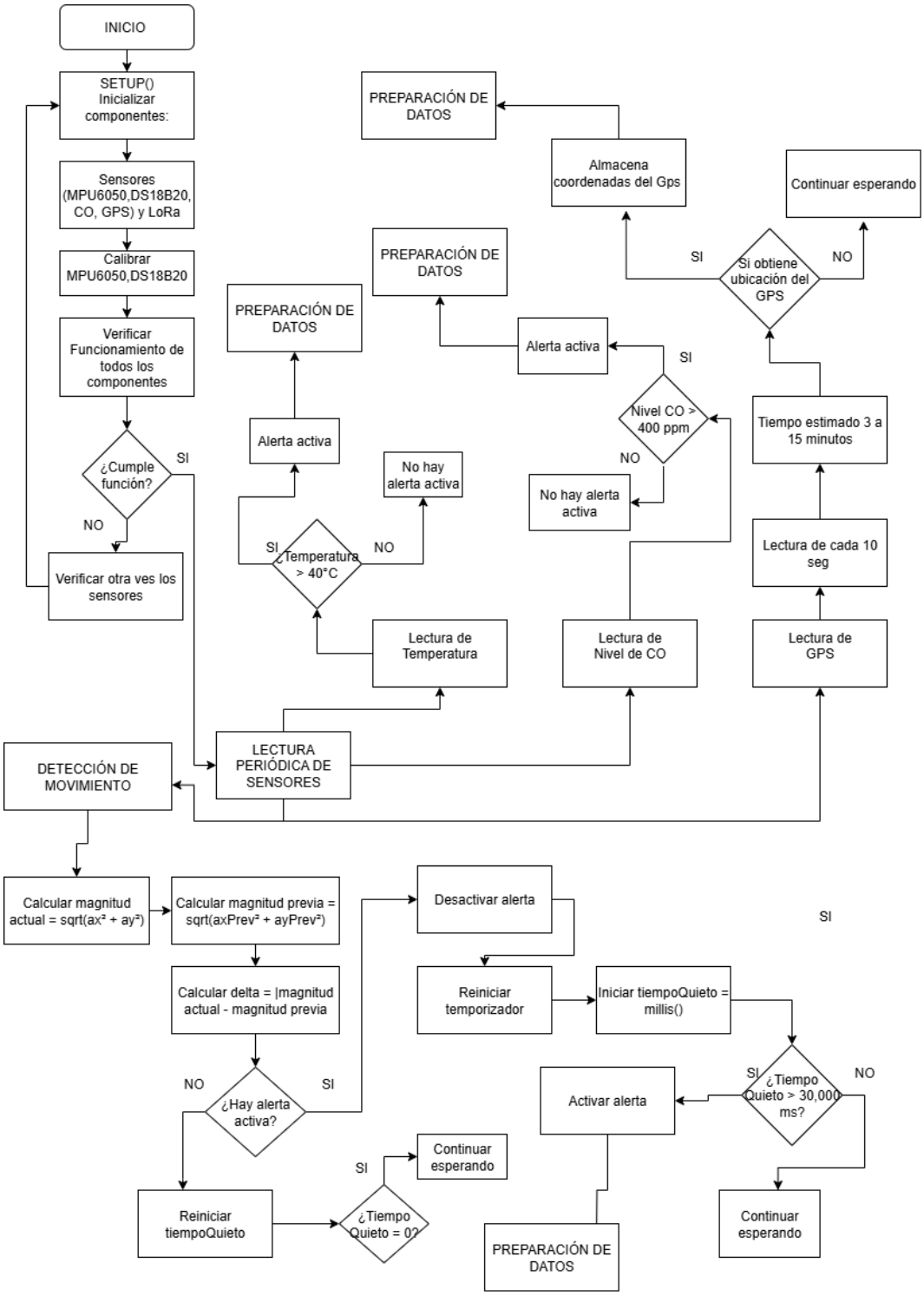
OneWire junto con DallasTemperature permite leer datos temperaturas en grados del sensor DS18B20 en un mismo bus de datos en medio y permite el mejor rendimiento.

Iniciación de componentes

En el primer bloque se realiza la recepción de datos provenientes de los sensores del caso. La parte inicial, donde comienza la toma de datos, es primordial tanto para tomar decisiones en base a los datos obtenidos como para identificar el inicio de los procesos de inicialización de cada sensor, como los de temperatura, GPS, movimiento, gases y otros actuadores presentes en el nodo Casco, tal como se muestra en la Figura 33 la etapa que se tiene que desarrollar es este caso en que es la calibración o se obtiene primer datos de cada elemento en cual tendrá un tiempo estimado para cada caso de las lecturas de sensores se intercomunican entres nodo y los protocolos.

Figura 33

Diagrama general de lectura de los sensores nodo casco



Nota: Una vez aplicada toda la parte de programación, la primera condición es la

verificación de los componentes, la calibración y el cumplimiento, para iniciar la toma de datos, como será el caso de cada uno de los sensores. Fuente: Autoría propia.

Se define en la Figrua 34 los parámetros principales de **LoRa**, incluyendo frecuencia de las 915 MHz esta la potencia de transmisión de 14 dBm y el ancho de banda es siguiente 125 kHz en la parte del factor de expansión 7 y tasa de codificación 4/5, optimizando la comunicación inalámbrica entre nodos.

Figura 34

Configuraciones de LoRA

```
// Configuración LoRaWAN
#define RF_FREQUENCY 915000000 // Frecuencia para América
#define TX_OUTPUT_POWER 14 // Potencia de transmisión (dBm)
#define LORA_BANDWIDTH 0 // [0:125kHz, 1:250kHz, 2:500kHz]
#define LORA_SPREADING_FACTOR 7 // [SF7..SF12]
#define LORA_CODINGRATE 1 // [1:4/5, 2:4/6, 3:4/7, 4:4/8]
#define LORA_PREAMBLE_LENGTH 8
#define LORA_SYMBOL_TIMEOUT 0
#define LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON false
#define LORA_IQ_INVERSION_ON false
#define RX_TIMEOUT_VALUE 1000
```

Nota: Parámetros establecidos se puede mencianar esta corelacioandos en ejecutar priemrasmoredens en la inicialización de LoRa en el nodo durante el envío de datos de los sensores**.** Fuente: Autoría propia.

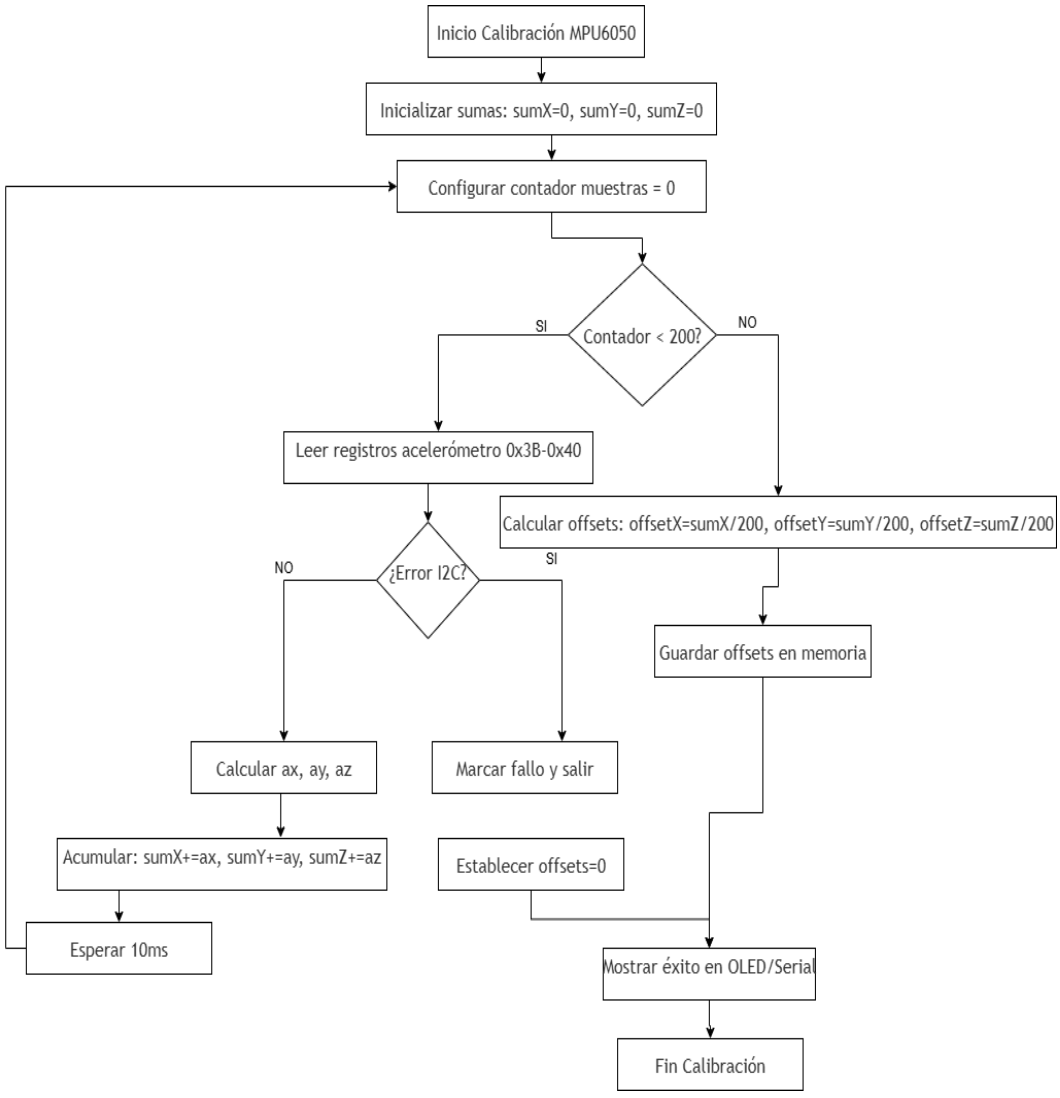
Calibración de Sensores

El sensor del **MPU6050** es un módulo que tiene la integra un **acelerómetro** triaxial y un giroscopio son capaces de detectar movimiento y las orientación en los ejes X, Y y Z sera fundamental en kit. Se comunica tambien esta bus **I²C** y este sistema se emplea para identificar inactividad prolongada que puede indicar cuando una perosna tenga una caída o inmovilidad en los eventos.

En la **Figura 35** se menciona el apardo de la calibración se realiza promediando múltiples lecturas cuando el dispositivo está completamente quieto, obteniendo valores de compensación (**offsets**) para cada eje se toma numero de muetsra y hace compracion en base a velocidad y se implementa en la función calibrar MPU6050. Estos offsets eliminan errores de medición causados por pequeñas variaciones o ruido en los sensores internos como filtro a flasa alertas.

Figura 35

Diagrama flujo Sensor de Movimiento



Nota: Se explica para etapa de detectar movimiento e inclinación para activar la alerta de “hombre caído” y cuando actualiza cuando hay movimientos se reinicia. Fuente: Autoría propia.

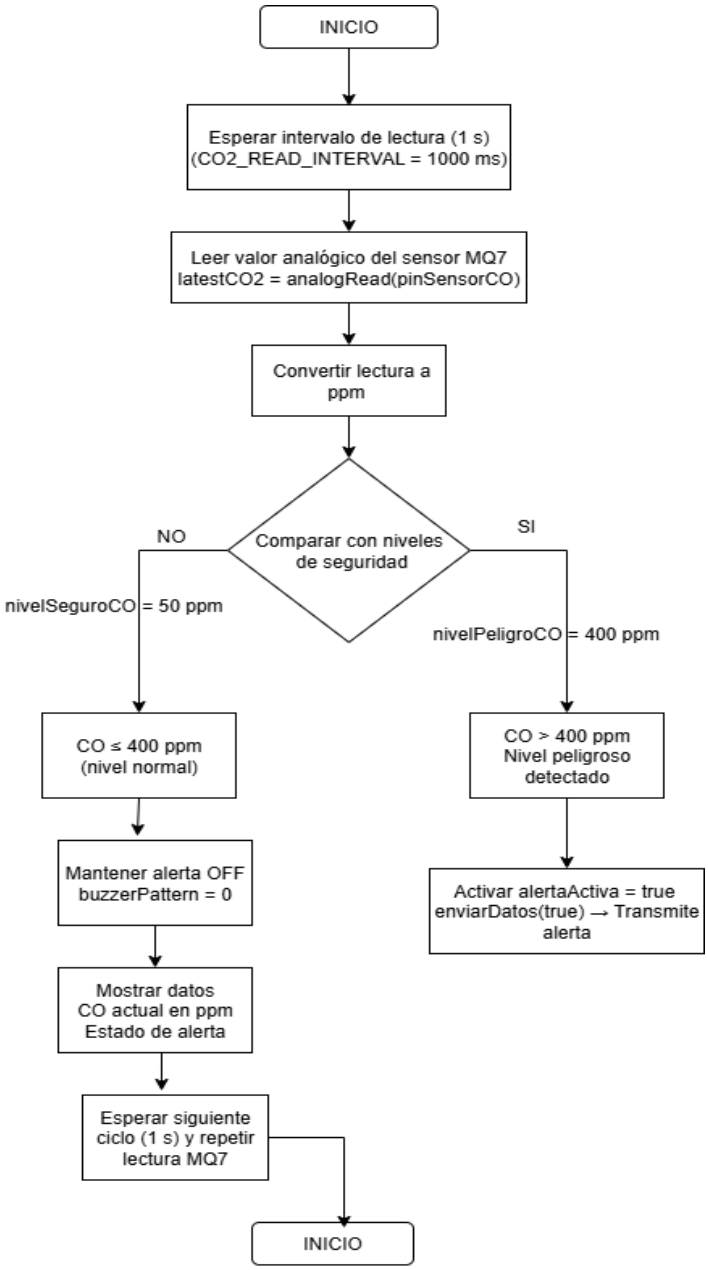
El cual se puede identificar que el sensor de MQ-7 puede trabajo de forma analógico para obtener datos de gases en que se utilizado para detectar concentraciones de monóxido de carbono (CO) se presan en la combustión de ramas o árboles o caso más comunes están presentes en el aire. Y en la cual es una señal analógica proporcional a la cantidad de CO detectada, al lee por el pin analógico del microcontrolador en donde se encarga una resistencia que tiene que calibrase de cambio de estado de energía a calor o mejor dicho que aumente nivel de temperatura para normalizarse la lectura y comience a enviar datos.

Para su calibración, el sensor debe calentarse durante esto tiempo (ciclo de 60 s a 5 V y 90 s a 1.4 V) y luego exponerse a aire limpio para establecer el valor base ($\mathbf{R_0}$) que servirá de referencia se tiene que tomar en cuenta exposición en medio cerrado y otro medio en campo se comporta diferente.

En el código con la lectura gse tendrá que multiplicar por un factor de conversión ajustable que será el (factorConversionCO) que permite una calibración el nivel en partes por millón (ppm) Figura 36. Y se ajustar correctamente al factor es primordial para generación de alertas de concentración peligrosa sean precisas.

Figura 36

Diagrama flujo de (Sensor MQ-7)

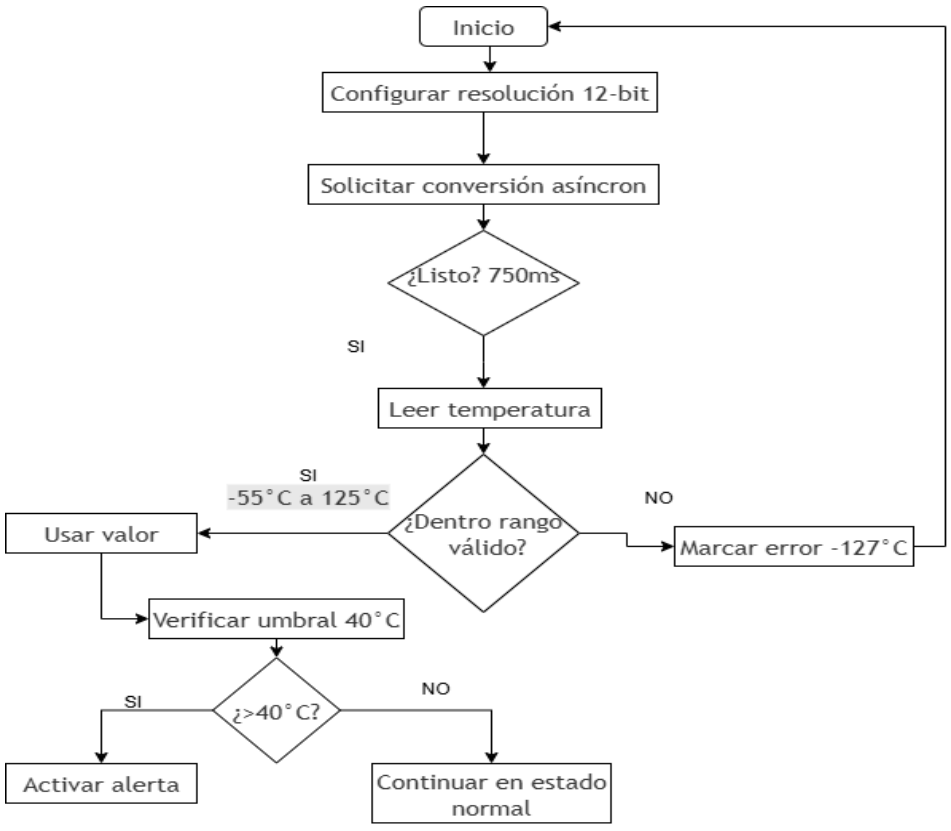


Nota: Es muy importante esta etapa de la calibración la cual ayudara a tomar niveles de monóxido de carbono (CO) en eventos con los humo o gases dependió del medio a analizar que puede ser un entorno de laboratorio o campo. Fuente: Autoría propia.

El DS18B20 es un sensor digital se representa con diagrama de flujo Figura 37 de la temperatura que utiliza el protocolo OneWire permite conectar varios sensores en un solo pin de datos. Este sensor una ofrece una alta precisión (±0.5 °C) y una resolución ajustable hasta 12 bits. Su calibración consiste principalmente en verificar que las lecturas sean coherentes con una referencia confiable, como un termómetro digital certificado garantizando funcionalidad.

Figura 37

Diagrama flujo de la Temperatura

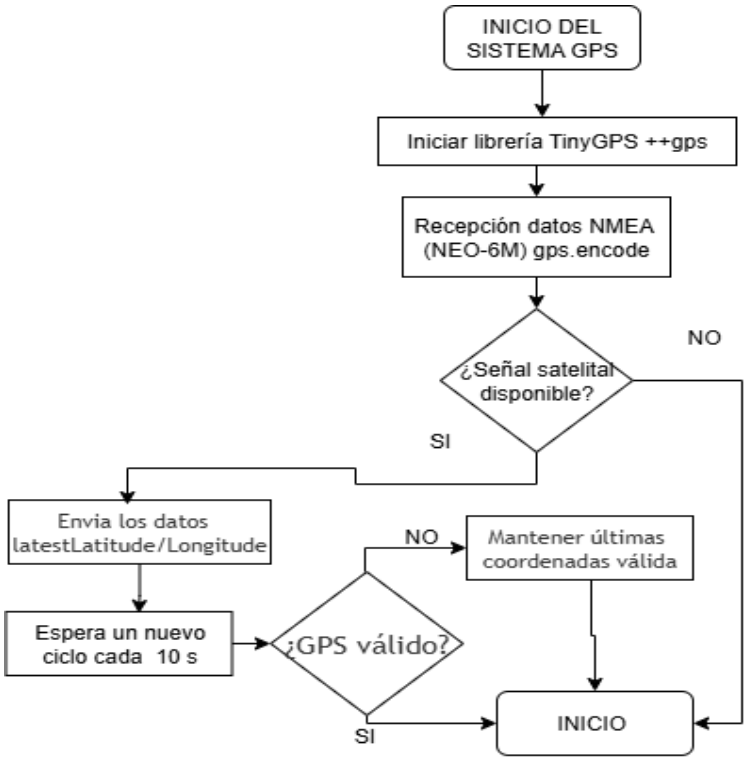


Nota: Sensor digital tiene la prioridad de tomar lecturas de la temperatura con alta precisión con objetivo de evitar lecturas erróneas. Fuente: Autoría propia. propia.

El NEO-6M es un módulo GPS que recibe señales de satélites para determinar la ubicación geográfica (latitud y longitud) del dispositivo. Utiliza comunicación serial con el ESP32, y los datos son procesados mediante la librería TinyGPS++.En Figura 38 comenta de este módulo no requiere calibración como tal, pero sí necesita condiciones adecuadas de recepción: debe ubicarse en un área abierta, sin obstrucciones, para obtener un fix de satélites confiable. En el código, se verifica la validez de la señal con gps.location.isValid(), permitiendo distinguir entre coordenadas reales y lecturas inválidas. Si no se dispone de señal, se reportan coordenadas nulas o se mantienen las últimas válidas.

Figura 38

Diagrama flujo del módulo GPS NEO-6M



Nota: Se proporciona la ubicación geográfica exacta de cada nodo en la red propuesta en donde se debe tomar en cuenta el tiempo espera para obtener primeros datos. Fuente: Autoría propia.

Podemos deducir que, una vez tomados los datos se comienza el manejo de las alertas, el cual comprende cómo se actúa en los casos de alarmas identificadas y cómo se prevé conocer el estado de la alarma si está activada. Se detallan los procesos a desarrollar, tanto la toma de datos como las acciones a cumplir

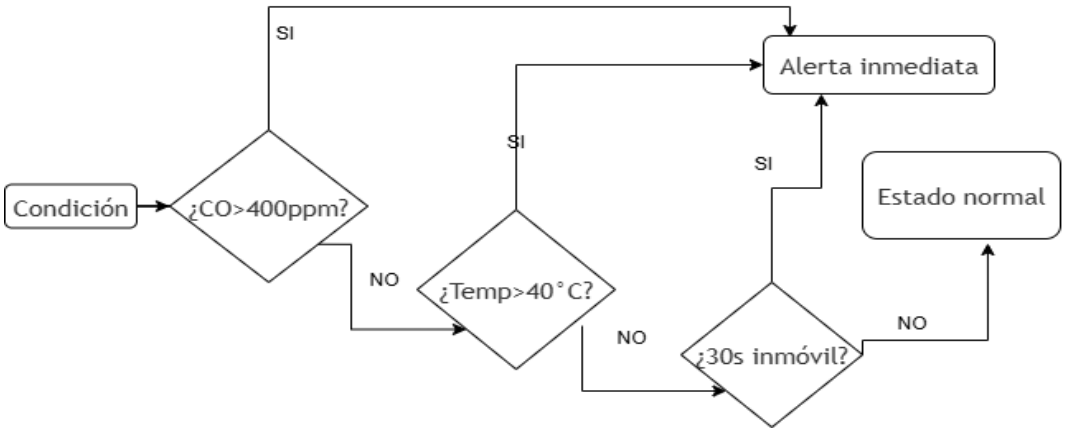
Alertas prioritarias

El sistema de alertas prioritarias se permite detectar condiciones críticas que pueden comprometer la seguridad del bombero durante una intervención. En Figura 39 se identifica a través del monitoreo continuo de variables como el nivel de CO, la temperatura ambiente y la inmovilidad del usuario, el kit telemático evalúa cada parámetro y determina si se requiere una alerta inmediata.

Se tiene mayor prioridad en las alertas inmediatas que se generan en un medio expuesto. Se tendrá que pasar el umbral máximo para que se cumpla la condición. Se da mayor prioridad a las alertas porque se sugiere un envío inmediato sin tomar en cuenta el tiempo; se debe ejecutar y actuar de forma rápida si se puede presentar cualquier evento, como dar prioridad en la generación de alertas y cambios de los estados que trabaja el nodo casco.

Figura 39

Diagrama de flujo de alertas prioritarias del kit telemático



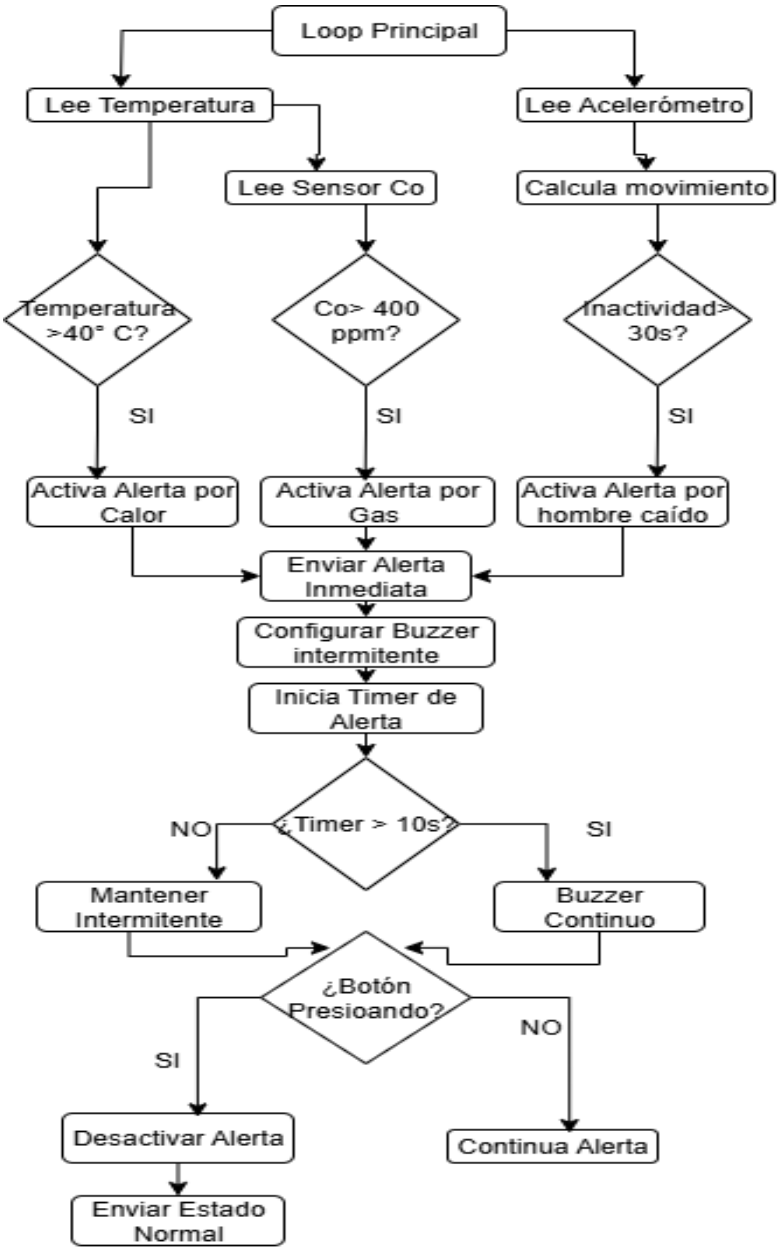
Nota: Condición de alertas para dar prioridad en la evaluación de condiciones críticas en el kit telemático, donde se pueden presentar más de dos alertas al mismo tiempo; se justifica el método de n alertas para dar prioridad a cada una. Fuente: Autoría propia.

Manejo de Alertas

Las alarmas se activan automáticamente cuando los sensores detectan condiciones peligrosas: temperatura > 40 °C, CO > 400 ppm o falta de movimiento > 30 s. Al activarse, el buzzer suena intermitente lo que se muestra la alerta y se envía un mensaje por LoRa. Y Si el riesgo continúa por más de 5 s, el buzzer pasa a modo continuo (alerta confirmada). El botón permite desactivar manualmente la alarma, restableciendo el sistema y notificando la desactivación por LoRa.

Figura 40

Diagrama de flujo del Manejo de Alertas



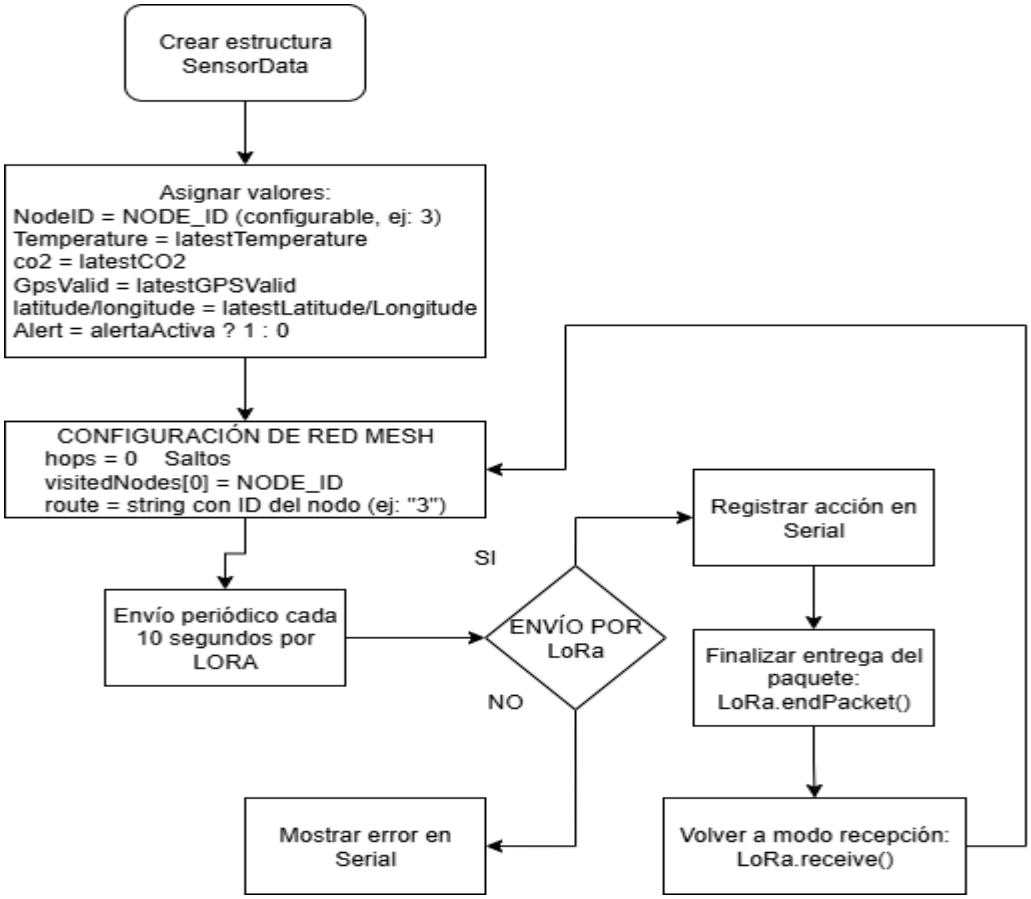
Nota: Se resume las etapas de alerta de HC o hombre caído identifica cómo será la activación de la alarma en el nodo Casco y la desactivación cuando se presiona el botón, el cual cambiará los estados y reenvía al estado normal ante cualquier alarma generada en el medio. Fuente: Autoría propia.

3.4.4 Bloque 2 Transmisión por LoRa

Se deberá crear la estructura de la trama para el envío de datos mediante LoRa, así como definir los modos de transmisión y recepción, simulando una red. En la Figura 41 se especifican los procesos a desarrollar para completar esta sección.

Figura 41

Envió paquetes desde Nodo origen



Nota: La creación del empaquetamiento y el envío de datos se integran en una estructura única que define los estados mencionados de cada paquete con datos o alertas y el funcionamiento de cada nodo Casco. Fuente: Autoría propia.

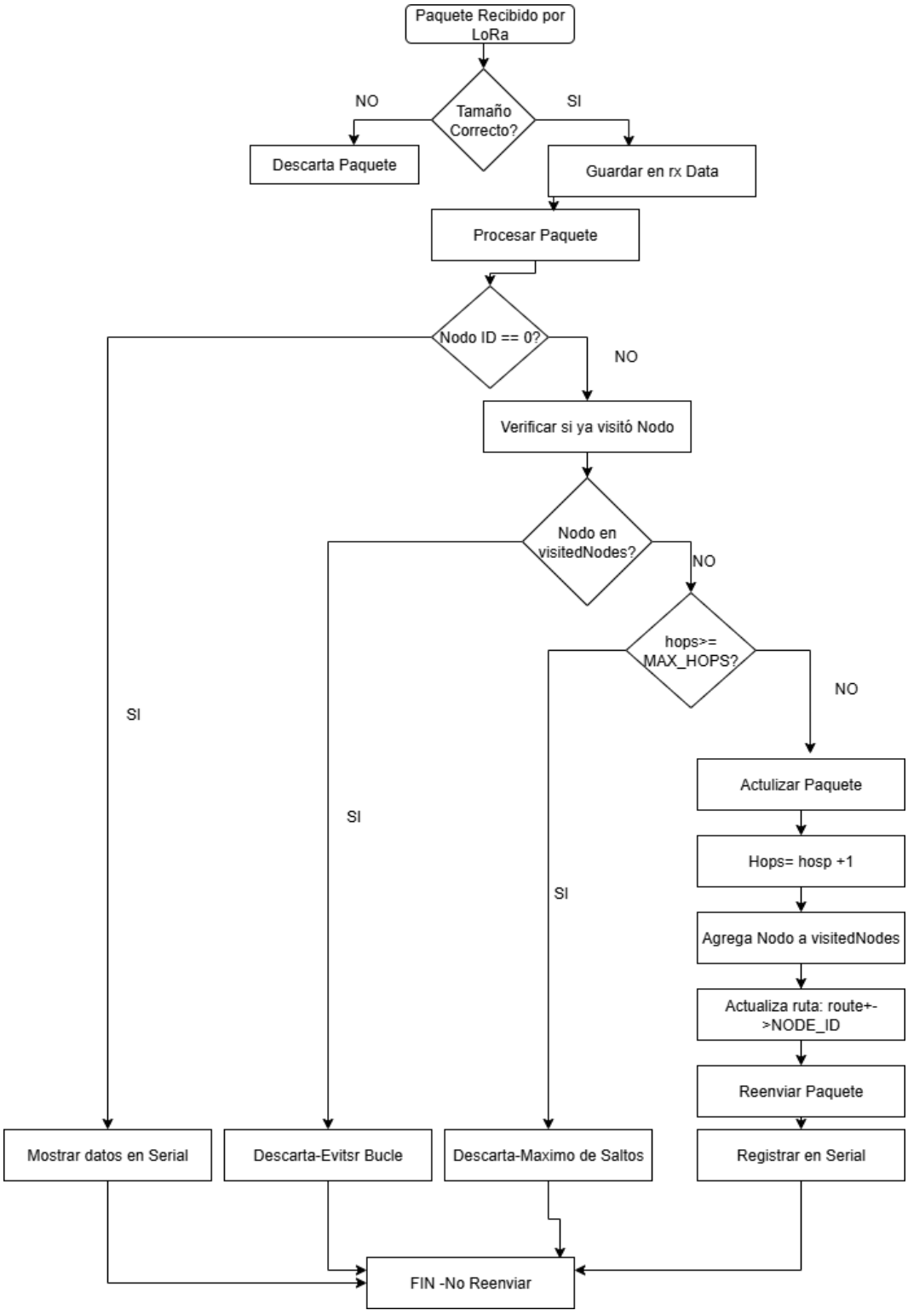
Recepción de datos y reenvío

Como se muestra en la Figura 42, el proceso de red implementado en el sistema se distribuye en varias etapas con el objetivo de garantizar la comunicación eficiente entre los nodos sensores y el receptor final (nodo coordinador). A continuación, se detalla cada etapa del flujo para cumplir con la finalidad de transmitir los datos de monitoreo desde cualquier punto de la red hasta el nodo central, incluso en ausencia de conectividad directa entre ellos.

1. **Recepción:** El nodo recibe un paquete LoRa de otro nodo.
2. **Validación de tamaño:** Si el paquete no tiene el tamaño esperado (sizeof(SensorData)), se descarta.
3. **Nodo receptor (ID = 0):** Si el nodo es el coordinador (ID 0), solo muestra los datos (Serial) y no retransmite.
4. **Prevención de bucles**: Si el nodo ya está en la lista visitedNodes[], el paquete se descarta para evitar ciclos.
5. **Límite de saltos:** Si hops ≥ MAX_HOPS (5), el paquete se descarta para limitar la propagación.
6. **Actualización:** Si el paquete es válido, el nodo:
    - Incrementa el contador de saltos (hops++),
    - Se añade a visitedNodes[],
    - Actualiza la ruta (ej. "3->5->2").
7. **Retransmisión:** El paquete modificado se reenvía a todos los nodos dentro de su alcance LoRa.

Figura 42

Procesamiento de Paquetes Recibidos renviados



Nota: Este mecanismo implementa una red mesh o punto a punto por difusión controlada (flooding), ideal para topologías pequeñas y dinámicas como la de un equipo de bomberos en campo**.** Fuente: Autoría propia.

3.4.5 Bloque 3 Procesamiento Local "Nodo Principal"

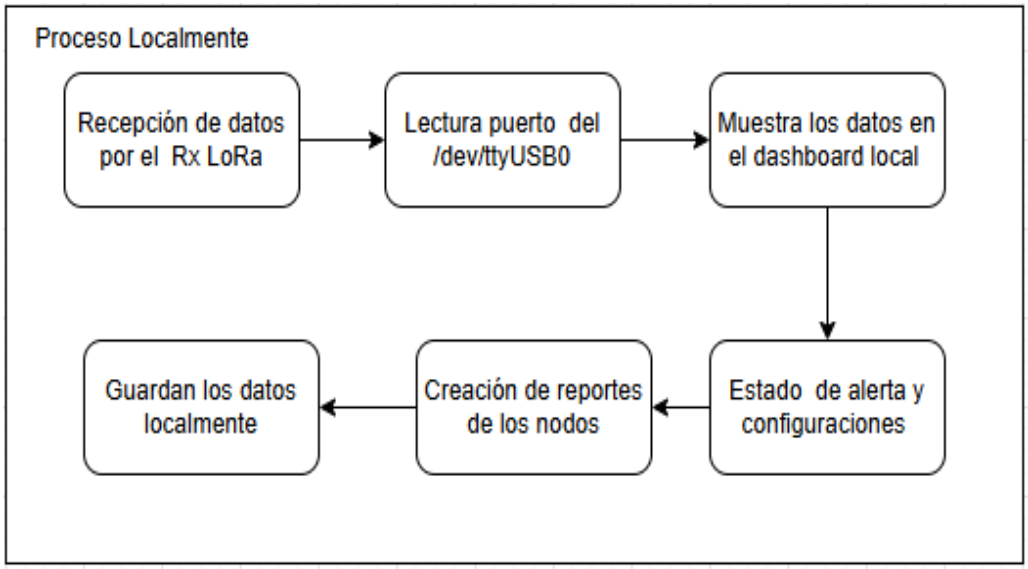
En bloque número tres se comprende parte de procesamiento de tanto que se local de datos y envió de datos a plataforma de en cual comprende una buena distribución para visualizar los datos tanto de los datos recibidos por nodo.

En esta sesión se aborda un proceso dividido en dos sub-bloques: uno local y otro externo. Como se observa en la Figura 43: Bloque local, primero se inicia la reacción y la comunicación mediante el puerto USB, donde el módulo Heltec WiFi se conecta físicamente al módulo Banana Pi a través de un cable USB-dev, encargándose de leer los datos recibidos bajo una estructura predefinida.

Tras verificar los parámetros de dichos datos. Estos se exportan a una página web mediante redirección por dirección IP, requiriendo al inicio el ingreso de un usuario (admin u otro perfil), lo que despliega posteriormente el dashboard con interfaces gráficas para monitoreo y control.

Figura 43

Proceso locales nodo principal



Nota: Describe el proceso local de recepción, lectura y presentación simultánea de datos mediante el módulo Heltec WiFi (conectado vía USB al Banana Pi), validando parámetros y mostrando resultados en el dashboard tras autenticación. Fuente: Autoría propia.

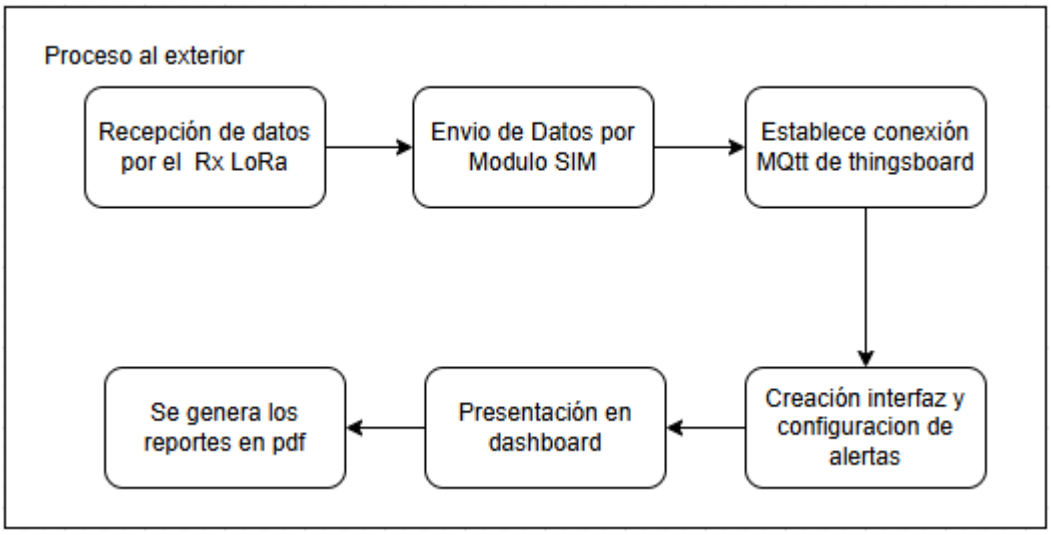
Figura 44: Bloque enfocado en establecer conexión con la plataforma ThingsBoard, identificando el proceso de inicialización de comunicación y los pasos clave para su ejecución; aunque opera como un único flujo, se divide en dos sub-bloques diferenciados por sus funciones específicas.

Esta primera etapa, ¿cuáles son las primordiales para la obtención de datos? Como es LoRa, una vez ya obtenidos los datos, puede pasar a la siguiente etapa, en la cual se tiene el envío a una plataforma remota o la activación de alertas, en donde

el medio para llegar a esto es por MQTT a puerto para conexión; y una vez se muestran los datos en plataformas y visualización para los usuarios finales o personal.

Figura 44

Proceso exterior del nodo principal



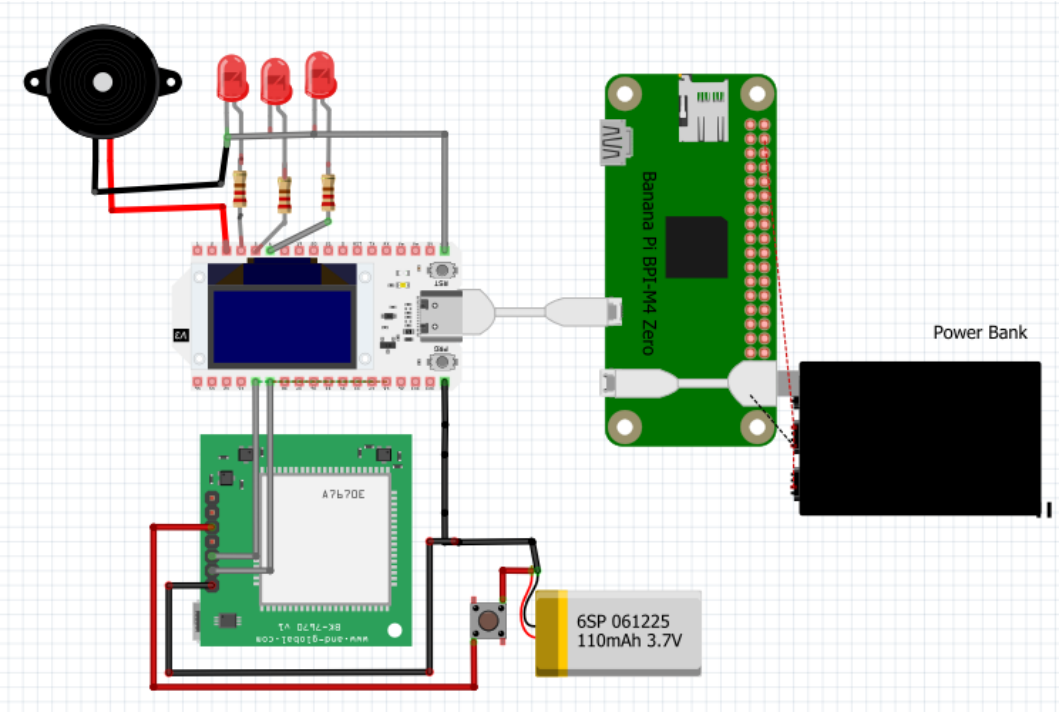
Nota: Es la etapa importante que complementa todos eventos y se encarga de enviar los datos a la plataforma ThingsBoard según los requerimientos establecidos. Fuente: Autoría propia.

3.4.5.1 Diagrama de conexiones físicas

Muestra la conexión en la (Figura 45) se establece las físicas entre el Heltec V3 y otro equipo la Banana Pi Zero y la power bank, identificando los puertos se tendrá los accesorios necesarios y la posibilidad de integrar baterías adicionales en la implementación de componentes y se distribuir el espacio de manera óptima y funcional para el usuario.

Figura 45

Diagrama de conexiones nodo principal



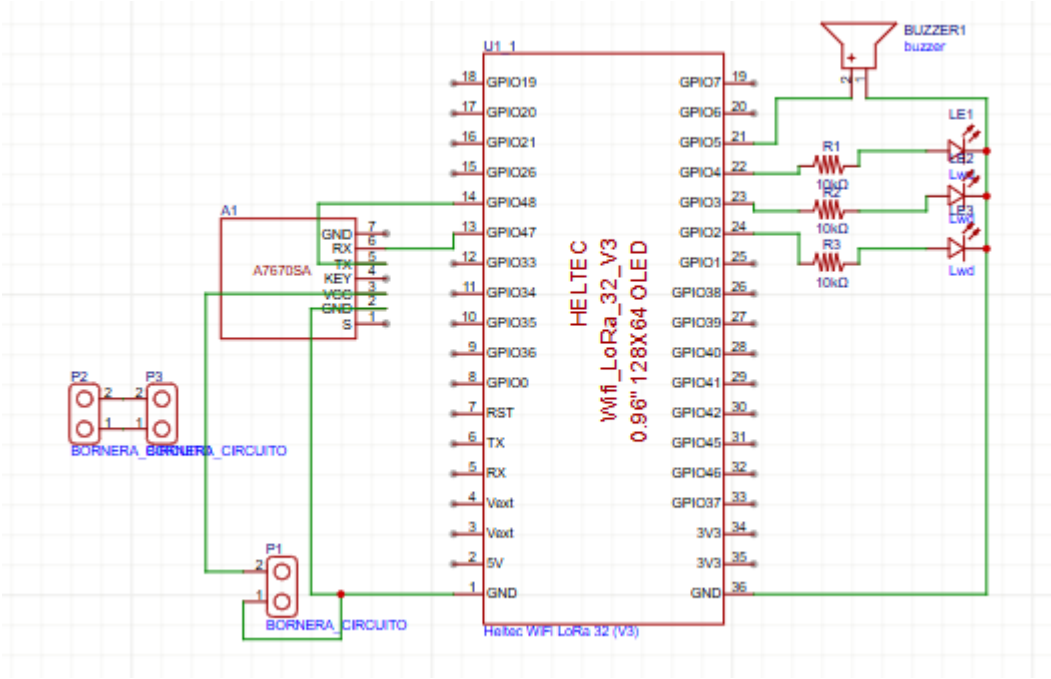
Nota: Esquema gráfico del nodo principal se menciona todos los componentes físicos clave para el kit (Heltec V3, Banana Pi Zero, power bank), organizados para optimizar espacio y funcionalidad. Fuente: Autoría propia.

3.4.5.2 Diagrama de pinout (pines de conexión)

Los pines se distribuyen (Figura 46) mencioan las conexiones físicas USB entre el Heltec WiFi V3 y la Banana Pi Zero. Estructuradas en gestionar dos flujos de operación: Es el procesamiento local de datos recolectados y otro caso es la transmisión externa a plataformas especializadas mediante un módulo SIM, el cual habilita conexión a redes móviles para garantizar comunicación remota estable.

Figura 46

Pines de conexión Nodo Principal



Nota: Se especifica la interconexión del módulo SIM con el Heltec WiFi V3 mediante pines dedicados, mientras que la Banana Pi Zero se vincula a través de puertos USB, habilitando la comunicación local y la transmisión remota de datos. Fuente: Autoría propia.

Tabla 43 se relación de cada pines asignados e interfaces necesarias para el funcionamiento de cada subproceso se integrado un proceso general que se unificado según el diseño detallado previamente para el nodo principal a probar.

Tabla 43

Distribución de pines

Conexiones pines

Heltec	A7670SA	LED	Batería	Banana Pi
TX 48	RX			
RX 5	TX			
Pin	GND	2,3,4		
GND 2	GND		GND	
	Positivo		Positivo	
USB				Puerto USB

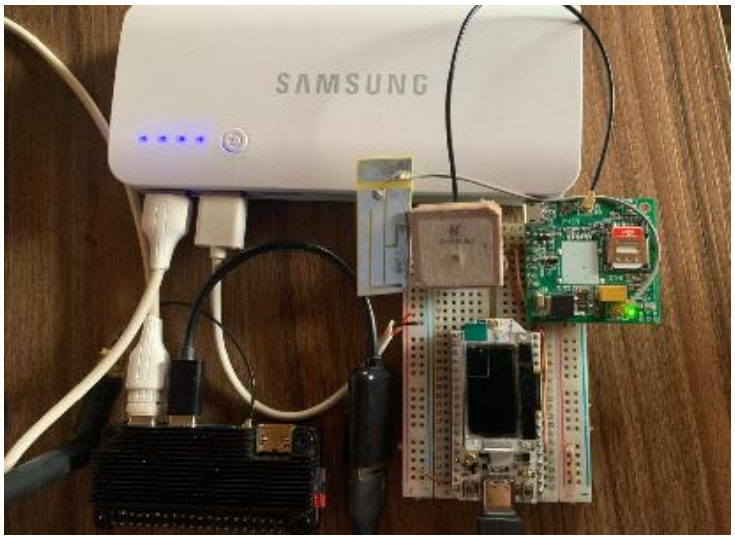
Nota: Se mención los pines asignados en identificar cada señor o modulo que se dará mayor prioridad tanto en una buen conexión Fuente: Autoría propia.

3.4.5.3 Armado físico de sensores y módulos

Esta etapa del nodo principal se identifica la distribución de los elementos, tal como se observa en la Figura 47. En esta conectado cada componente se asigna de forma estratégica, siendo esencial para funcionamiento y la transmisión de datos, tanto de manera local hasta llega a la remota.

Figura 47

Armado físico Nodo Principal



Nota: La representación de las conexión física del Nodo Principal y distribución de cada elemento. Fuente: Autoría propia.

En la cual podemos mencionar los accesorios

- Power Bank
- SIM 7676OSA
- Heltec Wifi LoRa V3.2
- Banana pi bpi-m4 zero
- Cable tipo USB-C

3.4.5.4 Protocolos de comunicación utilizados

Protocolos de comunicación están implementados:

LoRaWAN (librería *LoRaWan_APP.h*): La modulación en bandas sub-GHz no licenciadas (868/915 MHz) para la transmisión de paquetes pequeños a larga distancia con bajo consumo es importante en las zonas remotas sin infraestructura.

LTE-M/NB-IoT es medio el cual MQTT (módulo SIM y sus librerías TinyGSM.h, PubSubClient.h): Se podrá establecer la conexión celular mediante tarjeta SIM permitiendo la habilitar la comunicación bidireccional vía entre el MQTT con brokers en la nube como es de (ThingsBoard, AWS IoT) en áreas con cobertura móvil.

Wi-Fi es la (librería WiFi.h): Son las redes locales son puentes de comunicación para operaciones de alto ancho de banda cuando el dispositivo está en rango optimo.

UART (serial): Es que recepción de datos de sensores externos vía */dev/ttyUSB0* a 115200 baudios y es medio que podrá tomar dato y exportarlos.

HTTP o HTTPS: En un servidor local es para el Flask de las APIs REST, *dashboard* y endpoints de exportación de datos primordiales.

Comunicación en tiempo real esta implementado mediante el polling *HTTP* (ej.: fetch('/data') cada 2 segundos) eso permite la actualización continua de datos.

3.4.5.5 Formato y envío de tramas de datos

Formato de Trama Recibida (LoRa) recibida por modulo nodo principal Heltec Wifi LoRa 32(V3) tiene la siguiente estructura binaria compacta definida como struct SensorData que contiene información relevante para el recptor.

```
struct SensorData {
  uint8_t nodeID;           // ID único del nodo transmisor (1 byte)
  float temperature;        // Temperatura en °C (4 bytes)
  uint8_t alert;            // Estado de alerta (1 byte, 0=NO, 1=SI)
  bool gpsValid;            // Indicador de validez GPS (1 byte)
  float latitude;           // Coordenada GPS Latitud (4 bytes)
  float longitude;          // Coordenada GPS Longitud (4 bytes)
  float co2;                // Nivel de CO en ppm (4 bytes)
  char route[10];           // Cadena que describe la ruta de la trama (10 bytes)
  uint8_t hops;             // Número de saltos realizados (1 byte)
  uint8_t visitedNodes[10]; // IDs de nodos visitados (10 bytes)
};
```

Tamaño total: 40 bytes por trama se tienen a optimizar para la transmisión LoRa de bajo consumo y largo alcance.

Formato de visualización (Serial)

Al recibir datos válidos, se imprime en el monitor serial con formato estandarizado:

Datos - ID: {nodeID} Temp: {temperature}C CO: {co2} ppm Alerta: {SI/NO} GPS: {lat,lon o "No disponible"} Ruta: {route}>0

Ejemplo:

Datos - ID: 3 Temp: 62.5C CO: 45.3 ppm Alerta: SI GPS: 4.6097,-74.0817 Ruta: 3>2>1>0

Formato de envío a ThingsBoard (JSON/MQTT)

Los datos se transforman a JSON estructurado para publicación vía MQTT:

{

"id": 3,

"temperature": 62.5,

"co2": 45.3,

"alert": "SI",

"latitude": 4.6097,

"longitude": -74.0817,

"route": "3>2>1>0"

}

Proceso de envío de datos nodo a nodo b

1. **Validación de trama**: Se Verificaciones que coincidencia exacta del tamaño recibido con sizeof(SensorData) (40 bytes).
2. **Reconexión MQTT**: Ejecuta por medio que es reconnect() con la autenticación por los que se usara token si se pierde conexión.
3. **Construcción de forma JSON**:

   temperatura y el dato de co2 con 1 decimal.

