



Prototipo de sistema de información para alertas tempranas de incendios forestales

Clavón Orellana, Ricardo Patricio y Rodríguez Tigse, Fernando Patricio

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería de Sistemas e Informática

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

Dr. Marcillo Parra, Diego Miguel

24 de agosto del 2021

Análisis Google Assignments

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Revisiones Tesis

NOMBRE DEL ALUMNO

FERNANDO PATRICIO RODRIGUEZ TIGSE

NOMBRE DEL ARCHIVO

CLAVON RICARDO -RODRIGUEZ FERNANDO - Tesis_Clavon-Rodriguez

SE HA CREADO EL INFORME

11 dic 2021

Resumen

Fragmentos marcados	12	2 %
Fragmentos citados o entrecomillados	5	0,5 %

Coincidencias de la Web

ecdisis.com	1	1 %
scinapse.io	3	0,3 %
espe.edu.ec	2	0,2 %
wordpress.com	1	0,2 %
unap.edu.pe	2	0,2 %
books.google.com	1	0,2 %
researchgate.net	2	0,2 %
tutorialesdeelectronica basica.blogspot.com	1	0,1 %
semanticscholar.org	1	0,1 %
conafor.gob.mx	1	0,1 %
x-mol.com	1	0,1 %
tiempo.com	1	0,1 %

1 de 17 fragmentos

Fragmento del alumno [MARCADO](#)

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**DIEGO MIGUEL
 MARCILLO
 PARRA**

Dr. Macillo Parra, Diego Miguel

C. C: 171080292



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **“Prototipo de sistema de información para alertas tempranas de incendios forestales”** fue realizado por los señores Clavón Orellana, Ricardo Patricio y Rodríguez Tigse, Fernando Patricio. El cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 13 de diciembre del 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**DIEGO MIGUEL
MARCILLO
PARRA**

Dr. Macillo Parra, Diego Miguel

C. C: 171080292



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Clavón Orellana, Ricardo Patricio y Rodríguez Tigse, Fernando Patricio** con cédulas de ciudadanía n° **1724387749** y **1716130321** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Prototipo de sistema de información para alertas tempranas de incendios forestales”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de diciembre de 2021

Clavón Orellana, Ricardo Patricio

C. C. 1724387749

Rodríguez Tigse, Fernando Patricio

C. C. 1716130321



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

Autorización de publicación

Nosotros, **Clavón Orellana, Ricardo Patricio y Rodríguez Tigse, Fernando Patricio** con cédulas de ciudadanía n° **1724387749** y **1716130321** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: Título: **“Prototipo de sistema de información para alertas tempranas de incendios forestales”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de diciembre de 2021

Clavón Orellana, Ricardo Patricio

C. C. 1724387749

Rodríguez Tigse, Fernando Patricio

C. C. 1716130321

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, y estoy convencido que mis padres me dieron los mejores, ellos me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies pero siempre de su mano, son los pilares fundamentales de mi vida, les dedico este trabajo de titulación. Gracias ma y pa.

A mi hermano Juan Andrés, que siempre estuvo a mi lado incluso en los momentos que nos separamos cuando trabajaba y estudiaba todo el día, a convivir diariamente y ser ese mejor amigo en mi vida, va para ti que sirva de inspiración para que logres todo lo que te propongas hermanito.

Ricardo Clavón

Agradecimiento

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hijo.

A mi hermano por estar siempre presente, acompañandome en todo momento y por el apoyo moral, que me brindo a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que fueron parte de mi transcurso en la universidad tanto en momentos felices como tristes, a mis amigos y futuros colegas con quienes comparti tanto dentro y fuera del mismo.

Ricardo Clavón

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi madre y abuelita, por haberme dado el apoyo incondicional de toda la vida para siempre seguir adelante y poder culminar mi carrera.

A todas esas personas maravillosas que aparecieron en el camino y estuvieron conmigo siempre, en especial DL quien me dio ánimos en los momentos más oscuros para poder culminar esta tesis.

Fernando Rodríguez

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios por colmarme de bendiciones, nunca abandonarme en este duro camino y darme la oportunidad de estudiar la carrera que me gusta.