   Coordenadas GPS con valores de 4 decimales.

   La Cadena esta en ruta de finalizada con valores de >0 (destino final) depende de nodos conectados.
4. **Publicación**: Envía los datos como se envía en medio *payload* al *topic* v1/devices/me/telemetry.
5. **Confirmación**: Muestra ✓ Dato enviado correctamente a ThingsBoard.

Configuración de la comunicación de nodos

- **Frecuencia de LoRa (recepción)**:

  Frecuencia: 915 a MHz en la (región América).

  Spreading Factor: 7.

  Ancho de banda: es de 125 a kHz de (modo RX permanente).

- **MQTT/ LTE-M**:

  Broker: demo.thingsboard.io:1883.

  Autenticación: de los Token nokk82rmbxarhi8hd0tx.

  Mantenimiento: Keep-alive automático con la reconexión.

Formato de trama recibida (UART/Serial)

Recibida en los puertos de usb /dev/ttyUSB0 a 115200 baudios, parseada mediante expresión regular en Python:

PATTERN = re.compile(r'Datos - ID: (\d+) Temp: ([\d.]+)C CO: ([\d.]+) ppm Alerta: (SI|NO) GPS: (.*?) Ruta: (.+)$')

Ejemplo de la trama:

Datos - ID: 3 Temp: 62.5C CO: 45.3 ppm Alerta: SI GPS: 4.6097,-74.0817 Ruta: 3>2>1>0

Proceso de recepción y validación

1. **Conexión serial**: Se tendrá que reintenta cada 2 segundos si falla al acceder a /dev/ttyUSB0.
2. **Filtrado**: Esta el descarta de líneas con "bana4" o también "Inicializando" en caso de "Receptor".
3. **Parseo** Extrae:

ID de nodo (entero).

Temperatura (°C) y CO_2 (ppm) como datos formato de float.

Alerta (SI→1, NO→0). estados

Coordenadas GPS y la ruta de nodos.

4. **Validación GPS**: Se tiene separa latitud/longitud si están disponibles.
5. **Filtrado por nodos**: Solo procesa datos de nodos previamente configurados como activos con filtros para evitar datos erróneos.

Implementa un protocolo híbrido: comunicación de largo alcance mediante

3.4.5.6 Configuraciones del sistema (software y plataforma)

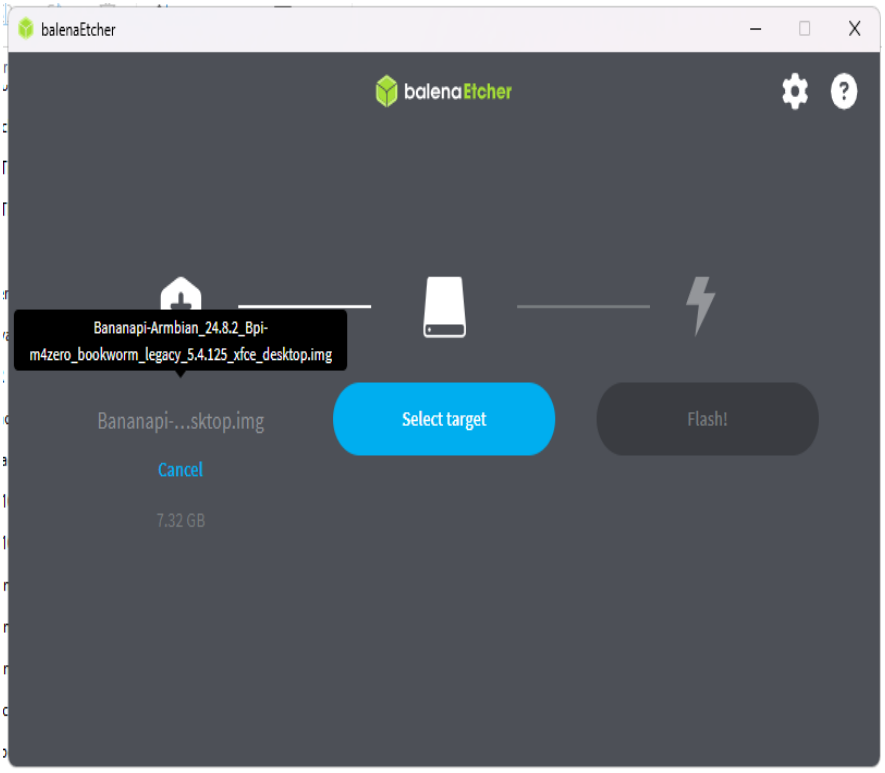
Se tendrá que descargar la imagen ISO para flashear el equipo y proceder con la instalación del sistema operativo Debian o Linux previa configuración como nodo principal, En la cual se inicia la interfaz gráfica que permite visualizar una página web especializada en el monitoreo de nodos mediante mapas GPS en un junto con funcionalidades interactivas para gestión remota en el análisis de datos y control en tiempo real es caso.

Como primer paso a configuración, se revisó la versión de la imagen o cargo para tener evaluando qué distribución y sistema operativo resultarían más adecuados. Como se observa en la Figura 48 con especifica la versión seleccionada.

Para este escenario será reconocido Debian **GNU/Linux** fue la opción elegida se tendrá que alinea de manera óptima con los requisitos técnicos definidos y garantiza un rendimiento más eficiente gracias a su configuración optimizada

Figura 48

Debian GNU/Linux

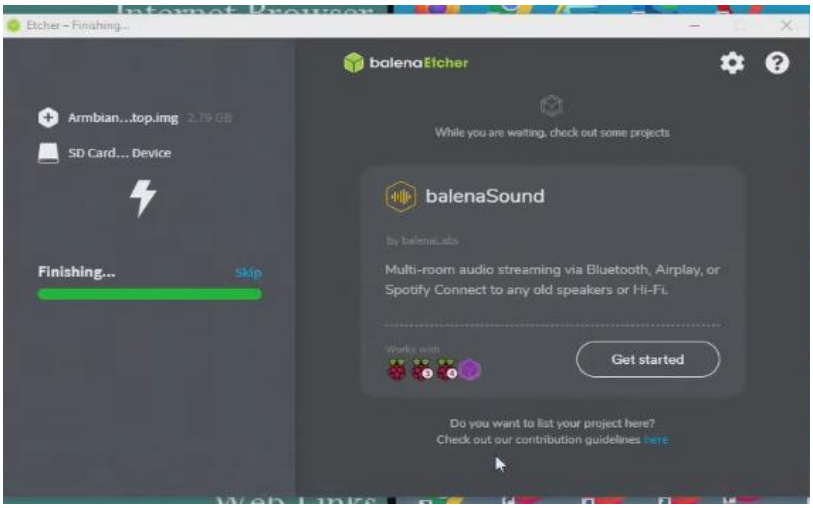


Nota: Se tiene que selección de la imagen del sistema operativo para el nodo principal para procesamiento local. Fuente: Autoría propia.

Una vez seleccionada la imagen, se procede al *flasheo* en el dispositivo para utilizar el sistema operativo y se dará inicio al proceso. Se tiene tiempo de espera a que la operación finalice correctamente como se ilustra en la Figura 49, donde se confirma la correcta culminación del flasheo.

Figura 49

Flasheo del sistema operativo



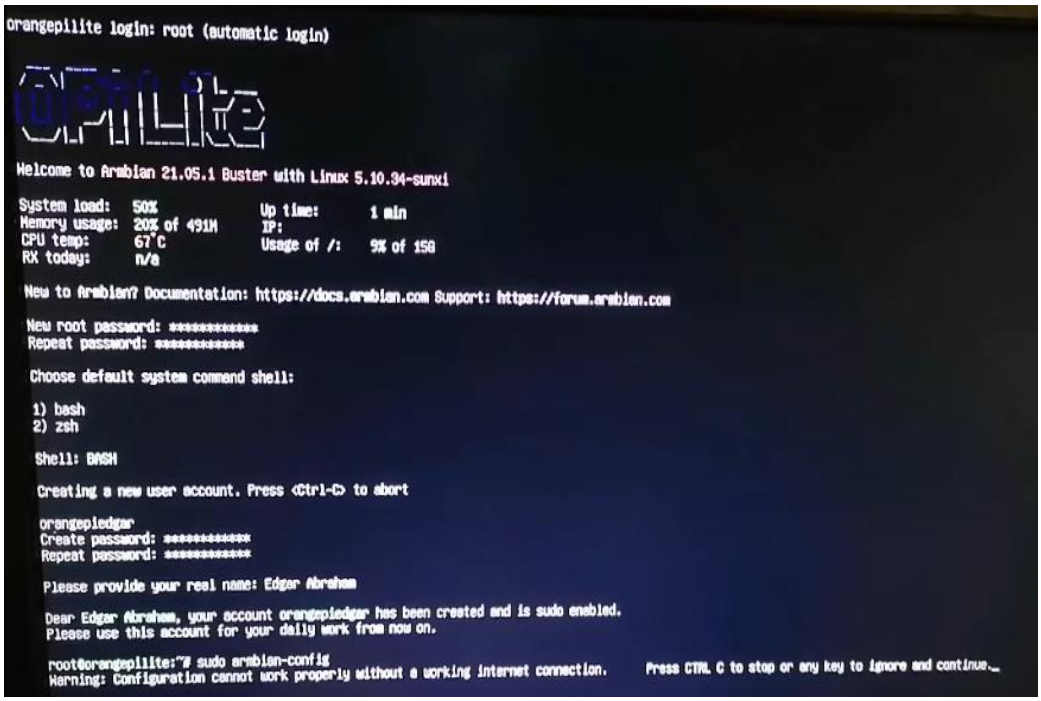
Nota: Se finalización proceso del flasheo una vez culminado se tendrá que dar iniciar el arranque del dispositivo**.** Fuente: Autoría propia.

La configuración del sistema se tiene un orden lógico durante la cual se espera un momento a que este arranque Figura 50. El proceso se lleva a cabo en los siguientes pasos:

1. **Ingreso de una clave** para el iniciar sesión.
2. **Selección de la opción** *Sistema* → *Bash* (opción 1).
3. **Asignación de una contraseña** para el usuario *root*.
4. **Definición de un nombre de usuario** (*username*).
5. **Configuración del idioma** del sistema.

Figura 50

Configuración del arranque

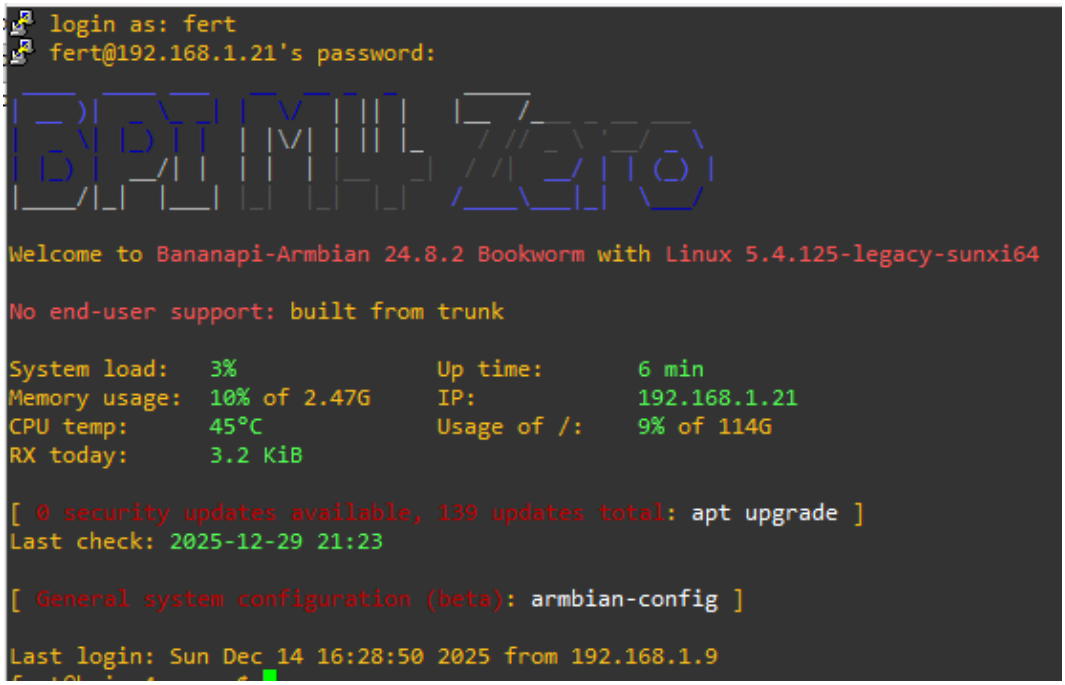


*Nota***:** Se ingresa todas las credencias de las configuraciones previas para iniciación del sistema operativo. Fuente: Autoría propia.

El sistema tendrá que inicia correctamente y una vez que procede a verificar su estado, mostrando la información correspondiente. Se observa en la Figura 51. Detalla el sistema operativo Bananapi-Armbian 24.8.2 Bookworm, junto con características adicionales del sistema y la cantidad de la memoria disponible y datos la temperatura del CPU y el estado del almacenamiento.

Figura 51

Especificaciones de Bananapi-Armbina



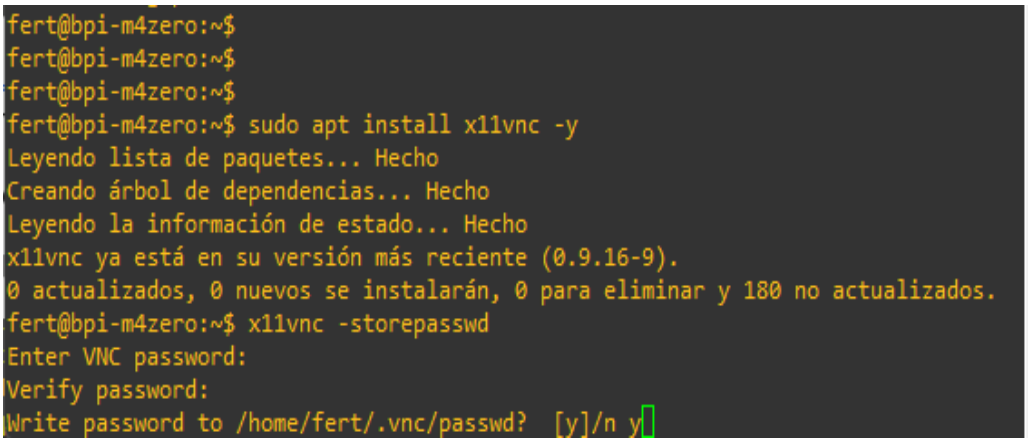
Nota: Detalles de las características de Bananapi-Armbian visibles al iniciar el sistema, una vez instalado y se accede por medio del SSH. Fuente: Autoría propia.

Crea el directorio con siguite comendos mkdir -p ~/.vnc y se ejecuta en la terminal el comando x11vnc -storepasswd. Como se identifica en la Figura 52, para realizar la previas configuración correspondiente. El sistema solicitará ingresar credenciales o clave. Se vuelve a introducirla nuevamente para confirmación. La contraseña se almacena en la ruta:/home/fert/.vnc/passwd.

Durante este se procesó se tendrá que ingresar la clave dos veces y responde posteriormente con **“y”** (sí) para confirmar y finalizar la configuración sistema.

Figura 52

Configuración VNC



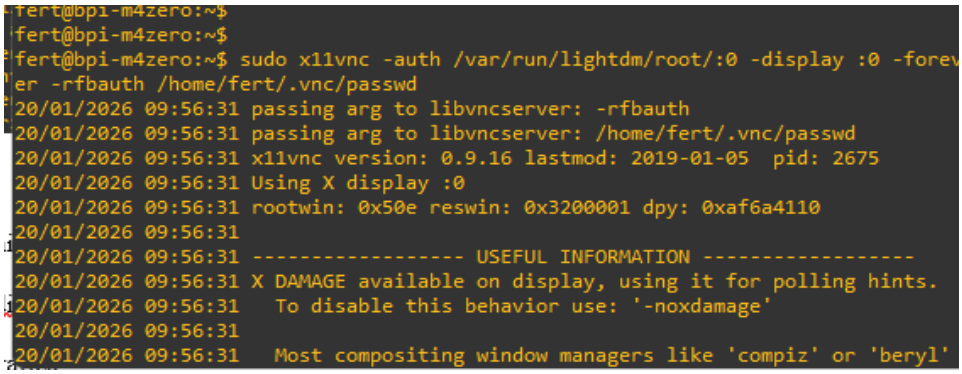
Nota: Se detallan los pasos necesarios para configurar el acceso remoto y poder iniciar el sistema operativo. Fuente: Autoría propia.

Se inicia con el siguiente comando, tal como se muestra en la Figura 53: sudo x11vnc -auth /var/run/lightdm/root/:0 -display :0 -forever -rfbauth /home/fert/.vnc/passwd

Este comando configura el servidor VNC para compartir el entorno gráfico activo (:0) del sistema, utilizando la autenticación previamente guardada. La opción -forever permite que el servidor VNC permanezca activo tras cada desconexión, facilitando el acceso remoto continuo al escritorio del dispositivo.

Figura 53

Comando para VNC

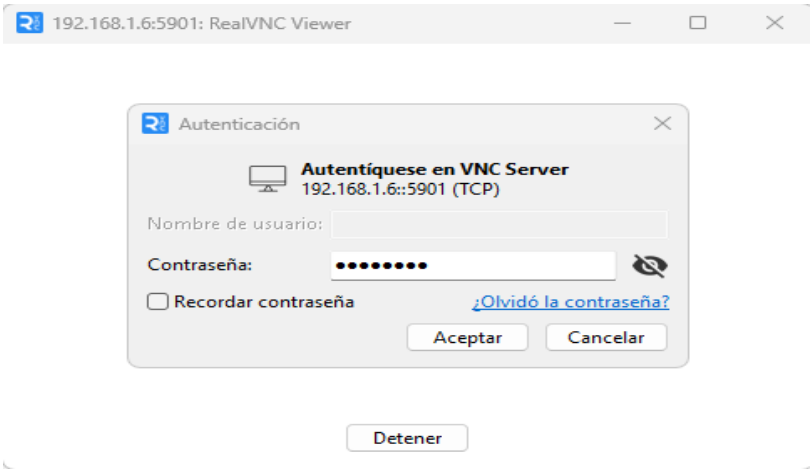


Nota: Se levanta el servicio de VNC para iniciar la comunicación en entorno grafico por medio de puerto y dirección ip establecida. Fuente: Autoría propia.

Se tendrá que ingresar la credencia creadas es la clave de autenticación en la Figura 54. Una vez establecida la conexión se puede iniciar el acceso de forma remota o directamente mediante el puerto HDMI incluido del dispositivo previa configuraciones.

Figura 54

Autenticación VNC



Nota: Se ingresa por medio ip y se coloca la clave correspondiente para iniciar sesión por medio del puerto necesario para establecer la conexión. Fuente: Autoría propia.

La autenticación se realiza de forma exitosa las cuales se inicia Figura 55, aparece la interfaz gráfica. Una vez accedido correctamente se dirige a la terminal para proceder con las instalaciones necesarias de Liberia entre otros archivos.

Figura 55

Interfaz Grafica



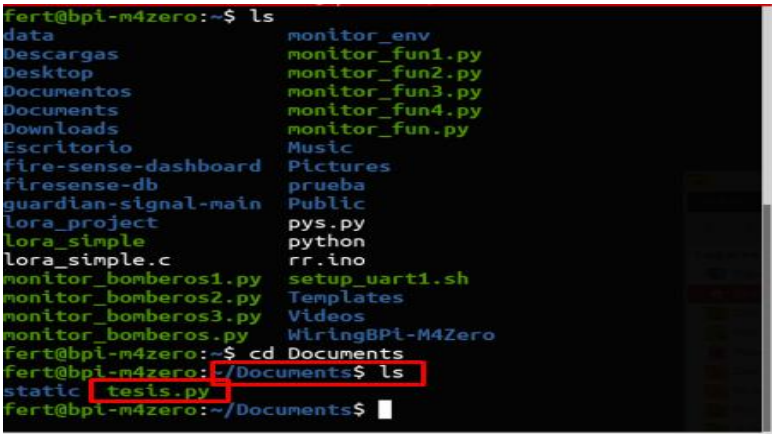
Nota: Inicio de la interfaz gráfica del sistema operativo en cual se menciona que está funcionando correctamente y servicios activos. Fuente: Autoría propia.

En el terminal se tendrá que crear un directorio para alojar los archivos del proyecto. En el caso mostrado en la Figura 56, este se ubicacion ~/Documents,

donde se almacenarán tanto el archivo principal en .py (para ejecución del programa) y como otros subdirectorios necesarios son para archivos adiciones para iniciar el sistema según lo considerado en la estructura del sistema.

Figura 56

Directorio de Tesis

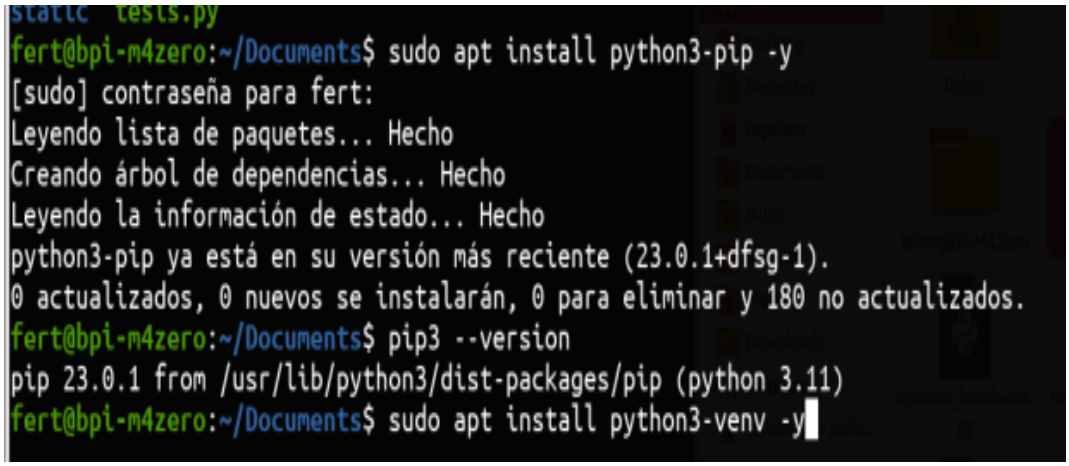


Nota: Se crea una ruta estará en tendrá todo el proyecto o tesis a desarrollar. Fuente: Autoría propia.

En la Figura 57, se inicia con la instalación de las herramientas necesarias para el manejo de paquetes en Python. En los primero se tendrá que ejecutar sudo apt install python3-pip -y para instalar pip y una vez como resultado se confirma la nueva versión más o reciente (23.0.1). Se verifica la versión con pip3 --version, mostrando que corresponde a Python 3.11. Al Finalizar se procederá a instalar python3-venv con sudo apt install python3-venv -y esto ya está preparando el entorno para crear entornos virtuales y gestionar dependencias de forma aislada.

Figura 57

Paquetes en Python



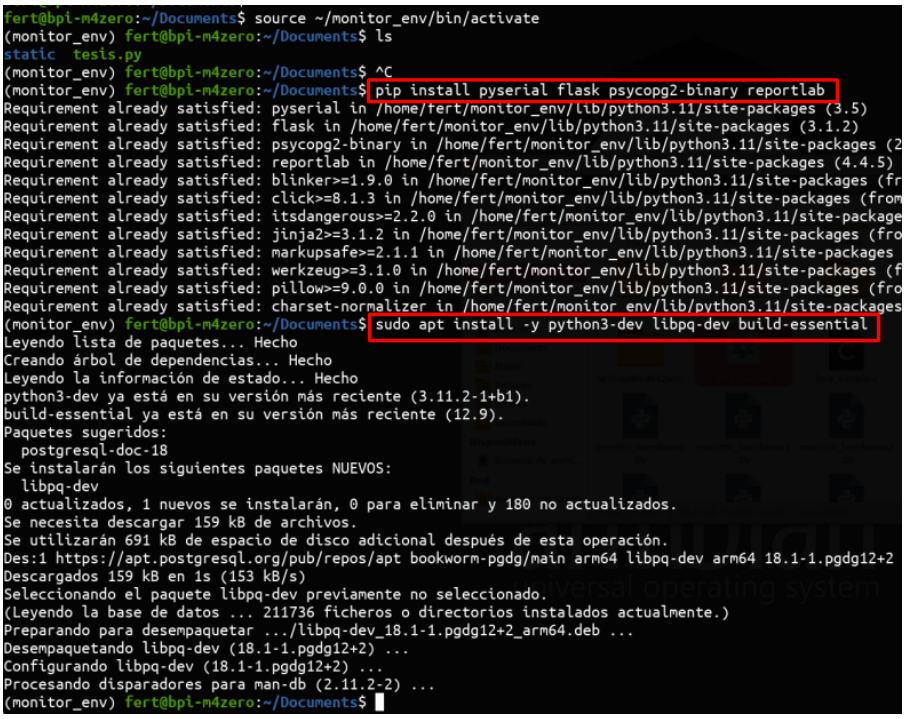
Nota: Configuración esenciales para iniciar herramientas básicas de Python (pip y venv) para la gestionar de los paquetes y entornos virtuales en este equipo. Fuente**:** Autoría propia.

Figura 58 se observa la instalación de librerías previas en del proyecto. Tras activar ejecución de un entorno virtual con el source /monitor_env/bin/activate, se instalan mediante comando de pip los paquetes pyserial, flask, psycopg2-binary y reportlab.

Se agrega las dependencias del sistema (python3-dev, libpq-dev y build-essential) para soportar las compilaciones de la conexión con PostgreSQL, todo trabaja en conjunto.

Figura 58

Instalación de las librerías

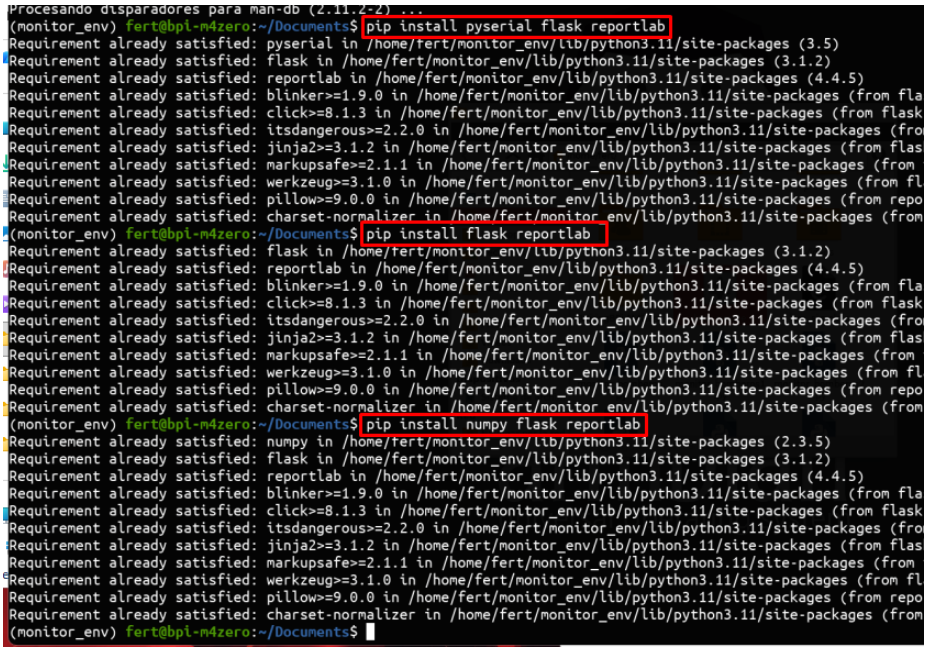


Nota: Se procede a ejecutar todas las librerías y dependencias necesarias dentro del entorno virtual para emular. Fuente**:** Autoría propia.

La Figura 59 se tendra la instalación de las librerías principales dentro del entorno virtual. Sejecuta pip install pyserial flask reportlab y como ya están instaladas el mismo sistema confirma lo instalado. Luego se repite los comando sin pyserial ya solo son con flask y reportlab.Finalmente se ejecuata instala numpy junto con flask y reportlab con la confirmacion ya esta agregdo. Todo desarrolla en el entorno activado (monitor_env), asegurando que las dependencias queden aisladas del sistema global.

Figura 59

Ejecutar pip install

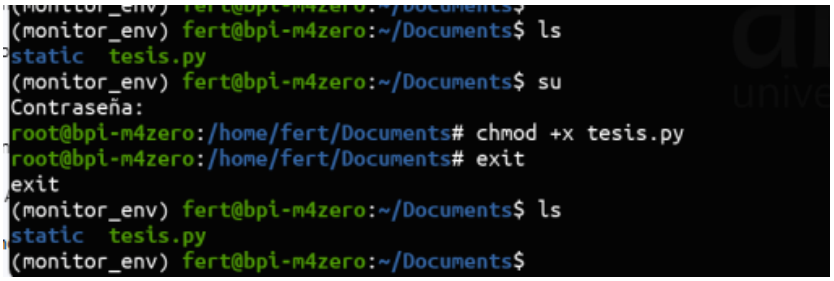


Nota: Se confirma las instalaciones de cada una de librerías principales (flask, reportlab, numpy, etc.) y dentro del entorno virtual se confirma la descarga. Fuente: Autoría propia.

En la sección de la Figura 60 se enfatiza los procesos de asignación de permisos al script tesis.py. Una vez ya tenga la existencia con ls, se accede a usuario root mediante su (y contraseña). Y ee ejecutar chmod +x tesis.py esto le otorgando permiso de root, necesarios para correrlo como programa y se confirma que el archivo sigue en la carpeta y listo para ser ejecutado desde el entorno virtual activado.

Figura 60

Otorga permiso de ejecución



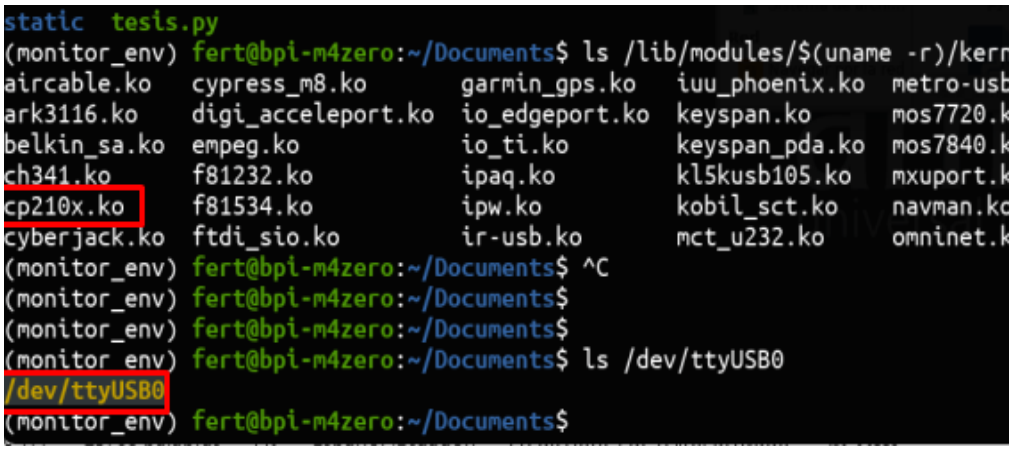
Nota: Asigna el permiso a la ejecución al script tesis.py usando chmod +x, para poder correrlo desde el entorno virtual y se verificara el código fuente. Fuente: Autoría propia.

La Figura 61 ilustra el modo de habilitar y comprobar el soporte del adaptador USB-UART: la primera ejecución actualiza el sistema utilizando para ello el comando sudo apt update que permite sincronizar los repositorios; la segunda ejecución reinstala los módulos del kernel utilizando para ello el comando sudo apt install --reinstall linux-modules-$(uname -r) que garantiza la compatibilidad de los módulos disponibles con la versión del kernel instalada.

La siguiente ejecución carga el driver cp210x utilizando para ello el comando sudo modprobe cp210x que es correcto para reconocer chips como el CP2102. La posterior ejecución añade al usuario al grupo dialout utilizando el comando sudo usermod -aG dialout $USER que permite el acceso sin privilegios a puertos seriales. La última ecuación es comprobada mediante la aparición del device file dev/ttyUSB0 que confirma que el dispositivo ha sido detectado por el sistema.

Figura 61

Adaptador USB-UART drives



Nota: Se asegurando que el dispositivo reconocer el puerto de usb esto primordial para obtener los datos (/dev/ttyUSB0) y accesible sin privilegios elevados. Fuente: Autoría propia.

Figura 62 establece la conexión de datos PostgreSQL. Se accede mediante el comando psql -U firesense_user -d firesense se tendra que introduciendo la contraseña correspondiente. Se ejecuta \dt para listar las tablas existentes de creación por node_config, sensor_data y user.

Confirmando que el esquema está disponible y accesible para usuario. Posteriormente, con \d+ sensor_data se revisa la estructura detallada de la tabla principal que se enliste la lista para almacenar y gestionar los datos del sistema localmente.

Figura 62

Conexión base datos local

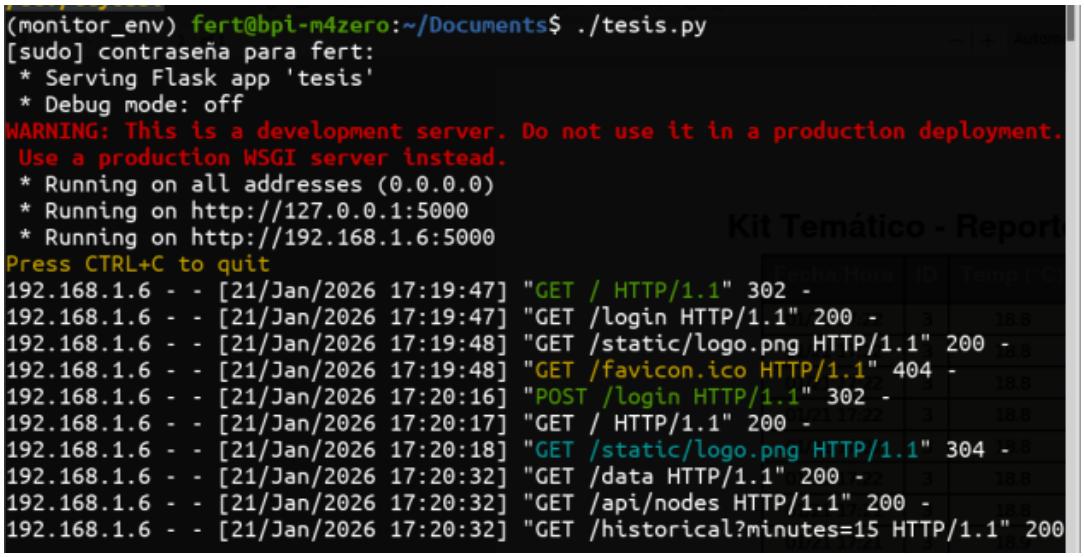


Nota: Se evidencia la conexión a la base de datos PostgreSQL con el usuario firesense_user y la base de datos firesense que se tiene los privilegio al iniciar. Fuente: Autoría propia.

Al ejecutar el archivo en Python se observa Figura 63 tendra que inician los procesos y se verifican las librerías y servicios necesarios para la compilación del archivo .py. Una vez completada se redirecciona a la dirección IP y el puerto en los que se alojará la interfaz web.

Figura 63

Inicia el servicio localmente



Nota: Al ejecuta el archivo .py se tendrá los servicios iniciados y asignar una dirección IP con el puerto :5000 mediante los cuales se dirigen a plataforma local.

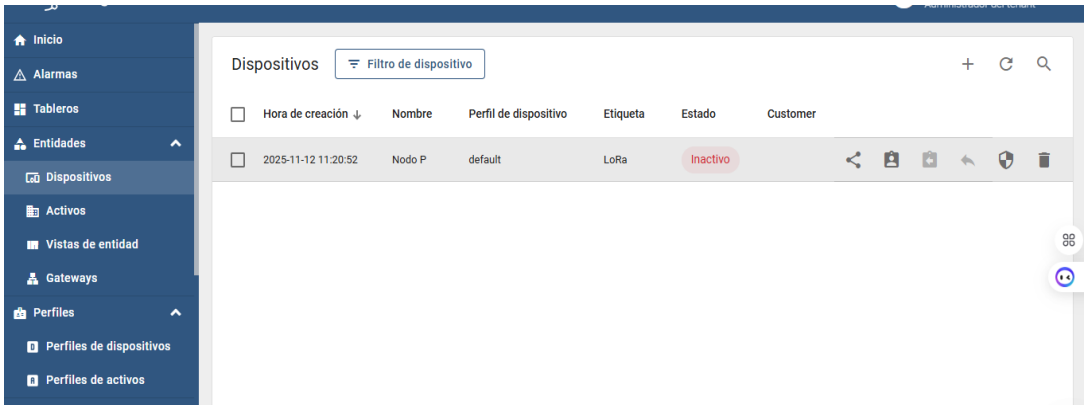
Fuente: Autoría propia.

3.4.5.7 Servicios implementados (aplicación)

A relación de Thinsboargs se tendrá opciones de acceso por la aplicación mantendrá la conexión de usuarios externos en donde se comprende la recepción datos y posterior representación de los valores censados en dashboards en Figura 64 en que se tendrá un Token redirecciona todo el o tráfico se puede generar en medio. La visualización e interacción de los datos se complementa con el uso de widgets de cada sesión ya establecida.

Figura 64

Creación de Dispositivos



Nota: Se verifica dispositivo estén ya conectado mediante token a utilizar el servicio de MQTT sobre el puerto 1883 el estado rojo cambia a verde. Fuente: Autoría propia.

Loa atributos o variables de telemetría se agrega en la Figura 65, organizados de forma estructurada y clara. Cada esta variable permite definir el tipo de dato a transmitir con el formato booleano o JSON y se reconociendo que cada uno proporciona información datos telemetría: temperatura, CO u otros gases, alerta de movimiento, y GPS con su correspondiente longitud y latitud.

Figura 65

Telemetría de datos



Nota: Se crean las variables en base a enviadas para la recolección de datos y su posterior publicación en plataforma. Fuente: Autoría propia

En donde se tendrá que establecer que cada nodo almacena sus propias variables; al incorporar un nuevo nodo. Se deben ser identificadas por su ID de forma única mediante un identificador asignado y arreglo de correspondiente de variables, asegurando la distinción de los datos más relevantes.

3.4.6 Bloque 4 Transmisión Sim y Wifi

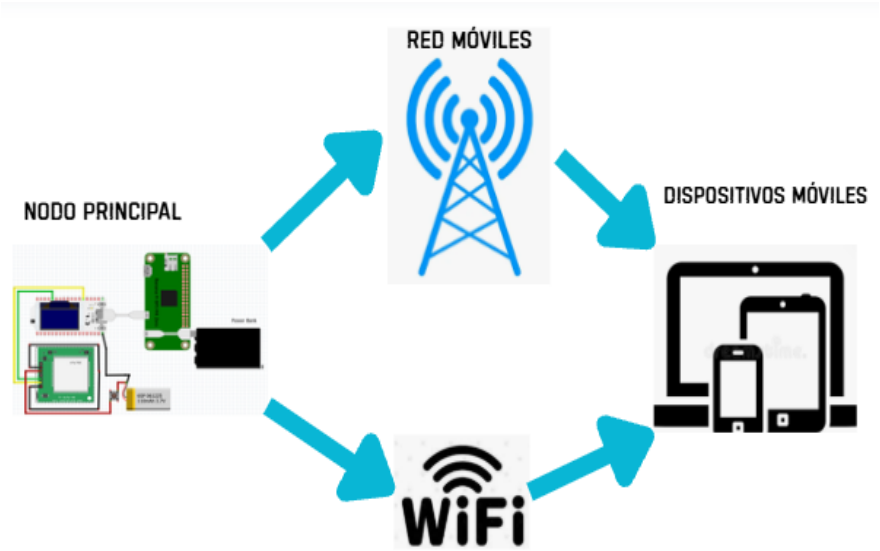
El siguiente bloque para etapa del nodo principal integra dos tecnologías de conectividad: Wi-Fi y Red Movil como muestra en Figura 66.

El Wi-Fi tiene como función principal es establecer una conexión local entre el equipo mediante una red y los usuarios esto permitiendo el acceso desde los dispositivos móviles o computadoras dentro del rango de la red inalámbrica.

Por su parte de Red Movil se encarga de proporcionar conectividad a internet mediante la red del operador telefónico es Claro esto garantizando el acceso remoto al servicio e incluso cuando no esté disponible se tendrá acceso por medio de red local.

Figura 66

Establece conexión con el usuario



Nota: Se representa los bloques de acceso disponibles para los usuarios que son dos: local, mediante Wi-Fi, o remoto, a través de la red móvil. Fuente: Autoría propia.

Ambas tecnologías mencionadas están trabajando en medio de conjunto para asegurar la transmisión continua de datos mediante los protocolos comunicación necesarios y se puedan adaptándose al entorno y manteniendo la disponibilidad del kit en los entornos previos a ejecutar las pruebas.

3.4.7 Bloque 5 Tratamiento y almacenamiento datos

Thingsboard

En este apartado se configura la transmisión de datos mediante el protocolo MQTT. Como se muestra en la Figura 67, el sistema toma los datos del puerto serie y los publica en su propio *bróker* para la recolección centralizada de telemetría.

Figura 67

Tratamiento de los Datos



Nota: Servicio apunta a thingsboard. cloud o demo para envío de telemetría mediante cliente Mosquitto, redirigiendo los datos al puerto 1883.Fuente: Autoría propia.

Para la parte de almacenamiento se toma en cuenta guardar telemetría

Crear el Dispositivo: Vaya a Entities > Devices > Add new device. Asigne un nombre y se guarda.

- **Obtener Token:** En la página del dispositivo, haga clic en "Copy Access Token".
- **Enviar Datos por eñl (MQTT/HTTP):** Es la herramienta como MQTT.fx o el comando para curl en se tiene la opción de publicar datos en el broker

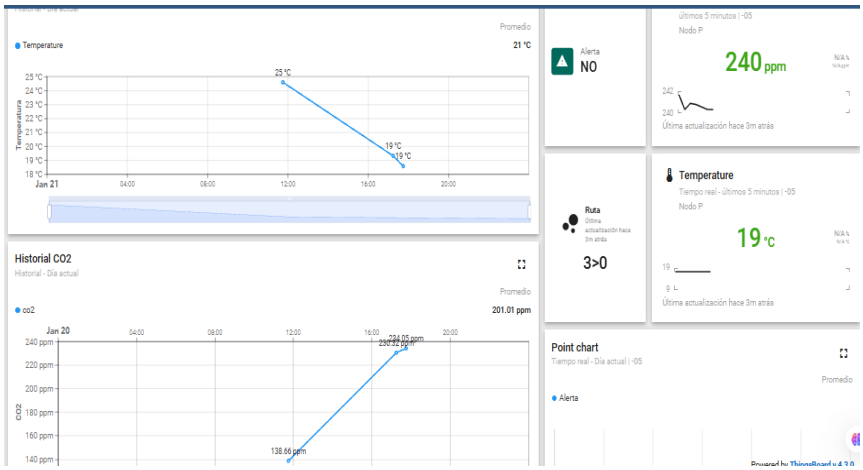
de ThingsBoard usando el token credo en la misma plataforma sirve como medio comunicación para usuario.

- **Visualización:** Los datos se guardan en la pestaña "Latest Telemetry" del dispositivo y se pueden añadir a un dashboard.

Para tener el dato se publica como (ej. telemetría) lo cual se tendrá dirigir a la sección de reportes se define qué información se almacena. La Figura 68 muestra el proceso de guardado en facilitar la generación reportes por fechas, rangos o calendarios, visualizando los datos almacenados en resumen general.

Figura 68

Parámetros a guardar telemetría

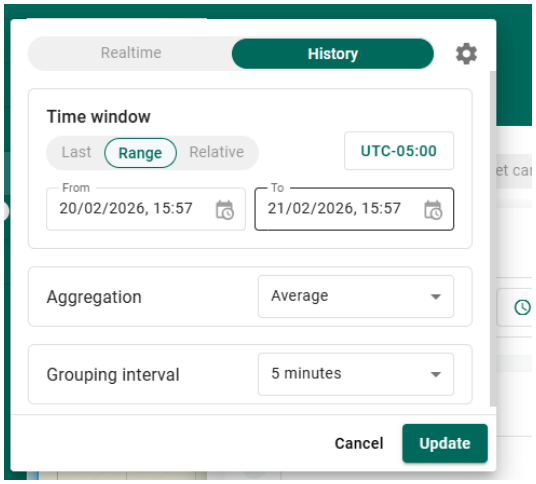


Nota: Se Muestra la configuración para el almacenamiento es temporal de datos con vista previa. Según las necesidades del usuario se seleccionar un rango de fechas**.** Fuente: Autoría propia.

ThingsBoard utiliza la base datos de PostgreSQL como motor principal para almacenar datos de series temporales, adecuado para la mayoría de las aplicaciones. Se agrega un *widget* con la finalidad de visualizar los datos generados; al ejecutar el reporte, estos se presentan en una tabla con los registros almacenados.

Figura 69

Reporte de Telemetría



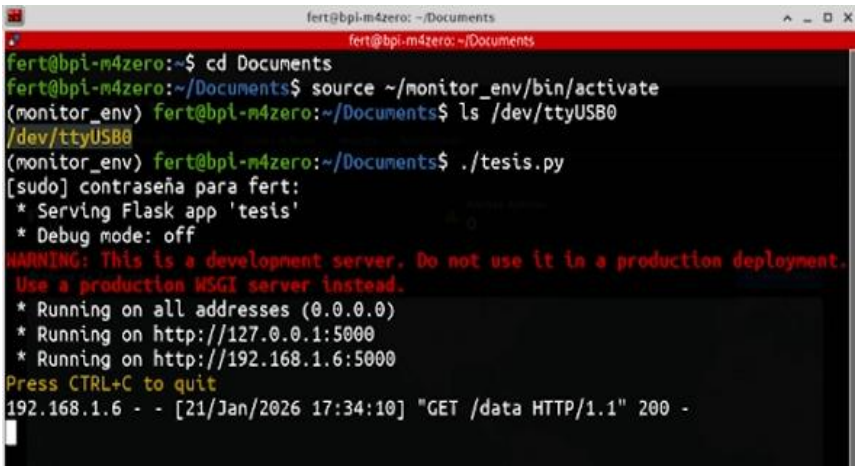
Nota: Se genera en base a datos más relevantes se incluye la fecha y el detalle de la información recopilada durante los días seleccionados en mismo día**. Fuente:** Autoría propia.

Aplicación web Local

Tratamiento de los datos vía el puerto USB (ttyUSB0) y protocolo COM. Figura 70: Para el servidor Flask en desarrollo (0.0.0.0:5000) con advertencia *"No apto para producción"*. Se validación de flujos en tiempo real para implementaciones robustas asegurando los datos.

Figura 70

Conexión Serial USB en Entorno de Desarrollo Flask



Nota: El proceso integra el tratamiento de datos por la vía USB (puerto ttyUSB0), comunicación serial y protocolo COM se valida la conexión para envío de información en contexto de desarrollo**.** Fuente: Autoría propia.

La recepción de datos mantiene una estructura eficiente donde el mismo script .py se encarga de capturar y procesar la información entrante. Como se observa en la Figura 71, el código está preconfigurado con identificadores específicos (regex) y estructuras en memoria.

Figura 71

Recepción de Datos con Estructura Optimizada

```
# Estructuras en memoria
sensor_data = {}
active_nodes = set()
lock = threading.Lock()

# Patrón regex
PATTERN = re.compile(
    r'Datos - ID: (\d+) Temp: ([\d.]+)C CO: ([\d.]+) ppm Alerta: (SI|NO) GPS: (.*?) Ruta: (.+)$'
)
```

Nota: Estructura establece para obtener los datos Script .py preconfigurado para recibir datos mediante identificadores específicos. Fuente: Autoría propia.

Configuración los archivo .py está vinculados con la conexión a PostgreSQL esto es mediante variables de entorno (Figura 62). Incluyendo las credenciales que son las autorizadas para el inicio, host local y puerto 5432, con zona horaria de Ecuador (GMT-5) para iniciar.

Figura 72

Configuración de Conexión a PostgreSQL

```
# Configuración de DB PostgreSQL
DB_NAME = os.environ.get('DB_NAME', 'firesense')
DB_USER = os.environ.get('DB_USER', 'firesense_user')
DB_PASSWORD = os.environ.get('DB_PASSWORD', 'firesense3')
DB_HOST = os.environ.get('DB_HOST', 'localhost')
DB_PORT = os.environ.get('DB_PORT', '5432')

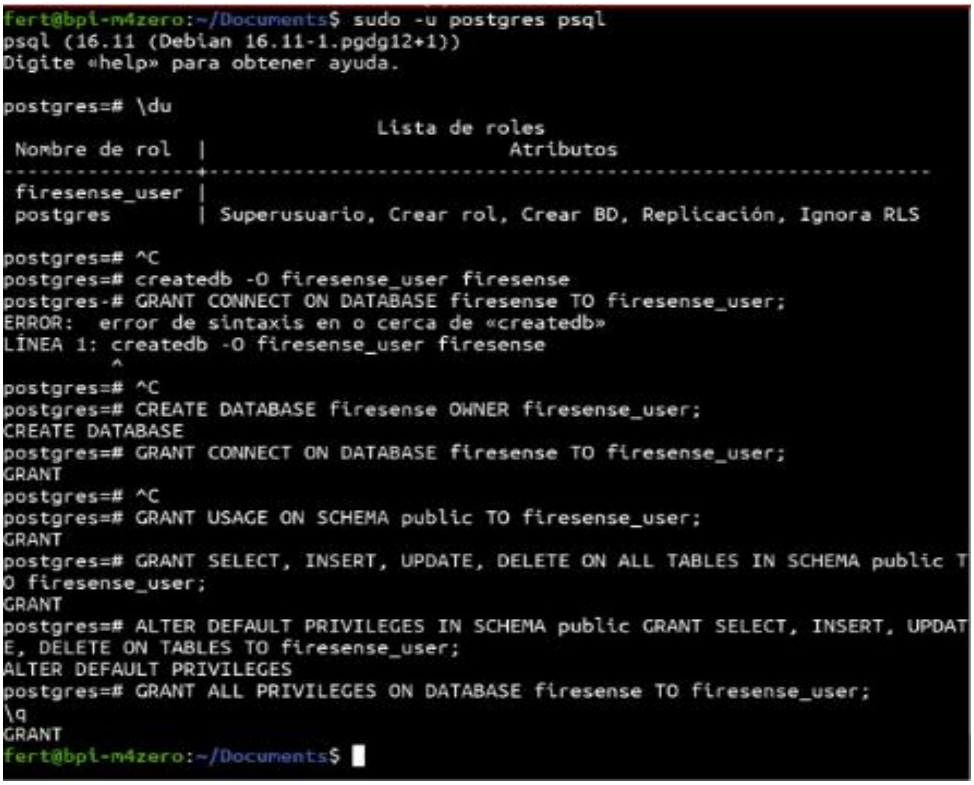
# Zona horaria de Ecuador (GMT-5)
ECUADOR_TZ = pytz.timezone('America/Guayaquil')
```

Nota: Conexión a PostgreSQL credenciales en creación de variables de entorno como el usuario, puerto 5432 y zona horaria de Ecuador. Fuente: Autoría propia.

Proceso de la creación de base de datos y la asignación de privilegios en PostgreSQL estará corrigiendo los errores de sintaxis Figura 63. Se define el usuario firesense_user con permisos de conexión y acceso a esquemas para garantizar operaciones seguras con los privilegios de acceso .

Figura 73

Configuración de Base de Datos y Permisos en PostgreSQL

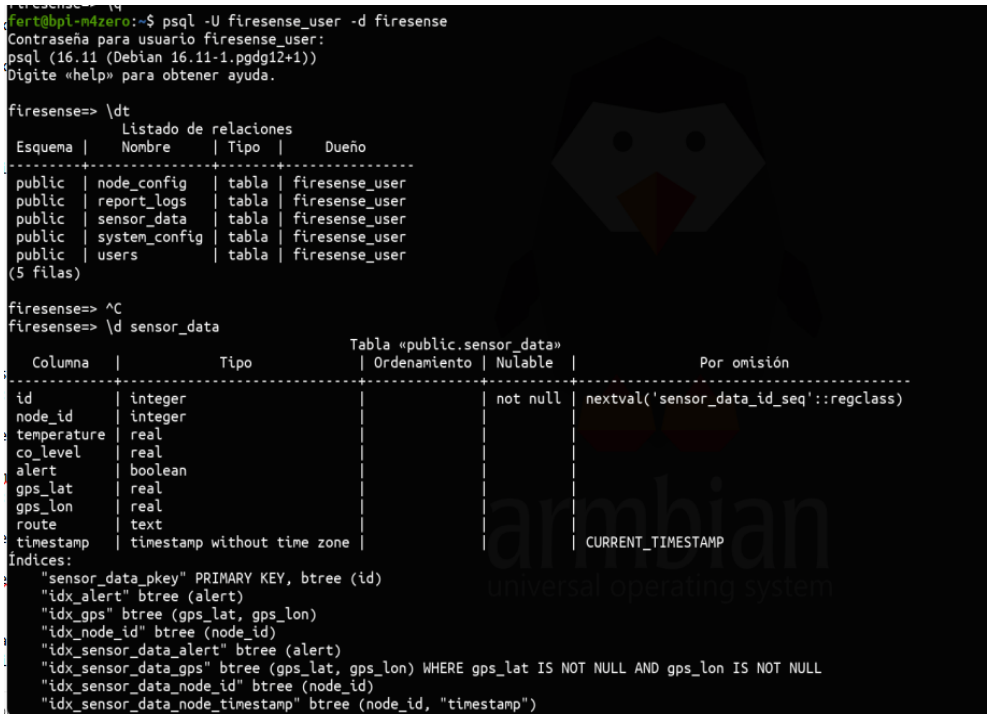


Nota: Configuración de base de datos y privilegios en PostgreSQL. Corrección de sintaxis para creación de usuario con privilegios. Fuente: Autoría propia.

Verificación de la estructura de base de datos en PostgreSQL Figura 64, destacando tablas críticas como son las importantes como *sensor data* y su configuración de índices para procesamiento eficiente de telemetría.

Figura 74

Validación de Estructura de Base de Datos para Telemetría

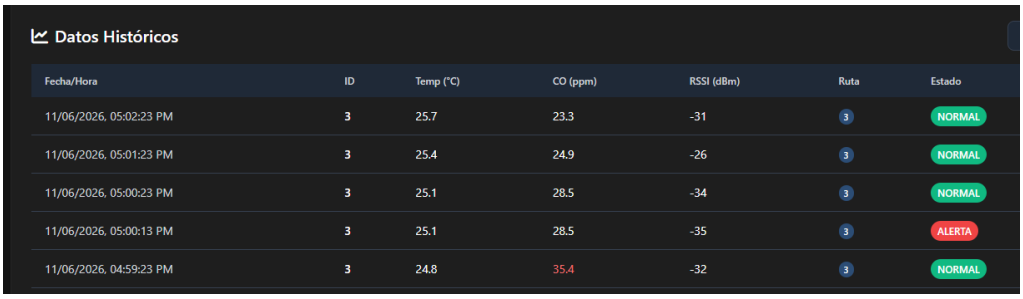


Nota: Estructura de tablas y índices en PostgreSQL para usuario creados. Fuente: Autoría propia.

Una vez creada la base de datos y las tablas necesarias en la página web tiene las opciones para mostrar los datos recolectados. Como aparece en la Figura 75 se tendrá el historial donde los datos se guardan cada minuto y se despliegan según los intervalos de tiempo establecidos tanto de en la recepción.

Figura 75

Visualización de Telemetría

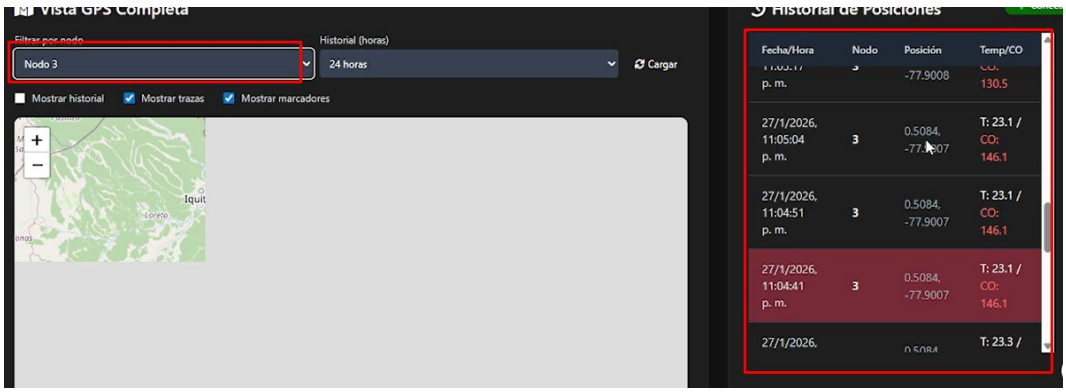


Nota: Se tiene una previa visualización de telemetría en tiempo real o se almacenamiento cada minuto y consulta por intervalos definidos. Fuente: Autoría propia.

En el caso de los datos de la ubicación ya existe otra sección para visualización previa, como se muestra en la Figura 76. Aquí se almacenan longitud, latitud que presenta por el nodo e identificador de Nodo ID (ejemplo: caso 3).

Figura 76

Historial de Posicionamiento



Nota: En la pestaña de vista GPS se muestran los datos históricos guardados de la ubicación, información crucial para conocer las coordenadas y su almacenamiento en la base de datos. Fuente: Autoría propia.

3.4.8 Bloque 6 Gestión de notificaciones o alertas

En la configuración de Thingsboard se tendrá que agregar una nueva regla como muestra Figura 77 se destacando el registro para el dispositivo *"Nodo P"* con fecha de creación y estado activo en interfaz.

Figura 77

Creación de Reglas

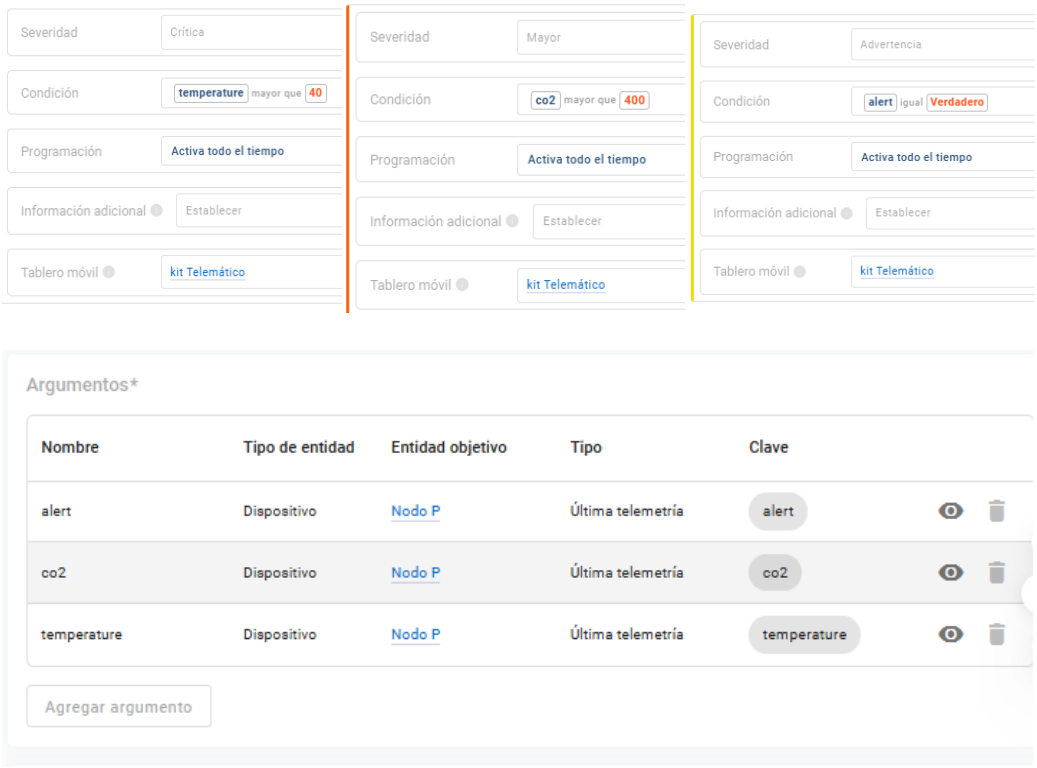


Nota: Creación de una nueva para tener la priorizar alertas críticas, comprendiendo situaciones de peligro inminente en medio. Fuente: Autoría propia.

Se agrega la configuración de las reglas identificadas en la Figura 78, con condición de *"alert igual a True"*, en la severidad crítica y el horario continuo para monitorear los eventos en tiempo real se extendiéndose a las demás variables.

Figura 78

Condiciones de Alerta

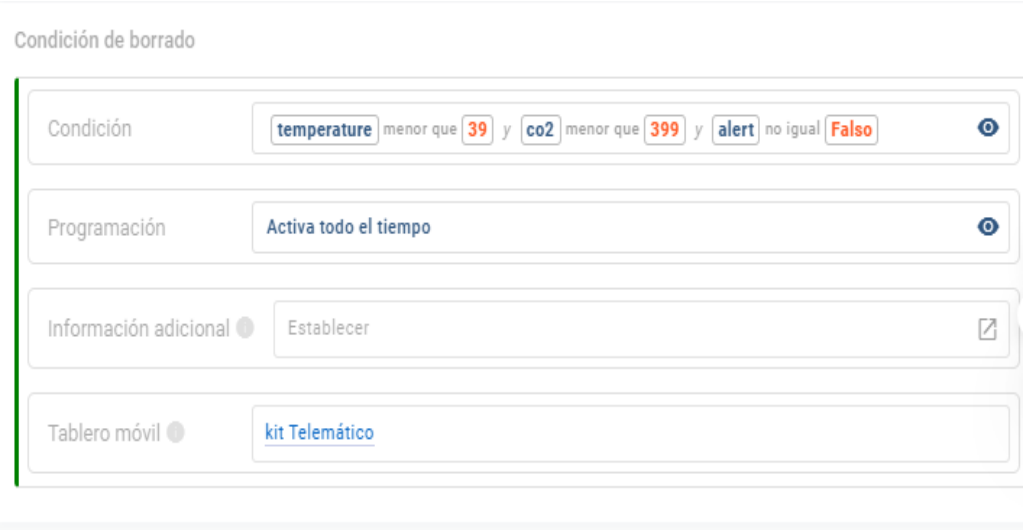


Nota: Se agrega la condición que activa la alerta y la muestra en los *widgets* para visualización inmediata de la notificación oportuna. Fuente: Autoría propia.

En la Figura 79 se menciona las diferentes condiciones de las cuales ″alert igual a False" para desactivar alertas manteniendo actualización del históricos y asegurando una buena en refrescar los datos gestión eficiente de notificaciones en la interfaz remota a configurar.

Figura 79

Condición para limpiar las alertas



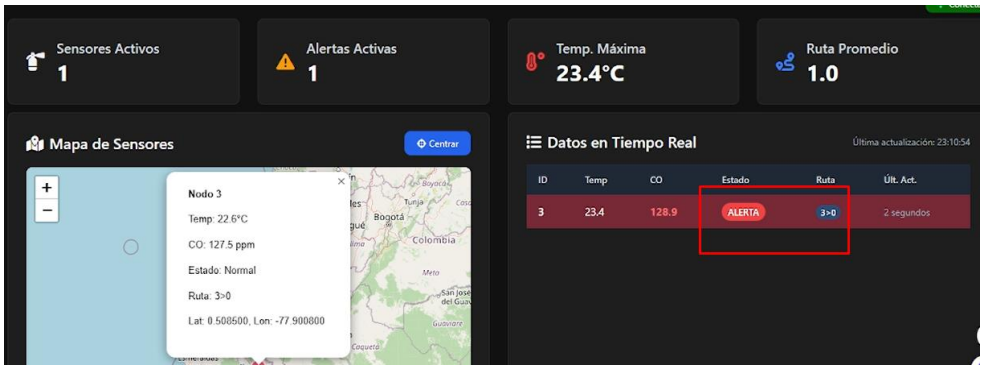
Nota: Sirve para depura o limpieza de alertas para evitar bucles y garantizar un envío más controlado de datos recibidos. Fuente: Autoría propia.

Aplicación web Local

Para el entorno local se tuvo la configuración previamente corre en .py será el código en Python donde la lógica de notificaciones, con rangos establecidos y condiciones definidas. Cuando una condición se cumple se muestra en pantalla con cambio de color a rojo alerta presenta el cambio de estados Figura 80, permitiendo identificación de visualmente la alerta y hacerla más perceptible para el usuario también se agregó alertas sonoras dentro de la web y led de estado físicos que facilita saber que alerta es.

Figura 80

Notificación de Alerta Activia



Nota: El color rojo forma parte de la percepción visual de la alerta: se muestra en la imagen y acompaña los cambios de estado del sistema. Fuente: Autoría propia.

Además, se agregó una notificación auditiva mediante un sonido diseñado para alertar sobre peligro inminente, permitiendo una reacción más rápida. Como se muestra en la Figura 81, del icono de audio es visible en el dashboard, indicando la activación de esta funcionalidad es clave para albertir.

Figura 81

Icono de audio de notificaciones



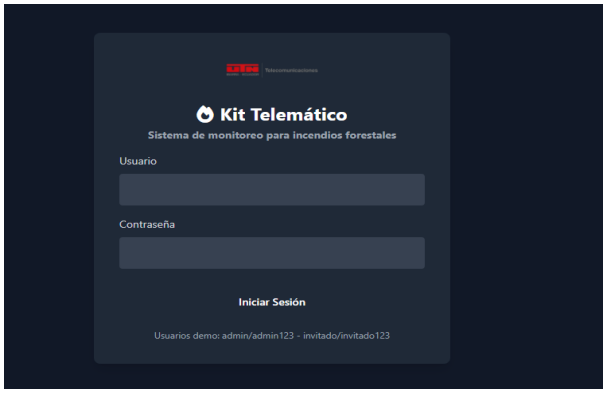
Nota: La visualización del icono de audio refuerza la alerta no solo de forma visual, sino también auditiva haciendo que la notificación más perceptible y permitiendo al usuario actuar con mayor rapidez. Fuente: Autoría propia.

3.4.9 Bloque 7 Presentación

En el bloque del nodo principal, una vez iniciada la ejecución, se presenta la pantalla de inicio de sesión del kit. Dicho acceso comprende dos tipos de usuario: *admin* e *invitado*, tal como se muestra en la Figura 82, donde se ilustra la interfaz de interacción requerida para que el usuario inicie sesión.

Figura 82

Iniciación sesión Kit telemático



Nota: Página de inicio del Kit Telemático está diseñada para el ingreso de usuarios con roles de administrador e invitado. Fuente: Autoría propia.

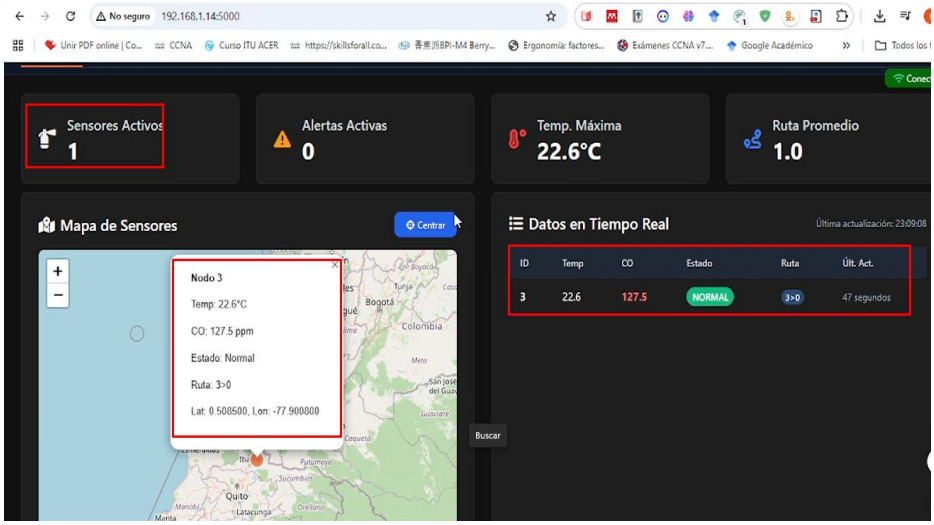
En la página inicial del dashboard principal se dispone de un menú en la parte superior que incluye las opciones Sensores activos, Alertas de temperatura y Ruta como se observa en la Figura 82. En la misma pestaña se integra un mapa que

visualiza la ubicación geográfica de cada nodo, identificado mediante su ID numérico y acompañado de datos relevantes como coordenadas y estado operativo.

En el sector del derecho de la interfaz se presentan los datos en tiempo real, donde se muestra el estado de conexión del dispositivo junto con gráficas de temperatura y monóxido de carbono (CO) representadas en formato de barras horizontales para una lectura ágil y continua.

Figura 83

Dashboard Principal



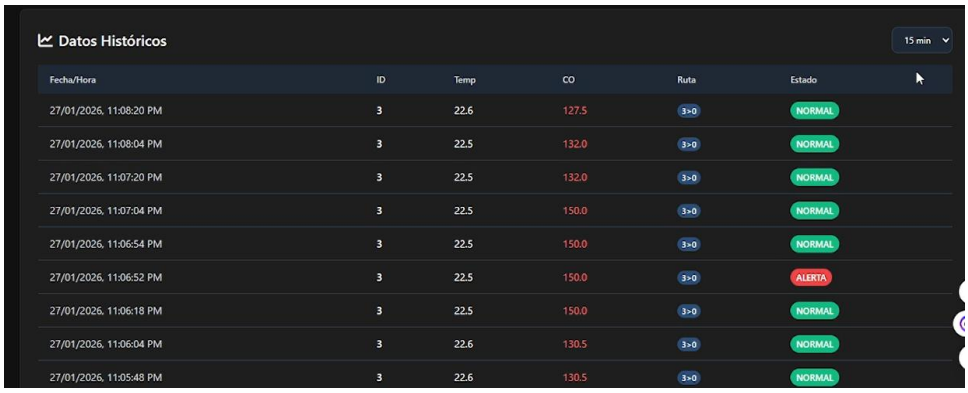
Nota: El dashboard principal ofrece una visualización integrada de los datos capturados por el nodo casco que incluye las variables censadas y sus estados operativos correspondientes. Fuente: Autoría propia.

En el mismo apartado, en la parte inferior de la interfaz, se presenta la sección de *Datos históricos*. Dicha información, mostrada en la Figura 84, desglosa

el registro acumulado durante el uso del kit telemático, incluyendo campos como fecha, ID del nodo, temperatura, CO (monóxido de carbono), ruta y estado operativo. Esta visualización tabular facilita la identificación rápida y eficiente de los registros almacenados, optimizando la experiencia del usuario mediante una plataforma intuitiva y de manejo sencillo.

Figura 84

Datos históricos

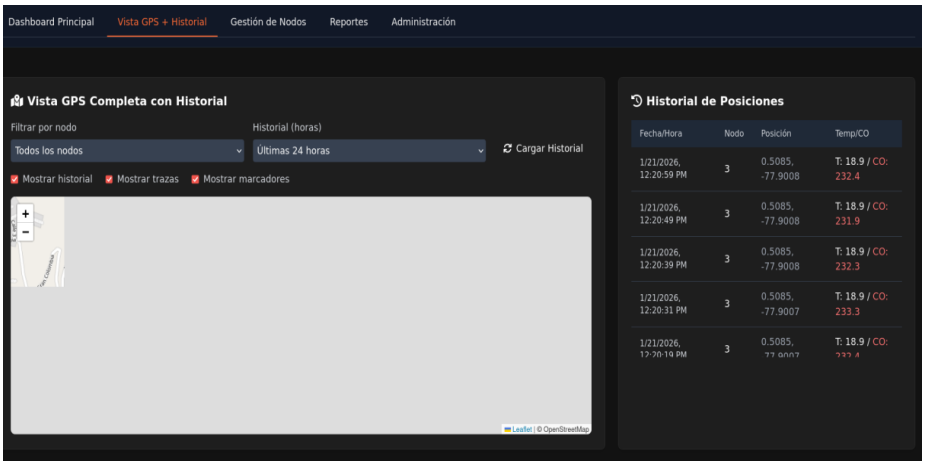


Nota: La recepción de datos se muestra en tabla con los campos esenciales y su fecha-hora de emisión, facilitando el control de la información generada. Fuente: Autoría propia.

En la pestaña GPS se puede ver del historial de datos geolocalizados recibidos por los nodos se representa en la Figura 85. La interfaz ofrece dos modalidades que se puede consultar: primera forma que se pueda ver el historial completo de todos los nodos, y otra para filtrar y seleccionar exclusivamente los datos de un nodo específico mediante su identificador (ID), de forma que puedas escoger únicamente ver la información del nodo que está trabajando en ese momento.

Figura 85

Historial de GPS



Nota: Una vez obtenidas las coordenadas de longitud y latitud mediante el identificador del nodo, los datos pueden ser almacenados y visualizados en la interfaz. Fuente: Autoría propia.

En la sección siguiente se denominada para el Nodo (Figura 86), se establece la gestión de nodos mediante funciones de creación y eliminación. Lo que facilitaría la incorporación de un mayor número de dispositivos según los requerimientos sean necesidades operativas del sistema. Y se integra un gráfico interactivo que permite la seleccionar un nodo específico para visualizar sus datos históricos y generando las gráficas respectivas a partir de la información recolectada por el módulo mientras se encuentra en funcionamiento o conectado.

Figura 86

Administración de Nodos



Nota: En esta pestaña resulta primordial la gestión de nodos, la cual facilita la creación o eliminación de dispositivos para expandir el número de cascos monitoreados, además de ofrecer una visualización previa de los datos asociados a cada nodo. Fuente: Autoría propia.

La generación de reportes cumple una función relevante al permitir seleccionar el tipo de nodo y definir un rango temporal personalizable desde horas hasta días o meses, tal como se evidencia en la Figura 87.

El usuario dispone de la opción de generar reportes según los intervalos requeridos, facilitando la creación de archivos en formatos estándar como CSV y PDF. Esto garantiza que el usuario o personal autorizado acceda de manera eficiente a los datos recolectados, con la posibilidad de filtrar la información según la zona o ubicación geográfica de interés

Figura 87

Pestaña de Generación de reportes



Nota: Se presenta una pestaña con diversas opciones para la generación de reportes, destinada a extraer los datos previamente recolectados. Fuente: Autoría propia.

Al exportar el documento se obtienen se genera con los formatos como muestra en la Figura 88, tendrán presentaran que tienen a tener una estructura con los siguientes campos obtenidos en estos casos. En donde se agrega la fecha de creación de los ID del nodo, temperatura, monóxido de carbono (CO), ruta y alertas generadas. Dicha tabla se agregó un filtro de fechas que permiten la organización de los registros de forma cronológica de cada evento.

En el final del documento se tendrá que incluir un resumen estadístico que muestra el total de registros obtenidos durante un período que se considerará en detallar un buen desglose de las alertas. Se tiene que registrar el considerando cada alerta por nodo y por evento los cuales se clasificara en los tres factores críticos: como es del hombre caído, temperatura excedida y niveles elevados de monóxido de carbono. Donde este formato de resumen síntesis permite en cierto modo la

asimilación de la información obtenida por parte de un usuario, su comprensión y su análisis.

Figura 88

Reporte de Datos

Kit Telemático - Reporte de Datos

Generado el: 19/06/2026, 11:46:10 AM
Filtros: Últimas 1 horas

Fecha/Hora	ID	Temp	CO	RSSI	Ubicación	Ruta	Alerta
19/06/2026, 11:45:47 AM	3	37.9	19.8	-85	Sin GPS	3	NO
19/06/2026, 11:44:47 AM	3	39.9	20.3	-87	Sin GPS	3	NO
19/06/2026, 11:44:15 AM	3	51.7	20.3	-74	Sin GPS	3	SI
19/06/2026, 11:43:47 AM	3	46.2	21.5	-63	Sin GPS	3	SI
19/06/2026, 11:43:31 AM	3	46.2	21.5	-63	Sin GPS	3	SI
19/06/2026, 11:42:47 AM	3	24.8	22.8	-53	Sin GPS	3	SI
19/06/2026, 11:42:15 AM	3	24.8	22.8	-53	Sin GPS	3	SI
19/06/2026, 11:42:03 AM	3	24.8	25.2	-59	Sin GPS	3	SI
19/06/2026, 11:41:47 AM	3	24.8	25.2	-61	Sin GPS	3	NO
19/06/2026, 11:40:47 AM	3	24.5	29.9	-73	Sin GPS	3	NO
19/06/2026, 11:39:47 AM	3	24.1	42.7	-45	Sin GPS	3	NO

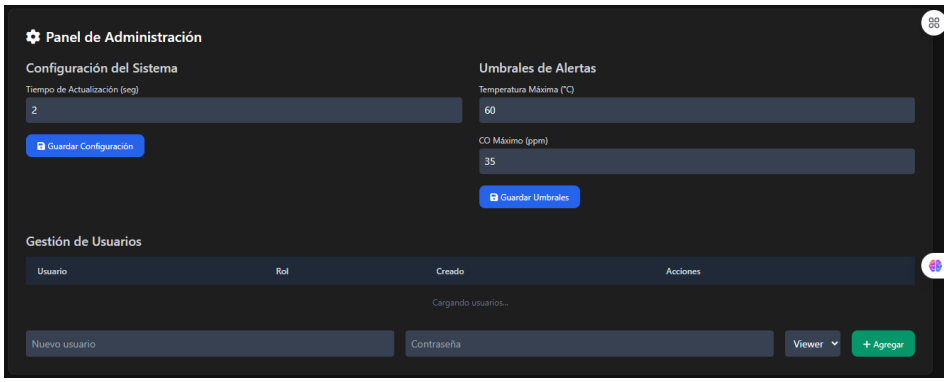
Resumen:
Registros: 11 | Alertas: 6
Temp: Prom 33.6°C, Max 51.7°C, Min 24.1°C
CO: Prom 24.7 ppm, Max 42.7 ppm, Min 19.8 ppm
RSSI: Prom -65.1 dBm, Max -45.0 dBm, Min -87.0 dBm

Nota: Se presenta un resumen de los datos obtenidos, destinado a exportar los valores más relevantes para facilitar el análisis previo de la información recolectada. Fuente: Autoría propia.

El Panel de configuración gestiona la recepción de datos en tiempo real y el control de usuarios, tal como se muestra en la Figura 89. El acceso queda restringido exclusivamente al personal autorizado durante el funcionamiento del sistema.

Figura 89

Panel de administración



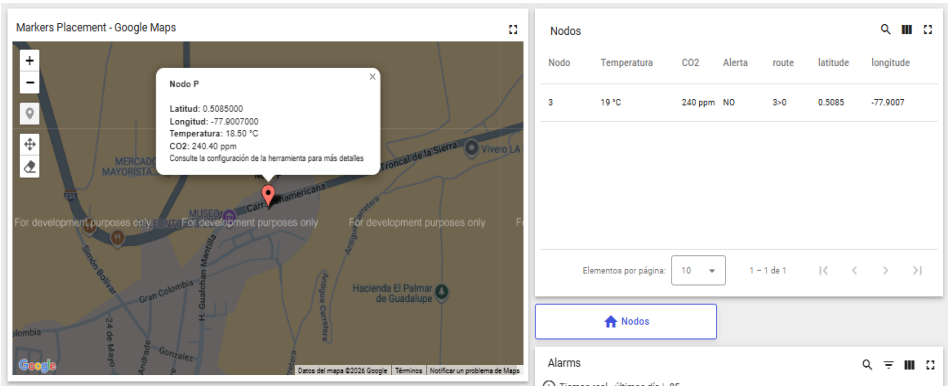
Nota: Se gestionan los intervalos de actualización y la creación de usuarios para acceder a la plataforma web. Fuente: Autoría propia.

Thingsboard

El acceso remoto permite que los usuarios visualicen los datos en tiempo real, tal como se muestra en la Figura 90. Para ello, se crean cuentas de usuario administrador e invitado las cuales ofrecen visualización de la información previamente descrita: mapa de ubicación y estado operativo de los nodos.

Figura 90

Visualización remota desde Thingsboard



Nota: Se muestran los datos más relevantes en función de la información recolectada por el nodo mediante la plataforma ThingsBoard. Fuente: Autoría propia.

En la misma sección se presentan gráficas que muestran los datos obtenidos, mejorando la visualización de las variables recopiladas. Estas representaciones se generan de forma clara y comprensible, mostrando los valores y unidades registrados mientras el nodo se mantiene operativo. Tal como se explica en la Figura 91, las gráficas se construyen mediante puntos de datos que permiten consultar el historial almacenado, facilitando al usuario el análisis en rangos temporales predefinidos durante la utilización del kit telemático y destacando las variables más primordiales del sistema.

Figura 91

Graficas de temperatura y CO

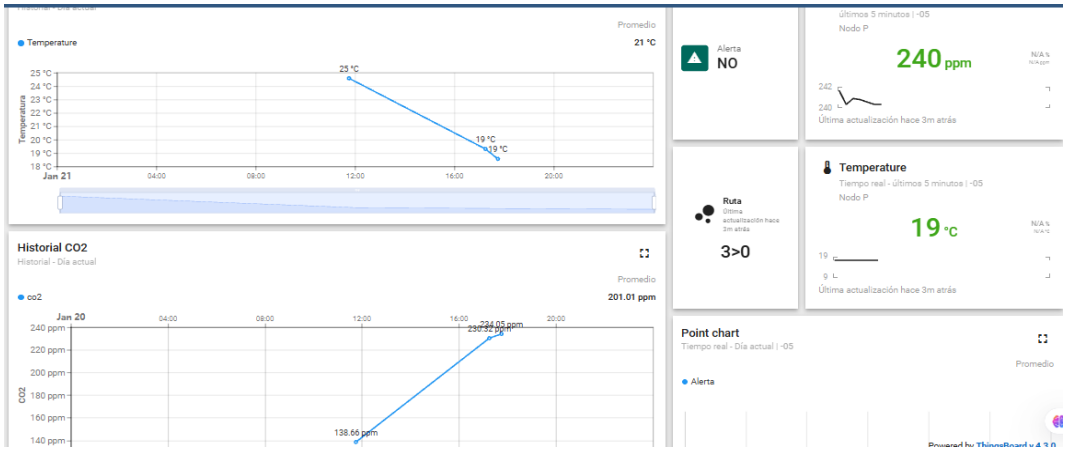


Nota: Muestra el historial de datos obtenidos durante el transcurso de las pruebas de funcionamiento medio remoto. Fuente: Autoría propia.

En otra vista, en la Figura 92, se presentan los datos del número de nodo junto con gráficas específicas para cada variable. Esta disposición facilita la identificación rápida de los datos más esenciales, aumentando la claridad y agilidad en el análisis para el usuario.

Figura 92

Garfias por Numero de Nodo



***Nota**:* Muestra la pestaña con los valores obtenidos a partir de la recepción de datos, priorizando la visualización del estado de cada sensor. Fuente: Autoría propia.

3.5 Diseño de carcasa para nodos Casco

Esta sesión cubre la manufactura de PCB y el diseño 3D de carcasas para implementar el kit telemático. Se consideran los dos módulos clave nodo casco y nodo principal para garantizar versatilidad ante posibles bloqueos y asegurar una integración óptima del equipo en el entorno operativo del bombero.

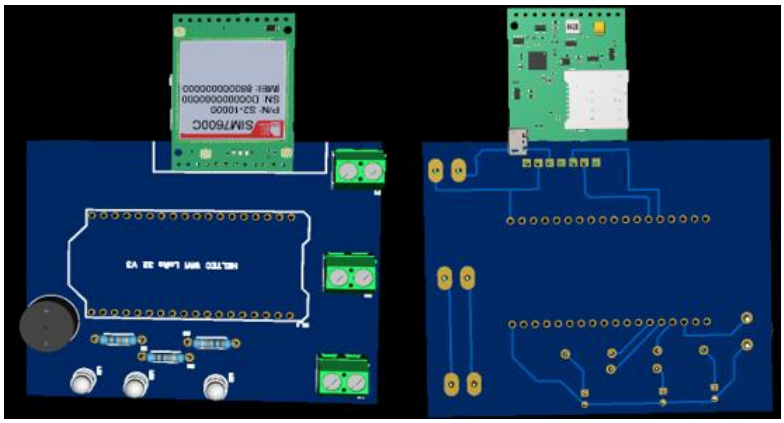
3.5.1 Diseño para Nodo Principal

Diseño de PCB

Se implementó el diseño de la placa de circuito impreso (PCB) que integra los módulos y sensores del nodo principal, como se ilustra en la Figura 93. La placa posee dimensiones de 168.529 mm × 74.041 mm. El diseño se optimizó para minimizar su tamaño, facilitando así su incorporación dentro del nodo principal.

Figura 93

Diseño pcb en 3D nodo principal



Nota: Representación del nodo en 3D y como está distribuido esta es una parte en cual se tendrá agrega otros compontes para funcionamiento**.** Fuente: Autoría propia.

Diseño de Carcasa Nodo Principal

El diseño consiste en la creación de una estructura en la cual se prioriza el tamaño, tal como se muestra en la Figura 94, con el objetivo de acoplar de manera adecuada los módulos, sensores y baterías. A partir de este análisis, se definió un diseño con dimensiones de ancho 19 cm, alto19 cm y grosor, estableciendo este último en 3 mm para garantizar resistencia y compacidad.

Figura 94

Carcasa superior del Kit



Nota: El diseño se desarrolló considerando las dimensiones de cada componente, con el fin de lograr una distribución óptima que permita su correcta ubicación y facilite la identificación de cada elemento. Fuente: Autoría propia.

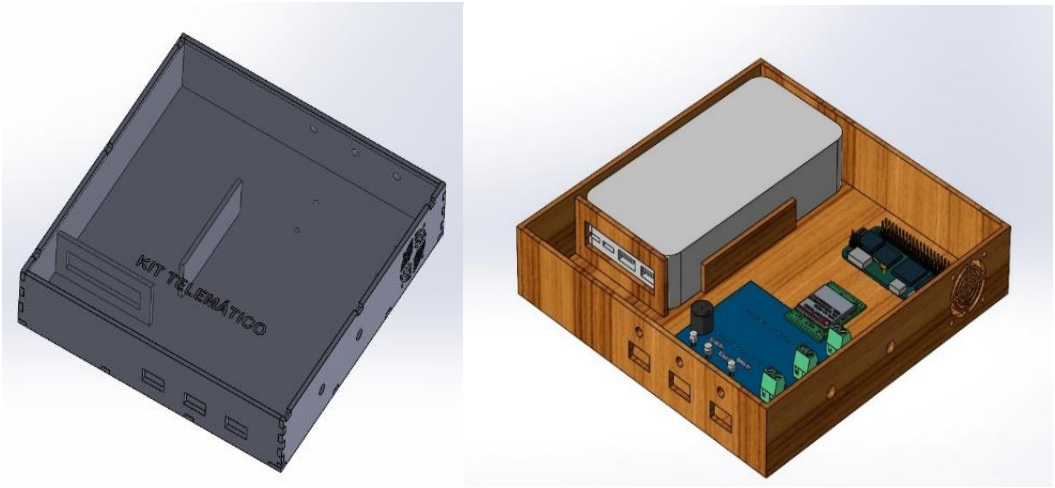
En la Figura 95 se muestran los orificios del diseño, donde se identifican los espacios destinados para los interruptores, la antena y el puerto de carga. Estos elementos fueron ubicados estratégicamente con el objetivo de que el usuario pueda reconocer fácilmente la forma correcta de encender el nodo y utilizarlo de manera más intuitiva y amigable.

Se destaca la simulación de elementos, la cual facilitó la implementación de cada accesorio en su lugar correspondiente para mantener el orden en un solo cuerpo y tener una mejor distribución del espacio. Para el nodo principal, se tiene

en el lado izquierdo solo la carcasa vacía, y en el lado derecho, la implementación de los módulos necesarios.

Figura 95

Implementación de 3D



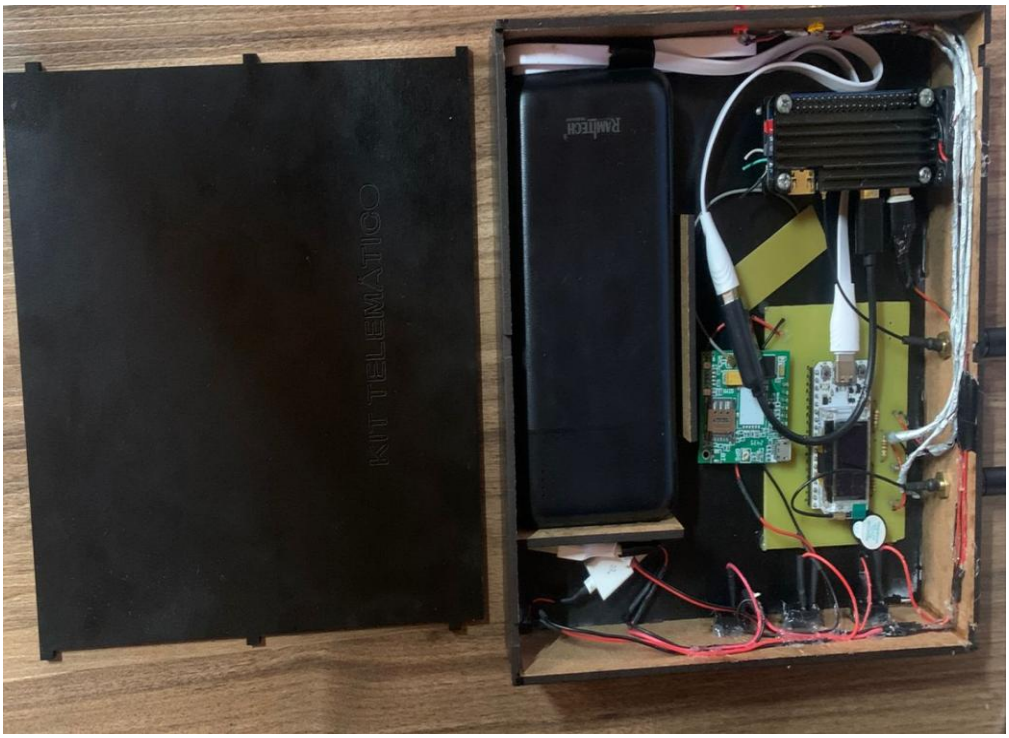
Nota: En la figura se rotulan los orificios para indicar la función que cumple cada uno, tales como el compartimento de la batería, ranura para SIM, ventilación y el interruptor principal, el cual se acciona para encender o apagar el dispositivo. Fuente: Autoría propia.

Implementación del nodo principal en cual se tiene la instalación de módulo, baterías entre otros accesorios en cual muestra Figura 96 se distribuye todos los elementos necesarios para su funcionamiento en cual se tendrá realiza pruebas.

En las cuales se cumple la estructura de material de MDF, se generó por pieza y su tabla respectiva con el fin de recubrir al equipo, y se agregaron varios accesorios con el fin de iniciar el equipo, como son antenas LoRa, WiFi, o también pulsadores y cables de alimentación necesarios para alimentar el equipo.

Figura 96

Armado nodo principal



Nota: Primera etapa a completar de la implementación es nodo principal. Fuente: Autoría propia.

Se incorporaron los accesorios como se muestra en la figura 97, que comprende una carcasa en la cual se colocó cada elemento necesario como: es la power bank también está el módulo LoRa WiFi v3.2 o el BPI-M4 Zero e cable tipo USB-C, interruptores, LEDs de colores, buzzer y ventilador.

Figura 97

Implementación lado derecho



Nota: Como se observa se incorporó los leds de estados para alertas de nodo cascos y distribuye las antenas Wifi y LoRa. Fuente**:** Autoría propia.

Del otro lado se agregaron los interruptores para prender y apagar el equipo, ubicados en el siguiente orden: Banana Pi esta la SIM o módulo LTE en cual también está el ventilador, como se muestra en la Figura 98. La principal fuente de alimentación es un power bank de 20000 mAh, necesario para alimentar los dos módulos requeridos tanto para el procesamiento como para la recepción de datos por LoRa.

Figura 98

Interruptores de encendió



Nota: Se agrega 3 interruptores para encender los módulos y se tiene una distribución más ordenada para que cada uno se independiente. Fuente: Autoría propia.

Se puede mencionar que, para el correcto funcionamiento del nodo principal, esto garantizará procesar datos y mostrarlos al usuario a través de un dashboard, para facilitar la interacción con el usuario.

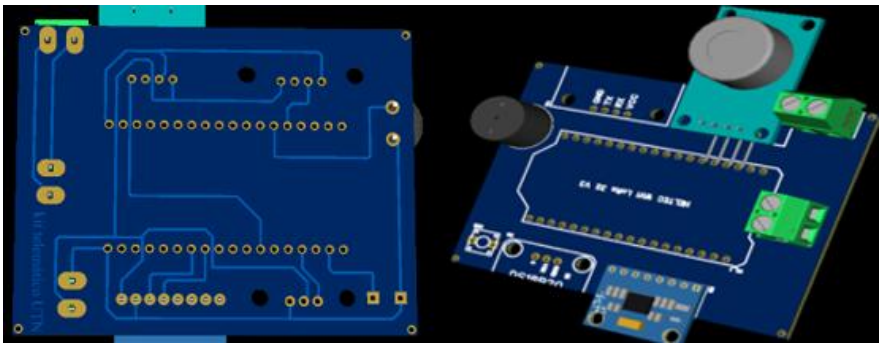
3.5.2 Diseño para Nodo Casco

Diseño de PCB

La implementación del nodo casco se comprende en la simulación del sensor y módulo que se representa en la Figura 99 el diagrama o pieza de conexión y cómo está ubicado cada elemento. Las dimensiones manejadas son de **73.66 mm × 57.023 mm**, con el objetivo de que sea lo más pequeña posible para implementar en el casco.

Figura 99

Diseño pcb en 3D nodo casco

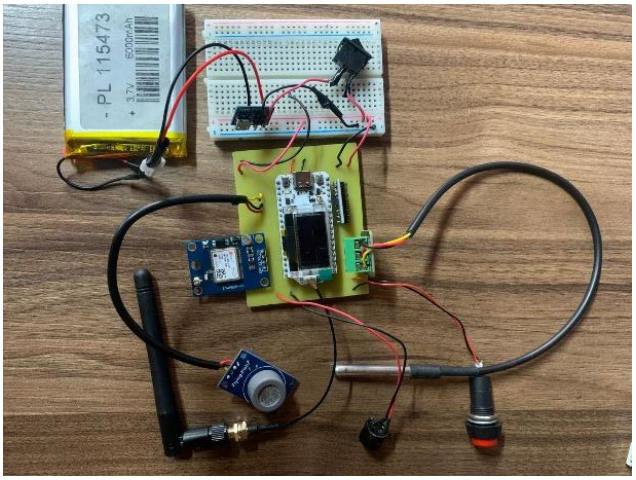


Nota: El diseño en 3D se realizó en base al espacio disponible para incorpora al casco y tome el menor rango. Fuente: Autoría propia.

La implementación de componentes y módulos se puede observar en la Figura 100, donde se seleccionaron los elementos en la PCB, en donde se puede tomar en cuenta cuánto espacio ocupan.

Figura 100

Implementación de la PCB



Nota: Se arma circuito propuesto como muestra en figura con que se complete este apartado requerido**.** Fuente: Autoría propia.

Diseño del Nodo Casco

La implementación del diseño se realiza en base el Casco-Bullard-FH911 como se muestra en Figura 101 que sirve para combatir incendios forestales en cual se está fabricado con termoplástico resistente al calor. Cumpliendo con la norma NFPA 1977, y cuenta con barboquejo, ajuste de mentón y sujeción de matraca para una fijación segura. Su diseño mejora la protección contra impactos y calor, siendo esencial para el equipo de combate en zonas de riesgo.

Figura 101

Casco de Bullard FH911



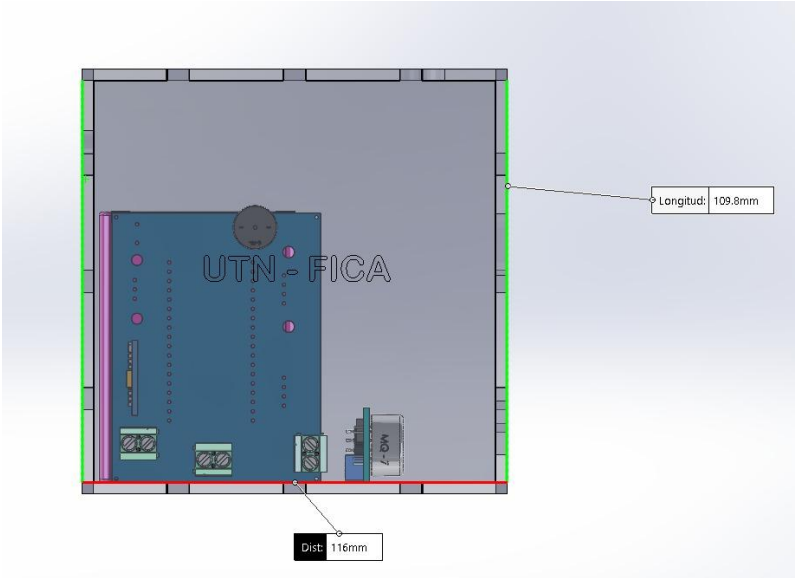
Nota: Este diseño esta específicamente para uso dentro de un indicó forestal en donde los materiales del equipo es se acopla a requerimientos al entorno. Fuente: Autoría propia.

Como primer paso del desarrollo, se realizó el diseño 3D de la carcasa del casco para su previa visualización como se identifica en la Figura 102. Se

establecieron las dimensiones de 50 mm de alto, 116 mm de ancho y 109,8 mm de largo, lo cual configura una planta de forma cuadrada. Esta geometría permite distribuir de manera uniforme cada elemento a incorporar y optimizando así el aprovechamiento del espacio interno del diseño. Asimismo, se incluye al inicio la identificación de la universidad y la facultad correspondiente.

Figura 102

Diseño 3D del nodo Casco



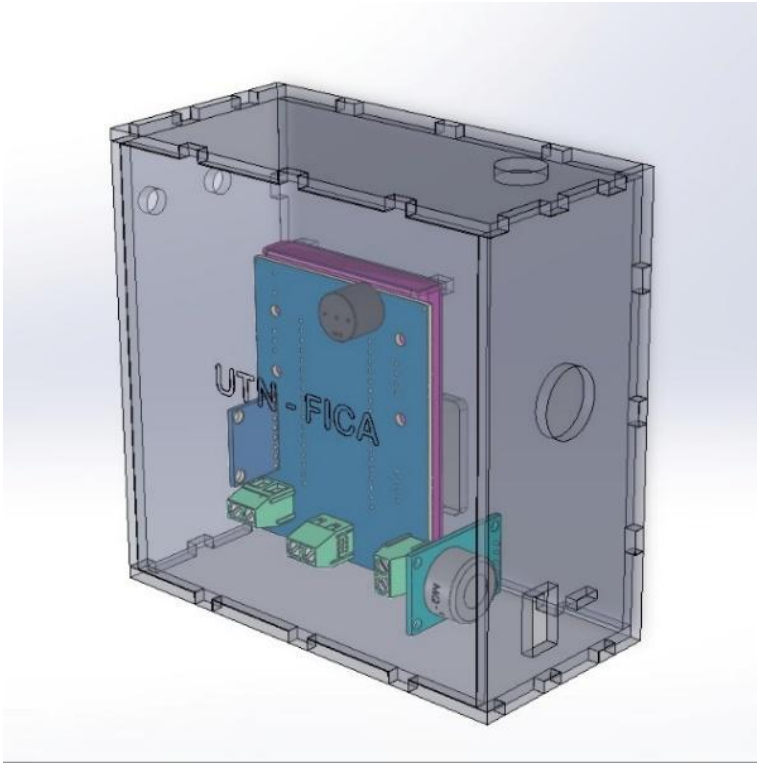
Nota: Se muestran las dimensiones del nodo casco con una escala aproximada de 11 x 11 cm y un alto de 5 cm. Fuente: Autoría propia.

Se procede a identificar los orificios para cada elemento a colocar en la carcasa. En el diseño mostrado en la Figura 103 en la parte superior se colocará el botón de hombre caído. En la cara izquierda se identifican dos orificios: en el primero se colocará el sensor de temperatura y el otro servirá para la antena de LoRa para comunicación.

Por otra parte, en la cara derecha se tienen 3 orificios, en donde en la parte inferior se agrega el botón para encendido y la entrada para cargador; el orificio más pequeño restante se destina para el sensor MQ-7. Con esta distribución se logra ocupar todo el espacio disponible dentro del casco.

Figura 103

Distribución de elementos 3D

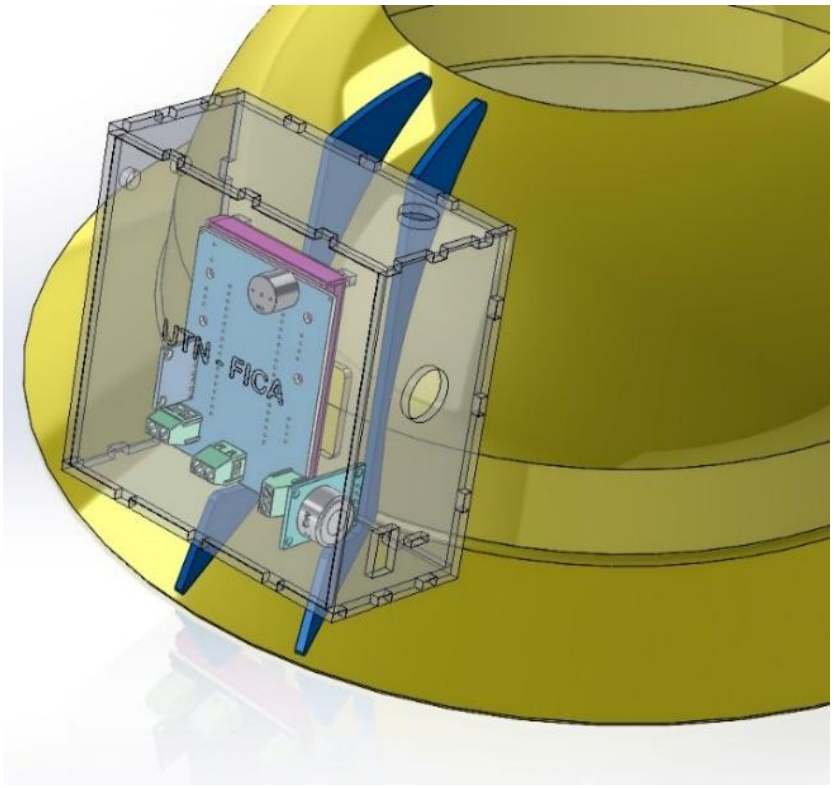


Nota: Cada componente se ubica según los orificios de cada cara de la carcasa, facilitando la identificación de los elementos del casco. Fuente: Autoría propia.

Para sujetar la carcasa al casco, se diseñaron dos soportes que se acoplan a su curvatura, como se muestra en la Figura 104. Su finalidad es asegurar la fijación de toda la estructura, complementada con elementos adicionales de refuerzo

Figura 104

Implementación en 3D

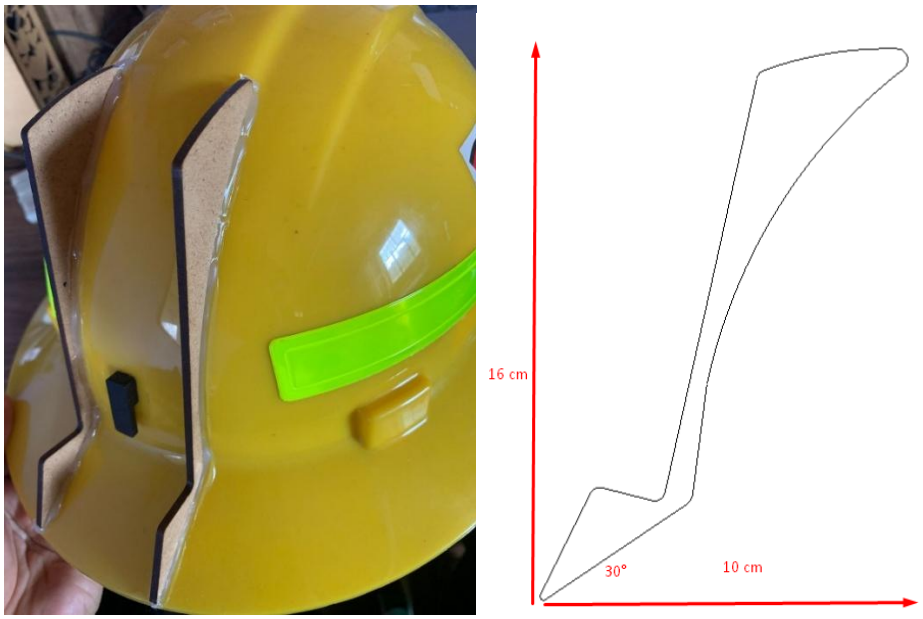


Nota: Se disponen todas las piezas en el modelo para simular el montaje y definir el orden de ensamblaje físico**.** Fuente: Autoría propia.

Para el soporte de la caja, se diseñó una pieza que se acopla directamente al casco, como se muestra en la Figura 105. En su desarrollo, se consideró la curvatura superficial del casco, definiendo un ángulo de 30°, con un ancho de 10 cm y una altura de 16 cm. La geometría se ajusta al modelo correspondiente con el fin de optimizar la adherencia y facilitar el montaje del kit del casco.

Figura 105

Soportes del casco

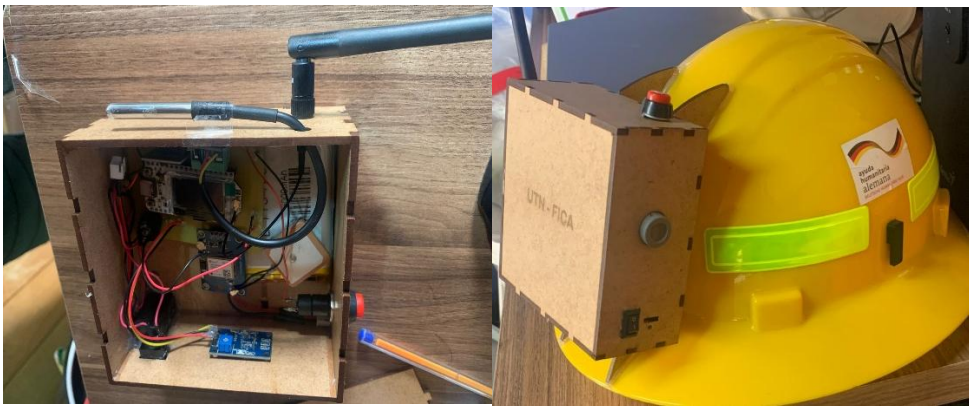


Nota: Se diseño los soportes para el acople en total son dos tiene la función de soporta peso y asegura la caja no se mueva del casco este fijo. Fuente: Autoría propia.

Una de la implementación para el casco se agregó todos accesorios necesarios en realizar el ensamble para el nodo se aprecia en la Figura 106. Donde se tiene incluir en el kit los elementos más requeridos para operar tanto en entornos controlados como son los incendios forestales o también en situaciones para las cuales fue específicamente diseñado. Dado que estas condiciones pueden comprometer la integridad física del usuario o generar exposición al humo en tener altas temperaturas en que se tendrá mejor el diseño en la prioriza su bienestar de la manera más segura y adecuada.

Figura 106

Implementación Nodo Casco



Nota: Se finaliza la etapa de armado en base a todos requerimientos necesario para funcionamiento planificado para este capítulo. Fuente: Autoría propia.

3.5.3 Consumo de energía

Nodo Casco

El Nodo Casco utiliza una batería de litio con un voltaje nominal deg 3.6 V y una capacidad de 6000 mAh, destinada a alimentar el microcontrolador ESP32, el módulo de comunicación LoRa, el sistema de posicionamiento GPS y los sensores ambientales y de movimiento integrados en el casco del bombero.