A la gloriosa Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" que me acogió, me abrió las puertas al conocimiento, a sus docentes que con dedicación transmitieron su conocimiento y también a mis amigos que se han convertido en una nueva familia.

Agradezco a mi madre por siempre darme el apoyo durante este largo camino, por darme siempre sus bendiciones y nunca abandonarme durante este trayecto.

También a una persona muy especial DL que me trajo el Gateway pero sobre todo me dio muchos ánimos para poder culminar mi tesis y no rendirme.

Fernando Rodríguez

Índice de Contenidos

Análisis Google Assignments.....	2
Certificación	3
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de Contenidos.....	10
Índice de tablas.....	13
Índice de figuras	14
Resumen.....	16
Abstract.....	17
Capítulo I.....	18
Introducción	18
Antecedentes.....	18
Planteamiento del problema.....	21
Justificación	25
Objetivos.....	27
Objetivo General.....	27
Objetivos específicos.....	27
Alcance	28
Hipótesis de trabajo.....	30
Capitulo II.....	31

Marco Metodológico	31
Estado del Arte	31
Planteamiento de la revisión de literatura	31
Antecedentes al grupo de control.....	32
Utilizando la cadena de búsqueda	33
Selección de estudios.....	33
Elaboración del estado del arte	36
Características estado del arte.....	41
Metodología	42
Estudio exploratorio	43
Desarrollo.....	43
Validación.....	44
Marco teórico	44
Red de Categorías	44
Fundamentación Científica de la Variable Independiente.....	45
Incendios forestales.....	45
Triángulo del fuego	47
Factores que provocan los incendios forestales	48
Factores que inciden en los incendios forestales	49
Fundamentación Científica de la Variable Dependiente	51
Internet de las cosas IoT	51
Servidores IoT.....	51
Herramientas hardware.....	52
Sistemas empotrados	52
Sensores para monitoreo de incendios forestales.....	56
Comunicaciones IoT	60
Tecnologías LPWAN.....	62
SigFox	62
NB-IoT	64
LoRa.....	66
Herramientas Software.....	70
Metodologías ágiles de desarrollo de software.....	70
Frameworks de desarrollo	72
Capítulo III.....	73
Desarrollo de la solución	73
Herramientas hardware.....	73
Sensor de temperatura y humedad relativa	73

	12
Sensor de gas.....	75
Sensor de presión barométrica	76
Sensor de viento (Anemómetro).....	77
Sistemas empotrados	78
Módulos LoRa.....	80
Comunicación.....	82
Gateway	82
Herramientas Software.....	83
Servidores.....	84
Arquitectura del prototipo	85
Módulo de recolección de información.....	86
Módulo de conexión y enlace	86
Módulo de recepción y publicación	89
Módulo de almacenamiento presentación	90
Funcionalidad del prototipo	93
Diagrama de componentes.....	94
Diagrama de secuencia	96
Diagrama de flujo.....	97
Diagrama de flujo.....	97
Configuración de la solución	98
Configuración del receptor.....	99
Configuración de TTN Indoor Gateway.....	99
Configuración de acceso a Internet.....	99
Vinculación del hardware con TTN Server.....	102
Capitulo IV	109
Validación del prototipo	109
Prueba 1.....	109
Prueba 2.....	113
Prueba 3.....	120
Prueba 4.....	125
Capitulo V	131
Conclusiones.....	131
Recomendaciones	132
Trabajos futuros	133
Referencias.....	134

Índice de tablas

Tabla 1	Objetivos Específicos Y Preguntas De Investigación.....	28
Tabla 2	Estudios Primarios Science Direct.....	34
Tabla 3	Estudios Primarios Ieee Xplore.....	35
Tabla 4	Estudios Primarios Acm	36
Tabla 5	Modelos De La Placa Arduino	54
Tabla 6	Modelos De Rasberry	55
Tabla 7	Comparación De Tecnologías Lpwan.....	68
Tabla 8	Métricas Sensor De Temperatura Y Humedad Relativa	74
Tabla 9	Comparación De Sensores De Gas.	75
Tabla 10	Comparación De Sensores De Presión Barométrica.	76
Tabla 11	Comparación De Sistemas Empotrados Arduino.	79
Tabla 12	Métricas De Módulos Lora	80
Tabla 13	Métricas Para La Selección Del Gateway	83