En las pruebas reales del funcionamiento se puedo determinar que el sistema presenta un mayor consumo energético elevado. Es debido principalmente uso es continuo del sensor MQ-7 en el cual se tiende a aumentar temperatura esto tendrá que permanecer activo durante todo el tiempo requerido. Se tienen dé un mayor uso permanente del módulo GPS y los procesos de transmisión inalámbrica. En las condiciones reales tiene una duración aproximadamente es de 1 hora y 48 minutos

se utiliza una batería de especificación de 1800 mAh que permitió estimar el consumo tentativo que podrá ser el promedio del nodo.

El consumo promedio del sistema se calculó mediante la siguiente expresión:

$$I = \frac{C}{t}$$

donde:

Ies la corriente promedio consumida (mA),

Ces la capacidad de la batería (mAh),

$t$es el tiempo de funcionamiento (h).

Sustituyendo los valores obtenidos experimentalmente:

$$I = \frac{1800 \text{ mAh}}{1.8 \text{ h}} \approx 1000 \text{ mA}$$

Por lo tanto, el consumo promedio del Nodo Casco es aproximadamente **1 A** durante su operación continua con todos los sensores activos.

Para estimar la duración del sistema utilizando una batería de **6000 mAh**, se consideraron las pérdidas energéticas propias del sistema, tales como la eficiencia del regulador de voltaje y la porción no utilizable de la batería, asumiendo una eficiencia global del **80 %**. La capacidad efectiva se calcula como:

$$C_{efectiva} = 6000 \times 0.8 = 4800 \text{ mAh}$$

En una autonomía aproximada del Nodo Casco se determinó mediante:

$$t = \frac{C_{efectiva}}{I}$$

$$t = \frac{4800\ \text{mAh}}{1000\ \text{mA}} = 4.8\ \text{h}$$

En consecuencia, se estima que el Nodo Casco, alimentado por una batería de litio de **6000 mAh**, presenta una autonomía aproximada de **4.5 a 5 horas** de funcionamiento continuo, bajo condiciones reales de operación y con todos los sensores activos, lo cual resulta adecuado para jornadas de monitoreo en intervenciones de corta y mediana duración.

Nodo Principal

El Nodo Principal está compuesto por una Banana Pi BPI-M4 Zero, un módulo Heltec WiFi LoRa V3.2 y un módem celular SIMCOM A7670SA 4G Cat-1 con GSM y GPS, los cuales permiten la recepción de datos LoRa, el procesamiento local de la información y su transmisión hacia redes externas. El sistema es alimentado mediante un power bank Samsung de 25 000 mAh, que suministra energía a 5 V a través de dos salidas USB independientes.

En la configuración del puerto USB de fuente alimentación como es power bank esta tendrá conecta al equipo de Banana Pi BPI-M4 Zero al mismo tiempo tendrá que compartir la energía para el que será el módulo Heltec WiFi LoRa V3.2 mediante los puertos USB son para alimentación y serial. El segundo puerto USB del power bank se tendrá que alimentar de forma independiente al módulo SIMCOM A7670SA que es para red móvil. En donde esto permite manejar de manera más adecuada para reducir los picos de corriente generados durante la transmisión celular. El módulo Banana Pi tendrá que operar adicionalmente como

los punto de acceso WiFi lo que es medio inalámbrico que permite la conexión simultánea de hasta tres dispositivos conectados y algunas consultas no continuas pero repetitivas durante la operación.

Estimación del consumo de corriente

Considerando un escenario de operación en campo, donde el sistema permanece activo durante largos periodos. Se adoptan valores de consumo más cercanos a condiciones reales se tendrá incluyendo picos de transmisión y uso simultáneo de interfaces de comunicación:

Banana Pi BPI-M4 Zero de (CPU activa + WiFi AP): 800 – 1000 mA

Heltec WiFi LoRa V3.2 con la (recepción continua LoRa): 180 – 250 mA

SIMCOM A7670SA de (4G Cat-1, transmisión intermitente): 700 – 1200 mA

Para efectos de cálculo se adopta un **consumo promedio conservador** de:

$$I_{total} \approx 2\,200 \text{ mA}$$

Este valor representa un escenario más exigente, en el cual el sistema mantiene conectividad WiFi-activa, recepción LoRa constante y transmisiones celulares periódicas.

Capacidad en la efectiva del power bank

El equipo de eliminación de la power bank tiene una capacidad nominal de 20 000 mAh en donde se tiene las especificaciones de un voltaje interno aproximado de 3.7 V para cargar. Debido a la conversión de elevadores interna de voltaje a 5 V

este de salida y se producen pérdidas energéticas asociadas al proceso de elevación en relación de la regulación por la tensión. En donde demuestra un análisis más realista en tener a consideración una eficiencia se estima en un global del 75 %.

La capacidad efectiva disponible se calcula como:

$$C_{efectiva} = 20\,000 \times 0.75 = 15000 \text{ mAh}$$

Cálculo de la autonomía del Nodo Principal

La autonomía aproximada del sistema se determina mediante la siguiente expresión:

$$t = \frac{C_{efectiva}}{I_{total}}$$

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$t = \frac{15000 \text{ mAh}}{2\,200 \text{ mA}} \approx 6.1 \text{ h}$$

Bajo condiciones reales de operación en campo, con WiFi activo, recepción LoRa continua y transmisión celular intermitente, se estima que el Nodo Principal presenta una autonomía aproximada de 6 a 7 horas de funcionamiento continuo cuando es alimentado mediante un power bank de 20 000 mAh.

Este escenario representa las exigencias para equipo en donde se conserva en termino que se adecuada en evaluar el desempeño energético del sistema en situaciones reales para un monitoreo que puede ser prolongado y su operación pueden ser simultánea de múltiples interfaces de la comunicación.

4. Capítulo IV: Pruebas de Funcionamiento

4.1 Introducción

Este capítulo valida el funcionamiento del kit telemático mediante pruebas en distintos escenarios: laboratorio (en el cual, antes de implementar el equipo, se harán pruebas para verificar el funcionamiento y evitar problemas posteriores), simulación y entorno real de incendio forestal.

El nodo será lo primordial, por tener la función principal de toma de datos y envío pertinente al nodo receptor. Tomar en cuenta que las pruebas se realizan con un solo nodo; si se desea extender el número de casos, solo tendrá que replicar el nodo. Se desarrolló un nodo óptimo, y en próximas pruebas se implementarán más nodos si es necesario.

Se toma en cuenta que es un prototipo, el cual se tendrá que optimizar para implementar una red punto a punto o red mesh. El objetivo que se tuvo es que se planificó para funciones en red, pero como se está haciendo primero prototipo, se tendrá que analizar cómo se comporta solo con un nodo, para casos próximos de estudio en los que se desarrollará e implementará.

El kit deberá tener una autónoma en los casos de forma local (nodo principal) en donde tenga que garantizar la continuidad operativa sin la dependencia de red externa. Y la sincronización con la plataforma IoT esto tendrá que ocurrir únicamente cuando el módulo LTE detecta la red móvil que esté disponible sin tener que afectar proceso de flujo local para procesamiento de datos.

4.2 Escenario 1: Verificación de funcionamiento del sistema

Esta fase inicial se centra en la validación unitaria de los subsistemas que componen el dispositivo. La planificación de estas pruebas se llevó a cabo durante la Semana 1 del cronograma de validación. El procedimiento consistió en realizar sesiones de prueba con una duración 7 horas y horas extras para pruebas de nodos para verificar funcionamiento tiempos. Durante este periodo, se puso especial énfasis en medir la duración máxima de las baterías bajo condiciones de laboratorio, estableciendo una línea base para el consumo energético antes de proceder a pruebas de campo más exigentes.

Nodo Principal

Al iniciar el sistema, se verificará que todo esté corriendo correctamente, como se representa en la Figura 107. Se inicia el proceso para apagar funciones y establecer la conexión LTE, con el fin de obtener la dirección IP, así como la iniciación de LoRa. Se muestran los estados de los LEDs al finalizar la conexión con ThingsBoard.

Figura 107

Verificación del Nodo Principal



Nota: Se verifica cada etapa para iniciar de forma ordenada la ejecución, la cual se precisa en base a lo establecido en este bloque. Fuente: Autoría propia.

Se realizo 7 eventos que muestra en Tabla 44 se desarrolló pruebas anterior mente donde se tomó en cuenta tiempos inicio hasta normalice el sistema en que tenemos tiempo tiempo total desde el inicio está dominado por la inicialización del módem LTE (28-34 s), con un promedio de 29.833 segundos y conexión ThingsBoard estimado de 1 segundo y promedio de 1.012 segundos.

Tabla 44

Verificación tiempos de iniciación

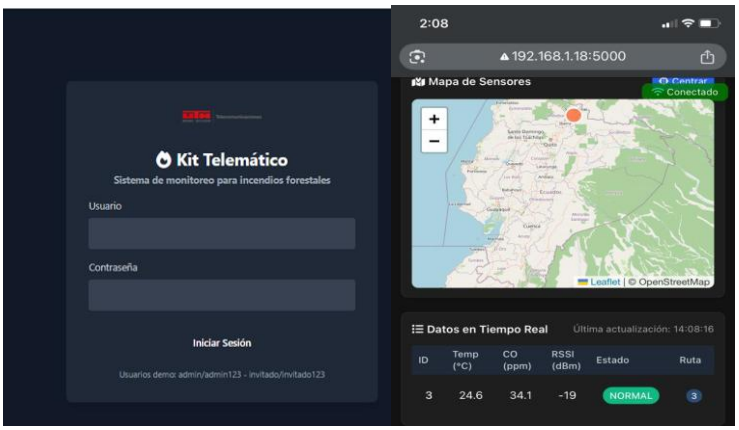
Evento	Hora de inicio	Hora de conexión	Tiempo total (segundos)	Tiempo total (min:s)	Tiempo de conexión a ThingsBoard (s)
Evento 1	19:20:31.735	19:21:02.594	30.859	0:30.859	1.020
Evento 2	17:30:27.107	17:31:01.474	34.367	0:34.367	1.025
Evento 3	16:16:55.503	16:17:24.232	28.729	0:28.729	1.014
Evento 4	17:36:45.491	17:37:14.135	28.644	0:28.644	0.998
Evento 5	18:11:07.757	18:11:36.527	28.770	0:28.770	1.018
Evento 6	19:41:32.568	19:42:01.304	28.736	0:28.736	1.006
Evento 7	00:35:31.172	00:35:59.899	28.727	0:28.727	1.001
Promedio	–	–	**29.833**	**0:29.833**	**1.012**

Nota: Resultados obtenidos en base las pruebas de verificación del nodo principal bloque 1 tiempos de ejecución son 28 a 34 segundos. Fuente: Autoría propia.

Para el Bloque dos, se verifica el funcionamiento tanto de la red Llama Kit como de la página web, la cual se levanta por medio de la dirección IP. En esta, es primordial que los datos se configuren automáticamente en el servidor, como se identifica en la Figura 108. Se muestra el funcionamiento, donde tendrá esper tiempo prudencial 02:00 a 02:20, se inicia el servidor web.

Figura 108

Verificación servidor Local



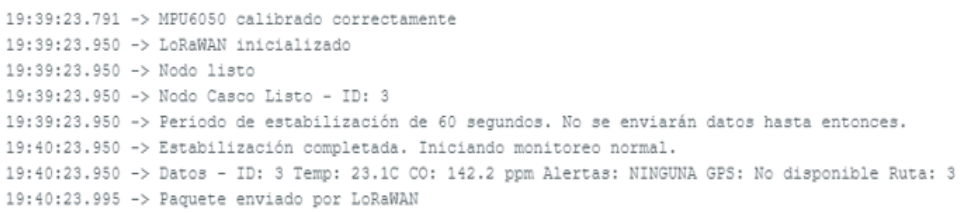
Nota: Se verifica el funcionamiento del servidor web y se tendrá que acceder con credenciales para visualizar los datos obtenido. Fuente**:** Autoría propia.

Nodo Casco

En este apartado se presenta la verificación de funcionamiento del nodo casco, la cual comprende la verificación de la iniciación, como se muestra en la Figura 109. Cabe destacar que funciona correctamente al iniciar, responde al instante y, transcurridos los tiempos establecidos de 60 segundos, envía los datos.

Figura 109

Verificación del nodo casco



Nota: Se puede mencionar que los tiempos son los mismos para iniciar el nodo casco; no tiene variaciones relevantes. Fuente: Autoría propia.

4.2.1 Verificación de operación de sensores

El funcionamiento de los sensores se estableció con un periodo de 60 segundos, durante el cual se realiza la inicialización sin transmisión de datos. Esto tiene como finalidad asegurar la correcta alimentación del módulo y verificar el arranque de cada uno de los sensores en base pruebas 7 horas.

Se puede mencionar que el tiempo de observación del sensor DS18B20 (temperatura) fue de 7 horas diarias durante un lapso de 3 días. Como se expone en la Tabla 45, se aprecia que el promedio general es de 24,4 °C y puede oscilar hasta 20,8 °C. Tomando en cuenta el medio donde se desarrolló la prueba, al tratarse de un domicilio con materiales de ladrillo y madera, estos tienden a mantener un ambiente confortable, por lo que la temperatura se mantiene estable.

Tabla 45

Tabla de pruebas (DS18B20 temperatura)

Período (hora local)	Temp. prom. (°C)	Temp. máx.	Temp. mín.
22-Abr 13:00 – 14:00	24.3	24.7	23.9
22-Abr 16:00 – 17:00	25.4	25.5	25.3
22-Abr 18:00 – 19:00	23.9	24.2	23.4
23-Abr 08:59 – 09:59	20.8	21.2	20.2
23-Abr 11:00 – 12:00	27.1	40.9	20.7
23-Abr 13:00 – 14:00	25.4	41.2	22.6
24-Abr 09:30 – 10:30	24.1	40.7	20.4
Promedio	24.4	31.2	22.4

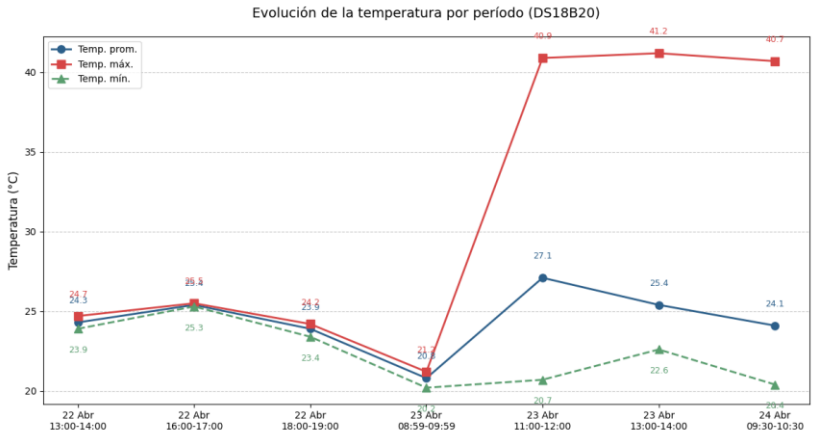
Nota: Resultados en un medio controlado: la temperatura generada fue de 24,4 °C, y se registraron, como máximo, tres valores superiores a 40 °C, los cuales fueron ocasionados durante las pruebas de estrés térmico. Fuente: Autoría propia.

Los más importante que se menciona del sensor de DS18B20 fueron que las lecturas resultaron muy puntuales y no obstante se tiene un promedio no aumentó en la misma proporción dependiendo en el evento generado (27,1 °C, 25,4 °C y 24,1 °C, respectivamente).

Las mediciones superiores a 40 °C se realizaron para verificar las variaciones que podían presentarse. Con ayuda de una pistola de silicona, se aplicó calor en la punta del sensor para elevar la temperatura como observar su comportamiento en la Figura 110 se identifica con colores la evolución.

Figura 110

Evolución de la temperatura



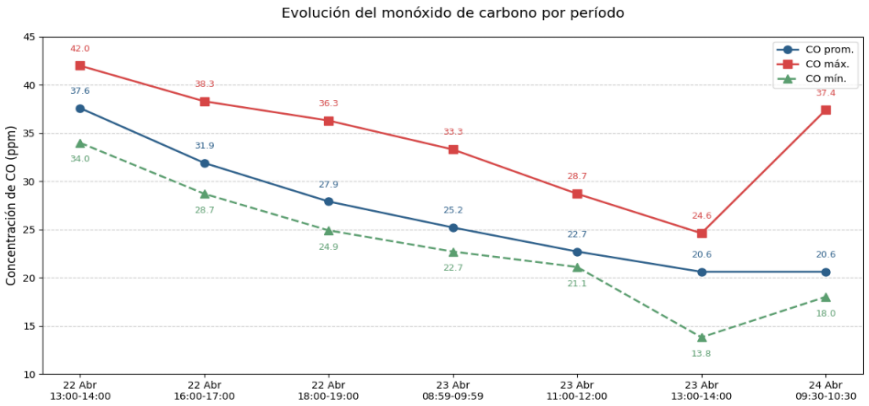
Nota: Se muestra la tendencia de la temperatura: línea azul (promedio), línea roja (máxima) y línea verde (mínima). Fuente**:** Autoría propia.

Se identificó que, tras un tiempo prudencial, la temperatura aumentaba; en aproximadamente 1 minuto se alcanzó dicho nivel, procedimiento que se repitió un total de tres veces se genere en cada evento. En cada prueba, el sistema generó la alerta correspondiente y activó los buzzers y los LEDs de estado.

Donde se menciona que el monitoreo del sensor MQ-7 se ejecutó en el mismo lapso de tiempos en la cual se ilustra en Figura 111. La cual el monóxido de carbono registró un promedio general de 26,6 ppm con los picos máximos de 42,0 ppm y en valores mínimos están en un rango de13,8 ppm que se muestra una mayor tendencia a la reducción de niveles. Estos niveles están en un rango "Normal" (0–35 ppm) donde estaría puntualmente un límite es inferior que será "Aceptable" (36–50 ppm) se menciona los criterios como son de OSHA y la OMS.

Figura 111

Resultados del Monóxido de carbono (CO)



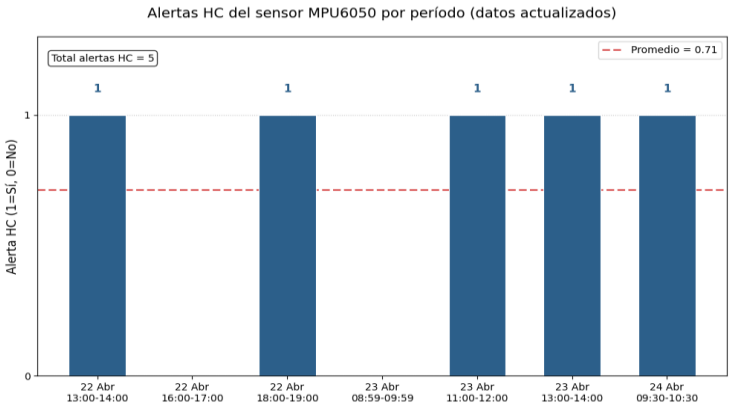
Nota: Resultados sensor mq7 con promedio 26.3 ppm y está dentro de rangos normales o limites aceptables según OSHA y OMS. Fuente: Autoría propia.

Cabe mencionar que el tiempo de desarrollo de las pruebas es fundamental para la calibración del sensor, ya que permite identificar su buen funcionamiento mediante la variación de los datos obtenidos. Esto facilita avanzar a la siguiente etapa de verificación de los cambios del medio durante la ejecución. Tras la fase en un domicilio, próximamente se realizará la prueba en campo abierto, donde se efectuará una comparación para justificar los datos adquiridos en caso de activación de la alerta.

Para verificar el funcionamiento del MPU6050 (movimiento y detección de caídas) o HC (hombre caído), se plasmó en la Figura 112 que, en cada intervalo de pruebas, se ejecutó una alerta de hombre caído, contemplando un total de 5 alertas. Todos los eventos se produjeron de forma exitosa en el transcurso de los 30 s establecidos en el nodo casco.

Figura 112

Pruebas MPU6050



Nota: Resultados de las pruebas con el sensor de movimiento: se registraron 7 eventos, de los cuales 5 se generaron de forma voluntaria y 2 requirieron movimiento constante para activar la condición. Fuente: Autoría propia.

Se realizaron 7 simulaciones en total: en 5 de ellas se generó la alerta de forma consistente al permanecer el objeto sin movimiento durante 30 s; en los 2 eventos restantes no se activó, ya que se mantuvo un movimiento constante para evitar que se cumpliera la condición y probar la eficiencia del sistema.

El sensor GPS se evaluó desde el arranque para la obtención de datos de satélites, como se evidencia en la Tabla 46. Inicia en estado frío (*cold start*) y requiere un tiempo considerable, en el cual influyen la cobertura arbórea, la topografía y la orientación de la antena. El promedio fue de 12 minutos, con un adicional de ~3 minutos para el arranque. Se observó que, en casos donde ya se tiene señal, el nodo principal (bloque 2) guarda datos cada minuto; considerando otros tiempos, en algunas ocasiones se demoró más de dos minutos en guardar, con una tendencia promedio de 12 a 14 minutos.

Tabla 46

Resultado del GPS

Prueba	Período	Fecha	¿GPS desde el inicio?	Tiempo hasta 1ccoordenada
1	13:00 a 14:00	22 abr 26	No	8 min
2	16:00 a 17:00	22 abr 26	No	20 min
3	18:00 a 19:00	22 abr 26	Sí	0 min
4	08:59 a 09:59	23 abr 26	No	14 min
5	11:00 a 12:00	23 abr 26	No	21 min
6	13:00 a 14:00	23 abr 26	No	12 min
7	09:30 a 10:30	24 abr 26	No	9 min
Promedio				**12 min**

Nota: El tiempo promedio se calculó considerando todas las pruebas, incluida la prueba 3 con 0 minutos de espera. Excluyendo ese caso, el tiempo medio de adquisición en arranques sin GPS previo asciende a 12 a 14 minutos. Fuente: Autoría propia

Con base en los datos, se analizará la eficiencia en dos casos: la respuesta fue de ~3 minutos en uno, y de 20 a 21 minutos en el otro, más extenso. Cabe recalcar que, en la prueba número 5, se evidenció que el sensor tardó 15 minutos; el LED azul tendía a parpadear, lo cual indica que tenía datos. En un transcurso de 4 minutos, el LED se apagó, volvió a parpadear y ahí ya tuvo señal. Para este tipo de eventos, se realizarán más pruebas con el fin de evaluar el rendimiento y la respuesta, buscando que el tiempo de adquisición sea más rápido.

4.2.2 Verificación del envío de datos

Confirmación de transmisión periódica cada 60 s: se demostró en terminal que se ejecutó en un período de tiempo de 10 minutos, recapturándose los datos enviados desde el nodo casco. La Figura 113 muestra la lista de datos recibidos durante todo el transcurso del tiempo.

Figura 113

Confirmación de datos (RX)



Nota: Resultados obtenidos del RX: se enlistan los tiempos de recepción para verificar que se cumpla la condición de 60 s. Fuente: Autoría propia

En la Tabla 47 se muestra el registro de datos con un intervalo exacto de 60,00 segundos, con una desviación de ±0,03 s. A una distancia de 30 cm se mantuvo la estabilidad, lo que demuestra una temporización precisa entre los dos nodos. Se tuvo un total de 11 paquetes sin pérdidas, con latencia muy baja: promedio de 311 ms en un rango de 233 a 355 ms, lo cual favorece los requisitos de aplicaciones críticas tempranas.

Tabla 47

Resultados TX y RX de los datos recibidos

Paquete	Hora envío (nodo)	Hora recepción (gateway)	Retardo (ms)	Intervalo entre envíos (s)	RSSI (dBm)
1	09:56:07.977	09:56:08.210	233	–	-37
2	09:57:07.912	09:57:08.212	300	59.94	-30
3	09:58:07.881	09:58:08.236	355	59.97	-31
4	09:59:07.910	09:59:08.211	301	60.03	-31
5	10:00:07.884	10:00:08.202	318	59.97	-29
6	10:01:07.883	10:01:08.225	342	60.00	-30
7	10:02:07.905	10:02:08.218	313	60.02	-29
8	10:03:07.907	10:03:08.220	313	60.00	-28
9	10:04:07.877	10:04:08.217	340	59.97	-27
10	10:05:07.909	10:05:08.231	322	60.03	-28
11	10:06:07.913	10:06:08.199	286	60.00	-28
Promedio			311.2	60.00	-29.8

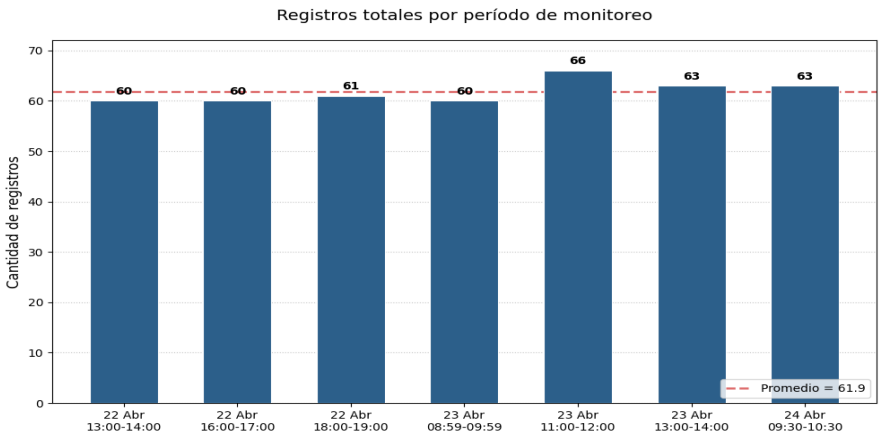
Nota: Resultados de un intervalo promedio 311.2 ms se calculó excluyendo el primer paquete; el retardo y RSSI -29.8 incluyen los 11 paquetes. Fuente: Autoría propia

Referente a la calidad de señal, este rango de -29,8 dBm es excelente, con tendencia considerable. Referente al desempeño, es satisfactorio, ya que los tiempos cumplen las condiciones, lo que permite afirmar que el enlace inalámbrico es suficiente para transmitir los datos sin degradación. Esto se traduce en que el sistema es confiable, evidenciado en el número de paquetes recibidos.

Desglosando las pruebas de los 7 eventos durante una hora, se muestra en la Figura 114 la cantidad de registros, con un promedio de 61,9 datos por hora. En algunos casos se superó el minuto y se registró uno más; de forma precisa, 1,9 sería el dato adicional, lo que refleja que el sistema serial y la comunicación inalámbrica operan sin pérdidas de paquetes. Adicionalmente, se contabilizaron 18 alertas generadas por el mismo usuario, para evaluar el rendimiento y evitar falsos positivos.

Figura 114

Resultados de los registros



Nota: Resultados obtenidos con base en el número de registros: se puede mencionar que no se tuvieron pérdidas de paquetes y que las alertas funcionan correctamente para evitar falsos positivos. Fuente: Autoría propia

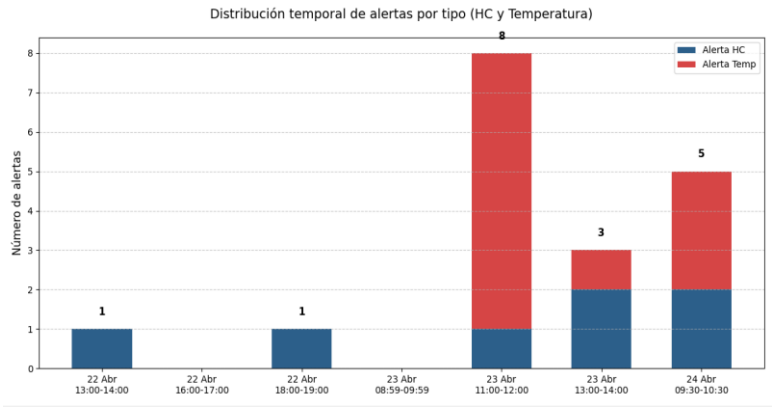
Lo que demuestra que la comunicación entre nodos es robusta para registrar datos y generar alertas de eventos reales pueden mencionarse temperatura o hombre caído, con registro muy estable; por lo que resulta muy adecuado para la vigilancia durante los incendios forestales.

4.2.3 Verificación de generación de alertas

Las alertas fueron ocasionadas para identificar el rendimiento, como se muestra en la Figura 115. De un total de 18 alertas, la distribución fue la siguiente: en dos eventos se generó una sola alerta HC cada uno; en dos eventos no se generó ninguna alerta; en el evento 5 se produjo 1 alerta HC y 7 de temperatura; y en los dos eventos siguientes se generaron 4 alertas HC y 4 de temperatura, sumando 8 alertas en este último grupo.

Figura 115

Distribución temporal alertas



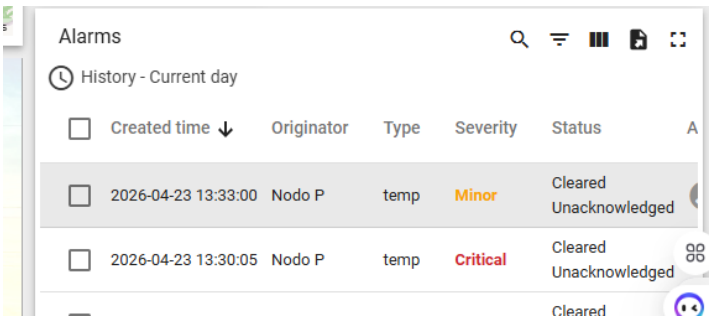
Nota: Las barras más altas corresponden a los períodos con mayor actividad de alerta: 23 Abr 11:00–12:00 (8 alertas, predominantemente de temperatura) y 24 Abr 09:30–10:30 (5 alertas). Fuente: Autoría propia

Alerta en plataforma

En la plataforma se evidencian los registros en tabla, como se muestra en la Figura 116, donde los valores de temperatura se representan con estado crítico y eventos de hombre caído. Las condiciones para su activación son independientes y se procesan mediante las reglas creadas.

Figura 116

Enumeración de alertas remotas



Nota: Resultados obtenidos con base en las alertas generadas: se puede mencionar que la temperatura es crítica y el evento de hombre caído es menor. Fuente: Autoría propia.

Este apartado es importante para usuario remoto tenga facilidad de ver estados en que se encuentra el nodo casco dependiendo las circunstancias del entorno.

4.2.4 Verificación del enlace LoRa

Se verificará la comunión con RSSI (Intensidad de señal en dBm) Con la Comunicación nodo casco nodo principal en cual se presenta Tabla 48 se enumera los obtenidos en transcurso de prueba ejecuta se presenta promedio -23.5 dbm gran eficiente en la comunión de LoRa

.

Tabla 48

RSSI por enlace LoRa

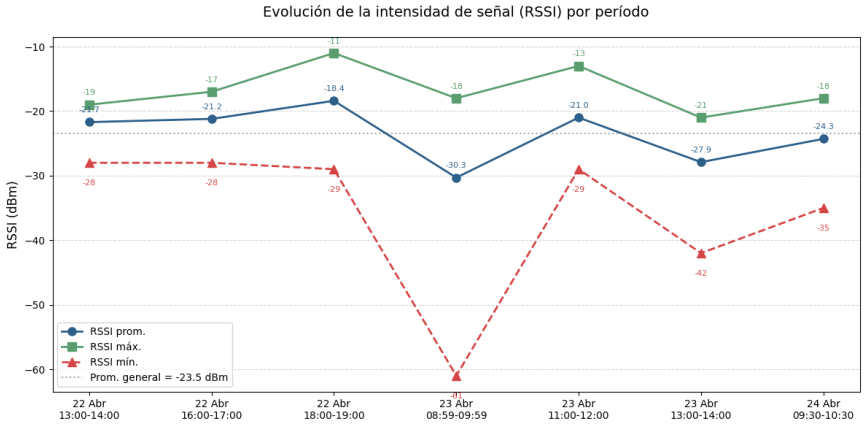
Período (hora local)	RSSI prom. (dBm)	RSSI máx. (dBm)	RSSI mín. (dBm)
22 Abr 13:00 a 14:00	–21.7	–19	–28
22 Abr 16:00 a17:00	–21.2	–17	–28
22 Abr 18:00 a 19:00	–18.4	–11	–29
23 Abr 08:59 a 09:59	–30.3	–18	–61
23 Abr 11:00 a 12:00	–21.0	–13	–29
23 Abr 13:00 a 14:00	–27.9	–21	–42
24 Abr 09:30 a 10:30	–24.3	–18	–35
Promedio	-23.5	-16.7	-36.0

Nota: La calidad del enlace inalámbrico se mantuvo muy por encima del umbral crítico, garantizando una comunicación robusta promedio de –23.5 dBm indica una señal excelente. Fuente: Autoría propia.

Para facilitar la interpretación del comportamiento, se ilustra en la Figura 117, lo que permite una mejor comprensión de cómo se comporta la señal. Esta muestra una estabilidad general, con valores entre –11 y –42 dBm (todos excelentes). Se identifica: línea azul (promedio), verde (máximo) y roja (mínimo).

Figura 117

Evolución de la intensidad de señal (RSSI)



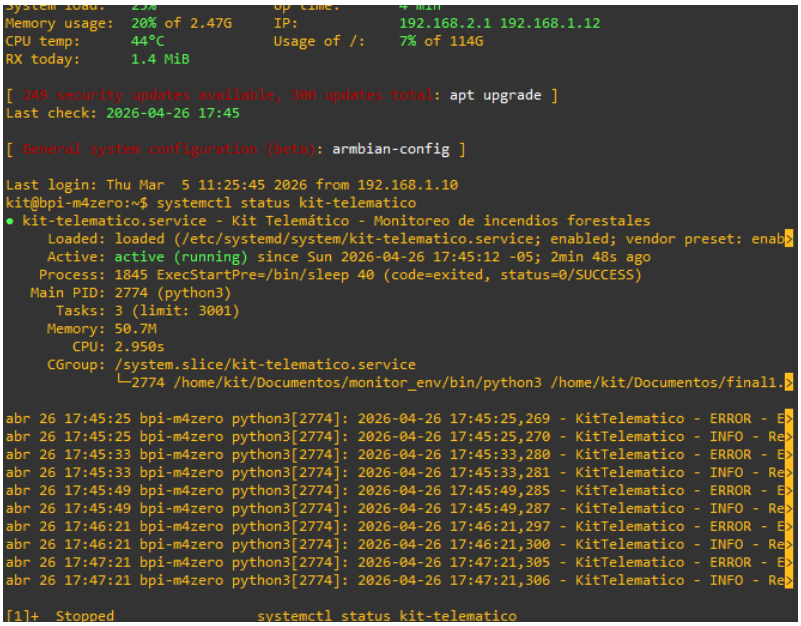
Nota: Resultados obtenidos: esto permite comparar rápidamente la calidad del enlace entre los distintos períodos, donde se pueden generar picos cuando se quita la antena. Fuente: Autoría propia.

4.2.5 Verificación de procesamiento local

Para verificación de la inicialización del servicio, se toma en cuenta el estado del servicio en ejecución, como se aprecia en la Figura 118. El inicio automático se configura en modo automático, en el cual se inicia un conteo de 40 a 50 segundos, tiempo que permite levantar la interfaz Wi-Fi y activar la red KIT. La clave es del 1 al 8; al conectarse, se tiene acceso a la dirección.

Figura 118

Servicio activo Kit Telemático



Nota: Resultado obtenido: el nodo principal, con ejecución automática, se inicia sin problemas y se tiene acceso a los datos del KIT. Fuente: Autoría propia.

Para acceder, se puede ingresar a la IP de Wi-Fi: el acceso interno es 192.168.1.18:5000, o por la red creada KIT, cuya IP fija es 192.168.2.1:5000. Como se muestra en la Figura 119, se puede acceder con credenciales y se muestra la interfaz de ingreso, tanto para administrador como para usuario normal.

Figura 119

Acceso al Plataforma web

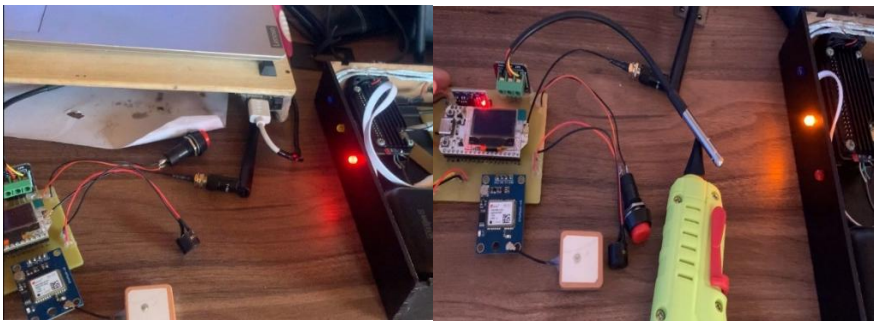


Nota: Página inicial: después de acceder con credenciales, se tienen privilegios para mostrar datos en tiempo real, los cuales se visualizan en la barra que se actualiza automáticamente. Fuente: Autoría propia.

A continuación, se verifica en la Figura 120 la activación de los LED de estado de alertas del nodo principal, en la cual la activación de indicadores de alerta (LED/buzzer) se representa por colores: rojo (hombre caído), amarillo (temperatura) y azul (CO). Cuando el LED está activo, el buzzer sonará.

Figura 120

Led de estados referente las alertas

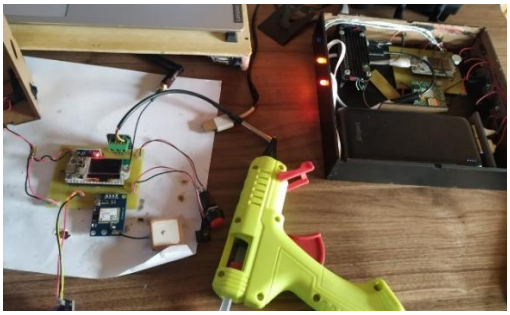


Nota: En el lado izquierdo, el estado activo de hombre caído enciende el LED rojo; en el lado derecho, la simulación de temperatura mayor a 40 °C activa el LED amarillo y, también, el buzzer. Fuente: Autoría propia.

Se pueden presentar dos casos a la vez, como se muestra en la Figura 121: se activaron las dos alertas de estado (rojo y azul), en el cual, si la condición permanece, el LED no cambiará de estado; pero si cambia, el LED rojo se desactiva al pulsar el pulsador del nodo casco, y el LED amarillo, al pasar el tiempo y reducirse la temperatura.

Figura 121

Dos estados activos por las alertas

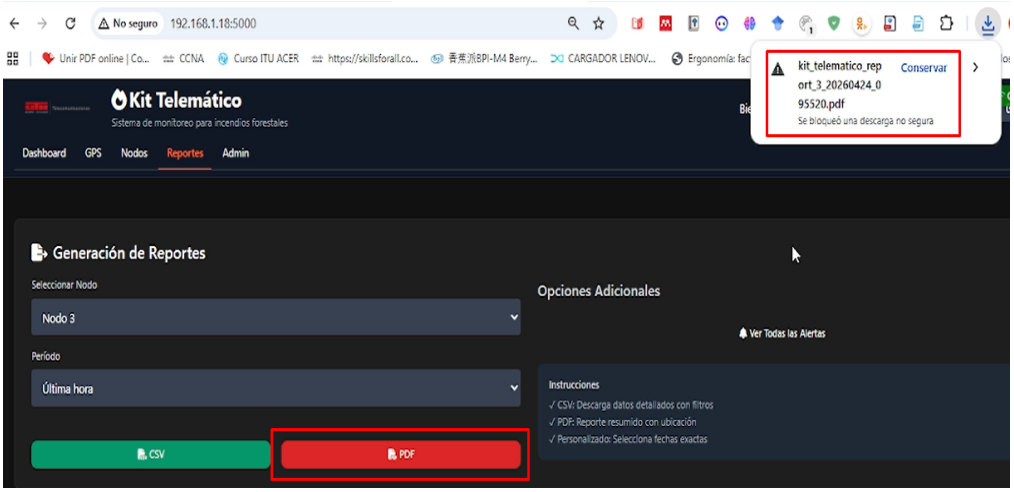


Nota: Se observa el caso de dos alertas activas con sus respectivos LED: rojo (hombre caído) y amarillo (temperatura). Estos pueden apagarse si la condición deja de cumplirse; al desactivarse, el sistema regresa al estado normal. Fuente**:** Autoría propia.

Generación de reportes: se puede generar desde la interfaz principal o sección de reporte, como se ilustra en la Figura 122. Se pueden personalizar los reportes, lo que facilita la extracción de datos para pronto análisis o requerimientos que se quieran evaluar de situaciones.

Figura 122

Generación reporte en base a pruebas



Nota: Es la sesión donde se puede extraer el resumen de los datos más importantes, con la finalidad de evaluar los registros actuales o anteriores, para una mejor comprensión. Fuente: Autoría propia.

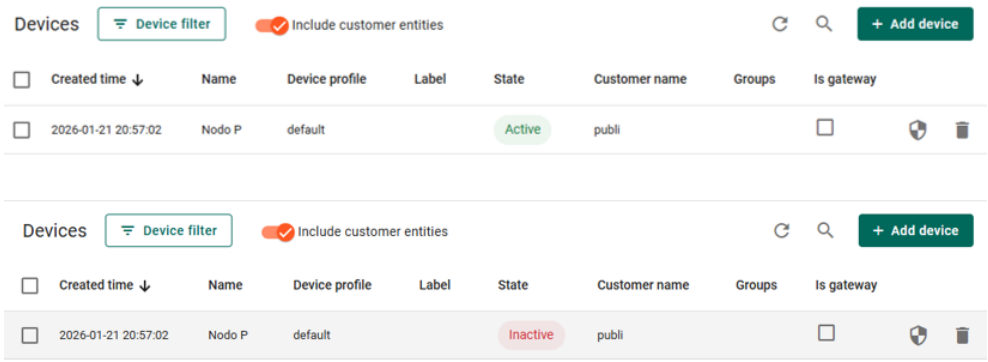
Como resultado se tendrá identifica que los bloques planificados están funcionan correctamente y operan bajo los bases los requerimientos establecidos en donde se facilitara el uso del kit telemático para los usuarios o personal autorizado.

4.2.6 Verificación de sincronización con plataforma IoT

Envío de datos: cuando existe conectividad, el tiempo es de 30 s, como se muestra en la Figura 123. Se diferencian los estados: cuando se tiene conexión y cuando la conexión no se pudo ejecutar; siendo primordial la verificación del estado en el modo administrador.

Figura 123

Verificación conexión al servidor

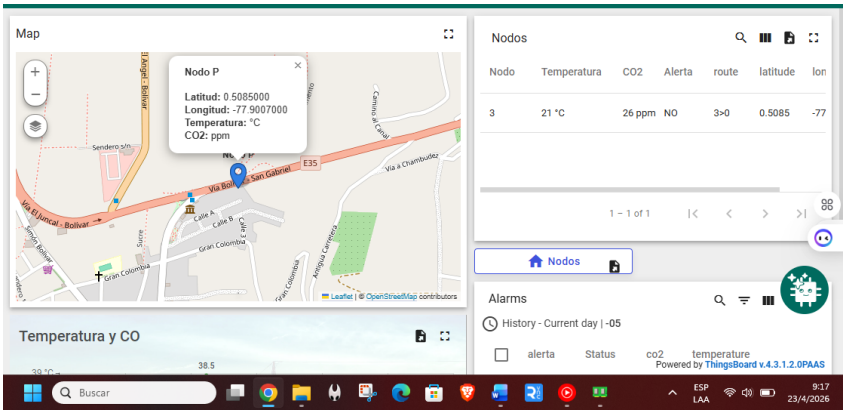


Nota: Interfaz de administración de dispositivos mostrando al nodo "Nodo P" en estado Active (izquierda) y posteriormente Inactive (derecha). Fuente: Autoría propia.

Envío de datos verificado en Figura 124 se visualiza el mapa con la ubicación del nodo P (latitud 0.5085, longitud -77.9007) sin datos de temperatura ni CO_2, la tabla de nodos activos (Nodo 3 con 21 °C y 26 ppm de CO) y el panel de alarmas recientes.

Figura 124

Dashboard de en ThingsBoard

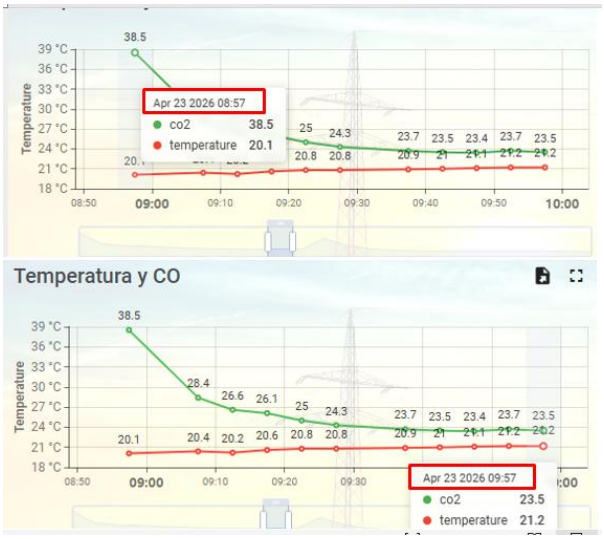


Nota: Se confirma que el dashboard muestra adecuadamente los parámetros transmitidos por el nodo Fuente: Autoría propia.

En la captación de datos obtenidos se tiene un registro en el cual se muestra la primera captura desde las 08:57 hasta las 09:57; en ese período de tiempo se registran 11 datos capturados, en configuración establecida cada 5 minutos, donde se guardan los datos y se reflejan en la gráfica de la Figura 125.

Figura 125

Tiempos de envíos de datos



Nota: Los resultados se capturado esta 08.59 a ultimo registro 09:57 se aprecia un total puntos 11 se guarda cada 5 minutos, reflejando la estabilidad de la comunicación a lo largo del monitoreo. Fuente: Autoría propia.

En total, la plataforma registra cambios respecto al local en el que se guarda cada minuto. Además, se implementa un sistema que guarda datos de alerta y, posteriormente, cada 5 minutos, como se muestra en la Tabla 49. Esta tabla presenta

las alertas generadas por el mismo usuario se tiene total de 82 datos registrados adicional las alertas muestran otra tabla aparte.

Tabla 49

Dato Registrados ThingsBoard

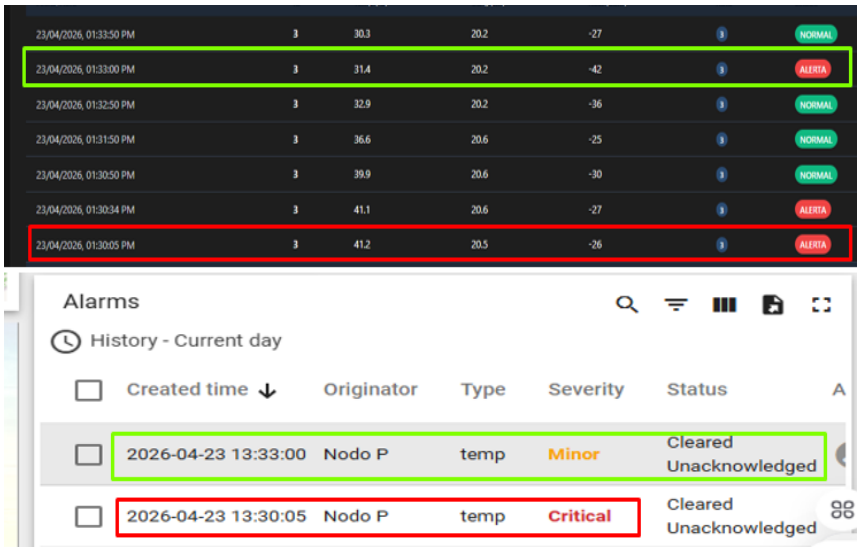
Eventos	Datos registrados	Alertas registradas	HC	Temperatura
1	12	1	1	0
2	12	0	0	0
3	11	1	1	0
4	12	0	0	0
5	11	3	1	2
6	12	2	1	1
7	12	3	1	2
Total	82	10	5	5

Nota: Es resumen del registro en la plataforma de IoT, donde se observa que el número de alertas locales a remotas. Fuente: Autoría propia.

En la Figura 126 se muestra la vinculación de alertas tanto locales como remotas. Los tiempos estimados pueden ser de milisegundos o de 1 a 3 segundos de demora en la actualización del dashboard.

Figura 126

Tiempos de respuesta local y remota



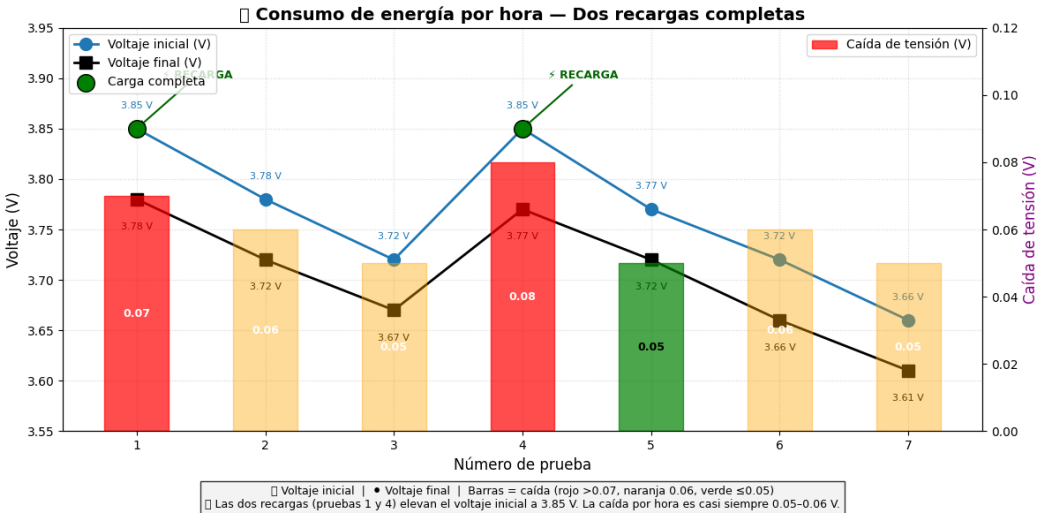
Nota: Se identifica que el tiempo puede estar en milisegundos o, en algunos casos, variar de 1 a 3 segundos en general, dependiendo de la cobertura. Fuente: Autoría propia.

4.2.7 Verificación del consumo energético

Las pruebas de consumo de energía del nodo casco muestran los datos obtenidos en la Figura 127. El voltaje máximo registrado es de 3.85 V y el mínimo de 3.61 V. Cabe mencionar que el consumo promedio por hora es de 0.06 V, lo que permitiría un funcionamiento eficiente durante 3 a 4 horas. Se presentan dos gráficas: una representa la evolución de cada prueba y la otra muestra la tendencia de consumo.

Figura 127

Consumo energético nodo casco



Nota: La caída media por hora es de 0,06 V, con una desviación baja (la mayoría de las caídas son 0,05 o 0,06 V, y solo dos pruebas alcanzan 0,07 y 0,08 V). Fuente: Autoría propia.

Se muestran una caída de la tensión con un promedio de 0,06 V por hora con pequeñas fluctuaciones que pueden ser a las variaciones en la carga o puede relacionar con el estado de la alimentación. Este es comportamiento muy coherente con el cual tiene un acumulador de litio típico bajo demanda moderada.

Pruebas de consumo de energía –Nodo Principal

Se evidenció que el consumo se desarrolló durante 1 hora, dentro de un periodo total de ejecución de 7 horas. En la Tabla 50 se registra que el consumo aproximado fue de 2200 mAh. Para la referencia de carga, se hace alusión a los

LED de la *power bank*: al contar con 4 indicadores, la relación de cada uno corresponde al 25 %, por lo que los 4 en conjunto equivalen al 100 %.

Tabla 50

Consumo del Nodo Principal

Prueba	Período	Vol (%)	Consumo (mAh)
1	13:00 – 14:00	100	2150
2	16:00 – 17:00	96	2180
3	18:00 – 19:00	91	2200
4	08:59 – 09:59	88	2190
5	11:00 – 12:00	84	2210
6	13:00 – 14:00	80	2230
7	09:30 – 10:30	76	2240
Promedio		**87.9**	**2200**

Nota: El consumo se puede estimar en un rango aproximado de 2000 a 2240 mAh, tomando en cuenta que el equipo presentó tiempos de reposo; cada evento se generó durante una hora. Fuente: Autoría propia.

Para el análisis de consumo de la power bank, se toma la relación de cada LED que se muestra a continuación, lo que permite realizar una estimación del consumo. Este consumo se analizará mediante las siguientes pruebas a desarrollar, con el fin de verificar su comportamiento.

Autonomía estimada

Rango de LEDs típico en Power Bank:

●●●● = **75% — 100%**

●●●○ = **50% — 74%**

●●○○ = **25% — 49%**

●○○○ = **0% — 24%**

Las pruebas se ejecutaron en un transcurso de 7 horas. El nivel de carga se muestra en la Figura 128, donde se aprecian los LED encendidos. Este equipo es el encargado de alimentar el nodo principal.

Figura 128

Nivel de consumo con Leds



Nota: Se identificó que los 4 LED de la power bank se mantuvieron encendidos. A partir de esta observación, se concluye que sí se generó consumo; por lo tanto, se interpreta que este se ubicaría en un 87 % o podría ser menor. Fuente**:** Autoría propia.

4.3 Escenario 2: Pruebas en condiciones controladas Campo

Las pruebas campo se desarrollaron y ejecutaron en un total de 12 horas, distribuidas de la siguiente manera: durante las 10 horas iniciales se realizaron pruebas con línea vista, obstáculos (interior de casa, matorrales, zona de bosque), en las cuales se determinaron los datos pertinentes en base al análisis de cada uno de ellos. Asimismo, se verificó durante este tiempo la funcionalidad de las alertas de hombre caído.

Se dedicaron 2 horas para verificar el funcionamiento de las otras alertas: la de temperatura, a la cual se aplicó calor para generar lecturas, y la de monóxido de carbono, a la cual se expuso al humo para verificar las lecturas. Todo se desarrolló tomando previas precauciones para evitar lesiones. En total, fueron 12 h de pruebas de campo. Se analizó el comportamiento en el medio con la finalidad de conocer el desempeño del equipo, rectificar errores y realizar correcciones para las intervenciones en las siguientes pruebas

Se desarrolló en dos partes. La primera, con un tiempo estimado de 10 horas, se llevó a cabo en la semana dos. Se planificó la evaluación de todos los requisitos: conexión de equipos, envío de datos con fidelidad, alcance y tiempos de respuesta, tanto en la transmisión de paquetes como en la generación de alertas (locales y remotas). Se muestran datos, GPS y una lista de alertas generadas, considerando el funcionamiento y la vinculación de cada bloque a ejecutar.

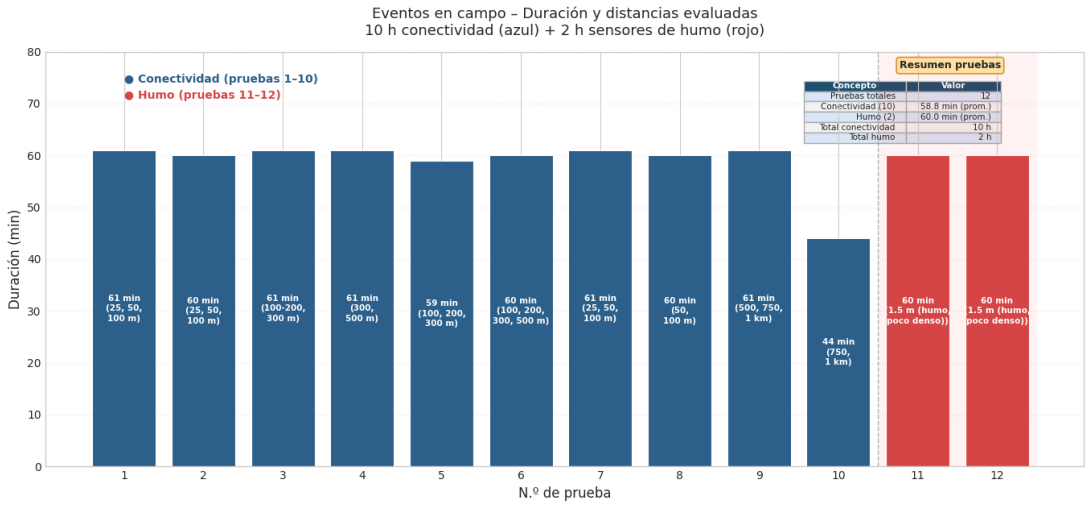
4.3.1 Eventos en campo

En la Figura 129 se presenta un resumen numerado de los eventos desarrollados, en el cual se detallan el horario, la duración y la distancia

correspondiente a cada uno. Las distancias evaluadas oscilan entre 25 m y 1 km. El análisis de cada evento incorpora variables como la línea de visión, la presencia de obstáculos o estructuras, la influencia de zonas arboladas y los desplazamientos requeridos durante su ejecución.

Figura 129

Enumeración de los 10 eventos en campo



Nota: Resultados obtenidos durante el transcurso de la semana número 2, en la cual se registraron 10 eventos con características distintas; los eventos 11 y 12, por su parte, corresponden a la verificación del funcionamiento de los sensores. Fuente: Autoría propia.

4.3.2 Iintensidad de señal (RSSI)

Intensidad de señal (rssi) por actividad y condición SE han clasificado todos los segmentos según la presencia de obstáculos para cada definición:

- **LoS clara**: línea de vista sin árboles ni edificios.
- **NLoS Árboles**: sin línea de vista por árboles.

- **LoS con obstáculos**: línea de vista pero con árboles/casas/arbustos en el trayecto.
- **NLoS Infraestructura**: sin línea de vista por muros, casas, desniveles o relieves.

Tabla 51 de esta en degradación de señal arrojó datos reveladores. LoS claro lidera: -83.6 dBm de promedio. Que se presenta en NLoS Árboles con -86.6 dBm lo que representa una caída de 3.0 dB. En los términos de potencia, aproximadamente será la mitad de lo estimado. NLoS Infraestructura se ubica en estimado de -87.2 dBm con una degradación alcanza 3.6 dB esto puede dejar apenas un porcentaje de 44% de la potencia original. En donde la condición más desfavorable corresponde a los eventos como es LoS con obstáculos: -89.6 dBm tiene una merma que puede estar en 6.0 dB lo que reducera la señal recibida que se cerca en 25% respecto al escenario ideal propuesto.

Tabla 51

Comparativa rssi promedio por condición y distancia

Distancia	LoS claro	NLoS Árboles	NLoS Infraestructura	LoS con obstáculos
25 m	-70.8	–	-83.4	–
50 m	-75.5	–	–	**-85.0**
100 m	-78.9	**-83.1**	–	–

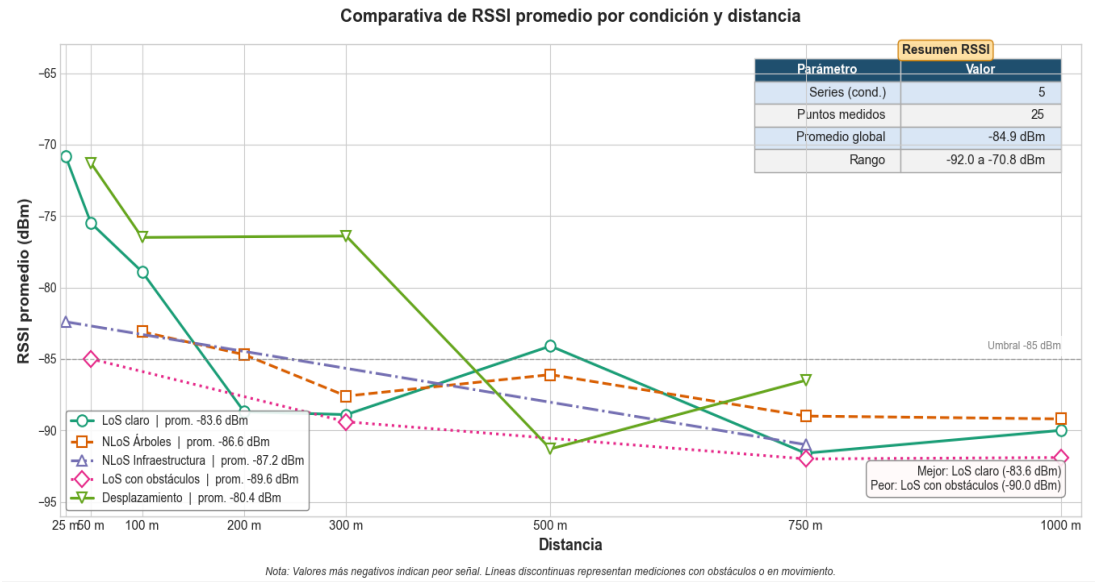
200 m	-88.7	**-84.7**	–	–
300 m	-88.9	**-87.6**	–	**-89.4**
500 m	-84.1	**-86.1**	–	–
750 m	-91.6	**-89.0**	-91.0	**-92.0**
1 km	-90.0	**-89.2**	–	**-91.9**
Promedio	**-83.6**	**-86.6**	**-87.2**	-89.6

Nota: Contrario a lo esperado, la peor condición de señal no es NLoS (árboles o infraestructura), sino LoS con obstáculos parciales (promedio -89.6 dBm), superando en degradación incluso a escenarios sin línea de vista directa. A larga distancia (>750 m) todas las condiciones se igualan (~ -90 dBm). Fuente**:** Autoría propia.

Figura 130 se muestra tramos como son cortos que están entre 50 y 100 metros están casos de obstáculos parciales golpean con fuerza la integridad de la señal. Sin embargo, esto puede superar los 200 metros en un comportamiento que puede cambiar. Aparece un patrón que es inesperado como es NLoS Árboles supera en varios puntos al LoS claro. Doscientos metros: -84.7 frente a -88.7 dBm. Setecientos metros: -89.0 contra -91.6 dBm. A esa distancia puede ser mayores y por encima de los 500 metros con mayores brechas se estrechan. La vegetación deja de ser un factor también puede ser determinante para la señal en el medio.

Figura 130

Comparativa de RSSI por tramos

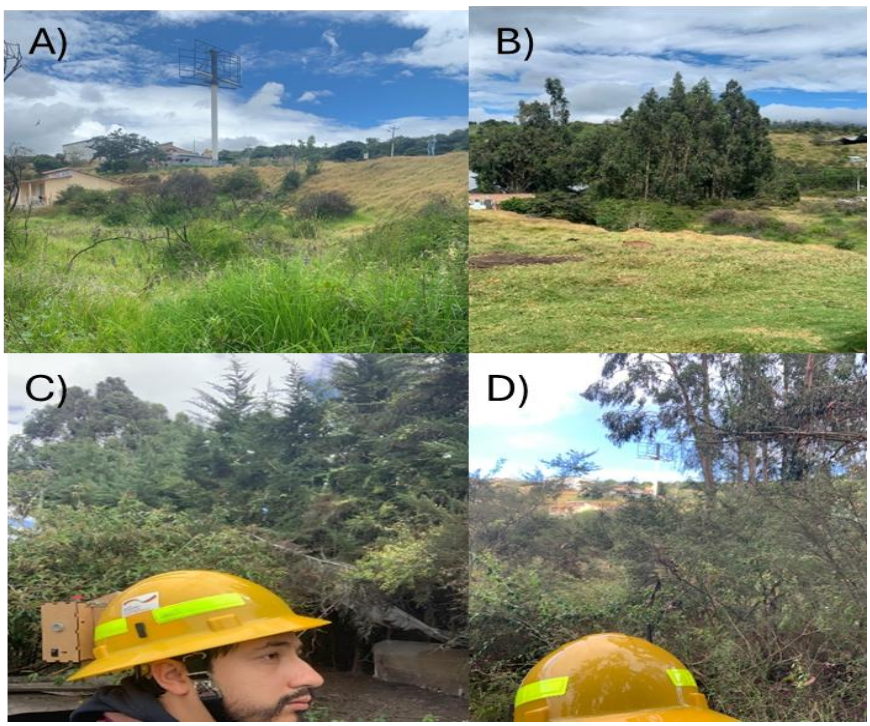


Nota: RSSI promedio global: -84.9 dBm (rango: -92.0 a -70.8 dBm). Mejor condición como es LoS claro (-83.6 dBm). O son peores condiciones: LoS con obstáculos (-89.6 dBm) y NLoS Infraestructura (-87.2 dBm). Umbral de referencia: -85 dBm.Fuente: Autoría propia.

La Figura 131 se une los cuatro eventos de las primeras etapas de pruebas de campo. En donde el panel A se tendrá registra las pruebas ejecutadas con línea de vista directa (LoS); el B y el caso obstruido por árboles (NLoS Árboles). Los paneles de eventos de C y D se ubican al receptor con unas distancias de 200 m y 100 m del nodo principal.

Figura 131

Pruebas de campo (Los y NLoS Árboles)



Nota: Resultado se puede analizar la señal se vuelve más inestable entre árboles: el rango entre valores extremos se amplía a 20.0 dB, frente a 11.4 dB en el escenario despejado. Fuente: Autoría propia.

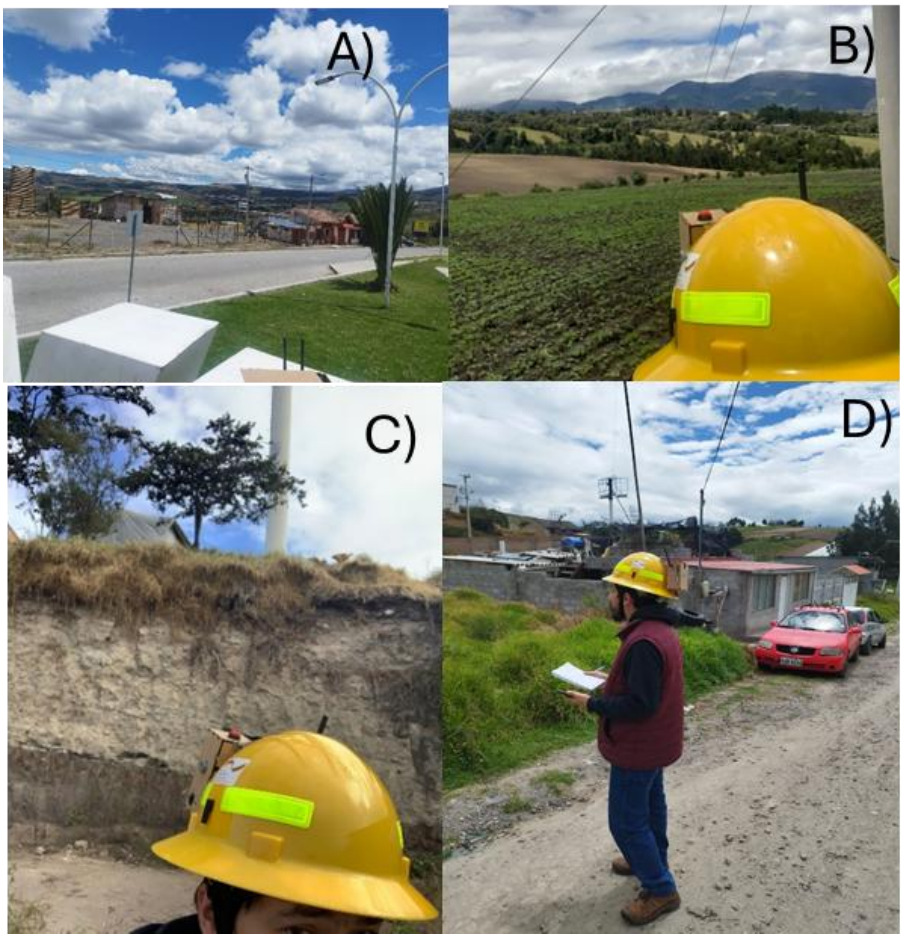
Los datos muestran una tendencia en los dbm como es caso de NLoS Árboles mostró un promedio de –86.6 dBm con un mínimo de –90.5 dBm y un máximo de –70.5 dBm. LoS, en cambio este sujeto a un promedio de –83.6 dBm, mínimo de –88.9 dBm y máximo de –77.5 dBm.

En la Figura 132 se identifican cuatro escenarios: los paneles A y B corresponden a pruebas LoS con obstáculos, donde existe línea de vista, pero el trayecto intercepta árboles, casas o arbustos; los paneles C y D, en cambio, registran

pruebas NLoS Infraestructura, en las que la visibilidad directa se interrumpe por muros, edificaciones, desniveles o relieves del terreno.

Figura 132

Pruebas de campo (Los con obstáculos y NLoS Infraestructura)



Nota: Paneles A y B: LoS con obstáculos (árboles/casas/arbustos en trayecto). Se menciona que los paneles C y D: son de NLoS Infraestructura que tiende a tener esto en medio (sin línea de vista por muros, edificaciones o relieves). Fuente**:** Autoría propia.

Loa eventos como son NLoS Infraestructura esta con un promedió –87.2 dBm (mín –92.0, máx –76.5) y otro evento de LoS obstáculos parciales, –89.6 dBm (mín –94.5, máx –77.5). La brecha de 2.4 dB confirma mayor atenuación cuando obstáculos parciales interceptan directamente la trayectoria, frente a barreras de infraestructura que fuerzan propagación indirecta.

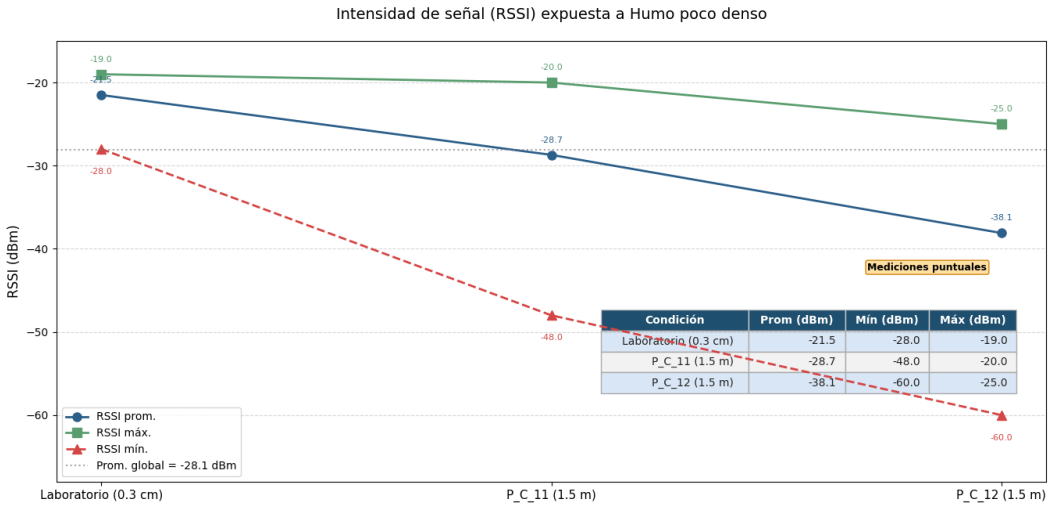
4.3.2.1 Pruebas señal (RSSI) están expuesto a Humo vs medio ideal

En medio de laboratorio se tiene una distancia es referente a 0.30 m registró la cual señal de RSSI promedio tiende a –21.5 dBm (Figura 133). En pruebas campo se tiene una distancia aproximada de 1.50 m con humo poco denso para eventos de P_C_11 presentó –28.7 dBm (degradación de 7.2 dB) se puede decir explosión de esto elemento en medio tiene a reducir la atención de señal.

Y mientras que evento P_C_12 alcanzó valores de –38.1 dBm (degradación de 16.6 dB). Aunque la atenuación teórica por distancia es de aproximadamente 14 dB a relación del evento P_C_11 tuvo mayor tendencia al benefició de reflexiones constructivas. En contraste los eventos de P_C_12, que sufrió mayor atenuación por la dispersión y absorción causada por las partículas de humo en medio.

Figura 133

Comparación (RSSI) expuesto en humo vs medio ideal



Nota: RSSI cae con la distancia bajo humo poco denso: laboratorio (–21.5 dBm), P_C_11 (–28.7 dBm) del evento P_C_12 (–38.1 dBm).Con un promedio global: –28.1 dBm**.** Fuente: Autoría propia.

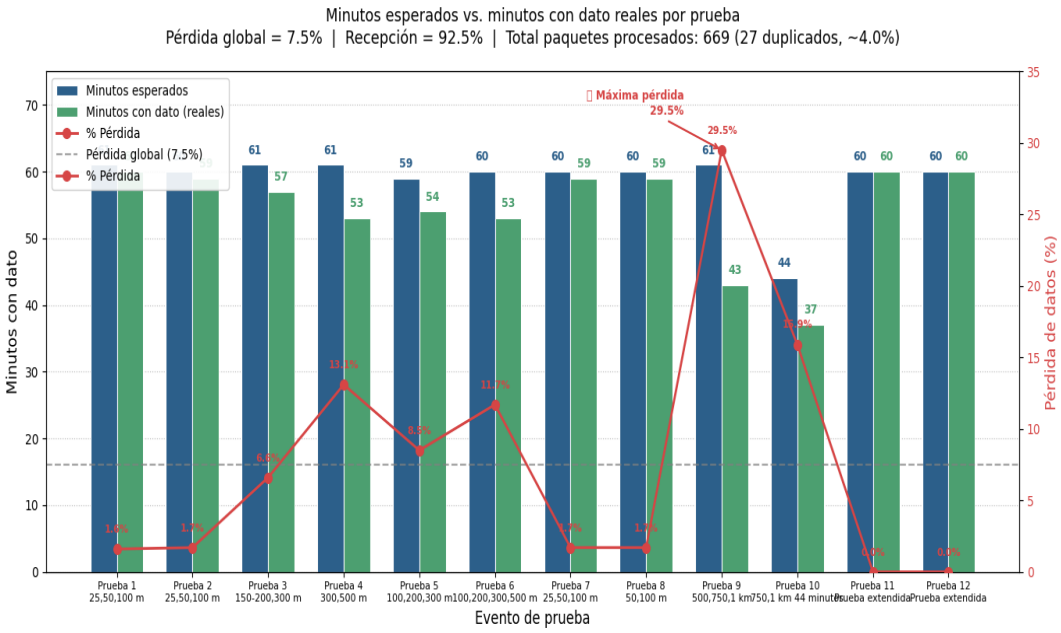
El promedio ponderado general fue –28.1 dBm (238 registros), con un margen de enlace de +67.9 dB respecto a la sensibilidad del SX1262 (–96 dBm), lo que valida la robustez del kit telemático incluso en condiciones adversas.

4.3.3 Paquetes recibidos y pérdida localmente

En la prueba (ver Figura 134), se esperaban 707 paquetes en total. Se registraron y procesaron 669 paquetes, logrando una tasa de recepción global del 92.5% y una pérdida de datos del 7.5%. De estos 669 paquetes, 27 fueron duplicados (aprox. 4.0%).

Figura 134

Paquetes recibidos

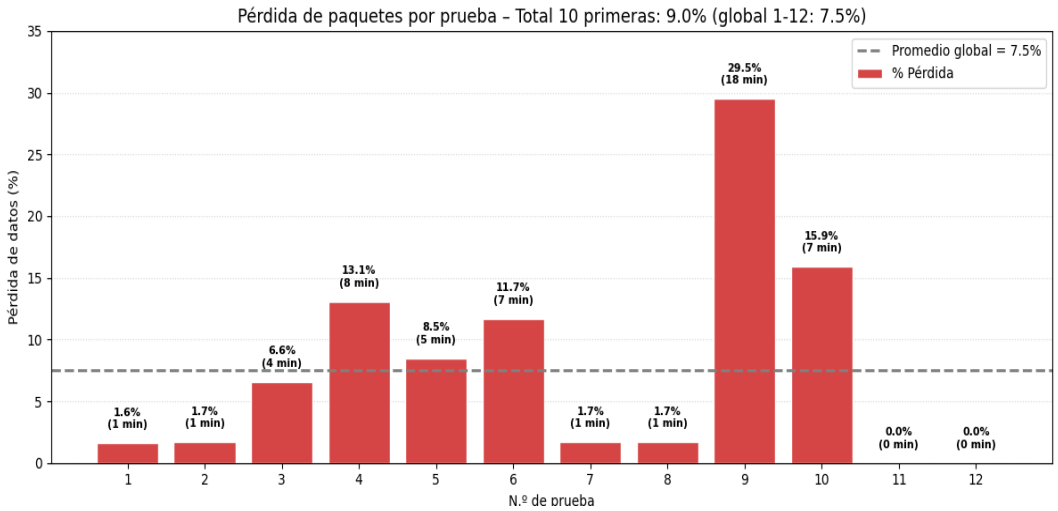


Nota: De un total de 707 paquetes esperados, se recibieron 669 paquetes (92.5% de recepción). De estos, 654 llegaron con datos válidos y 27 fueron duplicados Fuente: Autoría propia.

Considerando únicamente las pruebas Figura 135 eventos 1 al 10, la recepción baja ligeramente a **91.0%** con una pérdida del **9.0%**. La prueba más crítica fue la 9, con una pérdida máxima del 29.5%, mientras que las pruebas 11 y 12 mostraron el mejor rendimiento con 0% de pérdida.

Figura 135

Pérdida de paquetes por las prueba (%) Total 1 a 12: 7.5% | Primeras 10 pruebas: 9.0%



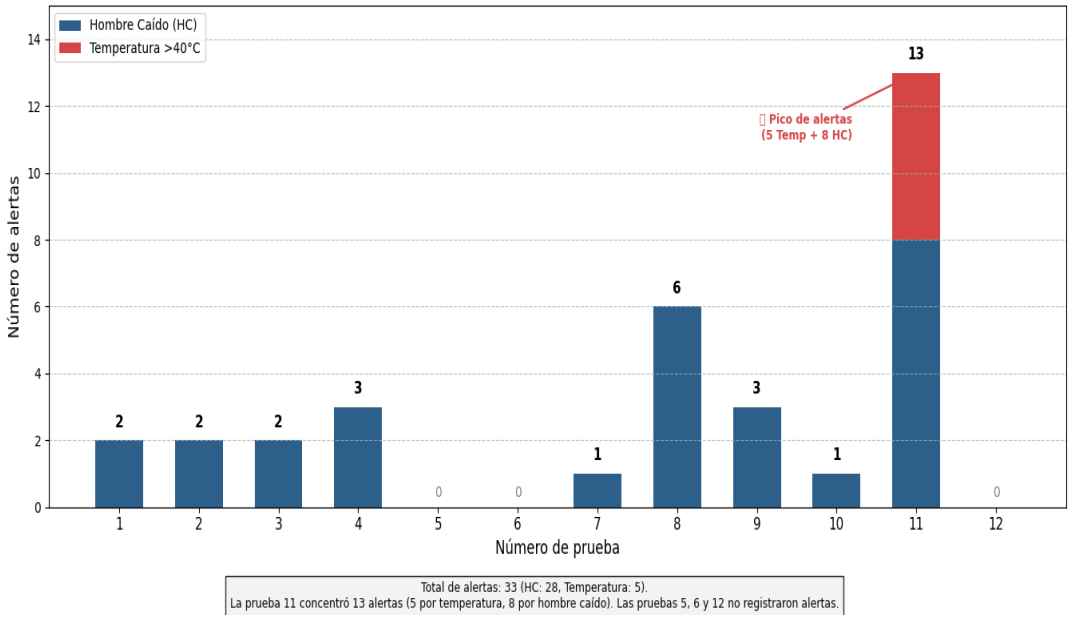
Nota: Las pruebas de corto alcance presenta una distancia son menor de (≤100 m) con pérdidas inferiores se puede estimar en 2 %. Y a partir de distancia de 500 m la pérdida se dispara con tendencia de número (prueba 9: 29.5 %) esto indicara que la cobertura fiable está por debajo de los 500 m**. Fuente:** Autoría propia.

4.3.4 Alertas registradas localmente

Durante la evaluación se registraron 33 alertas en total muestra en Figura 136. De ellas, solo cinco correspondieron a temperatura superior a 40 °C. El resto, es decir 33 alertas, fueron por hombre caído para verifica funcionamiento del kit.

Figura 136

Alertas registradas semana 2



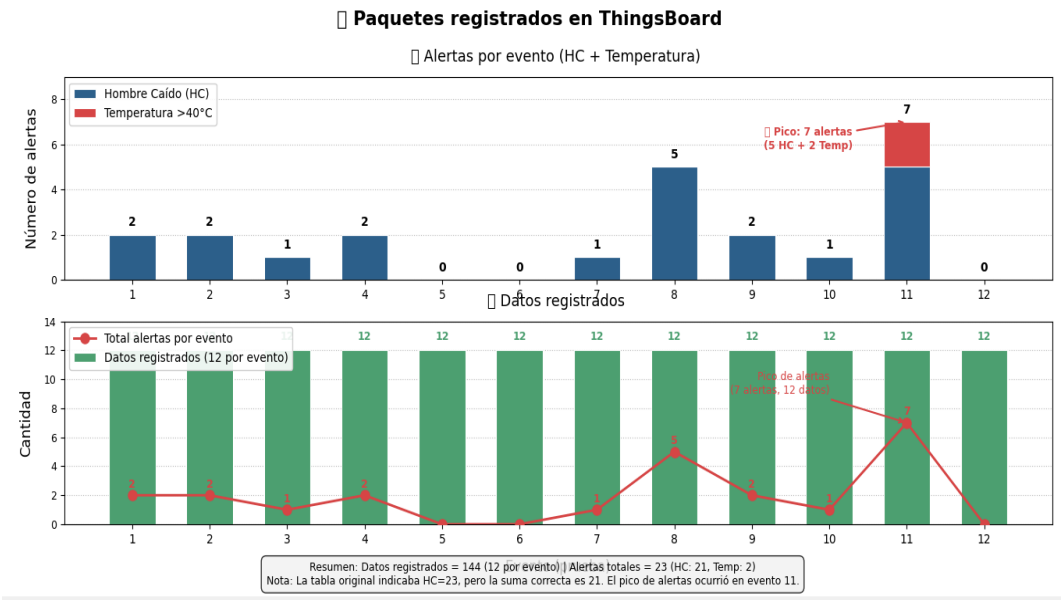
Nota: Total de alertas: 33. Temperatura > 40 °C: 5. Hombre caído: 33. Las alertas de hombre caído representaron la gran mayoría de los eventos detectados Fuente: Autoría propia.

4.3.5 Datos registrados en ThingsBoard y alertas

Figura 137. ThingsBoard recibió exactamente 12 paquetes por evento, completando un total de 144 paquetes registrados. Sin embargo, solo se detectaron 23 alertas en la plataforma (21 por Hombre Caído y 2 por temperatura),

Figura 137

Registrados en ThingsBoard



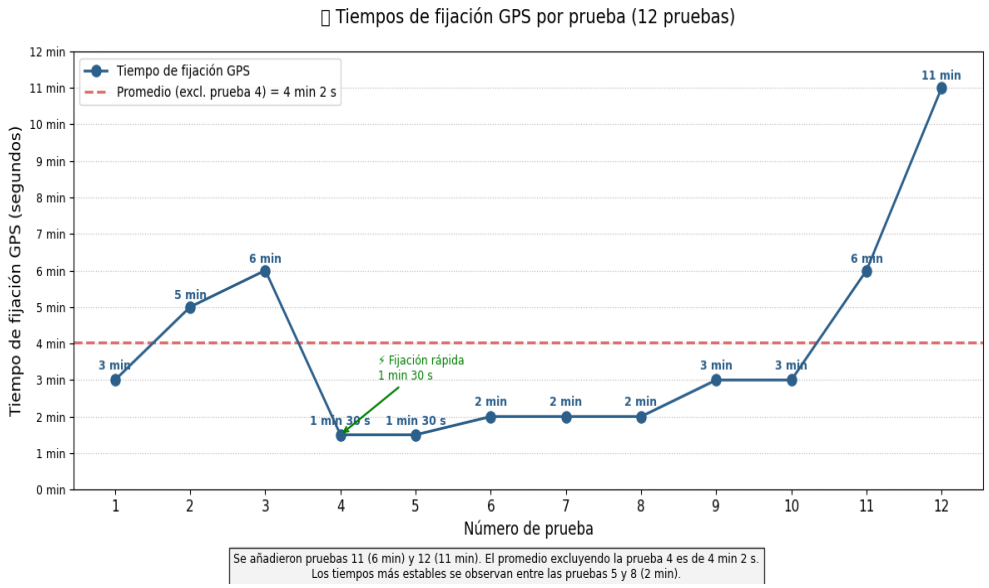
Nota: el registro de datos se mantiene constante (144 paquetes), las alertas son intermitentes y condicionadas al escenario (23 activaciones: 21 por hombre caído y 2 por temperatura) Fuente: Autoría propia.

4.3.6 Tiempos de fijación gps

El sistema muestra en Figura 138 la fijación posición en menos de 4 min en promedio (excluyendo el caso atípico de 1.5 min) . Las condiciones de humo (prueba 12) demoran hasta 11 min, lo que sugiere que la señal GPS se atenúa con partículas densas.

Figura 138

Tiempo espera del GPS



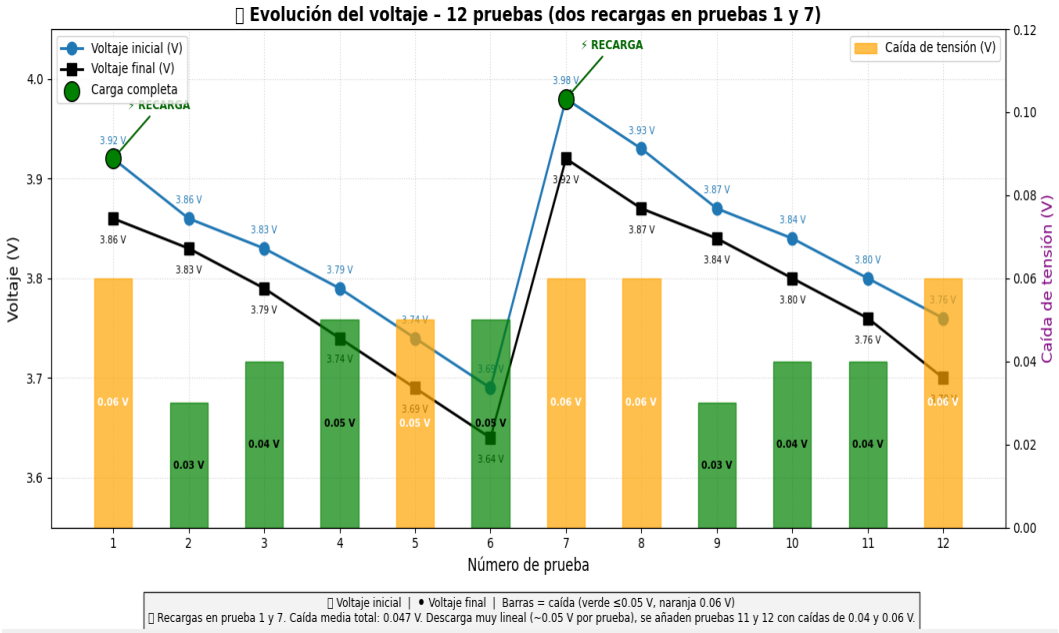
Nota: El sistema fija posición en <4 min promedio, pero con humo denso (prueba 12) la demora se extiende hasta 11 min**.** Fuente: Autoría propia.

4.3.7 Consumo de voltaje bloque nodo casco y nodo principal

Evolución acumulada: La batería pasó de 3.98 V a 3.64 V en 5 días, una descarga muy lineal (~0.05 V por prueba) se observa Figura 139. Sin picos anómalos.

Figura 139

Evolución del consumo de voltaje

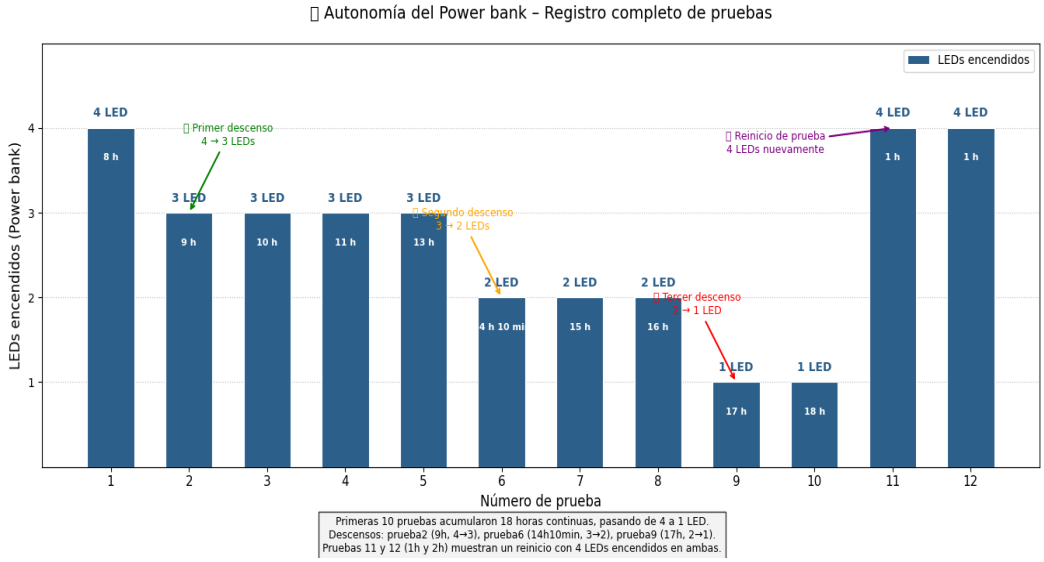


Nota: Voltaje estable: caída promedio 0.047 V/prueba (0.03–0.06 V), sin picos; descarga acumulada de 3.98 V a 3.64 V. Se recomienda operación máxima de ~6 horas para mantener voltaje ≥3.6 V y garantizar fiabilidad. Fuente: Autoría propia.

Figura 140 (nivel intermedio): El power bank del nodo principal operó 18 horas continuas (pruebas 1-10), con descarga lineal de 4 a 2 LEDs sin interrupciones. Las pruebas 11-12 muestran reinicio a 4 LEDs (1-2 h), evidenciando recarga o cambio de fuente.

Figura 140

Consumo de voltaje del nodo Principal de la Power bank



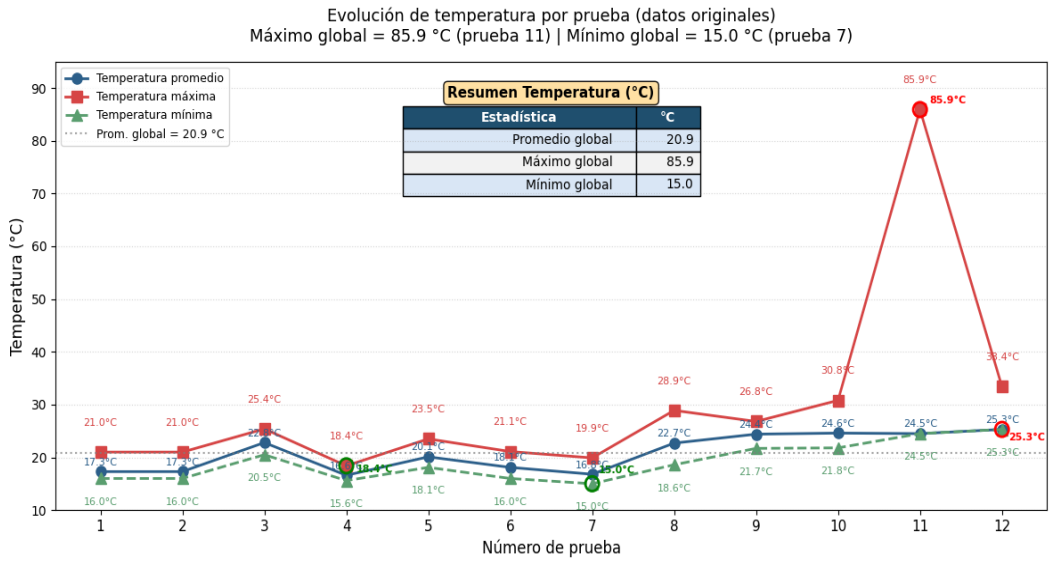
Nota: Autonomía real confirmada: ~18 horas con disminución progresiva de carga; el sistema mantiene operatividad estable hasta 2 LEDs (~50% capacidad, nivel intermedio) recomendándose recarga antes de alcanzar ese nivel para garantizar continuidad en campo. Fuente: Autoría propia.

4.3.8 Pruebas temperatura y co (monóxido de carbono)

La Figura 141 muestra los registros de 12 pruebas con promedio de 20.9 °C y rango habitual entre 15.0 °C (prueba 7) y 33.4 °C (prueba 12). El pico de 85.9 °C en la prueba 11 se alcanzó durante exposición real a condiciones extremas, representando un evento térmico transitorio válido más que un error de medición.

Figura 141

Evolución de temperatura por prueba

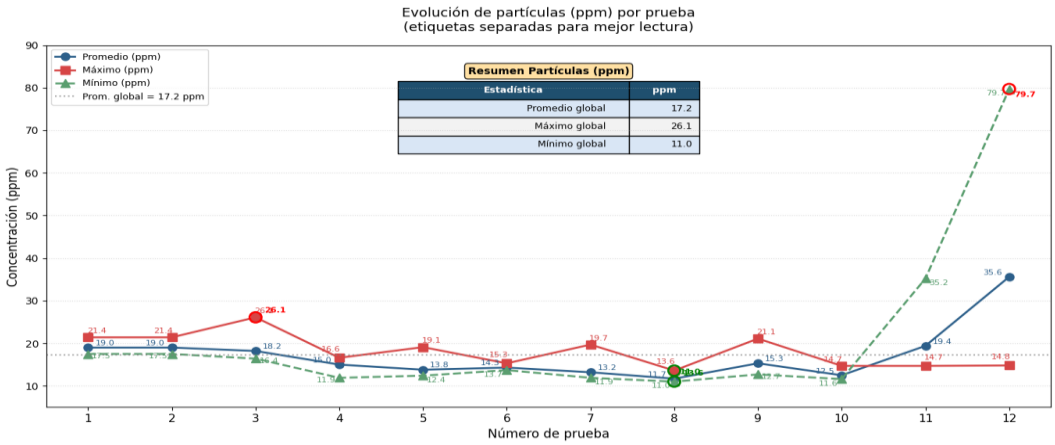


*Nota***:** Se registra 12 pruebas con promedio de 20.9 °C y rango habitual de 15.0 a 33.4 °C. Donde se tienen a un pico de 85.9 °C las cuales prueba 11 se debió a una exposición directa a calor extremo durante el ensayo, confirmando un evento y no un fallo del sensor. Fuente: Autoría propia.

Las pruebas CO están con un promedio de 17.2 ppm, rango 11.0 a 79.7 ppm (12 pruebas). Donde se observa en Figura 142 esta los eventos como son 1 a 10: niveles 11.0 a 26.1 ppm (operación normal). Presenta los picos en P11 (35.2 ppm) y P12 (79.7 ppm) están con validación de funcioanmnito de la respuesta del sensor ante emisiones datos coherentes que son muy puntuales, sin saturación de información que se presentó cada uno de eventos de prueba.

Figura 142

Concentración de monóxido carbono CO (ppm) en las 12 pruebas



Nota: Pruebas 11 y 12: valores atípicos de CO (hasta 79.7 ppm) vs. primeras 10 (≤26.1 ppm). Verificar causa. Resto: niveles seguros Fuente: Autoría propia.

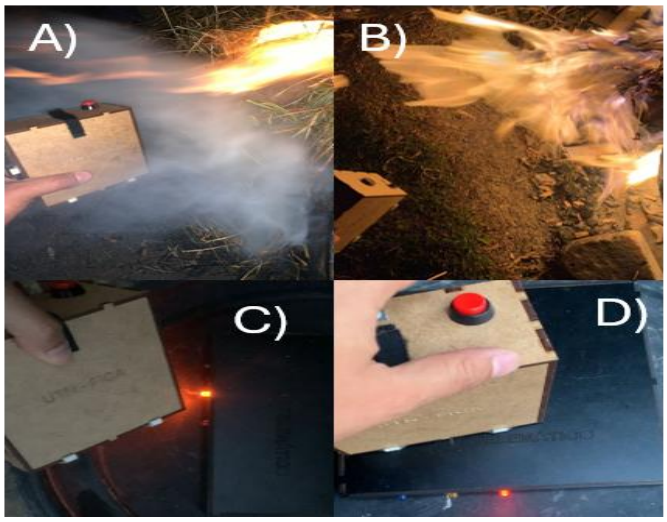
Las pruebas de Figura 143 del sensor de monóxido de carbono (A) se tuvo un registro de los niveles normales se puede tener la excepción de picos atípicos en las pruebas 11 y 12. En la prueba de temperatura ambiente (B) se alcanzó un valor excepcional en cual se generó intestinalmente en verific cambios de temperatura que llego a 85 °C debido a la aplicación de fosforera con objetivo de inducir calor sobre el sensor.

En donde al activarse la alerta por temperatura (C) los LED de estados del nodo principal se enciende en el evento y simultáneamente se activa un zumbador o alerta sonora en la cual esta configura en la plataforma en aumentar eficiencia de perención de alertas. Y para verificación de la simulación de hombre caído (HC) (D) se verifica el correcto funcionamiento del LED se cambia los estados y la alerta mantiene la logia presionar el botón nodo caso tendrá que cambiar el estado y se

desactiva. Las alertas por distancia consideran tiempos estimados en una respuesta estimados entre 1 s y 3 s como máximo sea tanto para distancias cortas como largas.

Figura 143

Pruebas controladas



Nota: Se evidencian las pruebas ejecutadas (sensores, alertas, tiempos de respuesta). En el transcurso no hubo datos corruptos ni incumplimiento de requisitos; solo se registraron 27 paquetes duplicados (≈4.0%). Fuente: Autoría propia.

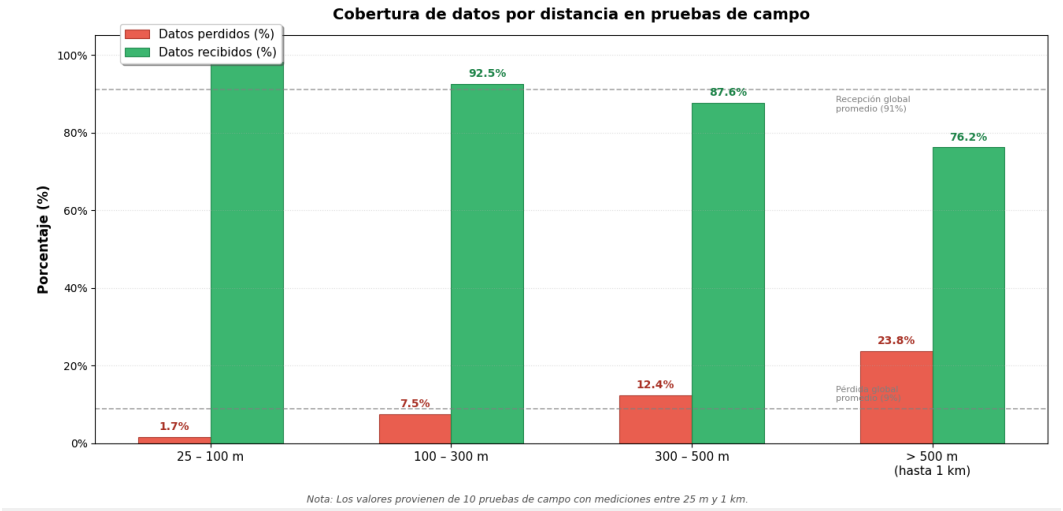
4.3.9 Cobertura por distancia (pérdida de datos)

Respecto a la cobertura, el análisis respectivo se presenta en la Figura 144, donde se observa que la pérdida de datos aumenta progresivamente con la distancia.

- Hasta 100 m → excelente (1.7% pérdida)
- 100-300 m → buena (7.5%)
- 300-500 m → aceptable (12.4%)
- Más de 500 m → deficiente (23.8% pérdida, 76.2% recepción)

Figura 144

Cobertura por distancia



Nota: Hasta 100 m el sistema es muy fiable (<2 % pérdida). La degradación es progresiva y a partir de 500 m se pierde casi una cuarta parte de los datos, lo que indica el límite práctico de cobertura en el escenario probado. Fuente**:** Autoría propia

4.3.10 Eficiencia global del sistema

En síguete Tabla 52 se muestra el resumen del evento género en campo se muestra toda información relación al comprometido del kit en este medio.

Tabla 52

Resumen de eficiencia en campo

Indicador	Valor
Tiempo total monitoreado (min)	587
Paquetes totales recibidos	571

Minutos con dato	534
Minutos sin dato	53
Paquetes duplicados extra	27
Alertas totales (RSSI)	33
Pérdida de datos global	9.0%
Recepción global	91.0%
RSSI promedio general (dBm)	–84.9
Mejor señal de RSSI (dBm)	–37.0 con un (desplazamiento)
Peor señal de RSSI (dBm)	–93.0 (1 km NLoS)
Tiempo promedio fijación GPS (min)	2.42
Caída de voltaje promedio (V)	0.047
Autonomía acumulada power bank (h)	18

Nota: Resultados total eficiencia: Recepción 91%, pérdida 9%, RSSI medio –83.2 dBm, GPS 3.2 min, caída de batería 0.047 V/prueba nodo casco con duración 6 horas recomendado y autónoma de 18 h nodo principal. Fuente: Autoría propia

4.4 *Esc*en**ario 3: Simulacros con bomberos**

Las siguientes pruebas se ejecutaron con el Cuerpo de Bomberos durante la semana 3, con una planificación de 5 días, con el objetivo de evaluar los requisitos y el desempeño del kit telemático en condiciones acordes al entorno expuesto.

Los primeros 3 días se realizaron pruebas de verificación de conexión de equipos, respuesta de alertas, alcance y tiempos de respuesta, con una duración de 2 horas cada día. El primer día solo se recolectaron datos sin generar alertas. Al día siguiente se generaron alertas en una zona boscosa, con distancias desde 25 m hasta 300 m, para verificar los tiempos de respuesta y el comportamiento del enlace. Esta prueba se ejecutó en Bolívar.

El tercer día se desarrollaron las pruebas en un terreno plano y con desnivel los cuales la verificar de conectividad se estima con distancia aproximadas de 25 m hasta 1 km en la ubicado en el sector de la Paz. Allí se activaron algunas de alertas de hombre caído (HC) y temperatura en ese medio. Para el cuarto día se trasladó al sector de San Rafael en zona del Guitarrero específicamente en la cual evaluó el equipo en condiciones de mayor elevación que quiere decir con una mejor línea de vista con menor vegetación del medio y además se activaron las alertas.

Para culminar, el quinto día se generaron simulacros: el primer caso consistió en encender fuego en un lote de Bolívar para observar el comportamiento del sensor. El segundo caso fue la quema de llantas, alertando al Cuerpo de Bomberos, y se realizaron pruebas con las debidas precauciones para ver el comportamiento del casco en ese entorno. Finalmente, durante la tarde del mismo día, se presentó un incendio forestal real con una duración aproximada de las cuales 2 horas con 20 minutos, al cual se acudió para erradicar el incendio. El casco se utilizó con fin para monitorear del medio sin involucrar al personal bombero debido a que su peso sería perjudicial y reduciría la eficiencia en el combate del incendio. Cabe recalcar que, para este caso, la zona era arbustiva, lo que complicaba el movimiento, ya que el casco se enganchaba en las ramas. Por esta razón, el personal

se colocó el casco en una zona de monitoreo del entorno, con precaución de no acercarse a zonas de mayor peligro, actuando como soporte técnico.

En toda esta etapa de pruebas, se concluye que, para eventos de este tipo, sería necesario modificar el diseño y el tipo de materiales del kit para que soporte el impacto del entorno, mejorando así su eficiencia y comportamiento en ese medio.

4.4.1 Enumeración de los eventos en campo

Registro general de pruebas realizadas con el Cuerpo de Bomberos. En la Tabla 53 se desglosan las actividades programadas para la semana 3, planificadas con el fin de llevar a cabo los simulacros de evaluación del kit telemático en condiciones operativas reales.

Tabla 53

Registro de eventos

Prueba	Fecha	Duración (min)	Distancias evaluadas
1	11/05/2026	120	25 a 50 a 100 a 200 a300 m (LoS)
2	12/05/2026	110	25 a 50 a 100, a200 a300 m (NLoS árboles)
3	13/05/2026	120	500 a 750 a 1000 m (mixto)
4	14/05/2026	59	500 a 750 a 1000 m (obstáculos)
5	15/05/2026	20	25 m (humo)
6	15/05/2026	16	25 m (humo de llantas)

7	15/05/2026	142	Incendio forestal (distancia variable corta)

Nota: Pruebas de campo para evaluar la propagación LoRa bajo condiciones ambientales críticas (LoS, NLoS, obstáculos, humo y escenario real de incendio), orientadas a validar la conectividad del kit telemático para monitoreo de bomberos.
Fuente: Autoría propia

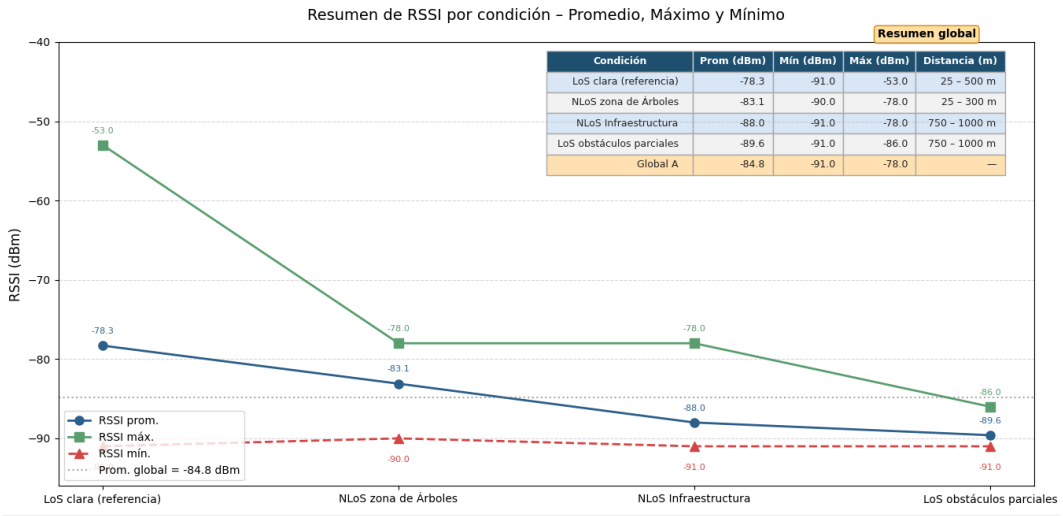
4.4.2 Iintensidad de señal (RSSI)

En la LoS clara: línea de vista sin árboles ni edificios, NLos **Árboles:** sin línea de vista por árboles, **LoS con obstáculos:** línea de vista, pero con árboles/casas/arbustos en el trayecto y **NLoS** Infraestructura: sin línea de vista por muros, casas, desniveles o relieves.

Se muestran Figura 145 las varias pruebas son 1 a 4 en la que menciona (LoS clara, bosque, infraestructura y obstáculos parciales) relaciono a función de la distancia propuestas. La prueba número dos es caso de (zona boscosa) evidencia una de mayor pérdida. Que los resultados se validan con el comportamiento del sistema en distintos entornos está funcionando correcto.

Figura 145

RSSI – Condiciones de distancia (Gráfico A, pruebas 1 al 4)

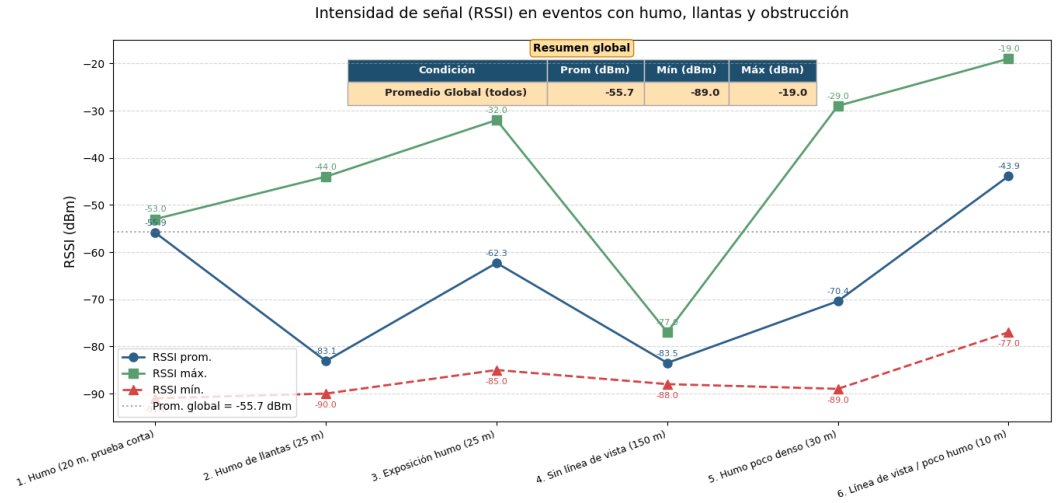


Nota: Gráfico de RSSI por condición (LoS clara a NLoS árboles a NLoS infraestructura y LoS obstáculos). Se incluyen los promedios, máximos, mínimos y el promedio global. La LoS clara es la menos atenuada (–78.3 dBm); los obstáculos parciales causan la mayor degradación (–89.6 dBm). Fuente: Autoría propia

Figura 146. Relación entre distancia y RSSI. A mayor distancia, menor señal (ej. 150 m → –83.5 dBm). Obstáculos y tipo de humo influyen: a 25 m, humo de llantas (–83.1 dBm) atenúa más que exposición directa evento 3 (–62.3 dBm). Mejor señal: 10 m, línea de vista (–43.9 dBm) con un promedio global que es: –55.7 dBm con una (alta variabilidad).