Índice de figuras

figura 1 árbol de problemas.....	24
figura 2 fases de la metodología propuesta.....	42
figura 3 red de categorías	45
figura 4 triángulo del fuego.....	47
figura 5 composición de un sensor de temperatura	57
figura 6 comparación de comunicaciones.....	61
figura 7 arquitectura sigfox	64
figura 8 arquitectura de nb-iot	65
figura 9 arquitectura de red lora	67
figura 10 gráfica de voltaje respecto a la velocidad.....	78
figura 11 arquitectura propuesta para desarrollo del prototipo.....	85
figura 12 diagrama de la estructura del nodo.	88
figura 13 estructura del nodo sensor.	88
figura 14 ttn indor gateway	89
figura 15 interfaz the things network	91
figura 16 interfaz de aplicación y dispositivos finales	91
figura 17 interfaz para monitoreo del gateway ttn.....	92
figura 18 dashboard cayenne.....	93
figura 19 diagrama de componentes	95
figura 20 diagrama de secuencia	96
figura 21 diagrama de flujo.....	97
figura 22 la red del ttn indoor gateway.....	99
figura 23 conectando al gateway a una red wifi.....	100
figura 24 gateway registrado en ttn server.....	101
figura 25 creación de una aplicación en ttn server.	101
figura 26.....	102
figura 27 registro de un módulo lora en ttn server.	103
figura 28 configuración del dispositivo en arduino.....	104
figura 29 datos de nodo final.....	105
figura 30 integración desde ttn server con cayenne.....	106
figura 31 registro de un módulo lora en cayenne.	107
figura 32 dashboard con los nodos sensores.....	108
figura 33 ubicación del gateway en la plataforma the things of network para experimento 1	110
figura 34 ubicación y distancia de los nodos sensores.	110
figura 35 datos recolectados en el experimento 1.....	111
figura 36 evidencia de la colocación del nodo sensor.	112
figura 37 ubicación del gateway en la pnto 2.....	113
figura 38 mapa del experimento 2.....	114
figura 39 dashboard general nodo 1	115
figura 40 dashboard general nodo 2	115
figura 41 medición de temperatura del sensor 1.	116
figura 42 medición de temperatura del sensor 2.	116
figura 43 medición de temperatura a las 15:00 del nodo sensor 1.	117

figura 44 pico de temperatura a las 15:00 del nodo sensor 2.	117
figura 45 temperatura recolectada por el nodo sensor 2.....	118
figura 46 pico de temperatura del nodo sensor.	118
figura 47 medición de temperatura del nodo sensor 1.	119
figura 48 medición de temperatura del nodo sensor 2.	119
figura 49 ubicación del gateway en la plataforma the things of network para experimento 3	120
figura 50 dashboard nodo 1	121
figura 51 datos nodo 1.....	122
figura 52 dashboard nodo 2	122
figura 53 datos nodo 2.....	123
figura 54 dashboard nodo 3	123
figura 55 datos nodo 3.....	124
figura 56 dashboard nodo 4	124
figura 57 datos nodo 4.....	125
figura 58 ppm de co2 superan 700	126
figura 59 temperatura mayor a 30 c.....	126
figura 60 humedad relativa menor a 30%.....	127
figura 61 velocidad del viento mayor a 30 km/h	127
figura 62 datos validación de alerta	128
figura 63 alerta de posible conato de incendio	128
figura 64 mensaje de alerta sms.....	129
figura 65 correo electronico alerta.....	130

Resumen

Los incendios forestales son desastres naturales que en los últimos 50 años han generado problemas medio ambientales, pérdidas económicas y pérdidas humanas. En Ecuador la SNGR en el año 2019 reportó la pérdida de 1600 hectáreas de bosques a causa de estos fenómenos. En la Sierra Central en las épocas de verano se forman las condiciones ideales para que este tipo de desastres aparezcan, esto se debe a las altas temperaturas, fuertes viento y la escasa humedad relativa.