Figura 146

RSSI – Simulaciones de incendio / humo (Gráfico B, pruebas 5,6,7)



Nota: Los valores máximos (ej. –19 dBm) y mínimos (–91 dBm) indican fluctuaciones extremas, posiblemente por ráfagas de humo o reflejos, lo que sugiere que el RSSI no solo depende de la distancia, sino también de la densidad del humo y la presencia de obstáculos no lineales. Fuente**:** Autoría propia

A corta distancia (0–40 m), el RSSI típico oscila entre –43.9 y –70.4 dBm, mostrando una señal robusta incluso en presencia de humo, con valores máximos de hasta –19 dBm en condiciones de línea de vista (LOS). En cambio, a larga distancia con obstáculos (300–1000 m), el RSSI cae a valores de –88.0 a –89.6 dBm, muy cerca del piso de ruido (–91 dBm), donde cualquier obstáculo adicional degrada la señal hasta el límite de detección.

En la Figura 147 se muestra la evidencian las actividades ejecutadas en donde se puede mencionar eventos. En evento A el bombero se coloca el casco para evento en B se ejecutan pruebas con sensores de temperatura y hombre caído (HC).

En el evento C se verifica la distancia de aproximación para finalizar en el evento D se realiza un simulacro. La prueba 5 se llevó a cabo en un entorno controlado, evaluando el comportamiento en medio con características operativas con leves condiciones de viento favorable.

Figura 147

Pruebas de distancia en eventos 1 a 4 y Simulacro evento 5



Nota: Las pruebas 1 a 4 miden distancias operativas y simulan alertas; la prueba 5 es un simulacro controlado con exposición a humo para evaluar la respuesta en condiciones de visibilidad reducida. Fuente: Autoría propia

La siguiente prueba, ilustrada en la Figura 148, evalúa la exposición ante la quema de llantas, escenario en el cual el cuerpo de bomberos se direcciona por emergencia. En los casos A, B, C y D se realizaron pruebas individuales de sensores y comparación de campo, evidenciando alertas de temperatura ambiental y exposición a humo variable para analizar el comportamiento de la señal,

obteniéndose un promedio de –83.1 dBm, un máximo de –44 dBm y un mínimo de –90 dBm en un rango de 0 a 25 metros.

Figura 148

Evento 7 Quema de llantas



Nota: Comportamiento de señal (RSSI) durante prueba de exposición a humo por quema de llantas (0–25 m): promedio –83.1 dBm, máximo –44 dBm, mínimo –90 dBm. Fuente: Autoría propia

La Figura 149 registra un incendio forestal real, identificando en las imágenes A a D las zonas afectadas de difícil acceso. El casco inteligente, aún en fase de prueba y limitado por su peso, permitió analizar el comportamiento de la señal en este entorno hostil, verificando su potencial como apoyo en el combate del incendio.

Figura 149

Evento 7 Incendio forestal monitoreo



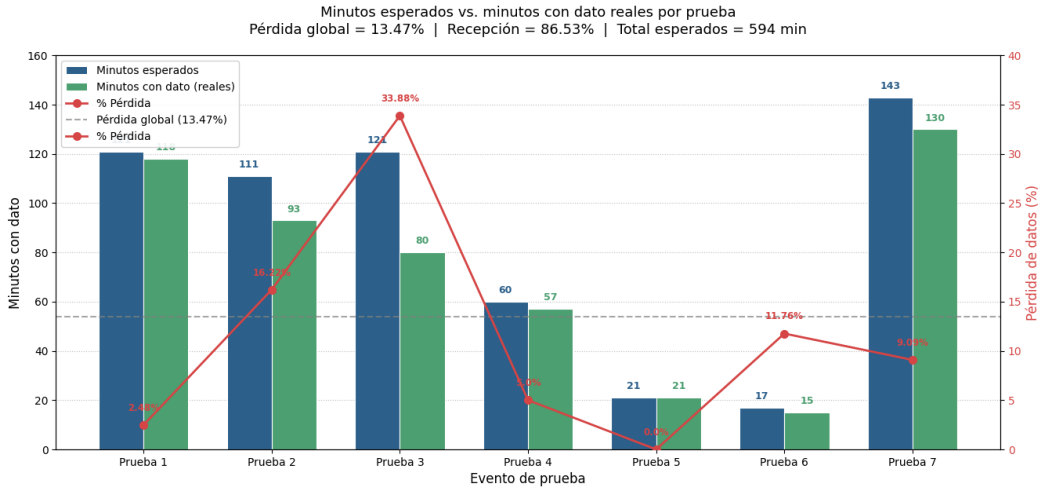
Nota: Pruebas comportamiento en un incendio forestal real. Fuente**:** Autoría propia

4.4.3 Paquetes recibidos y pérdida localmente

En la Figura 150 se resumen los indicadores de pérdida y recepción de paquetes para siete pruebas. Destaca la Prueba 5 con 0% de pérdida y 100% de recepción (21 paquetes esperados, 21 recibidos), mientras que la Prueba 3 presenta la mayor pérdida (33.88%) y solo 66.12% de recepción. A nivel global, de 594 paquetes mínimos esperados se recibieron 535, lo que arroja una pérdida total del 13.47% y una recepción del 86.53%, con apenas 1 paquete duplicado en toda la medición.

Figura 150

Paquetes recibidos vs pérdida de datos



Nota: Por prueba: paquetes esperados, recibidos, duplicados, pérdida y recepción. Global: 86.53% de recepción (535/594) y solo un duplicado. Evalúa la fiabilidad del enlace según humo, distancia y línea de vista. Fuente: Autoría propia

La pérdida varía del 0% al 33.88%: humo denso (Prueba 3) degrada; entorno controlado (Prueba 5) es fiable. Hay inconsistencia en Prueba 3 (84 recibidos vs 80 esperados). Pérdida global del 13.47% (moderada), pero en pruebas críticas (2,3,6) supera el 10%, requiriendo corrección o más potencia.

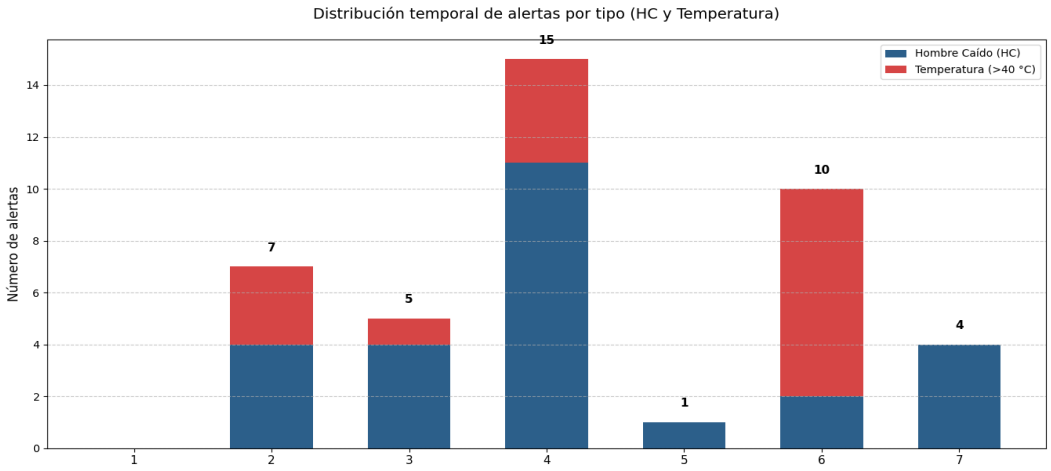
4.4.4 Alertas registradas localmente

Un de los Análisis para la (Figura 151). Demuestra número de las 42 alertas totales en donde se tiene 26 corresponden a Hombre Caído representa un (62%) y 16 a temperatura >40 °C otro porcentaje es de (38%). Las pruebas de eventos son del 4, 6 y 3 concentraron la mayor actividad (15, 10 y 5 alertas), mientras que 1 y 5

mostraron mínima activación con objetivo de evidenciando mayor respuesta en escenarios de mayor complejidad que se presentó.

Figura 151

Alertas registradas semana 3



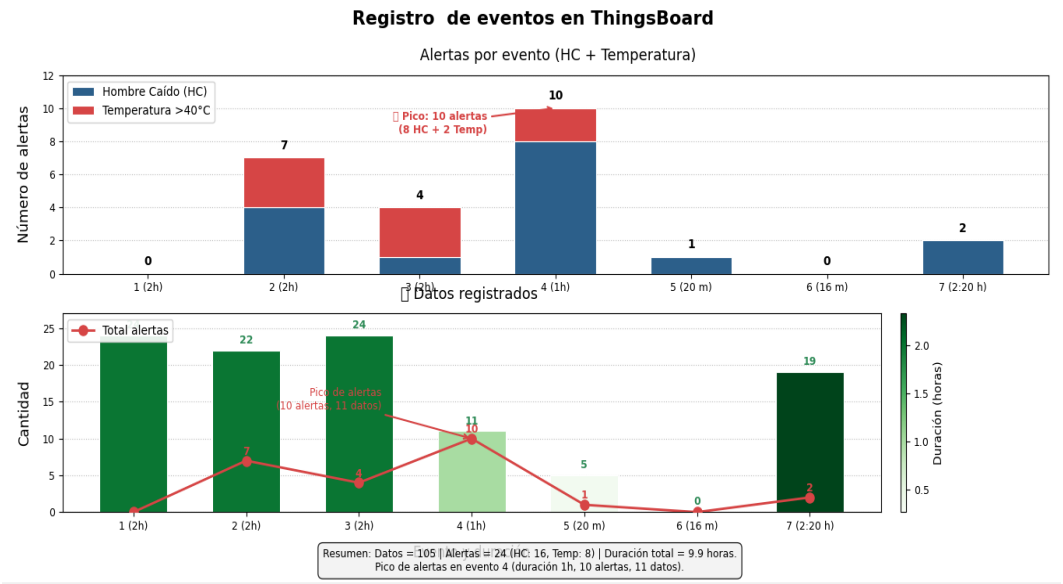
Nota: Distribución de 42 alertas en 7 pruebas: 62% por Hombre Caído y 38% por temperatura >40 °C, con mayor concentración en las pruebas 3, 4 y 6. Fuente: Autoría propia

4.4.5 Datos Registrados en Thingsboard y alertas

Visualización en la Figura 152 ThingsBoard con dos gráficos apilados para 7 eventos. El gráfico superior muestra alertas por Hombre Caído (HC) y Temperatura >40°C, destacando el evento 4 con el pico máximo de 10 alertas (8 HC + 2 Temp) en solo 1 hora de duración. El gráfico inferior presenta los datos registrados con una barra de color que indica duración (verde más intenso = mayor tiempo), y superpone la línea de alertas totales. Se observa que el evento 6 (16 minutos) no registró datos ni alertas, mientras que los eventos 1,2,3 (2h cada uno) acumulan la mayor cantidad de datos (24,22,24).

Figura 152

Registro eventos en Thingsboard



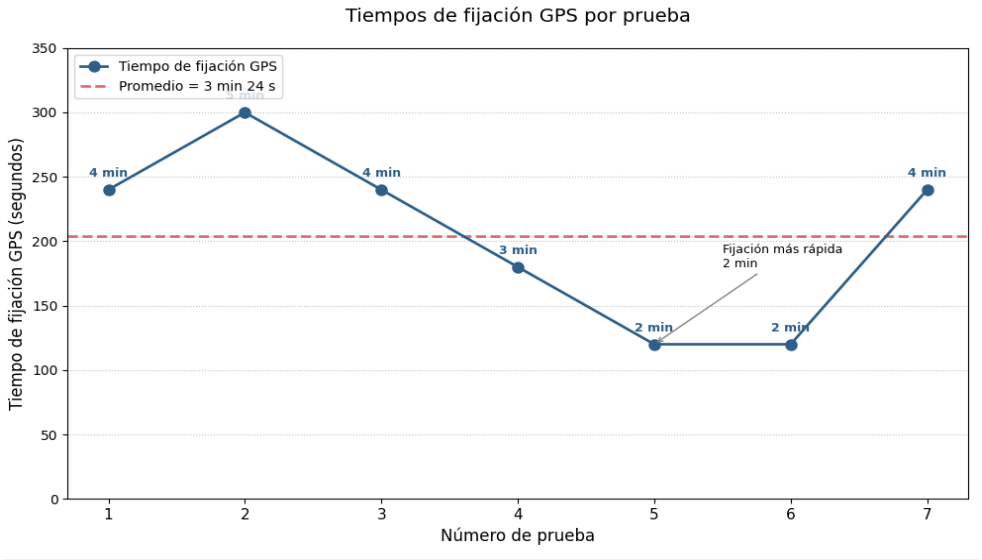
Nota: Resumen global indica 105 datos, 24 alertas (16 HC + 8 Temp) y una duración total de 9.8 horas. Identifica que mayor duración no siempre implica más alertas (evento 4 rompe la tendencia), y que la plataforma ThingsBoard registra adecuadamente la correlación entre eventos críticos y datos transmitidos. Fuente: Autoría propia

4.4.6 Tiempos de fijación GPS

El Figura 153 se tiene el tiempo estimado para las pruebas de la semana 3 en GPS arrojó un tiempo promedio de adquisición de 3.24 minutos, lo cual representa una estimación adecuada y un tiempo de respuesta coherente con las especificaciones del sensor GPS.

Figura 153

Resultados tiempo espera de la señal de GPS



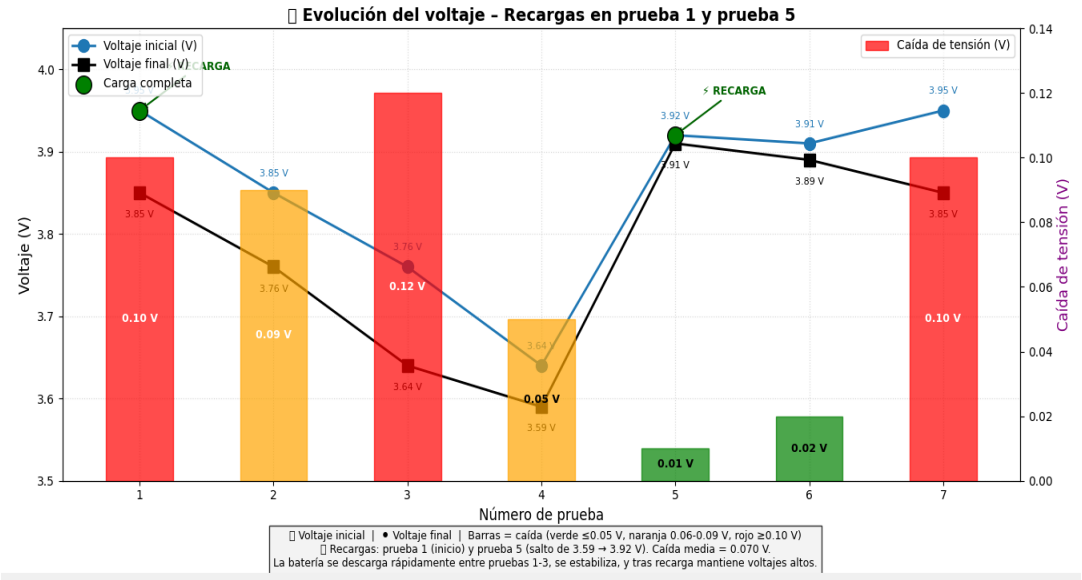
Nota: Se enlistan los resultados de siete eventos, detallando el tiempo de respuesta para la adquisición de la ubicación geográfica. Fuente: Autoría propia

4.4.7 Consumo de voltaje bloque nodo casco y nodo principal

Se registró una caída promedio de 0.07 V (≈1.82% del voltaje inicial). Los valores oscilaron entre 0.01 V (0.26%) y 0.12 V (3.19%), evidenciando en Figura 154 un comportamiento estable en la mayoría de las pruebas. Las pruebas 5 y 6 mostraron la menor variación (<0.5%), mientras que la prueba 3 presentó la mayor caída, posiblemente asociada a mayor demanda de corriente.

Figura 154

Evolución del consumo de voltaje

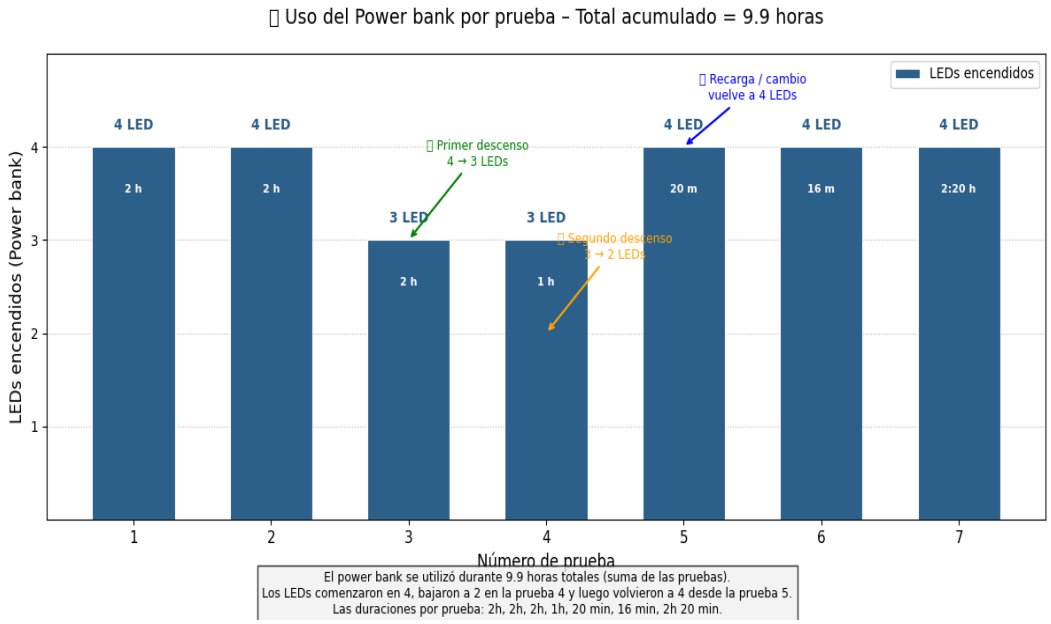


Nota: Evolución acumulada: 3.95 V a 3.59 V en cinco días (caída promedio 0.07 V). Se recomiendan 6 h de operación óptima (máx. 7 h) con voltaje mínimo de 3.60 V para evitar fallas o datos corruptos. Fuente: Autoría propia

Pruebas en relación con eventos 1 al 4: se tiene una autonomía estable (~2 h con 4 LEDs; 1–2 h con 3 LEDs). Pruebas 5 al 7: tiende a alta variabilidad con 4 LEDs (16 min, 20 min, 2:20 h) y se sugiriendo la degradación de batería se aprecia cambio que se puede presentar donde puede depender del nivel de carga tiene mayo consumo o nivel intermedio puede este índice menor de consumo en la Figura 155.

Figura 155

Consumo de la batería por el nodo Principal



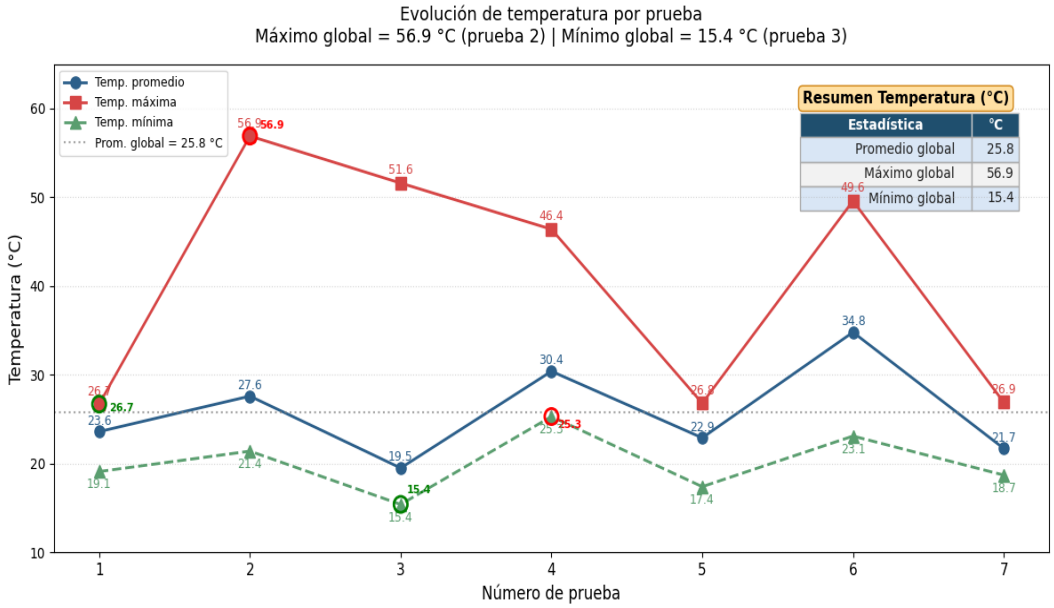
Nota: Se estima una duración de 4,5 h por LED, valor verificado en las pruebas de la semana 3 y tiempo estima 9.9 horas. Fuente**:** Autoría propia.

4.4.8 Pruebas temperatura y co (monóxido de carbono)

Cuatro pruebas superaron el umbral de alerta: prueba 2 (56.9 °C), prueba 3 (51.6 °C), prueba 6 (49.6 °C) y prueba 4 (46.4 °C), validando la capacidad del sensor para detectar eventos térmicos críticos. El resto de las pruebas se mantuvo en rango controlado (máx. ≤26.9 °C), confirmando la precisión del sistema en Figura 156 para discriminar entre condiciones normales y de riesgo.

Figura 156

Evolución de temperatura en la semana



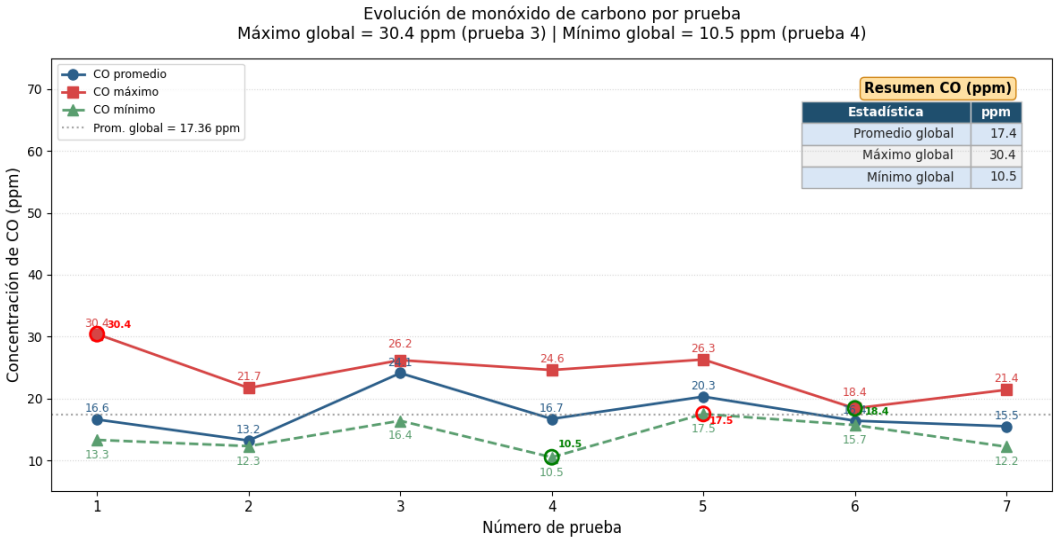
Nota: Cuatro pruebas superaron 40 °C (máx. 56.9 °C), validando la sensibilidad del sensor ante eventos térmicos críticos. Fuente: Autoría propia.

Monóxido de carbono (CO)

Los niveles de CO Figura 157 se mantuvieron predominantemente en rango bajo (10.5–30.4 ppm) en las siete pruebas. El promedio global fue de 17.36 ppm, con la prueba 3 registrando la mayor concentración promedio (24.1 ppm) y la prueba 6 la mayor estabilidad (rango de 2.7 ppm)

Figura 157

Evaluación del monóxido carbono en la semana 3



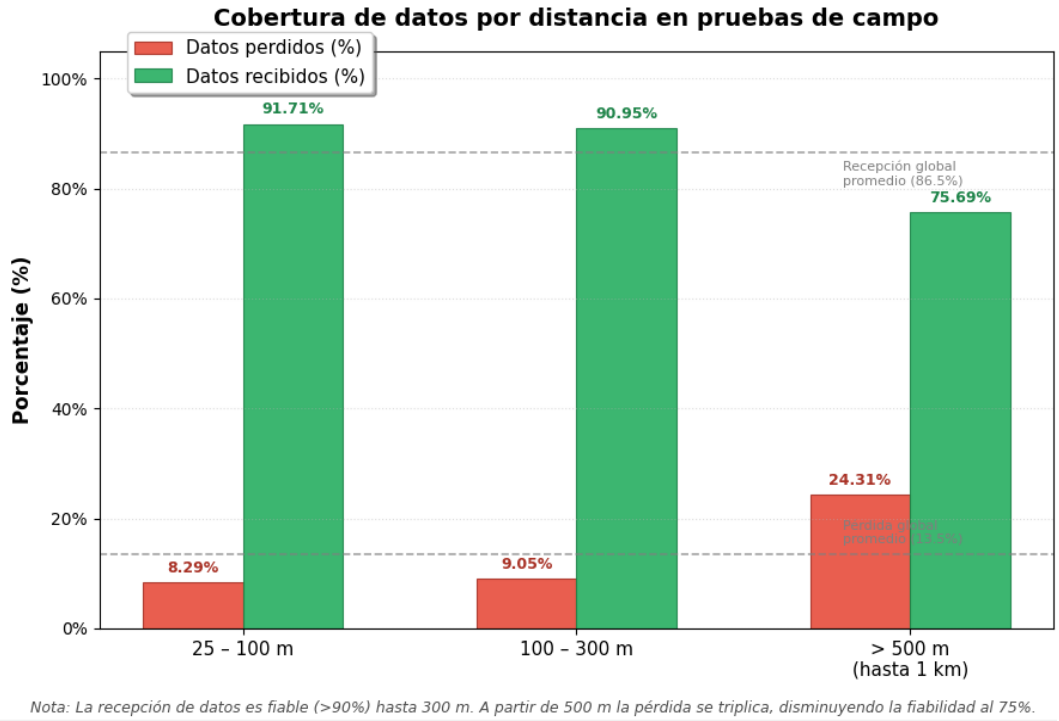
Nota: Niveles de CO en 7 pruebas: promedio global 17.36 ppm, rango típico 10.5–30.4 ppm. El sensor requiere un periodo de estabilización para su correcta calibración antes de la toma de mediciones. Fuente: Autoría propia.

4.4.9 Cobertura por distancia (pérdida de datos)

En la Figura 158 se evalúa la integridad de la transmisión de datos según la distancia de enlace, analizando la pérdida de paquetes en tres rangos (25–100 m, 100–300 m y >500 m) para determinar el umbral de confiabilidad del sistema y establecer criterios técnicos para el despliegue operativo de los nodos.

Figura 158

Resumen final de cobertura por distancia (pérdida de datos)



Nota: La recepción de datos es fiable (>90 %) hasta 300 m. A partir de 500 m la pérdida se triplica, disminuyendo la fiabilidad al 75 %. Fuente: Autoría propia.

4.4.10 Eficiencia global del sistema

En la Tabla 54 se resume el desempeño global de la comunicación durante 9:54 h de monitoreo, registrándose una recepción efectiva del 86.5 % (535 de 594 paquetes esperados). El RSSI promedio fue de –70.3 dBm, con fluctuaciones entre –19 dBm (señal óptima) y –91 dBm (límite de recepción), evidenciando una conectividad estable en la mayoría del periodo, aunque con intervalos de pérdida atribuibles a distancia, obstrucciones o interferencias.

Tabla 54

Eficiencia global

Indicador	Valor
Tiempo total monitoreado	594 min (≈9:54 h)
Paquetes esperados (1/min)	594
Paquetes recibidos	535
Paquetes duplicados	1
Minutos con dato	514
Minutos sin dato	80
% Recepción real total	86.5 %
% Recepción sin minutos perdidos	87.1 % (514/590)
RSSI Promedio Global (todas las pruebas)	–70.3 dBm
RSSI Máximo Global	–19 dBm
RSSI Mínimo Global	–91 dBm

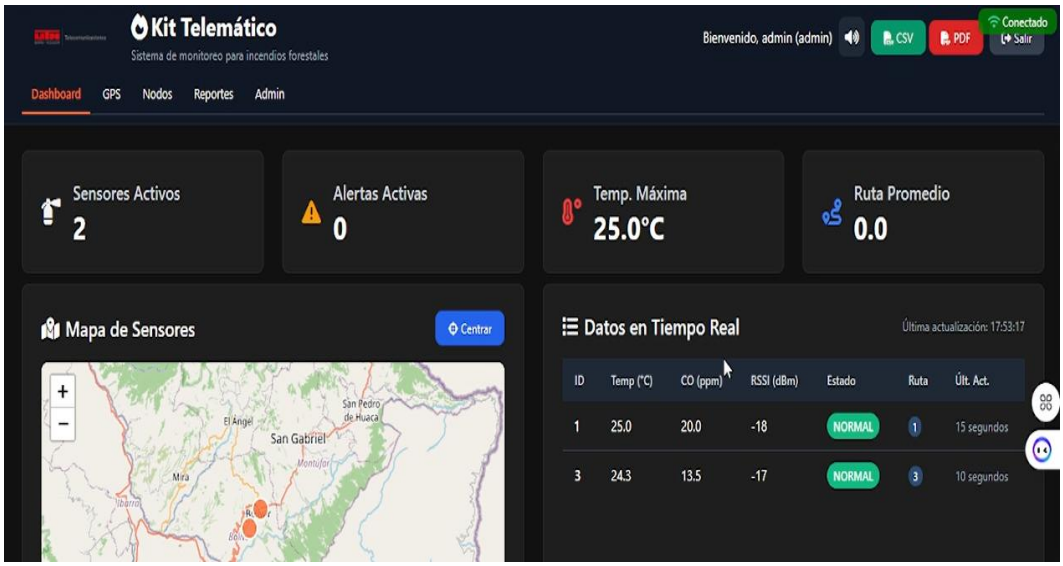
Nota: Monitoreo total: 594 min. Recepción real: están en porcentaje de 86.5 % a (535 paquetes). Con una señal RSSI promedio puede ser de: –70.3 dBm (rango: –19 a –91 dBm). Los 80 min sin dato representan el principal factor de pérdida de cobertura. Fuente: Autoría propia.

4.5 Pruebas con dos Nodos

Las pruebas de los nodos se gestionaron automáticamente en la plataforma. La Figura 159 se aprecia el número de nodos los cuales depende de los eventos y sus datos muestra en tiempo real de forma independiente lo que confirma la normalidad de las conexiones para los n nodos cascos.

Figura 159

Verificación de conexión de n nodos



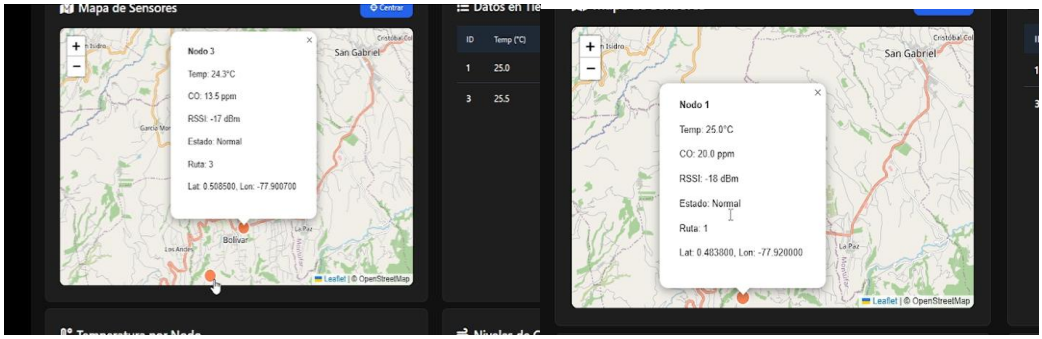
Nota: El comportamiento de dos nodos con actualización automática e independiente de sus datos, validando la capacidad de la plataforma para escalar y soportar un mayor número de equipos conectados**.** Fuente: Autoría propia.

Cabe recalcar que en la Figura 160 se muestra la ubicación de los nodos, donde del lado derecho se visualizan los datos del casco real (información real) y del lado izquierdo los datos simulados preestablecidos para verificación. Esto permite que se validara que los datos sean recibidos se procesan correctamente,

demostrando que el sistema funciona adecuadamente y ofrece un buen desempeño para una respuesta rápida ante las alertas generadas en campo.

Figura 160

Ubicación por nodo localmente

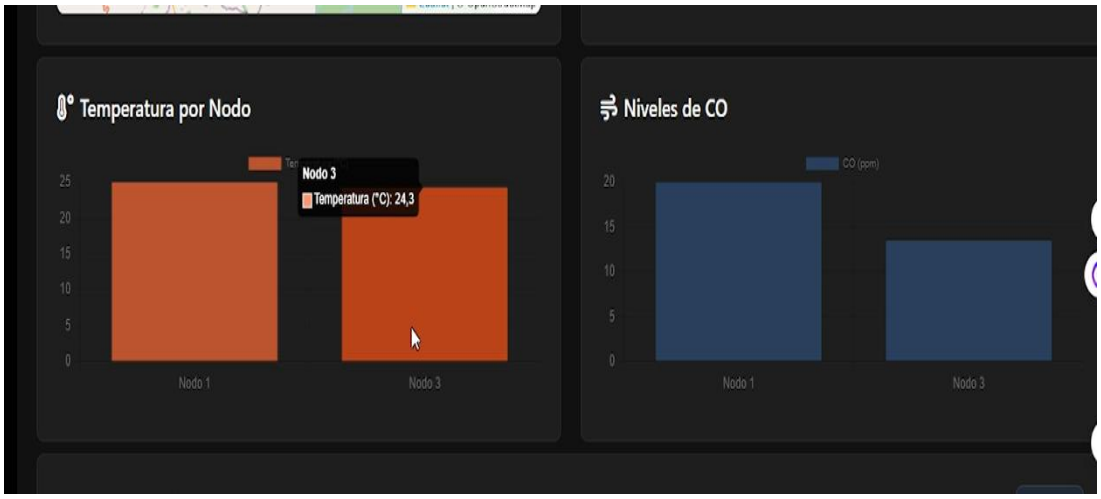


Nota: Evidencia la actualización independiente de dos nodos en tiempo real, confirmando que el sistema puede escalar para soportar múltiples equipos sin afectar su desempeño. Fuente: Autoría propia.

Al integrar más nodos al sistema se aumenta automáticamente las gráficas individuales para cada nodo para mantener la coherencia de datos. Figura 161 se identifica en el lado de la izquierda están los gráficos de temperatura y al otro lado a la derecha están los datos de monóxido de carbono (CO**)** y esto permite la separación del monitoreo sea independiente de ambos nodos en tiempo real.

Figura 161

N grafica por nodo nuevo



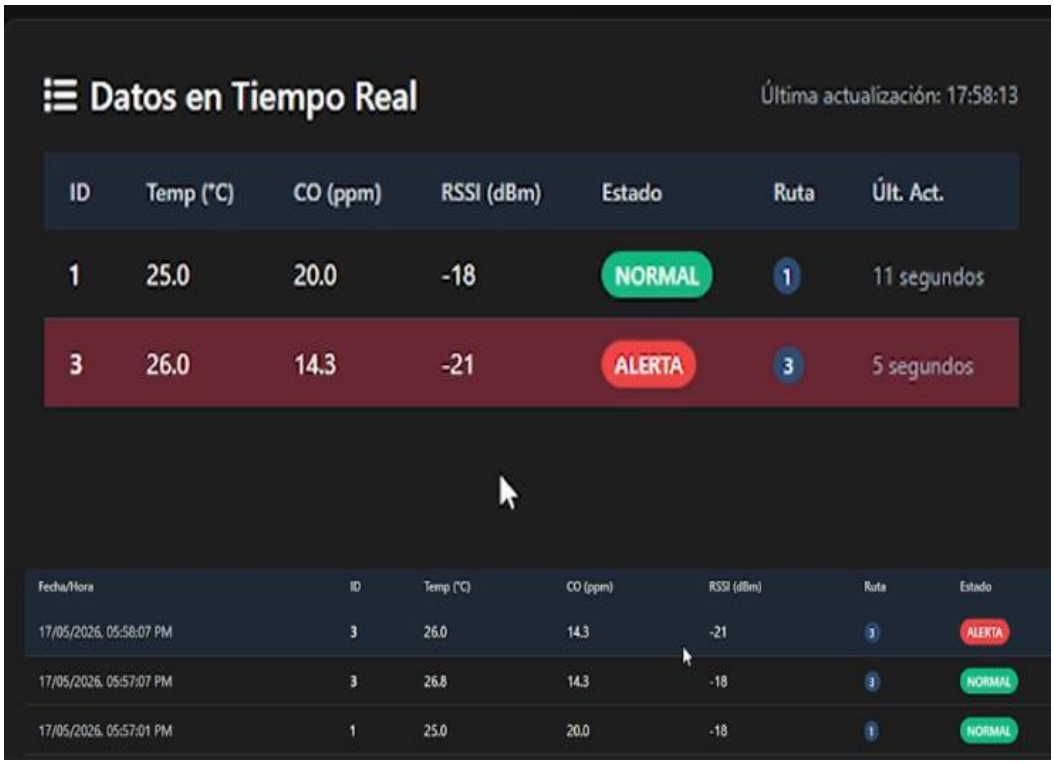
Nota: Gráficas se muestra independientes por los nodos para cada dato como son los de temperatura y monóxido de carbono (CO) por nodo y el monitoreo en tiempo real. Fuente: Autoría propia.

En Figura 162 se aprecia la ejecución de alerta se procesada de forma independiente y se puede tener la visualización de datos en tiempo real con el registro histórico que puede ser confirmar el correcto funcionamiento del sistema según lo planificado.

Se puede observó uno del caso de estudio que es la generación de la alerta con más de dos nodos se ejecutó la generación de alerta por cada uno ellos y otro mantendrá el estado normal. Lo que esto permite identificar que cada uno del nodo trabaja correctamente y se tuvo la expuesto de más equipos donde se garantiza funcioanmnito con mayor un número de nodos.

Figura 162

Alertas generadas y registro

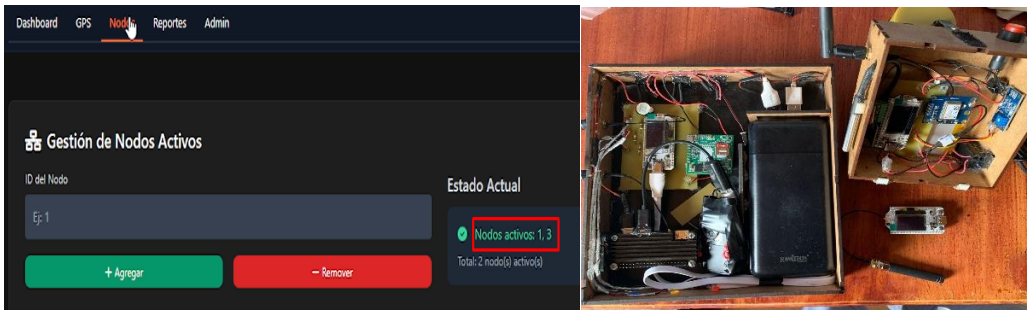


Nota: Registro automático de alertas independientes por nodo, mostrando las diferencias de estado entre cada uno. Fuente: Autoría propia.

La Figura 163 se tiene en cuenta la gestión de los nodos es parte (agregar y eliminar). Se ilustra el uso de más dispositivos para módulos de LoRa para el desplegar la red con múltiples equipos estarán conectados.

Figura 163

Verificación conexión y números equipos



Nota: Las pruebas con *n* nodos confirman el correcto funcionamiento del sistema, validando su aptitud para operación local e independiente. Fuente: Autoría propia.

4.6 Resultados de eficiencia Kit

Cabe mencionar que la Tabla 55 detalla los tiempos esperados para el inicio del kit, distribuido por bloques y nodos, y establece un máximo de 3 minutos para que el equipo arranque por completo y se reciban datos.

Tabla 55

Tiempo de iniciación del kit

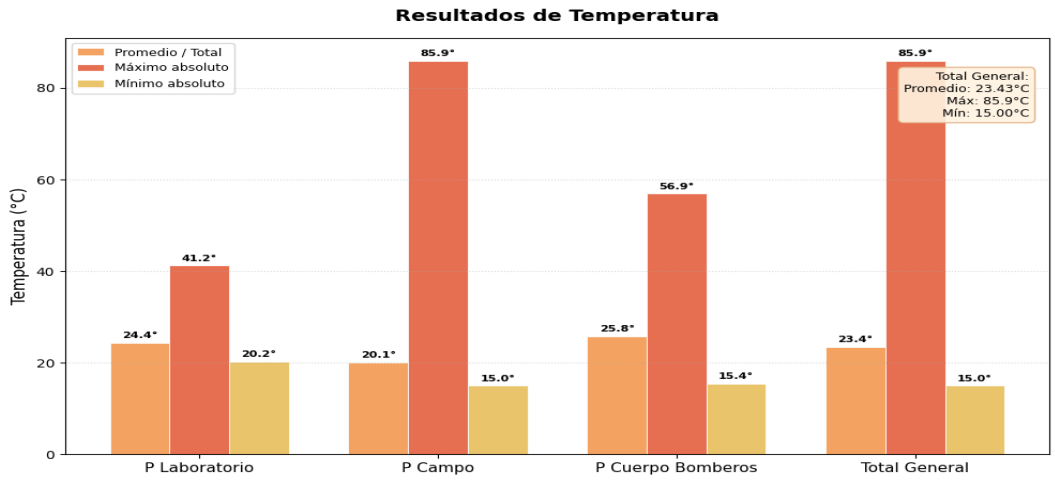
Nodo / Bloque	Concepto	Tiempo iniciar
Nodo Casco	Iniciación LoRa	60 segundos
Nodo Principal – Bloque 1	Iniciación LoRa	29.833 segundos
Nodo Principal – Bloque 1	Conexión con ThingsBoard	Estimado: 1–2 segundos Promedio: 1.012 segundos
Bloque 2 – Banana Pi Zero	Iniciación del sistema	(120–140 segundos)

Nota: Resume tiempos de inicio: Bloque 1 (29.8 s + ThingsBoard ~1 s), Bloque 2 (2:00–2:20 min), Nodo Casco (60 s). *Fuente:* Autoría propia.

Figura 164 evidencia que el nodo ubicado en el Campo alcanzó la temperatura máxima absoluta más alta (85.9 °C) y el promedio más bajo (20.1 °C). En contraste, el punto del Cuerpo de Bomberos registró la media más elevada (25.8 °C), y el Laboratorio mostró la menor variabilidad térmica, con el valor máximo más bajo (41.2 °C) y el mínimo más alto (20.2 °C). Es importante mencionar que los ensayos con mayores incrementos de temperatura se ejecutaron con el fin de observar el comportamiento del equipo y validar su operatividad, resultados que se reflejan en el gráfico de barras de los tres eventos estudiados.

Figura 164

Resumen de la temperatura



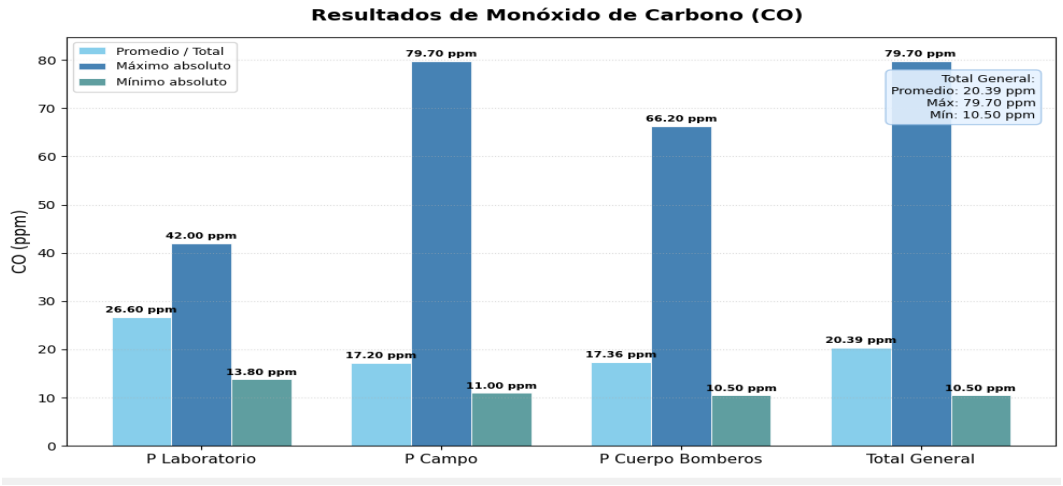
Nota: Temperaturas máximas, mínimas y medias registradas en los tres puntos de monitoreo durante los eventos de prueba. Fuente: Autoría propia.

Monóxido de carbono (CO)

Se confirma la correcta adquisición de datos de monóxido de carbono (CO) por parte del sensor. Según la Figura 165, el punto Campo obtuvo el pico máximo absoluto (79.7 ppm) y la media más baja (17.2 ppm), y el Laboratorio mostró la mayor media (26.6 ppm) con la menor variabilidad (máx. 42.0 ppm)."

Figura 165

Resultados de Monóxido de carbono



Nota: Datos globales consolidados expresados en ppm: media (20.39), máximo (79.7) y mínimo (10.50) Fuente: Autoría propia.

La Tabla 56 indica que Laboratorio demandó el mayor tiempo promedio de toma de datos (12 min), en tanto que Campo (4.02 min) y Cuerpo de Bomberos (3.4 min) resulta con un promedio general de 6.47 min

Tabla 56

Tiempo estimado para obtener GPS

Parámetro	Promedio minutos (m)
P Laboratorio	12

P Campo	4.02
P Cuerpo Bomberos	**3.4**
Total, General	6.47 m

Nota: El promedio general de 6.47 min se sitúa en un rango operativo adecuado.
Fuente: Autoría propia.

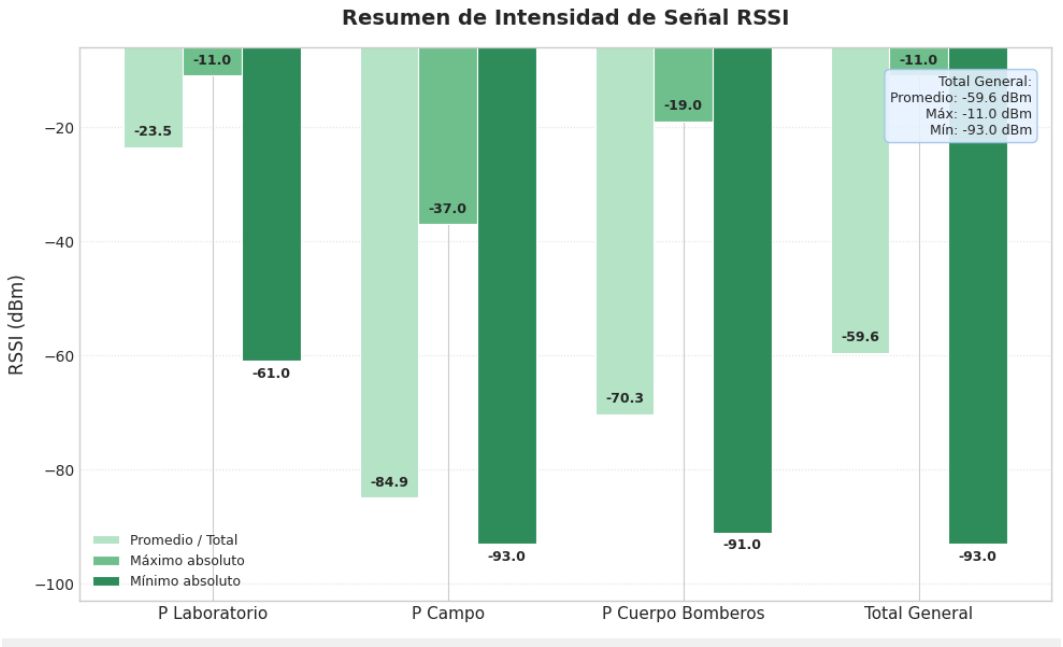
La Figura 166 evidencia en donde los eventos del laboratorio presentan la mejor condición en la recepción de señal. En la cual se tiene un promedio más alto (–11 dBm) respecto a los valores que lo sitúan en un rango de señal más excelente y con la menor atenuación en evento generado.

En el otro extremo de las pruebas son las opuesto en medio del Campo mostró el comportamiento más desfavorable con un promedio es más bajo (–84.9 dBm) y el mínimo absoluto de –93 dBm. En las condiciones que pueden mencionar que borde una señal deficiente y comprometen la estabilidad del enlace en el medio. En el Cuerpo de Bomberos se ubicó en un nivel intermedio con un promedio de –70.3 dBm y apenas en el umbral con una señal muy aceptable.

Se puede mencionar que el comportamiento general revela una dispersión significativa entre los eventos en donde se tiene un promedio global que es de –59.57 dBm y lo que refleja en entornos de propagación marcadamente disímiles.

Figura 166

Resumen de Intensidad de Señal RSSI



Nota: Potencia de señal expresada en dBm (valores más próximos a 0 indican mejor señal). Datos globales: promedio (–59.57 dBm), máximo (–11 dBm) y mínimo (–93 dBm). Fuente: Autoría propia.

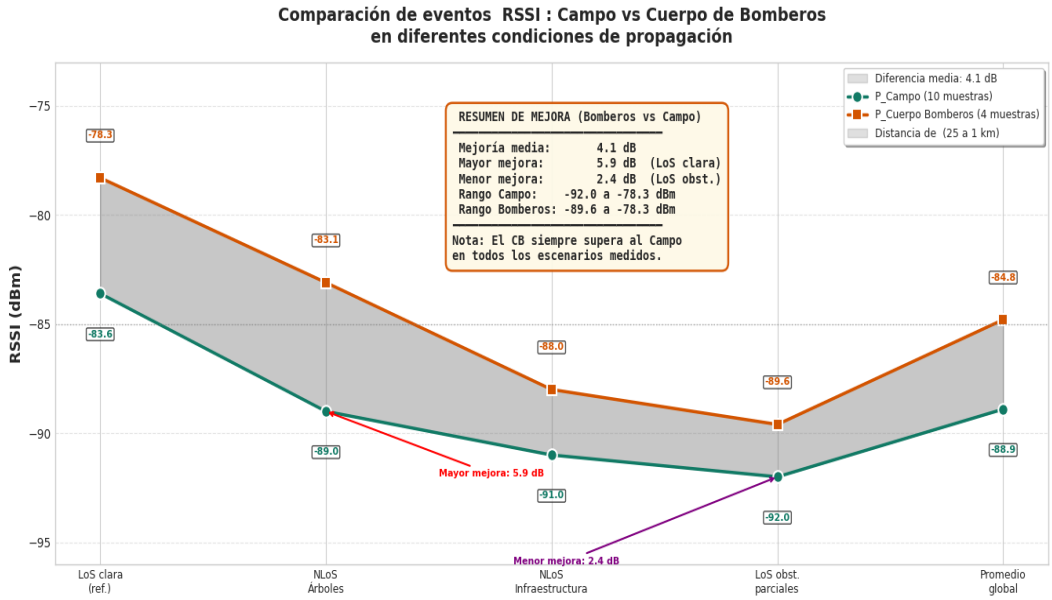
La Figura 167 se identifica el desempeño de cada prueba Campo y Cuerpo de Bomberos bajo cuatro condiciones de propagación se ejecutar para esta prueba. El Cuerpo de Bomberos mantuvo una consistentemente una mayor potencia de señal en la cual menciona ventajas que oscilaron entre los rangos de 2.4 dB y 5.9 dB según el escenario como los de (LoS y NLoS).

Donde se tiene una superioridad que se refleja con un promedio global (–84.8 dBm frente a –88.9 dBm). Cabe mencionar en las pruebas de Campo alcanzó su mínimo en LoS con obstáculos parciales con valores de (–92.0 dBm) en la cual

se aproximándose al umbral de sensibilidad del receptor y comprometiendo la integridad del enlace.

Figura 167

RSSI comparado: Campo vs. Cuerpo de Bomberos según condiciones de propagación.



*Nota***:** La señal está en promedio global de los cuatro escenarios como son pruebas de Campo (–88.9 dBm) y pruebas de Cuerpo de Bomberos (–84.8 dBm). Donde se registraron con mínimo absoluto en eventos de LoS con obstáculos parciales (–92.0 dBm en Campo). Fuente: Autoría propia.

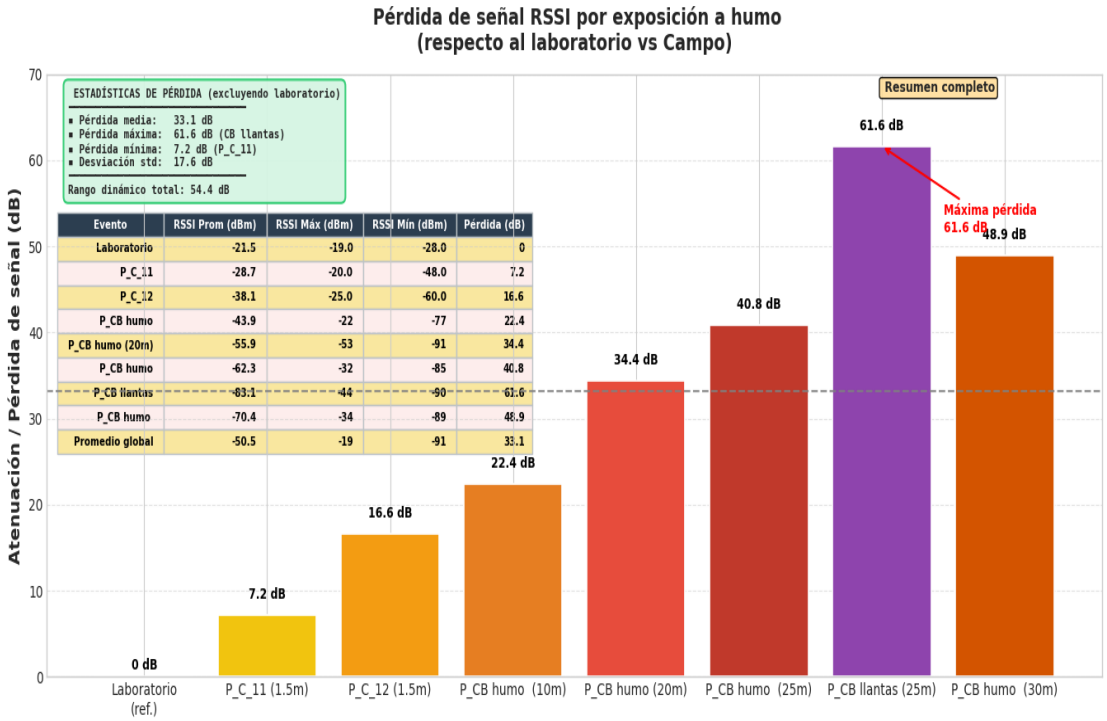
La Figura 168 pruebas por eventos de atenuación por humo y distancia genera impactos diferenciados en la potencia de señal recibida es notorio en los datos. El medio generado de pruebas de Laboratorio con una distancia de (0.30 m) en donde se obtuvo registros óptimos como son (promedio –21.5 dBm, máximo –19.0 dBm).

En las pruebas de Campo con distancia de (1.5 m) experimentó una degradación significativa bajo exposición de humo poco denso en el cual se menciona dicho evento P_C_12 alcanzando –38.1 dBm de promedio y –60.0 dBm de mínimo.

El escenario más crítico correspondió al Cuerpo de Bomberos bajo 'Humo de llantas' a 25 m con datos son –83.1 dBm (promedio) y valor de –90 dBm (mínimo), valores próximos al umbral de sensibilidad que comprometen la fiabilidad del enlace. El promedio global de –50.5 dBm, con un rango de –19 a –91 dBm, refleja la alta variabilidad de las condiciones de propagación evaluadas.

Figura 168

RSSI en eventos de explosión de humo a corta distancia



Nota: SSI en dBm. Promedios: Laboratorio –21.5, Campo –38.1, Cuerpo de Bomberos –83.1. En el Global: –50.5 dBm a un (rango –19 a –91 dBm), evidenciando atenuación proporcional a distancia y densidad de humo. Fuente: Autoría propia.

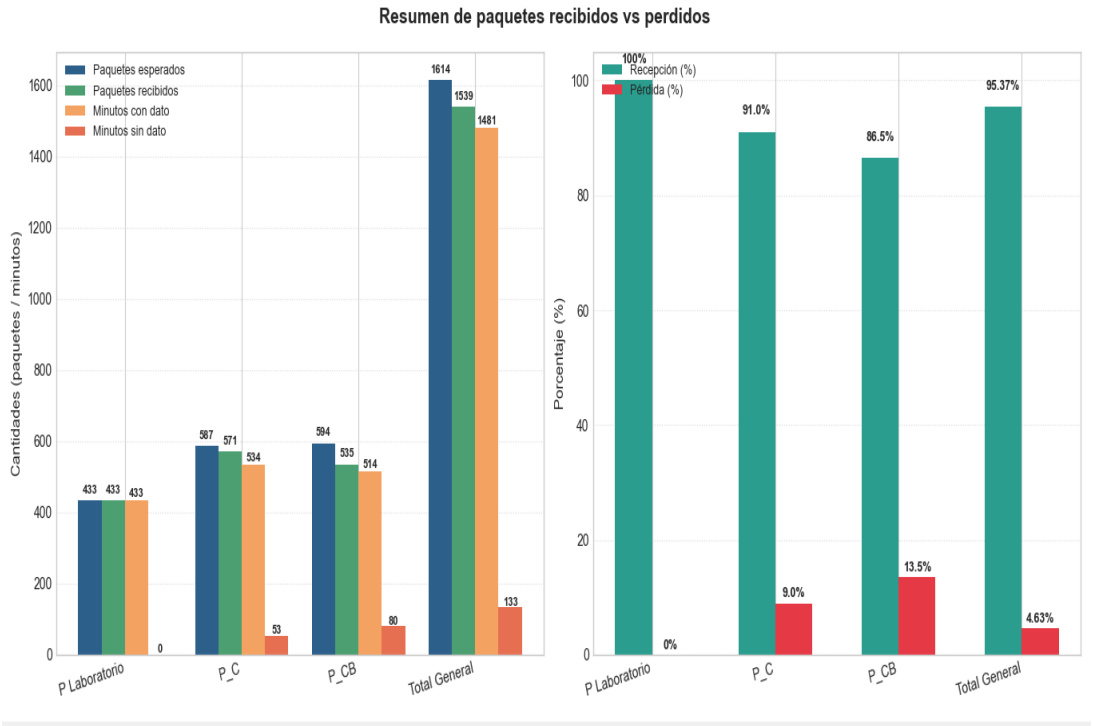
La representación de Figura 169 verifico que el nodo en pruebas de Laboratorio alcanzó una tasa de recepción del 100 % y no tuvo pérdidas de paquetes recibidos.

En las pruebas del Cuerpo de Bomberos registró la mayor tendencia de tasa de pérdida (13.5 %) de paquetes lo que equivale a aproximado de 80 minutos de interrupción en la transmisión de datos y mientras en las pruebas de Campo obtuvo una recepción promedio del 91.0 % una perdía de minutos de 53 minutos sin datos.

A nivel global, la tasa de entrega de paquetes (PDR) fue del 95.37 %, con una pérdida acumulada del 4.63 % Esto evidencia la viabilidad operativa del kit de mantenimiento, el cual logra conservar un equilibrio aceptable entre la recepción y la pérdida de información, manteniéndose dentro de un margen de eficiencia."

Figura 169

Resumen de Paquetes recibidos y perdidos



Nota: Eficiencia en entrega de paquetes (PDR) por nodo. El sistema alcanzó un PDR global del 95.37 % (1539/1614 paquetes), con el Laboratorio al 100 %, Campo al 91.0 % y Cuerpo de Bomberos al 86.5 %, evidenciando operación eficiente bajo distintas condiciones. Fuente: Autoría propia.

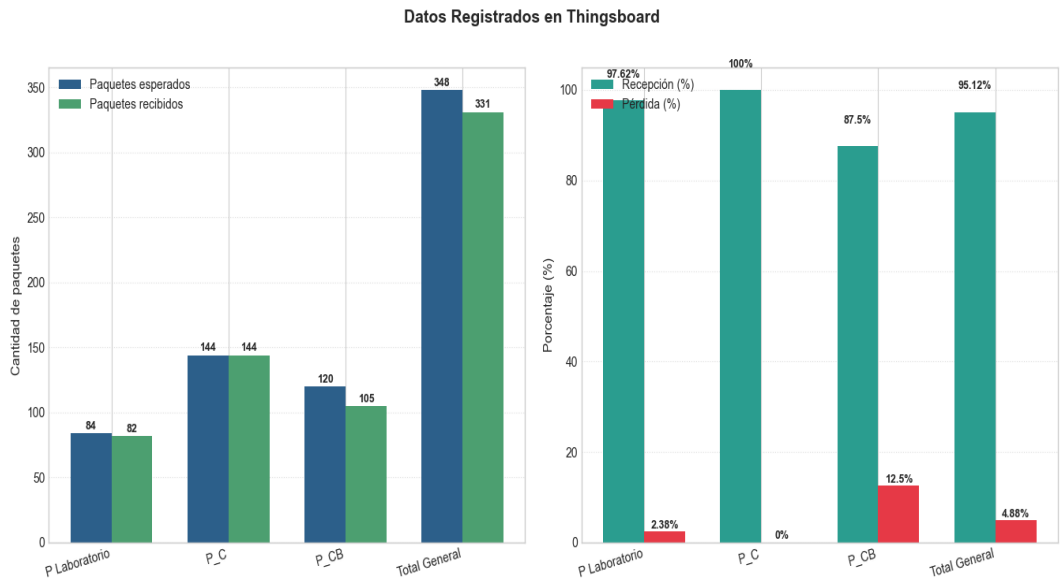
La Figura 170 detalla el desempeño en la entrega de paquetes hacia la plataforma Thingsboard. El Campo logró una tasa de éxito del 100 %, el Laboratorio exhibió una recepción del 97.62 %, y el Cuerpo de Bomberos registró la mayor pérdida (12.5 %).

El rendimiento global tubo el siguiente dato en porcentaje de PDR del 95.12 % en la cual tuvo una pérdida acumulada del porciento 4.88 %. Estos deducen que

los valores pueden confirmar la viabilidad técnica del kit de monitoreo como una de solución IoT completa entre envió de inflación. Ya que la pérdida tuvo un registro que se mantiene dentro de los márgenes aceptables para aplicaciones de telemetría en la recepción de datos del medio.

Figura 170

Datos Registrados en Thingsboard



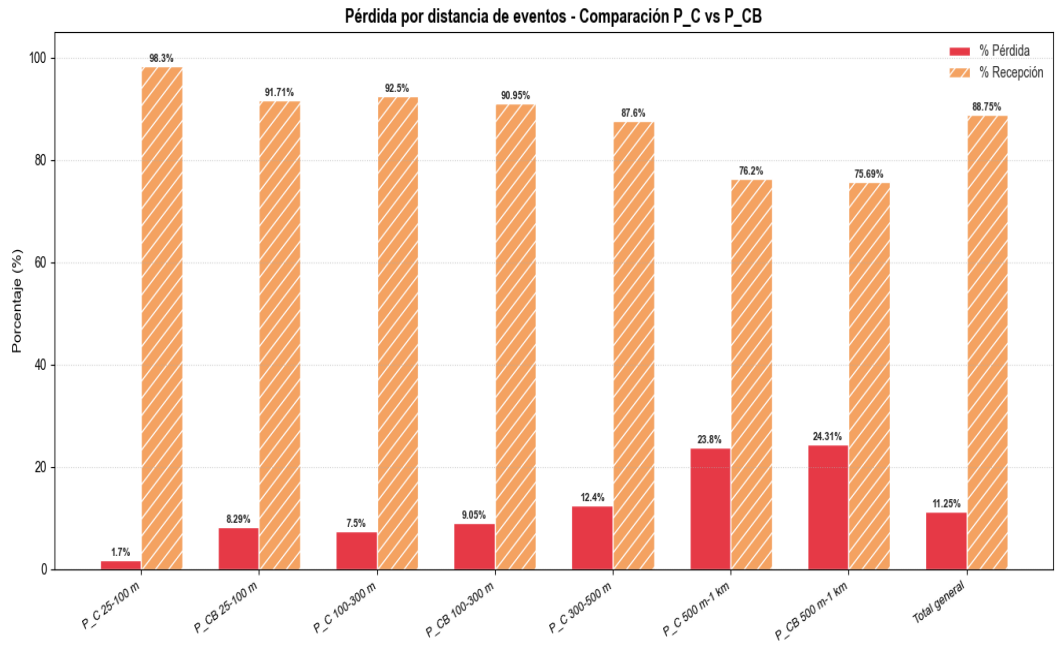
Nota: Eficiencia global de entrega en Thingsboard: con porcentaje de 95.12 % (331 a 348 paquetes). Y para el Laboratorio: 97.62 %, Campo: 100 %, Cuerpo de Bomberos: 87.5 %. Fuente: Autoría propia.

Como muestra la Figura 171, la degradación del enlace está directamente correlacionada con la distancia de transmisión. En los primeros dos rangos, el Campo demostró mayor robustez, con pérdidas de 1.7 % y 7.5 %, superando al Cuerpo de Bomberos.

Sin embargo, al alcanzar distancias entre 500 m y 1 km, ambos nodos experimentaron una pérdida crítica y similar (23.8 % y 24.31 %, respectivamente), evidenciando el impacto de la atenuación por distancia. El rendimiento global se situó en una recepción del 88.75 %, con una pérdida acumulada del 11.25 %."

Figura 171

Perdía por distancia de eventos: P_C vs P_CB 4

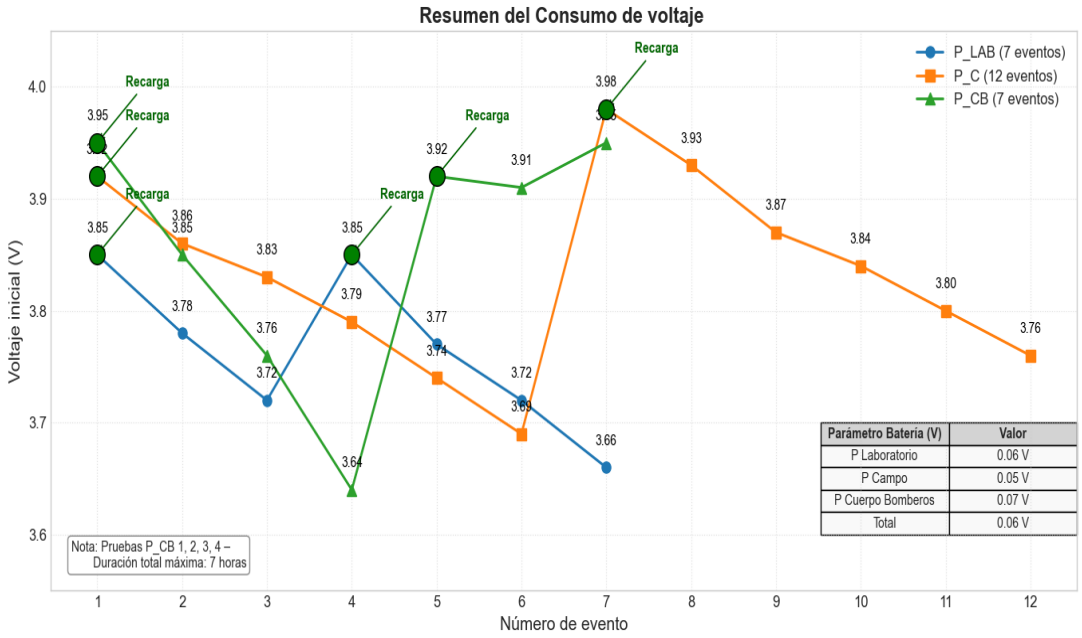


Nota: Recepción global del 88.75 % y pérdida acumulada del 11.25 %, confirmando que la degradación del enlace escala proporcionalmente con la distancia de transmisión. %. Fuente: Autoría propia.

La Figura 172 muestra una variación mínima en el voltaje de los nodos (0.05 V a 0.07 V). Con un promedio global de 0.06 con Max de 7 horas operativo.

Figura 172

Resumen de consumo de voltaje del nodo casco y puntos de medición.

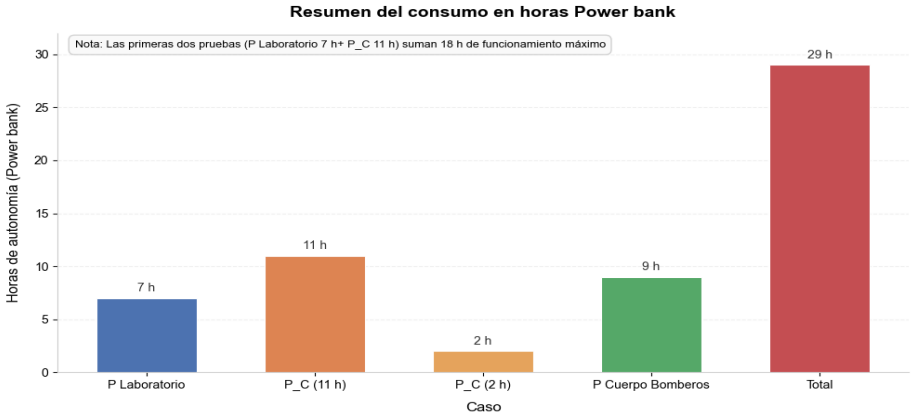


Nota: Se evidencia una demanda energética homogénea cual se puede mencionar que pruebas de Campo el de menor registro del consumo que es de (0.05 V) y pruebas de Cuerpo de Bomberos es mucho más mayor (0.07 V). Fuente**:** Autoría propia.

Según la Figura 173, el nodo del Campo registró la mayor duración de batería (13 h), superando al Cuerpo de Bomberos (9 h) y al Laboratorio (7 h), para un total acumulado de 29 h de la operación continua en comentar como se mencionó un resumen con las pruebas ya ejecutadas.

Figura 173

Consumo en horas del nodo principal

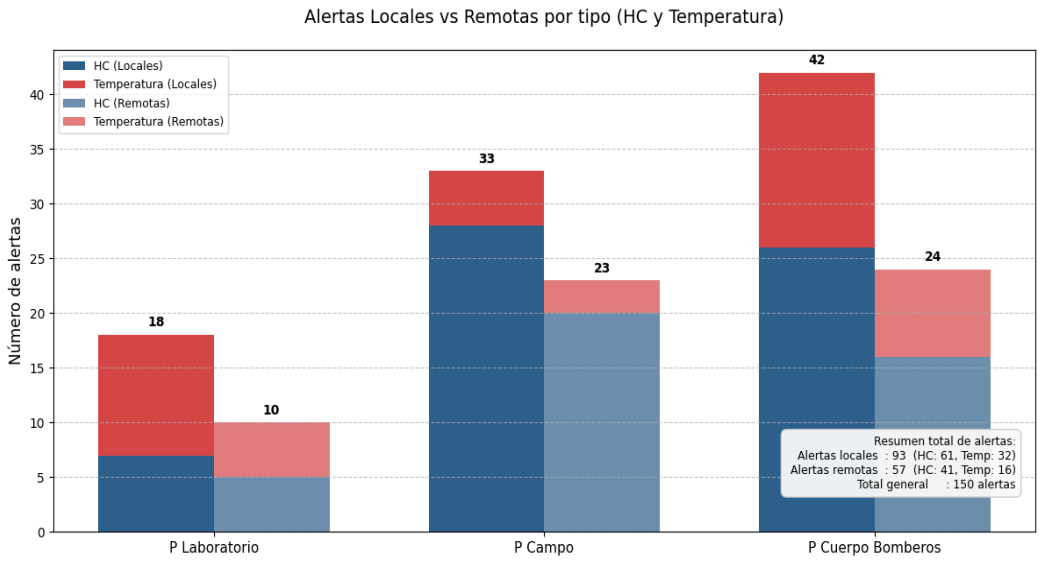


Nota: Autonomía total acumulada: 29 h. Campo: 13 h, Cuerpo de Bomberos: 9 h, Laboratorio: 7 h. *Fuente:* Autoría propia.

Figura 174 se evidencia el número 93 alertas locales generadas en pruebas de (Cuerpo de Bomberos con total de 42 para pruebas en Campo es de 33 y pruebas Laboratorio es 18) en donde predominios alertas de HC, y 57 remotas (61 % del total local). El Laboratorio mostró la distribución más homogénea entre alertas.

Figura 174

Alertas locales frente a remotas por tipo (HC y Temperatura)



Nota: Alertas generadas por nodo, con predominio de eventos por HC sobre temperatura y menor frecuencia en notificaciones remotas. Fuente: Autoría propia.

Como resultados finales se obtuvo un kit telemático en el cual se ejecutaron las pruebas ya mencionadas en la ilustración 175. El producto final contempla todos los accesos para el caso y comparaciones tipo caso de incendios forestales, en el cual se diferencia por peso, material más resistente, está adaptado a la necesidad que requiere, en el cual se completa con retroalimentación con cuerpo de bomberos sobre el kit como se observa en las figuras.

Figura 175

Finalización del Kit



Nota: Como resultados finales, se obtuvo un prototipo el cual se dio a conocer al cuerpo de bomberos con la finalidad de recolección de datos para salvaguardar la integridad de las personas. Fuente: Autoría propia.

4.7 Costo de Implementación

Se detalla el análisis económico correspondiente a la fabricación del prototipo funcional. Este apartado enumera los costos directos de los componentes electrónicos, materiales estructurales y periféricos necesarios para el ensamblaje del sistema completo, el cual consta de dos unidades principales: el nodo wearable (casco) y el nodo principal (estación base). Los precios reflejados corresponden a los valores de mercado al momento de la adquisición de los materiales y tienen como objetivo demostrar la viabilidad económica del proyecto para una posible producción o implementación piloto.

A continuación, se presenta la tabla desglosada con los insumos utilizados:

4.7.1 Costo de Hardware

El análisis de la Tabla 57 revela que la inversión total para el prototipo es de $413.1 USD Dentro de este presupuesto, el Nodo Casco, que es la unidad crítica que porta el bombero, representa un costo de $130 USD. Este valor incluye los sensores ambientales, la unidad de procesamiento LoRa, la batería y la carcasa impresa en 3D con aislamiento térmico. El restante de la inversión se destina al nodo principal (Banana Pi y módulo SIM), que actúa como gateway para la transmisión de datos a la plataforma IoT.

Considerando una de las funcionalidades se puede ofrecer sistemas para el (monitoreo en tiempo real, geolocalización, alertas tempranas y tendrá una autonomía energética muy eficaz para el medio). El costo para la implementación se considera bajo en comparación con soluciones comerciales existentes esto permite que se viable para económica para su adopción en cuerpos de bomberos forestales.

Tabla 57

Costos de materiales para la implementación del sistema

Material	**Precio unitario $**	**Cantidad**	**Total** $
WiFi LoRa 32(V3)	50	3	150
Sensor de temperatura	4	1	4
Acelerómetro y giroscopio	5	1	5
Sensor MQ7	7	1	7
Batería lipo	15,1	1	15,1
LM2596S	4	1	4
GPS	15	1	15
Banana Pi BPI-M4 Zero	120	1	120
DS18B20	4	1	4
SIM A7670sa	30	1	30
Corte laser MDF	20	1	20
Power Bank	37	1	37
Baquelita	4	1	4
Accesorios electrónicos	15	1	15
Cable tipo C datos	5	1	5
Recargas Claro	20	1	20
Total			428.1
Total, Nodo Casco			130

Nota: El costo total del Nodo Casco (unidad wearable) asciende a 130 USD, mientras que el resto corresponde al nodo principal 298.1 USD y componentes compartidos. Fuente**:** Autoría propia.

4.7.2 Costo de Software

En la Tabla 58 se enlistan los softwares utilizados, varios de los cuales fueron primordiales para la ejecución del proyecto. Cabe recalcar que cada software cumplió su objetivo específico; mientras unos se enfocan en la programación, otros lo hacen en el diseño, complementándose entre sí para la correcta ejecución del kit. Como sistema preferido se seleccionó el sistema operativo Ubuntu, el cual fue de vital importancia, ya que es el encargado de gestionar las alertas y el procesamiento de datos, garantizando un funcionamiento.

Tabla 58

Costo de Software

Software	**Precio unitario $**	**Cantidad**	**Total** $
IDE Arduino	0	1	0
Fritzing	0	1	0
Easyeda	0	1	0
Sistema operativo Ubuntu	0	1	0
Python	0	1	0
Thingsboard.cloud	0	1	0
Software CAD	0	1	0
Total			0

Nota: Los costos del software se mantienen en $0.00 ya que se utilizaron herramientas gratuitas y de código abierto. Fuente: Autoría propia.

4.7.3 Costo de Ingeniería

En el siguiente apartado se mencionan los costos de mano de obra de implementación, así como la parte de programación y el tiempo de ejecución, como se detalla en la Tabla 59. Cabe recalcar que cada actividad cumplió su objetivo, ya que unas se enfocan en la programación en C++ y Python, y otras en el diseño de la carcasa y del PCB, complementándose entre sí para la correcta ejecución del kit. Se tiene como actividad con mayor costo la instalación del kit con $100, la cual fue muy importante, ya que es la encargada de dejar operativo el sistema para un funcionamiento del 100%

Tabla 59

Costo de Ingeniería

Costo	**Precio unitario $**	**Cantidad**	**Total** $
Programación c++	25	2	25
Programación Python	70	1	70
Diseño Carcasa	15	2	30
Diseño PCB	10	2	20
Instalación Liberia	6	1	6
Instalación del Kit	100	1	100
Mantenimiento	25	1	25
Total			276

Nota: Corresponden a los costos estimados de mano de obra, programación y tiempo de ejecución necesarios para la implementación del kit, los cuales son

referenciales y pueden variar según el proveedor del servicio. Fuente: Autoría propia.

Los costos presentados esta relacionados con el servicio que se puede tener actividades como es la mano de obra invertidos para el desarrollo del kit telemático en donde se tomara en cuenta el tiempo de la programación mencionado también el diseño, la instalación y el mantenimiento del kit. Se puede mencionar que estos valores son referenciales y pueden variar dependiendo del proveedor o técnico que realice el servicio. En donde el proyecto mantiene un costo accesible al público y es muy viable para su replicación de los equipos para el cuerpo de bomberos.

4.7.4 Costo Global del Sistema

En el siguiente apartado se menciona el costo global del sistema, en el cual se suman los tres apartados anteriores: hardware, software e ingeniería, como se detalla en la Tabla 60. Cabe recalcar que cada rubro cumplió su objetivo dentro del proyecto, ya que el hardware aporta los componentes físicos, el software proporciona las herramientas de programación y diseño, y la ingeniería integra todo mediante la mano de obra y el tiempo de ejecución, complementándose entre sí para la correcta implementación del kit telemático

Tabla 60

Costo Global Kit

Costo	**Precio unitario $**	**Cantidad**	**Total** $
Costos de Hardware	424.1	1	424.1

Costo de Ingeniería	275	1	276
Costo de Software	0	1	0
Total			700.1

Nota: Los valores representa la suma total de hardware, software e ingeniería. Los cuales son referenciales y representan una inversión accesible para la implementación del kit telemático. Fuente: Autoría propia.

Se tiene como rubro con mayor costo el hardware con $424.1 USD, el cual fue muy importante ya que es el encargado de proporcionar todos los componentes físicos y sensores necesarios para el funcionamiento del sistema. Por otro lado, el software no representa costo alguno gracias al uso de herramientas de código abierto, y la ingeniería aporta el valor agregado de la implementación con $276 USD. El costo total del sistema asciende a $700.1 USD, lo cual representa una inversión accesible y viable para su replicación en el cuerpo de bomberos forestales.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se concluye que el kit telemático está diseñado para ofrecer soporte tecnológico mediante el envío de datos esenciales para el monitoreo del cuerpo de bomberos y personal autorizado, reduciendo los tiempos de respuesta ante situaciones de riesgo y garantizando una operativa eficaz y rápida.

El sistema presenta un tiempo de inicialización de 2 a 3 minuto esta califica en nivel satisfactorio. Tras las diversas pruebas de campo en analizar la comunicación entre los nodos LoRa a las distancias están desde los 0 a 1000 metros se puede mencionar que se obtuvo una señal RSSI global promedio de –59.57 dBm en los rangos de (máx. –11 dBm, mín. –93.0 dBm). El medio pruebas del Cuerpo de Bomberos superó a las pruebas de campo abierto con una señal RSSI está en un promedio de –84.8 dBm frente a –88.9 dBm (mejora media de 4.1 dB) lo que se mantiene con una mayor robustez e incluso con los obstáculos parciales (–92.0 dBm).

Las pruebas de atenuación expuesta por humo ten emos que partir de los valores de referencia en pruebas laboratorio que son ideales de –21.5 dBm. Mostraron en las distancias de 25 m el humo normal provocó una pérdida de 40.8 dB (–62.3 dBm) y mientras que el humo de llantas generó una atenuación mayor de 61.6 dB (–83.1 dBm). Con una diferencia de 20.8 dB en donde evidencia la mayor opacidad del humo de llantas. En cuanto a pérdidas por distancia a la corta distancia se obtuvo entre distancia de (25–300 m) en pruebas de campo pierde menos (1.7–7.5%) a relación pruebas Cuerpo de Bomberos tenemos perdía de (8.3–9.1%) y condición de larga distancia que esta desde (500 m–1 km) ambos pierden ~24%.

Demostrando que la distancia domina sobre el entorno o las pruebas. Promedio globalmente se obtuvo 88.75% de recepción.

La tasa de entrega de paquetes (PDR) alcanzó 100% en laboratorio, 91.0% en campo abierto (53 min sin datos) y 86.5% en el Cuerpo de Bomberos (80 min sin datos), con un PDR global del 95.37% (331/348 paquetes en Thingsboard), confirmando su viabilidad operativa.

El consumo energético tiene un promedio está en 0.06 v lo cual mostró una autonomía de 7 horas para el nodo casco es su límite máximo para funcionar y 18 horas para el nodo principal con power bank. El tiempo promedio para geolocalización fue de 6.47 minutos en donde se tiene (mejor registro: 3.4 min en Bomberos). En variables ambientales están presente son de la temperatura promedió 61.3 °C en rango de (máx. 85.9 °C a mín. 15 °C) y para el monóxido de carbono 62.63 ppm en un rango de (máx. 79.70 ppm a mín. 10.55 ppm). Donde el sistema genero alertas operó correctamente en las cuales se registrando temperaturas y alertas hombre caído en con tiempo respuesta de 1 a 3 segundos con notificaciones visuales y auditivas.

Las pruebas dentro de la escalabilidad confirman que el sistema mantiene su funcionalidad al incrementar el número de los nodos de casco bajo topologías esta la punto a punto o mesh con más nodos. Cada uno de dispositivo adicionales se tendrá que replicar el mismo comportamiento es igual para todos nodos cascos y del nodo principal con sus datos registrando y geolocalización de forma independiente en donde se muestra en el mapa. Donde se generó alertas individuales sin afectar los cambios de estado normal de los demás nodos y con un peso 320 g nodo casco y nodo principal con un peso 856 g.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda rediseñar el prototipo actual del nodo de casco para reducir su peso y volumen. El diseño actual puede presentar inconvenientes de movilidad en terrenos agrestes o con vegetación densa, aumentando el riesgo de enganches o resistencia al desplazamiento. Asimismo, es prioritario implementar recubrimientos con materiales aislantes térmicos que protejan la electrónica, garantizando el rendimiento del equipo ante altas temperaturas sin sufrir degradación.

Dado que el tiempo de inicialización para el sistema es esta en un rango de 2 a 3 minutos esto sugiere tiempo necesario para la verificar que la conexión en la plataforma registre correctamente con el ID numérico del nodo al momento del enlace o la conexión necesaria. En la parte de la optimizar el flujo de trabajo post-emergencia tendremos que habilitar una función de botones que generaran de forma manualmente un reporte en formato PDF al finalizar el evento. Esto es muy importante lo cual permitirá al usuario realizar búsquedas personalizadas y un análisis histórico detallado de las incidencias registradas en un resumen general.

Es fundamental revisar o inspeccionar minuciosamente las conexiones físicas de la batería y el estado del cableado. Tanto el nodo de casco como el nodo principal son altamente sensibles a las fluctuaciones de voltaje mini erro podría afectar. En la cual se puede presentar la deficiente que puede provocar caídas de tensión que afecten el funcionamiento en tener la generación de datos erróneos o, en casos extremos, causen daños irreversibles en los componentes. Se debe tomara los tiempos de monitorear para saber los estados de los ciclos de carga o ya se descarga para optimización recurso y se asegurar la fiabilidad del sistema.

Se debe evitar la manipulación de la configuración de fábrica, ya que esto podría alterar los parámetros de comunicación preestablecidos. Respecto al nodo principal, se recomienda no accionar los interruptores de manera repetitiva, pues esto podría dañar el circuito interno de alimentación o el *power bank*. El procedimiento operativo estándar debe consistir en un único encendido al iniciar la jornada y la desconexión física de los puertos USB al finalizar, con el fin de evitar activaciones accidentales y prolongar la vida útil de los componentes.

Se recomienda evaluar la implementación de sensor de temperatura con un tiempo de respuesta más normal en lo que se necesita un cambio en realizar pruebas ejecutadas estarán en enfocado para la medición más eficiente para las temperaturas ambiente como seri sensor de laser con previas pruebas. Aunque el sensor actual responde adecuadamente al calor directo, presentó latencia en la lectura ambiental durante las pruebas (incendio de llantas) y debido a su tiempo de exposición. Se sugiere utilizar un sensor cumpla con mejor protección pueda soportar condiciones del medio en cual menciona las características sensor que se utilizó está en un rango que soporta temperaturas de 125 °C este está protegido por una carcasa o funda cilíndrica de acero inoxidable en que asegure su durabilidad y una mayor precisión en entornos hostiles.

En tener la eficiencia de garantizar la transmisión continua de los datos hacia la plataforma remota como es caso (ThingsBoard). Se recomienda adquirir un plan de datos de operador de Claro de adecuado. Las pruebas desarrolladas demostraron que un plan de aproximadamente 8 USD que estará en vigencia durante 25 días de conectividad es suficiente para mantener la comunicación estable del equipo y reflejar las variables de monitoreo en tiempo real sin interrupciones.

Bibliografía

Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). (2018). *ARCOTEL-2018-0661-2018-08-01-RADIOCOMUNICACIONES-MDBA-MATRIZ*.

Alfaiot. (2023). *LPWAN: ¿Qué son las redes de área amplia de baja potencia?* https://alfaiot.com/iot/lpwan/

Alfaro, M., Muñoz, F., Romo, R., Farías, D., Chavarriga, M., & Fregonara, P. (2020). *A C A D E M I A N A C I O N A L D E B O M B E CONTROL DE INCENDIOS FORESTALES PARA BOMBEROS*. www.anb.cl

Alvarado, C., & Pascual, I. (2007). *RIESGOS FÍSICOS NO COMUNES SUBYACENTES EN LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES Y SU PREVENCIÓN CON EPI ADECUADOS*.

Ansón, J. P. (2021). *El bombero frente al estrés térmico Medidas preventivas*.

Azuton. (2019). *IoT en LPWA Tecnología LPWA (área amplia de baja potencia)*. https://azuton.com/iot-em-lpwa/

Banana Pi BPI-M4 Zero with Allwinner H618 chip design with 2G RAM-Banana Pi open source hardware community,Single board computer, Router,IoT,STEM education. (2022). 2022. https://www.banana-pi.org/en/banana-pi-sbcs/171.html

¡Bomberos Portoviejo prioriza la salud de su personal! – Cuerpo de Bomberos Portoviejo. (2023). https://bomberosportoviejo.gob.ec/bomberos-portoviejo-prioriza-la-salud-de-su-personal/

Bomberos Quito. (2020). *Informé de Gestión 2020*.

Carvalza. (2024). *¿Qué es GPS? - ¿Cómo funciona un GPS?* https://www.carvalza.es/que-es-un-gps/?srsltid=AfmBOoqdDrjr38NC1Nobh22niqXrZpVlZErVYI--wMAs3IfMyc-mp9o1

Conaf. (2024). *Implementan nueva tecnología para detectar incendios en Reserva Nacional Lago Peñuelas - CONAF*. https://www.conaf.cl/implementan-nueva-tecnologia-para-detectar-incendios-en-reserva-nacional-lago-penuelas/

Cruel, L. (2018). *INNOVACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE SENSORES INALÁMBRICOS*.

Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito. (2009). *Manual de procedimientos: Coordinación de emergencias – Control de incendios (Incendio declarado)*.

El COMERCIO. (2015, September 7). *Incendio forestal en Puembo segó la vida de un tercer bombero - El Comercio*. https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/quito-bombero-muerte-incendio-puembo.html

Erazo P, J. K., & Hervas P, C. A. (2014). *Sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas (Zigbee)*.

ESIC. (2024). *Qué son los Stakeholders y su relación con una empresa | ESIC*. https://www.esic.edu/rethink/management/que-son-los-stakeholders

Esri. (2022). *derecho_grupal.docx*. https://utneduec-my.sharepoint.com/:w:/r/personal/zjmonterosb_utn_edu_ec/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7Ba7b498ae-d0b7-41e0-ae4b-d6acfd5a8af1%7D&action=edit&wdPid=5465496

Gahona, R., & Gavilena, A. (2020). *DISEÑO DE LA RED INTERNET DE LAS COSAS (IOT) PARA EL EDIFICIO DE LA EMPRESA CONSEL*.

Geeknetic. (2022). *Bluetooth: Características y Diferencias de todas sus versiones*. https://www.geeknetic.es/Guia/2342/Bluetooth-Caracteristicas-y-Diferencias-de-todas-sus-versiones.html

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Bolívar- Provincia del Carchi. (2018). *Plan de Contingencia para Actuación en Situaciones de Emergencia en Época seca en el Cantón Bolívar.* www.municipiodebolivar.gov.ec

Gómez, J. (2022). *Topologías de red: ¡todo lo que necesitas saber!* https://www.tokioschool.com/noticias/topologias-red/

Gy-87 Modulo Sensor Imu 10dof - UNIT Electronics. (2025). https://uelectronics.com/producto/gy-87-modulo-sensor-imu-10dof/

Hernandez, J. (2023). *Sesión 3: LoRa/LoRaWAN - HackMD*. https://hackmd.io/@LF0FqZwDTDWM-MMK06IEWA/S1ebk4ZPn

Industrias GSL. (2021). *Sensor de CO2 – Industrias GSL*. https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sensor-de-co2?srsltid=AfmBOoqYjUU5hMRgdKskhnSR5sSmLQJiYG4RCDVV4feGiMhe_mJ33TAo

ISO/IEC/IEEE 29148:2018 - Ingeniería de sistemas y software — Procesos del ciclo de vida — Ingeniería de requisitos. (2018). https://www.iso.org/standard/72089.html

ITU. (2012). *UIT-T Rec. Y.2060 (06/2012) Descripción general de Internet de los objetos*. http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en.

Johanna, P., & Cecibel, L. (2018). Evolución de las Metodologías y Modelos utilizados en el Desarrollo de Software. Evolution of the Methodologies and Models used in Software Development. *INNOVA Research Journal*, *3*(10), 20–33.

LA NACIÓN. (2024). *Día del Bombero Voluntario: por qué se celebra hoy y cómo colaborar para su funcionamiento - LA NACION*. https://www.lanacion.com.ar/sociedad/dia-del-bombero-voluntario-por-que-se-celebra-hoy-y-como-colaborar-para-su-funcionamiento-nid02062024/

La Razon. (2018). *Redes inalámbricas: gratis, universales y ¿seguras?* https://www.larazon.es/hablemos-de-futuro/redes-inalambricas-gratis-universales-y-seguras-HE19953675/

Lee, E. (2023). *Comparativa entre LoRa y WiFi. Estas son las ventajas y las desventajas...* https://internetdelascosas.xyz/articulo.php?id=3917

Lidice, R., Piña, F., & Goire, M. (2018). Red de sensores inalámbricos para las casas de cultivos protegidos “San José.” *RIELAC*, *1*.

LoRa vs Zigbee | Difference between LoRa and Zigbee. (n.d.). Retrieved January 10, 2025, from https://www.rfwireless-world.com/Terminology/LoRa-vs-Zigbee.html

Magazieee. (2021). *Domótica, Smart, IoT, cual, donde, cuando y porque no - MagazIEEE Ecuador*. https://r9.ieee.org/ecuador-magaz/domotica-smart-iot/

Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2018). Descripción general de las tecnologías LPWAN celulares para la implementación de IoT: Sigfox, LoRaWAN y NB-IoT. *2018 IEEE International Conference on Pervasive*

Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 197–202. https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2018.8480255

Mosquera, A., & Cepeda, B. (2023). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL*.

Muvit. (2023). *Las ventajas de la tecnología inalámbrica en nuestro día a día - Muvit*. https://www.muvit.es/blog/domotica/ventajas-de-tecnologia-inalambrica?srsltid=AfmBOopjKwHN1yHR2yyArETo1AYD0t6KqvOcGyQuvJ05Rvma9rAOAz-D

Naciones Unidas. (2030). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. www.issuu.com/publicacionescepal/stacks

Naylampmechatronics. (2023). *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)*. https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html

Odongo, G. Y., Musabe, R., Hanyurwimfura, D., & Bakari, A. D. (2022). An Efficient LoRa-Enabled Smart Fault Detection and Monitoring Platform for the Power Distribution System Using Self-Powered IoT Devices. *IEEE Access*, *10*, 73403–73420. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3189002

Pascua, E. (2021). *5 cosas que debes saber sobre el mercado LPWAN en 2021*. https://iot-analytics.com/5-things-to-know-lpwan-market/

Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, *1*(1), 10–18. https://doi.org/10.29166/REVFIG.V1I1.1800

Plana, E., Font, M., & Serra, M. (2016). *LOS INCENDIOS FORESTALES GUÍA PARA COMUNICADORES Y PERIODISTAS*. http://efirecom.ctfc.catowww.lessonsonfire.eu

PREVIFOR. (2023). *Tipos de clasificación de los incendios forestales. - PREVIFOR*. https://previfor.org/tipos-de-clasificacion-de-los-incendios-forestales/

Prometec. (2023). *Redes LPWAN, LORA y LORAWAN – Prometec*. https://www.prometec.net/lora-lorawan/

Robotshop. (2023). *Sensor de Gas MQ-135 - RobotShop*. https://www.robotshop.com/es/products/sensor-de-gas-mq-135

Sánchez, A. (2014). *Así son los nuevos trajes de los bomberos | El Diario Vasco*. https://www.diariovasco.com/20140419/local/bomberos-nuevo-traje-201404190915.html#&ref=

Sarco, J. (2012). *ISTQB – Cap 2 – Testing a través del ciclo de vida del software – I – Testing en Español*. https://josepablosarco.wordpress.com/2012/03/24/istqb-cap-2-testing-a-traves-del-ciclo-de-vida-del-software-i/

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2024, September 20). *SitRep No. 45 – Incendios Forestales, del 01 de enero de 2024 a la fecha*.

SGR. (2017). *Juntos y comprometidos con la Reducción de Riesgos y Desastres*. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/03/Informe-L%C3%BAdico-2.pdf

Sigfox vs LoRa: comparando redes LPWAN – Blog de Sofia2 IoT Platform. (2017). https://sofia2about.wordpress.com/2017/05/24/sigfox-vs-lora/

SINC. (2015). *Un sistema protege a los bomberos de la temperatura y del humo en incendios*. https://www.agenciasinc.es/Noticias/Un-sistema-protege-a-los-bomberos-de-la-temperatura-y-del-humo-en-incendios

SNGRE. (2024). *Imbabura y Carchi afectadas por incendios forestales*. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/imbabura-y-carchi-afectadas-por-incendios-forestales/

SONY. (2022). *¿Qué es la tecnología Bluetooth inalámbrica? | Sony América Latina*. https://www.sony-latin.com/es/electronics/support/storage-recording-media/articles/00030769

Suanzes, R. (2024). *Diseño e implementación de una red de mando y control para la Armada basada en Meshtastic*.

Tatayo Vinueza, E., & Llugsi Cañar, R. (2022a). Implementación de una mini-red de sensores inalámbricos para detección temprana de incendios forestales. *Revista de Investigación En Tecnologías de La Información*, *10*(21), 88–99. https://doi.org/10.36825/RITI.10.21.008

Tatayo Vinueza, E., & Llugsi Cañar, R. (2022b). Implementación de una mini-red de sensores inalámbricos para detección temprana de incendios forestales. *Revista de Investigación En Tecnologías de La Información*, *10*(21), 88–99. https://doi.org/10.36825/RITI.10.21.008

Tecnelec. (2019). *5 ventajas de los sistemas contra incendios*. https://www.tecnelec.com.co/5-ventajas-de-los-sistemas-contra-incendios

Torres, E. (2021). *Prevención de Riesgos en el Combate de Incendios Forestales*. https://www.achs.cl/docs/librariesprovider2/empresa/centro-de-

fichas/trabajadores/prevencion-de-riesgos-en-el-combate-de-incendios.pdf?sfvrsn=cc677501_0

Tp-Link. (2020). *What is Mesh WiFi? | Whole Home Mesh WiFi | TP-Link*. https://www.tp-link.com/es/mesh-wifi/

Unisystem. (2024). *Transmisión de datos: aspectos técnicos y comerciales - Unisystem - Proveedor y fabricante de displays*. https://unisystem.com/es/uni-abc/transmision-de-datos-aspectos-tecnicos-y-comerciales

Vega, A., & Gonzales, R. (2023). *Análisis comparativo de Tecnologías LPWAN para la implementación de servicios de IoT*.

Verso, L. (2024, February 16). *Ecosensors: evaluación del riesgo de incendios forestales - Catsensors*. https://www.catsensors.com/es/catsensors/catnews/ecosensors-evaluacion-del-riesgo-de-incendios-forestales

Visiotech. (2024). *WiFi 7: la nueva era de la comunicación inalámbrica*. https://www.visiotechsecurity.com/es/noticias/378-que-es-wifi-7

WiFi LoRa 32(V3), ESP32S3 + SX1262 LoRa Node, Meshtastic and LoRaWAN Compatible – Heltec Automation. (2023). 2023. https://heltec.org/project/wifi-lora-32-v3/

Anexos

Anexo1: Encuestas

Anexo Uno requerimientos

1. ¿Indique el cargo que ocupa en el Cuerpo de Bomberos?

2. ¿Ingrese el número de miembros que corresponden al Cuerpo de Bomberos

5

9

14

3. ¿Cuál es la distribución de personal en el Cuerpo de Bomberos, incluyendo la cantidad de bomberos, auxiliares y contadores?

4. ¿Cuál es el nivel de necesidad de cada uno de los siguientes dispositivos en tus operaciones durante incendios forestales?

Dispositivo	Nada necesario	Poco necesario	Neutral	Necesario	Urgente
Sensor de CO2/gases tóxicos	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
Sistema de detección "hombre caído"	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
Sensor de temperatura ambiente	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
GPS	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

5. ¿Con qué condiciones extremas se enfrentan regularmente durante incendios?

Seleccione una o más respuestas.

☐ Altas temperaturas

☐ Humo denso

☐ Visibilidad limitada

☐ Comunicación limitada

☐ Terreno inestable

☐ Todas las anteriores

Anexo 2

1. ¿Con qué frecuencia trabajan en zonas con poca señal o cobertura?

☐ Nunca

☐ A veces

☐ Frecuentemente

☐ Siempre

2. ¿Qué tan importante es que el equipo sea tamaño apropiado, liviano y resistente?

☐ No es importante

☐ Poco importante

☐ Importante

☐ Muy importante

3. ¿Han tenido problemas con equipos que no resisten el calor de los incendios?

☐ Nunca

☐ Pocas veces

☐ Varias veces

☐ Muy seguido

4. ¿Qué tan importante es que la comunicación del sistema se adapte a la zona donde se trabaja

☐ No lo necesito

☐ Sería útil

☐ Es necesario

☐ Muy necesario

5. ¿Qué tan útil le parece que el sistema guarde los datos y los envíe automáticamente a una plataforma?

☐ No es útil

☐ Poco útil

☐ Útil

☐ Muy útil

6. ¿Cómo prefiere ver los datos que recopila el sistema durante una emergencia?

☐ En una aplicación móvil o página web, en tiempo real

☐ En una pantalla que esté integrada en el equipo

☐ No necesito ver los datos durante la operación

7. ¿Qué tan importante considera que el sistema emita notificaciones automáticas en el nodo principal y las envíe a los dispositivos cercanos del personal durante una emergencia?

☐ No es importante

☐ Poco importante

☐ Importante

☐ Muy importante

☐ Necesario siempre

8. ¿Les interesa tener acceso a un historial de incendios y datos antiguos?

☐ No me interesa

☐ Sería útil para revisarlo ocasionalmente

☐ Sí, lo usaríamos para analizar y prepararnos mejor

☐ Es muy importante para nuestra planificación

9. ¿Qué tan importante considera que el kit telemático sea compatible con dispositivos móviles o tablets durante las operaciones en incendios forestales?

☐ No es importante

☐ Sería útil

☐ Es necesario

☐ Es fundamental para nosotros

10. ¿Cómo debería ser la app o pantalla del sistema para que sea fácil de usar?

☐ Que esté en español

☐ Que tenga símbolos o iconos claros

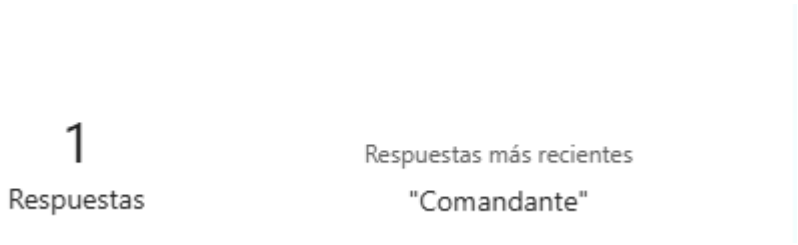
☐ Que sea simple de entender

☐ Todas las anteriores

Anexo2: Resultados de encuestas

Encuesta 1

1. ¿Indique el cargo que ocupa en el Cuerpo de Bomberos?



El respondiente ocupa el cargo de comandante, lo que indica que sus respuestas reflejan necesidades estratégicas y operativas a nivel de mando, no solo perspectivas individuales. Como máxima autoridad del cuerpo o también sus prioridades en equipamiento telemático consideran tanto la seguridad colectiva como la efectividad operativa general durante emergencias**.**

2. ¿Ingrese el número de miembros que corresponden al Cuerpo de Bomberos?



Esta característica resalta como la necesidad que se puede dar soluciones tecnológicas eficientes, de bajo mantenimiento y que maximicen la efectividad de cada miembro durante operaciones. En donde la pérdida de un solo bombero impacta significativamente la capacidad operativa del grupo.

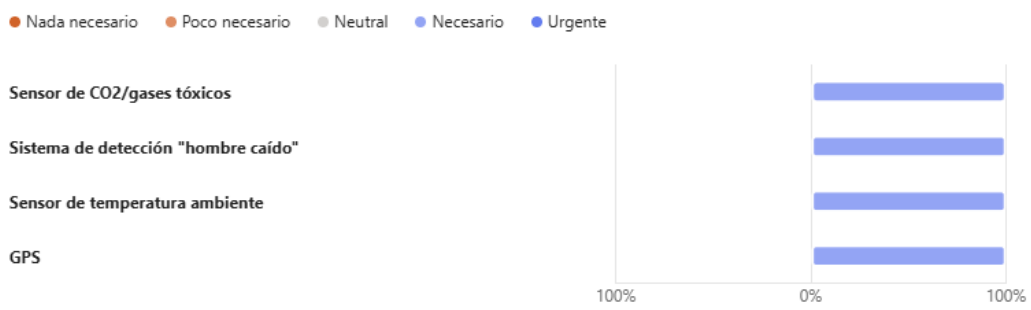
3. ¿Cuál es la distribución de personal en el Cuerpo de Bomberos, incluyendo la cantidad de bomberos, auxiliares y contadores?

1
Respuestas

Respuestas más recientes
"Total 10 Comandante 1 Subteniente 1 6 Cabos 1 Paramedico 1 Contadora"

La distribución (1 comandante, 1 Subteniente, 6 Cabos, 1 Paramédico, 1 Contadora) revela que el 70% del personal son operativos de campo (cabos) se puede mencionar con un especialista médico y administrativo. Esta estructura valida la necesidad de un kit telemático centrado principalmente en el personal en terreno en las cuales se menciona con funciones de monitoreo biométrico para emergencias médicas y sistemas con roles diferenciados según responsabilidades.

4. ¿Cuál es el nivel de necesidad de cada uno de los siguientes dispositivos en tus operaciones durante incendios forestales?



Todos los dispositivos evaluados (Sensor de CO_2/gases tóxicos, Sistema "hombre caído", Sensor de temperatura ambiente y GPS) se puede tomar que fueron calificados como "Necesarios", o podemos mencionar que demuestra una visión integral de seguridad que combina monitoreo ambiental y protección personal. Esta priorización a un unánime respalda el diseño de un kit telemático completo que aborde simultáneamente múltiples vectores de riesgo en incendios forestales.

5. ¿Con qué condiciones extremas se enfrentan regularmente durante incendios?

Seleccione una o más respuestas.



Las condiciones identificadas (terreno irregular, comunicación limitada, altas temperaturas y humo denso) definen un entorno operativo altamente hostil que exige que el kit telemático sea físicamente robusto. En donde tiene una con alta autonomía energética o son los caso de resistencia térmica y capacidad de operar en condiciones de conectividad intermitente. Estas características son críticas para garantizar que la tecnología no se convierta en un punto de falla durante las emergencias más complejas.

Resultados de Anexo2

1. ¿Con qué frecuencia trabajan en zonas con poca señal o cobertura?



Los bomberos reportan trabajar frecuentemente (4) o a veces (5) en zonas con poca señal o cobertura o también está la gran tendencia de la evidencia una necesidad crítica de sistemas de comunicación resilientes que funcionen. En las condiciones de conectividad limitada, priorizando tecnologías con modo offline o redes mesh que permitan mantener la coordinación operativa en entornos remotos.

2. ¿Qué tan importante es que el equipo sea tamaño apropiado, liviano y resistente?



La abrumadora mayoría (7 de 9) considera "muy importante" que el equipo sea liviano, de tamaño apropiado y resistente. En donde se puede a refleja la exigencia como es la operativa de dispositivos que no comprometan la movilidad ni la seguridad del bombero. Pero también se puedan soportar las duras condiciones de los incendios forestales sin fallar.

3. ¿Han tenido problemas con equipos que no resisten el calor de los incendios?



La mayoría (5) reporta haber tenido "pocas veces" problemas con equipos que no resisten el calor, mientras que 2 han experimentado este problema "varias veces". Esto indica que la resistencia térmica es un aspecto crítico para considerar en el diseño en se puede mencionar e incluso en las fallas ocasionales pueden tener consecuencias graves en operaciones de alto riesgo.

4. ¿Qué tan importante es que la comunicación del sistema se adapte a la zona donde se trabaja



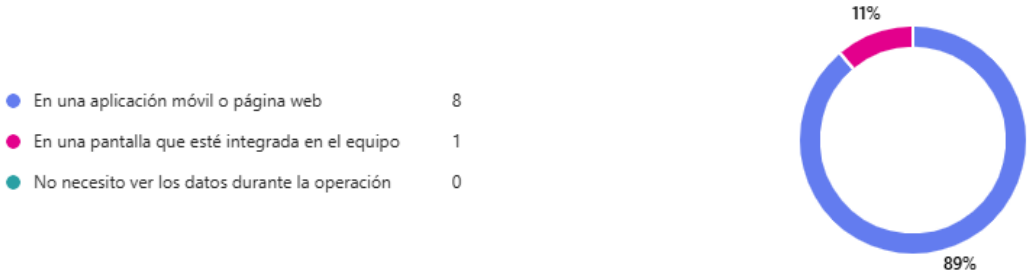
Para 7 de los 9 encuestados, es "muy necesario" que el sistema de comunicación se adapte a las características de la zona de trabajo. En se puede validador la necesidad de sistemas inteligentes capaces de cambiar dinámicamente entre diferentes modos de comunicación se puede mencionar como es caso con los (celular, satelital,LoRa) según la disponibilidad y condiciones del entorno operativo.

5. ¿Qué tan útil le parece que el sistema guarde los datos y los envíe automáticamente a una plataforma?



Los 7 encuestados consideran "muy seguido" útil que el sistema guarde y envíe automáticamente los datos a una plataforma. Lo que se puede en parte de demostrar la importancia operativa y la estratégica de tener registros continuos y accesibles de las condiciones durante emergencias o también puede mencionar tanto para toma de decisiones en tiempo real como para análisis posteriores.

6. ¿Cómo prefiere ver los datos que recopila el sistema durante una emergencia?



De 8 de los 9 bomberos prefieren ver los datos recopilados en una aplicación móvil o página web durante emergencias. En las cuales se tiene las indicaciones pueden ser clara tendencia hacia interfaces familiares y accesibles que aprovechan la experiencia previa de dispositivos móviles.

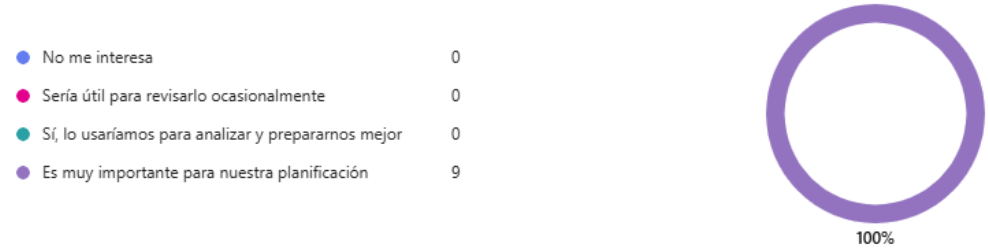
7. ¿Qué tan importante considera que el sistema emita notificaciones automáticas en el nodo principal y las envíe a los dispositivos cercanos del

personal durante una emergencia?



De 6 encuestados consideran "necesario siempre" que el sistema emita pueda tener las notificaciones automáticas durante emergencias en donde se subraya la importancia vital de los sistemas de alerta temprana. En una comunicación que se proactiva para situaciones críticas o tiempos están los segundos pueden marcar la diferencia entre la seguridad y el riesgo extremo para el personal.

8. ¿Les interesa tener acceso a un historial de incendios y datos antiguos?



Los 9 encuestados consideran que tener acceso al historial de incendios y datos antiguos es "muy importante para su planificación". Se puede ser revelando un enfoque estratégico y preventivo que valora el aprendizaje continuo. En una mejora que está basada en datos históricos para optimizar futuras respuestas y preparación ante emergencias.

9. ¿Qué tan importante considera que el kit telemático sea compatible con dispositivos móviles o tablets durante las operaciones en incendios forestales?



Una clara mayoría (6 de 9) considera "fundamental" la compatibilidad para equipo o kit telemático con dispositivos móviles o tablets durante operaciones. En ámbito se lo que indica una preferencia en unas de las soluciones integradas que aprovechen la tecnología existente con Android e iOS se compatible.

10. ¿Cómo debería ser la app o pantalla del sistema para que sea fácil de usar?



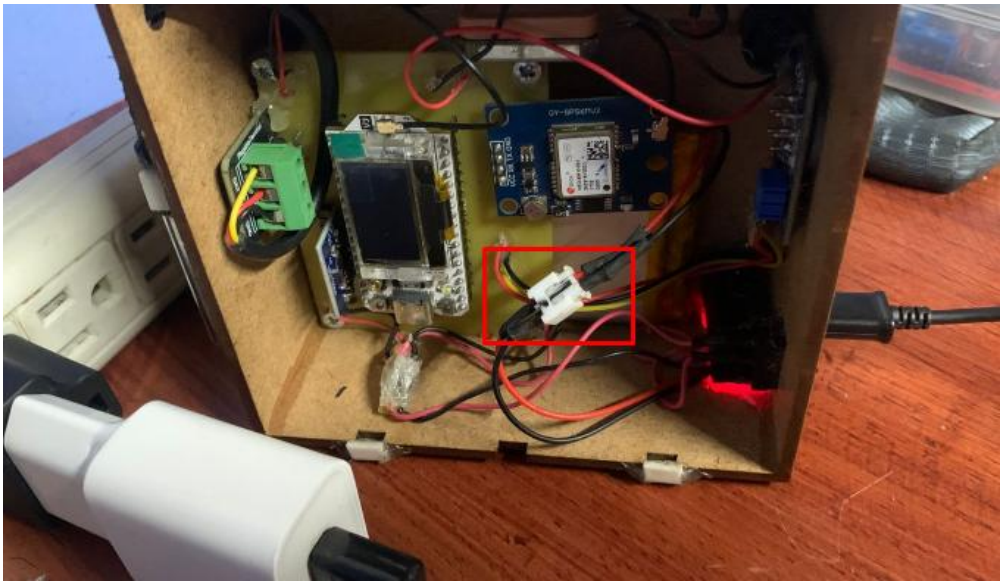
La única respuesta registrada para esta pregunta se enfoca en "Que esté en español", este resalta la importancia crítica de la localización lingüística en el diseño. Se comprende con las interfaces para equipos de emergencia en tener los malentendidos por barreras idiomáticas podrían comprometer operaciones críticas y poner en riesgo vidas humanas.

Anexo3: Manual para manipular el kit telemático

Como primer paso, se recomienda revisar que el nivel de carga de las baterías sea el adecuado antes de iniciar con el equipo. En tanto en el nodo casco como en el nodo principal. En el caso del nodo principal se tenga que debe verificar que el power bank esté al 100% de carga podrá hacer el (indicado por 4 LEDs de estado). Para obtener una carga completa, se recomienda dejarlo cargando aproximadamente 12 horas.



El usuario deberá conectar correctamente los terminales positivo y negativo. En el caso del nodo casco, se conectará al puerto de la batería para su carga. Es fundamental para insertar el conector en la orientación correcta en tener prestando especial atención al cable negro. Además, se puede enfatizar en verificar el estado del interruptor (si está presionado o apagado), tal como se ilustra en la imagen del circuito anterior



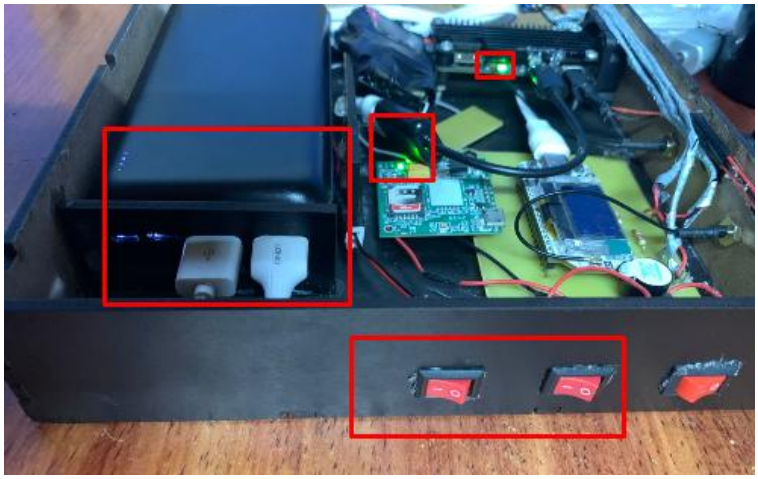
En el cual, al colocar el power bank, se tendrá que conectar a los puertos USB para alimentar los equipos, como se identifica en la figura. Y Se recomienda verificar todas las conexiones como las de alimentación como de conector USB, y los estados de los interruptores se tendrá en cuenta: el círculo es apagado y la raya es encendido.

Importante: Tomar en cuenta que solo se debe cambiar una vez no presionar varias veces (apagar y encender), ya que el equipo puede dañarse o quemar completamente todo. Y tomar las precauciones necesarias al utilizar el equipo en medio.



Una vez verificado todo, se acciona el pulsador y se inicia el nodo principal, el cual tiene un tiempo está en unestimado de 2 a 3 minutos para levantarse. Se tendrá que

recomienda que, si se desarrolla una investigación, se iniciará este equipo primero como prioridad con el objetivo de que el sitio ya esté operativo cuando se requiera.



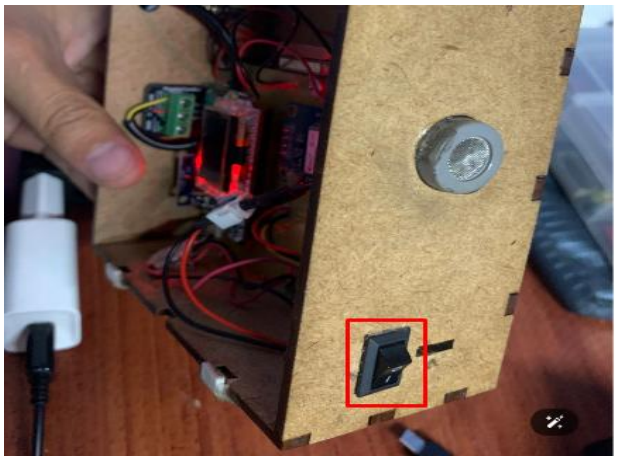
Tal como se ilustra en la primera imagen, una vez se inicia el equipo, coloque la tapa y manténgala durante el tiempo necesario. Tener en culminar el proceso, se recomienda generar los reportes correspondientes o proceder a apagar el equipo.

Precaución: Desconecte los cables de los puertos USB para evitar un encendido accidental, lo cual podría provocar sobrecalentamiento o daños permanentes en el equipo.

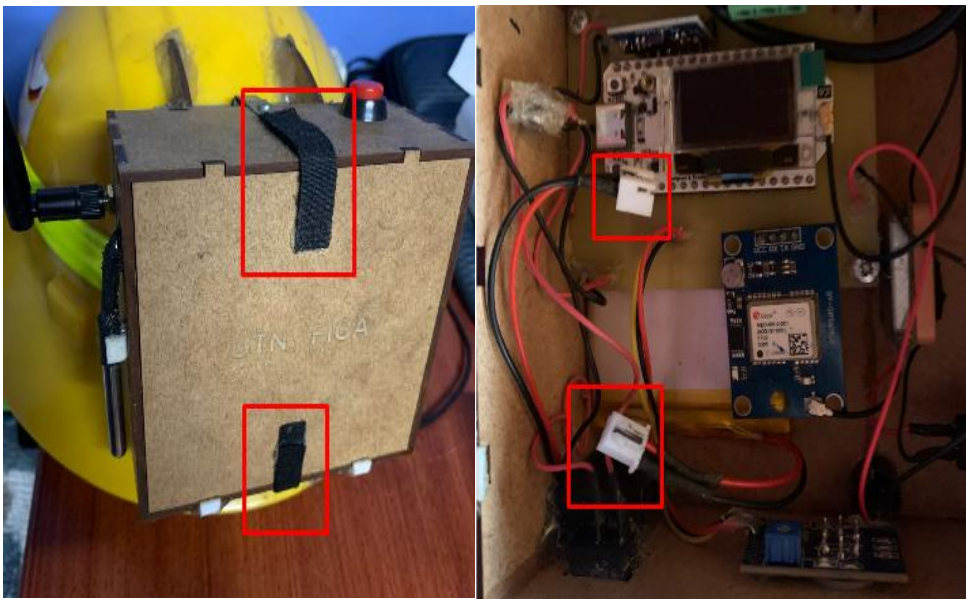


Una vez ya cargado, se procede a encender el equipo. Como se muestra en el interruptor, tiene dos estados de la alerta como son siguientes: el círculo es apagado y la raya es encendido. En este caso, se pulsa una vez y el equipo inicia. En un

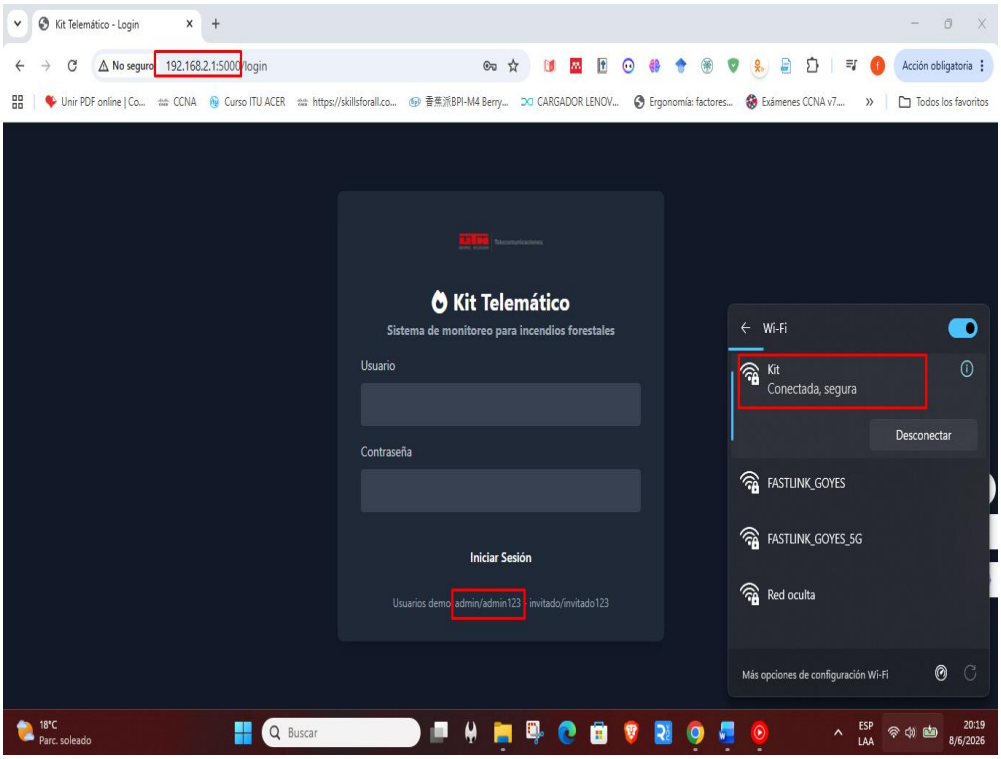
tiempo se puede mencionar de 60 segundos enviará los primeros datos en los cuales tiempo el cual sirve para hacer la calibración de sensores y verificar el funcionamiento.



Una vez encendido el equipo, se procede a colocarlo en el casco, asegurándolo firmemente con velcro en ambos extremos. En la parte trasera se puede mencionar coloca el otro lado del velcro (o el pasador) para sujetar correctamente el dispositivo. Finalmente, ya se puede apagar el equipo en la cual se recomienda desconectar los cables de alimentación para evitar daños, ya que los componentes son sensibles, tal como se muestra en la ilustración de la derecha.



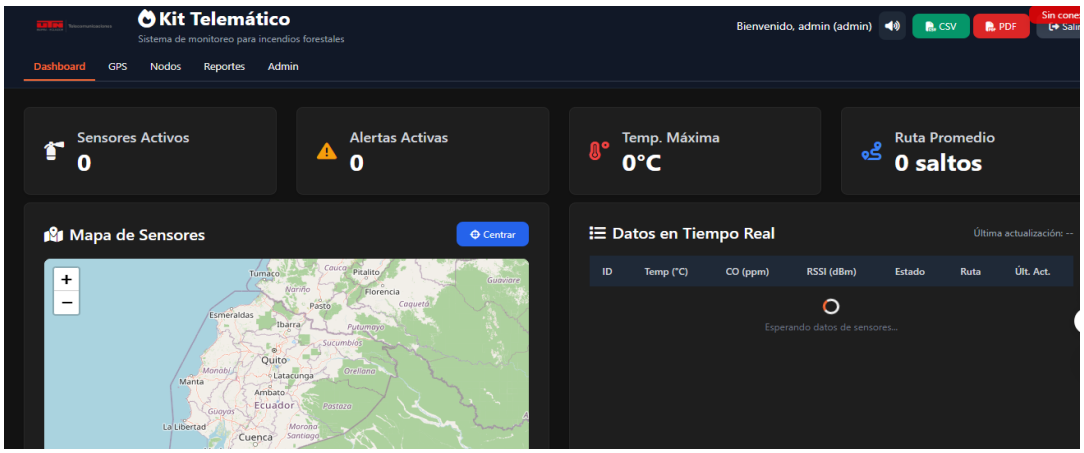
Para verificar el correcto funcionamiento del sistema, el usuario deberá conectarse a la red Wi-Fi del dispositivo, identificada con el SSID **KIT** y protegida con la contraseña **12345678**. Una vez establecida la conexión, proceda a abrir un navegador web e ingrese la siguiente dirección: **http://192.168.2.1:5000 esta ya es** establece para equipo. Esto le permitirá acceder a la interfaz web principal del kit con mejor rapidez, tal como se ilustra en la figura adjunta.



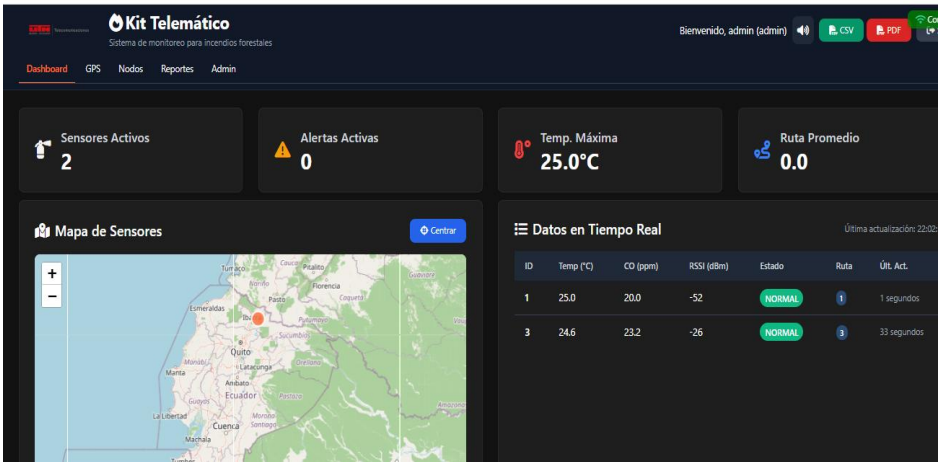
Para acceder al sistema, introduzca el nombre de usuario en el campo designado de la misma ventana e al que se inicie sesión con las credenciales asignadas. Según el rol o categoría del personal se pueda seleccionar los casilleros correspondientes en el sistema.



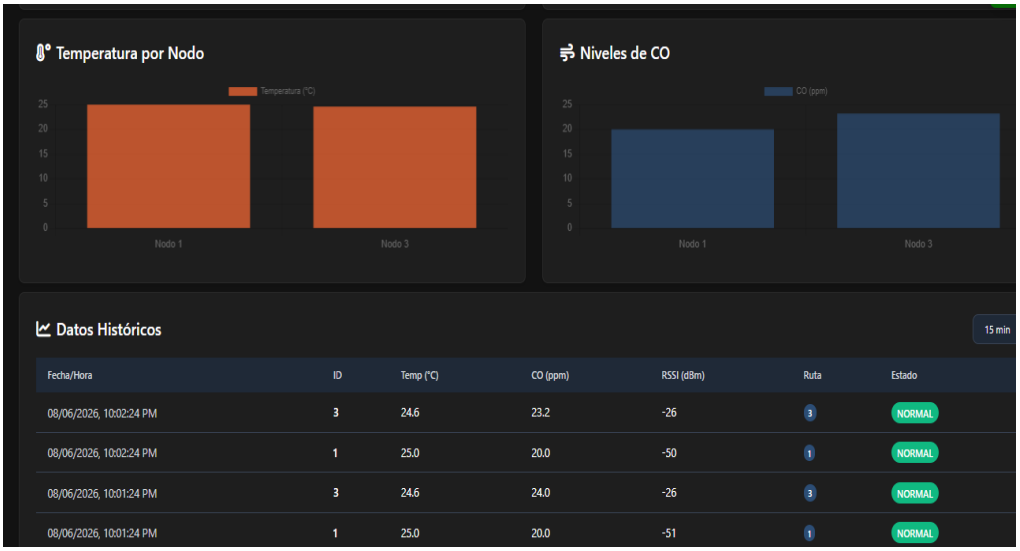
El dashboard principal se activa al encender el sistema, presentando las herramientas necesarias para el registro y seguimiento de los nodos, alertas, historial y estado general. El sistema requiere un tiempo de espera para establecer la comunicación con los dispositivos vinculados se espera como 2 a 3minutos son recomendados. En este lapso es forma muy variable y depende directamente de la cantidad de nodos casco que se estén sincronizando simultáneamente.



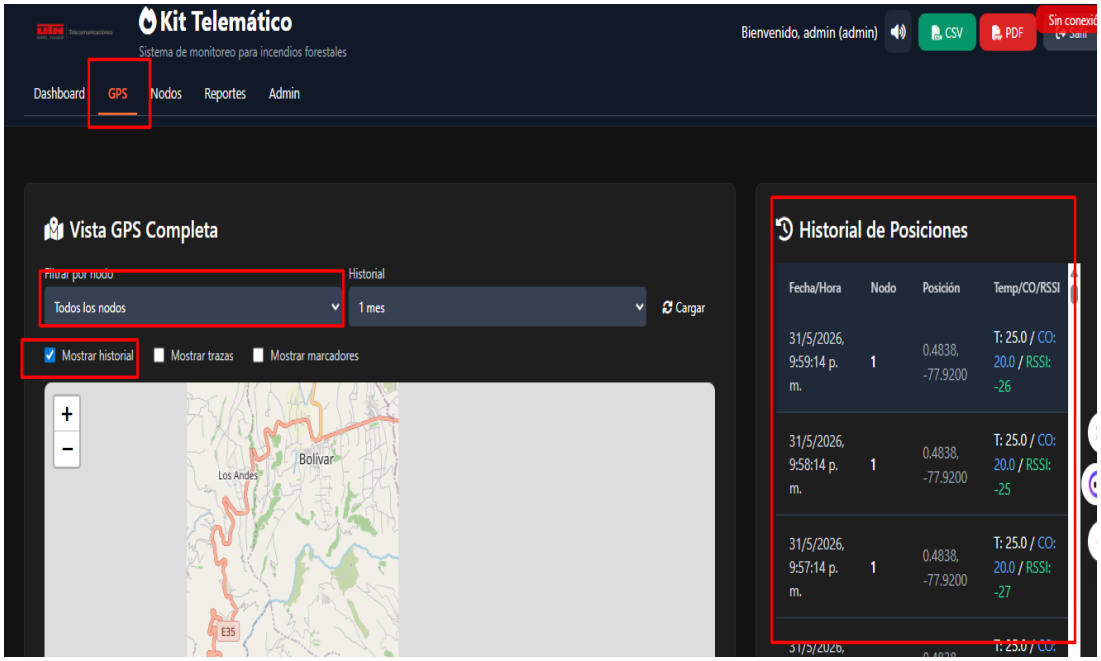
En esta sección, al establecerse la conexión de los equipos, se actualizan automáticamente todos los paneles de visualización. Esto permite verificar en tiempo real que la transmisión de datos de cada nodo se esté realizando de manera correcta.



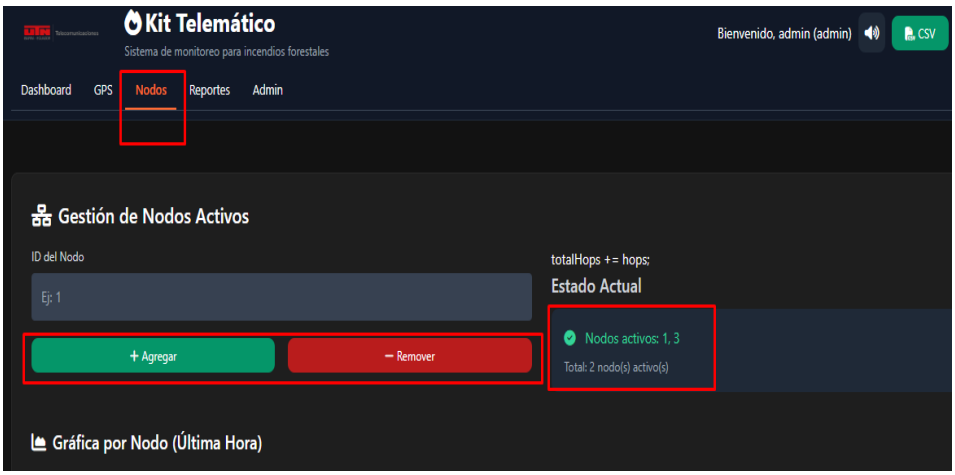
En la parte inferior del dashboard se despliegan los gráficos en tiempo real y el historial de datos registrados por el sistema. El apartado del almacenamiento de esta información se realiza de manera correcta, permitiendo al usuario visualizar de forma clara. En donde se continua los estados operativos de los nodos y el comportamiento de las variables monitoreadas.



En la pestaña de GPS, se puede filtrar la información tanto por un nodo específico como por todos los nodos en base a requerimiento se necesarios. En esta vista, se muestra la ubicación en el mapa junto con su última actualización de la recepción se del nodo. En la parte derecha se despliega el historial de ubicaciones, detallando datos como la longitud y la latitud.

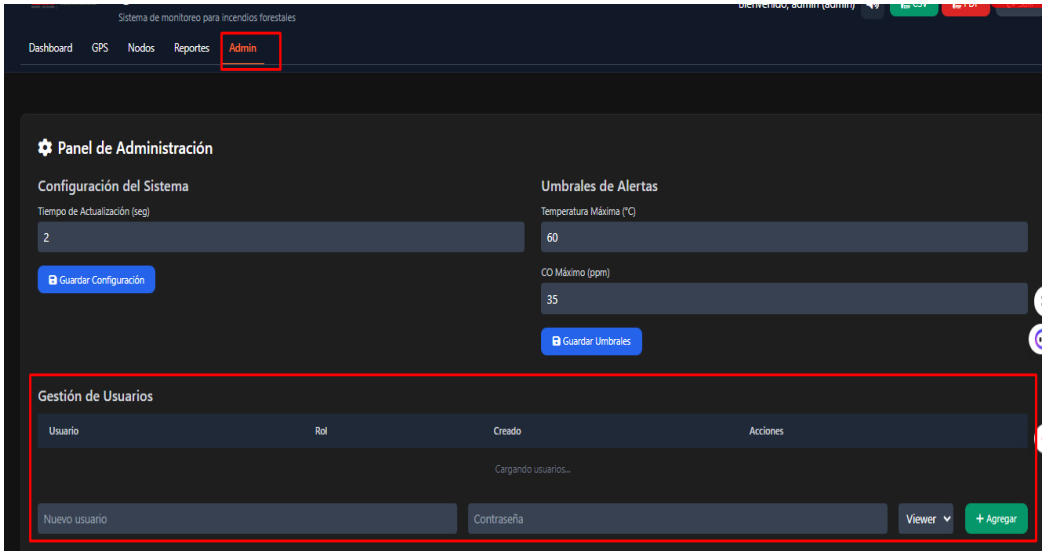


En la pestaña de Nodos, la función para eliminar o desvincular dispositivos es de suma importancia para una correcta buena gestión del inventario conectado de cada uno equipos. Si un equipo no logra establecer comunicación, se debe eliminar el nodo y proceder a registrarlo nuevamente en espera tiempo se recondenado para nodo. Este procedimiento garantiza que la interfaz visualice únicamente los nodos activos y operativos en tiempo real.



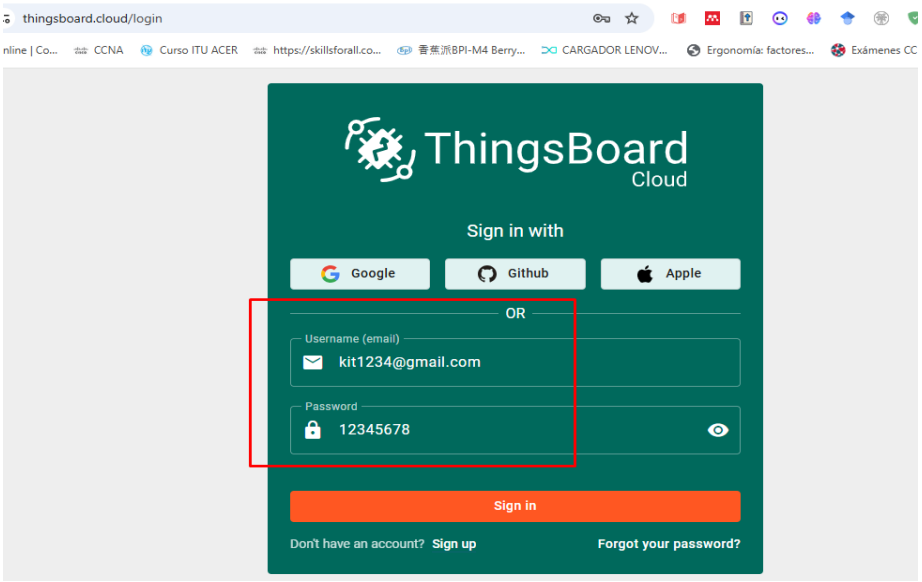
En las últimas pestañas se encuentran las secciones de Reportes y Administración. En la parte administrativa, el usuario con permisos puede agregar o sea para

eliminar cuentas, lo cual es útil en caso de necesitar registrar más personal, dependiendo del número de usuarios que requiera el sistema.

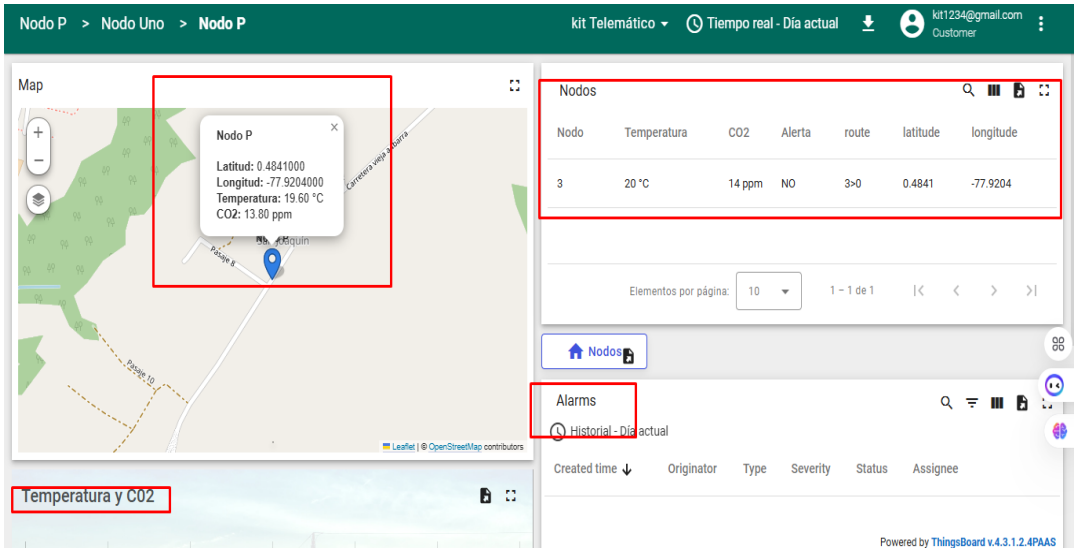


Manual de Acceso remoto

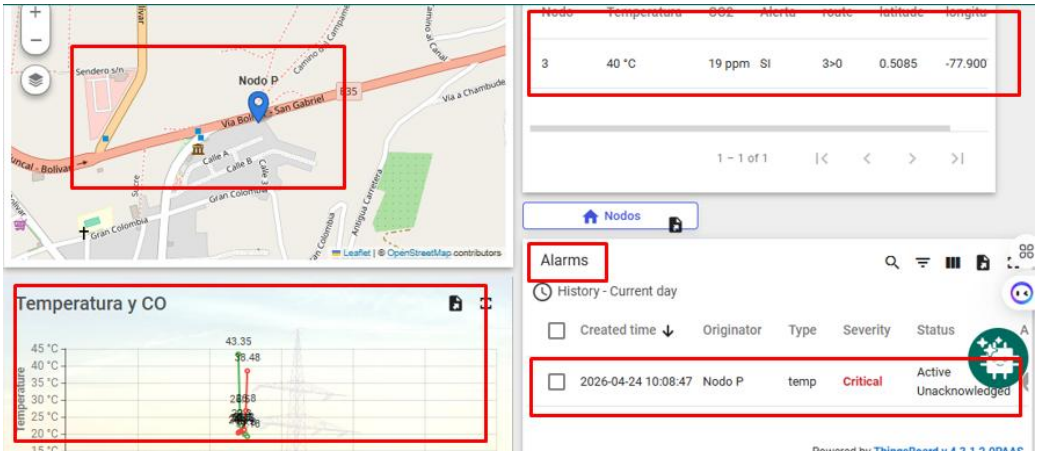
Para el acceso remoto, se debe dirigir a la siguiente dirección e ingresar en el navegador: **https://thingsboard.cloud/login.** Las credenciales de acceso son: usuario son las siguientes **kit1234@gmail.com** y clave **12345678**. Este usuario ha sido creado con los permisos pueden limitar, de modo que solo pueda visualizar los datos enviados y recibidos en la plataforma, sin capacidad de modificación.



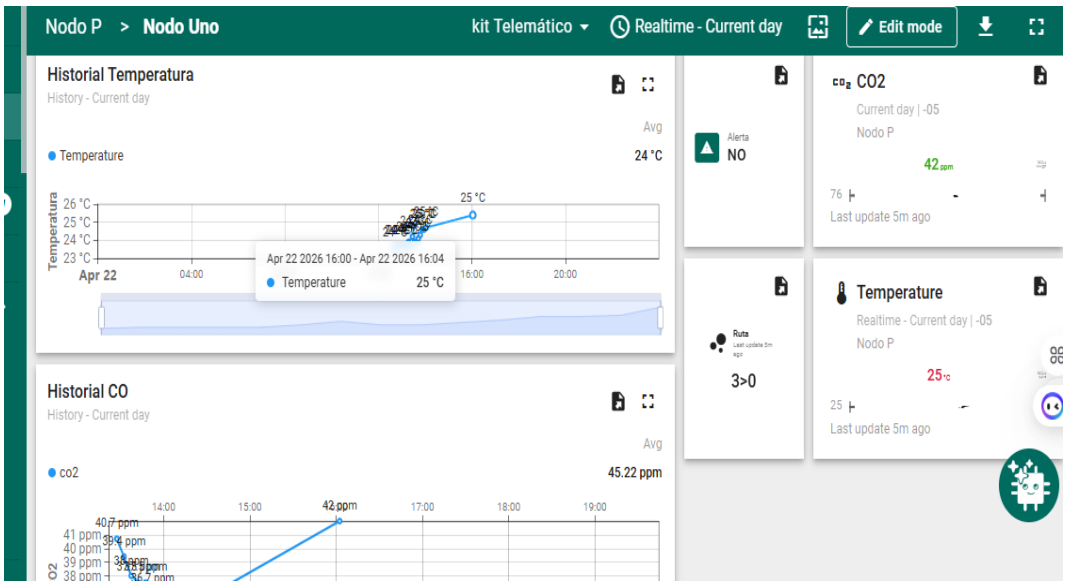
Durante el primer inicio del sistema, se despliega la interfaz principal tal como se ilustra. En esta vista, todos los módulos se actualizan dinámicamente o lo que se puede permitir la visualizar la distribución inicial de los elementos y las secciones de control de la plataforma.



Una vez que los datos se estén transmitiendo en tiempo real, el usuario puede desplazarse hacia abajo para apreciar la lista de distribución de la interfaz. En el panel izquierdo se visualiza la ubicación geográfica (GPS), y en el derecho se muestra el estado de recepción de los nodos que se eficiente. En la sección inferior se presentan las gráficas de temperatura y el monitor de carga de la batería, mientras que otro extremo es lo opuesto se encuentra la tabla de alertas. Cada evento queda menciona los registrado en el panel, disponiendo de un botón que redirige a una pestaña con el detalle específico de cada nodo.



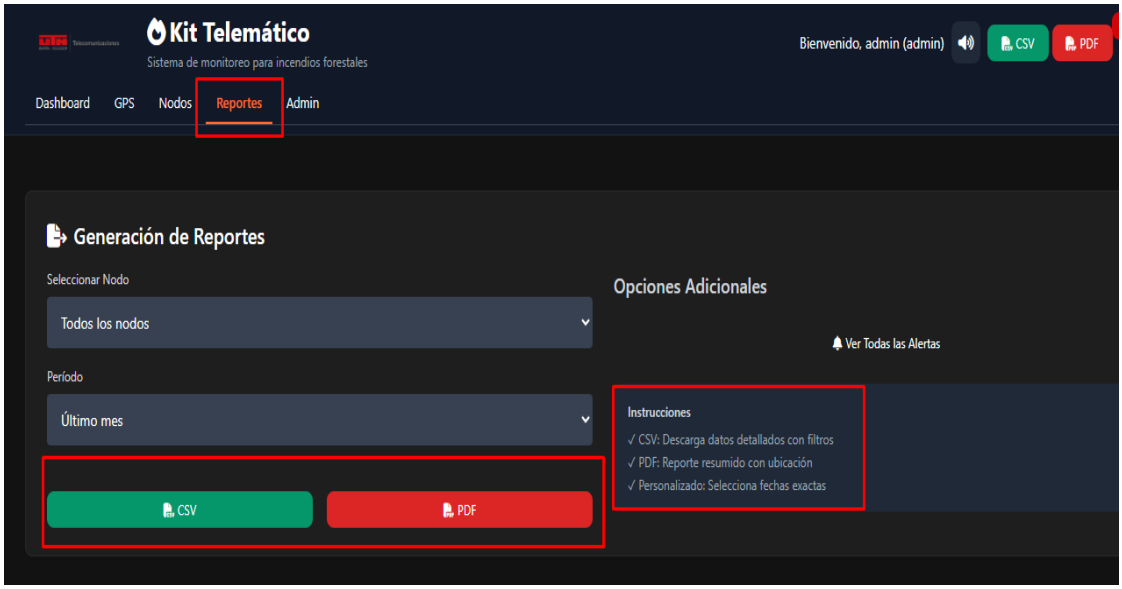
La interfaz presenta una distribución optimizada para la visualización individual de cada nodo, tal como se ilustra. Se despliegan gráficas independientes para el monitoreo de temperatura y nivel de carga de la batería.



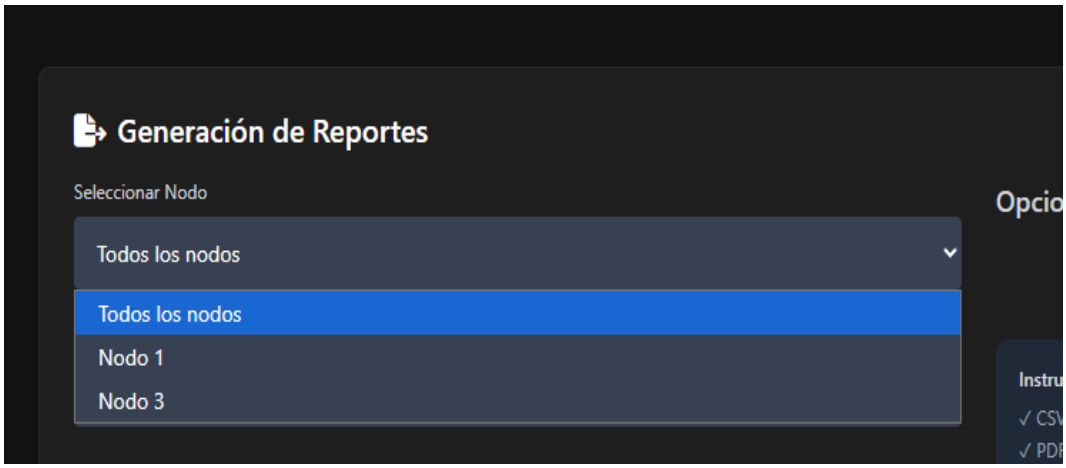
En el panel derecho se visualizan los estados de los sensores y el registro general de alertas. Cada nodo dispone de esta interfaz de visualización, configurada con permisos de solo lectura para el acceso remoto, lo que permite supervisar los datos sin realizar modificaciones en el sistema.

Manual para generación de reportes

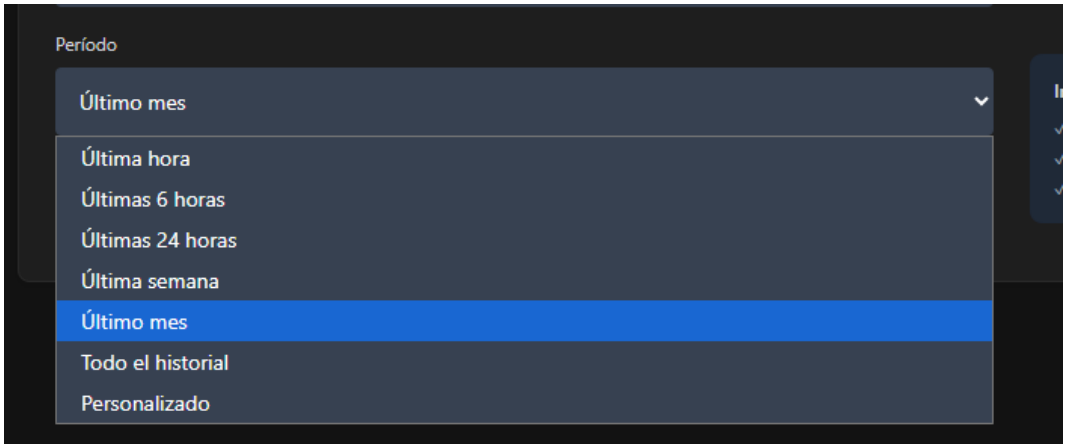
En la pestaña del dashboard local se despliega la sección de reportes, la cual permite la generación y exportación de datos en formatos CSV o PDF, según las necesidades del usuario. Asimismo, en la parte inferior se presenta una tabla descriptiva que detalla el procedimiento y los criterios para la generación de dichos reportes.



El sistema otorga al usuario la flexibilidad de configurar el alcance de la exportación, permitiendo generar reportes para la totalidad de los nodos o para un dispositivo en particular. Asimismo, se habilita la opción de seleccionar el tipo y formato de reporte que mejor se adapte a las necesidades operativas del usuario.



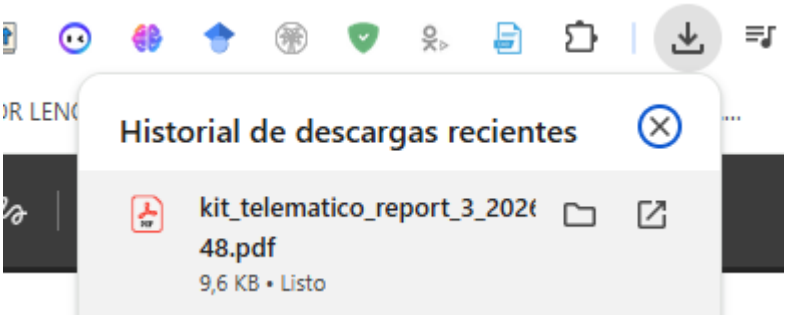
El sistema permite al usuario configurar los parámetros de generación del historial, estableciendo el intervalo de tiempo para la extracción de datos. El rango de consulta puede variar desde una hora hasta un mes; asimismo, se habilita la opción de generar reportes personalizados, lo cual optimiza la eficiencia del sistema al filtrar la información según el día y la fecha específica requerida.



Al seleccionar la modalidad de reporte personalizado, el sistema habilitará un calendario interactivo para definir el rango de tiempo, especificando la fecha y hora de inicio y de finalización. Tras establecer este intervalo, valide la selección y proceda a presionar el botón de generación del documento en formato PDF.



Una vez presionado el botón, el mismo sistema genera el reporte y lo muestra en la parte de descarga. En ese momento, se tendrá que dar clic en 'Descargar' para guardar el documento directamente en el dispositivo



La siguiente vista presenta la interfaz generada con los datos obtenidos de cada nodo. El sistema permite aplicar filtros de búsqueda personalizados, configurados previamente por el usuario, y despliega en una tabla detallada toda la información recopilada, organizada y desglosada para su análisis."

Kit Telemático - Reporte de Datos - Nodo 3

Generado el: 08/06/2026, 08:58:48 PM
Filtros: Nodo 3 Desde 2026-05-11T00:49 hasta 2026-05-22T01:49

Fecha/Hora	ID	Temp	CO	RSSI	Ubicación	Ruta	Alerta
17/05/2026, 07:14:11 PM	3	24.3	13.7	-20	Sin GPS	3	NO
17/05/2026, 07:13:11 PM	3	25.0	13.5	-23	Sin GPS	3	NO
17/05/2026, 07:12:11 PM	3	24.4	13.9	-45	Sin GPS	3	NO
17/05/2026, 06:20:07 PM	3	25.3	13.8	-19	Lat: 0.5086 Lon: -77.9007	3	NO
17/05/2026, 06:18:07 PM	3	22.9	13.9	-19	Lat: 0.5084 Lon: -77.9005	3	NO
17/05/2026, 06:17:07 PM	3	22.8	13.7	-24	Lat: 0.5085 Lon: -77.9008	3	NO
17/05/2026, 06:15:07 PM	3	22.8	13.7	-24	Lat: 0.5086 Lon: -77.9006	3	NO
17/05/2026, 06:14:07 PM	3	23.1	14.0	-23	Lat: 0.5085 Lon: -77.9007	3	NO
17/05/2026, 06:12:07 PM	3	24.6	14.1	-38	Lat: 0.5084 Lon: -77.9007	3	NO
17/05/2026, 06:10:07 PM	3	23.4	13.9	-23	Lat: 0.5085 Lon: -77.9006	3	NO
17/05/2026, 06:08:07 PM	3	24.6	14.2	-45	Lat: 0.5085 Lon: -77.9007	3	NO

En la sección final del documento se presenta un resumen ejecutivo con los parámetros más críticos del sistema. Estos incluyen el historial de registros, alertas generadas, promedio de temperatura, estado de la batería e intensidad de la señal

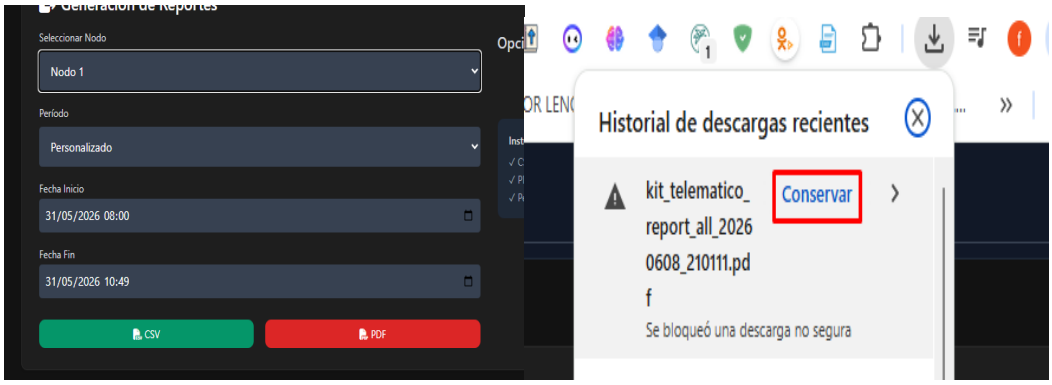
(RSSI). Esta estructura optimiza el análisis, permitiendo una revisión rápida y eficiente de toda la información recopilada por el sistema.

17/05/2026, 03:12:15 PM	3	25.7	15.4	-19	Sin GPS	3	NO
17/05/2026, 03:11:13 PM	3	25.9	13.6	-27	Sin GPS	3	NO
17/05/2026, 03:04:01 PM	3	25.5	16.8	-22	Sin GPS	3	NO
17/05/2026, 03:03:14 PM	3	25.9	17.2	-18	Sin GPS	3	NO
17/05/2026, 03:02:10 PM	3	26.4	17.1	-32	Sin GPS	3	NO

Resumen:
Registros: 100 | Alertas: 6
Temp: Prom 23.2°C, Max 26.8°C, Min 18.5°C
CO: Prom 15.5 ppm, Max 18.8 ppm, Min 12.7 ppm
RSSI: Prom -27.1 dBm, Max -15.0 dBm, Min -68.0 dBm

Kit Telemático - Monitoreo de Incendios

Para la generación de reportes correspondientes a otros nodos, se debe seguir el mismo procedimiento descrito anteriormente, tal como se ilustra en las figuras siguientes: seleccionar el nodo específico y configurar el rango de búsqueda o intervalo de tiempo deseado



Permite generar reportes diferenciados para cada nodo del sistema. Se sigue el mismo procedimiento de generación descrito anteriormente, con la ventaja de

que se puede aplicar filtros personalizados para cada nodo, lo que facilita la obtención de informes específicos y detallados por dispositivo.



Kit Telemático - Reporte de Datos - Nodo 1

Generado el: 08/06/2026, 09:05:12 PM
Filtros: Nodo 1 Desde 2026-05-31T08:00 hasta 2026-05-31T10:49

Fecha/Hora	ID	Temp	CO	RSSI	Ubicación	Ruta	Alerta
31/05/2026, 10:32:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:31:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:30:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:29:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:28:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:27:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:26:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:25:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:24:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:23:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 10:22:44 AM	1	25.0	20.0	-19	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:24:11 AM	1	25.0	20.0	-24	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:23:11 AM	1	25.0	20.0	-25	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:20:11 AM	1	25.0	20.0	-25	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:19:11 AM	1	25.0	20.0	-25	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:18:11 AM	1	25.0	20.0	-25	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:17:11 AM	1	25.0	20.0	-25	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:16:10 AM	1	25.0	20.0	-25	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:08:10 AM	1	25.0	20.0	-30	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:07:10 AM	1	25.0	20.0	-30	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:06:10 AM	1	25.0	20.0	-34	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:05:10 AM	1	25.0	20.0	-41	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
31/05/2026, 09:04:10 AM	1	25.0	20.0	-39	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO

Resumen:
Registros: 54 | Alertas: 0
Temp: Prom 25.0°C, Max 25.0°C, Min 25.0°C
CO: Prom 20.0 ppm, Max 20.0 ppm, Min 20.0 ppm
RSSI: Prom -21.5 dBm, Max -11.0 dBm, Min -41.0 dBm

Kit Telemático - Monitoreo de Incendios

Si el usuario requiere generar reportes de la totalidad de los nodos del sistema, deberá marcar todos los casilleros de selección disponibles. Posteriormente, se procede a generar el documento siguiendo el mismo procedimiento descrito previamente para la exportación de datos.



Como resultado de la exportación, se despliega el reporte consolidado de los nodos, donde se almacenan correctamente los datos y se presenta un estimado de la cantidad de paquetes transmitidos y alertas generadas. Esta información, que se ilustra a continuación, sirve como evidencia del correcto funcionamiento y operatividad del sistema.

Kit Telemático - Reporte de Datos

Generado el: 17/05/2026, 04:47:24 PM
Filtros: Últimas 1 horas

Fecha/Hora	ID	Temp	CO	RSSI	Ubicación	Ruta	Alerta
17/05/2026, 04:47:11 PM	1	25.0	20.0	-26	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
17/05/2026, 04:47:09 PM	3	24.4	16.5	-20	Lat: 0.5086 Lon: -77.9007	3	NO
17/05/2026, 04:47:09 PM	1	25.0	20.0	-27	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
17/05/2026, 04:46:34 PM	3	24.4	16.5	-20	Lat: 0.5086 Lon: -77.9007	3	NO
17/05/2026, 04:46:27 PM	3	24.7	16.5	-21	Lat: 0.5086 Lon: -77.9007	3	SI
17/05/2026, 04:46:11 PM	1	25.0	20.0	-27	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
17/05/2026, 04:46:10 PM	3	25.0	16.7	-22	Lat: 0.5085 Lon: -77.9007	3	SI
17/05/2026, 04:46:09 PM	3	25.4	16.7	-19	Lat: 0.5083 Lon: -77.9008	3	NO
17/05/2026, 04:46:09 PM	1	25.0	20.0	-26	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
17/05/2026, 04:45:27 PM	3	25.4	16.7	-19	Lat: 0.5083 Lon: -77.9008	3	NO
17/05/2026, 04:45:11 PM	1	25.0	20.0	-26	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
17/05/2026, 04:45:09 PM	3	25.4	16.4	-19	Lat: 0.5084 Lon: -77.9007	3	NO

Como cierre del proceso, el sistema genera un resumen ejecutivo general, similar al ilustrado previamente. Se recomienda al usuario tener en cuenta la flexibilidad de la plataforma para configurar filtros de búsqueda, ya sea para un nodo individual o para múltiples dispositivos, adaptando así la consulta a los datos específicos que necesite analizar.

17/05/2026, 04:25:06 PM	3	21.7	18.8	-35	Sin GPS	3	NO
17/05/2026, 04:25:06 PM	1	25.0	20.0	-23	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
17/05/2026, 04:24:27 PM	3	21.7	18.8	-35	Sin GPS	3	NO
17/05/2026, 04:24:11 PM	1	25.0	20.0	-23	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
17/05/2026, 04:24:05 PM	1	25.0	20.0	-23	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO
17/05/2026, 04:23:11 PM	1	25.0	20.0	-23	Lat: 0.4838 Lon: -77.9200	1	NO

Resumen:

Registros: 99 | Alertas: 3
Temp: Prom 23.6°C, Max 25.4°C, Min 18.5°C
CO: Prom 18.2 ppm, Max 20.0 ppm, Min 14.1 ppm
RSSI: Prom -26.9 dBm, Max -16.0 dBm, Min -68.0 dBm

Kit Telemático - Monitoreo de Incendios