Para el presente trabajo los incendios forestales presentan grandes magnitudes por la falta de alertas tempranas que permita contrarrestar el fuego a tiempo. Ante este problema se realizó una metodología propia que permite desarrollar el prototipo de sistema de información utilizando tecnología LoRa, con nodos sensores de bajo costo y bajo consumo de energía para monitorear las condiciones medio ambientales y emitir una alerta de un posible conato de incendio. El parámetro establecido para la emisión de alertas es la regla del 30-30-30 y adicional se empleará sensores de CO2 y presión barométrica.

Para comprobar el funcionamiento del prototipo este fue sometido a cuatro escenarios distintos donde se verificó la recolección de datos por parte de los sensores, la correcta visualización de los datos en un dashboard web y la emisión de una alerta temprana cuando se cumplen las condiciones para un posible conato de incendio forestal.

- Palabras clave
- **INCENDIOS FORESTALES**
- **LPWAN**
- **LORA**
- **NODO SENSORES**

Abstract

Forest fires are natural disasters that in the last 50 years have generated environmental problems, economic losses and human losses. In Ecuador, the SNGR in 2019 reported the loss of 1600 hectares of forests due to these phenomena. In the Central Sierra, in the summer seasons, the ideal conditions are formed for these types of disasters to appear, this is due to high temperatures, strong winds and low relative humidity.

For the present work, forest fires present large magnitudes due to the lack of early warnings that allow counteracting the fire in time. Faced with this problem, a proprietary methodology was carried out that allows the development of the information system prototype using LoRa technology, with low-cost sensor nodes and low energy consumption to monitor environmental conditions and issue an alert of a possible outbreak of fire. The parameter established for the issuance of alerts is the 30-30-30 rule and additional CO₂ and barometric pressure sensors will be used.

To verify the functioning of the prototype, it was subjected to four different scenarios where the data collection by the sensors was verified, the correct visualization of the data in a web dashboard and the issuance of an early warning when the conditions for a possible outbreak of forest fire.

- Key words
- **FOREST FIRES**
- **LPWAN**
- **LORA**
- **SENSOR NODE**

Capítulo I

Introducción

En el capítulo I se aborda los antecedentes de la investigación, se determina causas y efectos para la construcción del árbol de problemas lo que permite establecer el planteamiento del problema. De esta manera se puede sustentar la justificación del problema. Posterior a esto se realiza el planteamiento del objetivo general y los objetivos específicos, se determina el alcance del proyecto de investigación y se culmina con la elaboración de la hipótesis de trabajo.

Antecedentes

Los desastres naturales se han incrementado en los últimos cincuenta años, generando problemas como la destrucción de hábitats, infraestructura, pérdidas humanas, problemas medio ambientales y problemas económicos. Según Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres (por sus siglas en inglés, UNISDR) define al desastre como: “Una interrupción grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad a cualquier escala debido a eventos que conllevan a pérdidas: humanas, ambientales y económicas” (*Disaster*, s. f.).

Los desastres naturales se clasifican en: meteorológicos, hidrológicos, geofísicos y climatológicos. Dentro de estos se incluyen: terremotos, explosiones volcánicas, incendios forestales, inundaciones, deslizamientos de tierras, entre otros. En el ámbito económico, los desastres naturales, generan un impacto severo a corto plazo, que puede conducir a pérdidas económicas a largo plazo (Khan et al., 2020). Según el Reporte Mundial de Desastres del 2018, elaborado por The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (de sus siglas en inglés, IFRC), se identificó que los desastres

naturales en los últimos 10 años han generado pérdidas económicas de \$1.658 billones y pérdidas humanas de 2 billones de personas (*2018 World Disasters Report*, 2018).

Dentro de los desastres naturales se va a analizar a los incendios forestales debido a que ocurren con frecuencia en especial en la temporada de clima seco y a su impacto medio ambiental (Sasmitha et al., 2018a). Cuando se produce un incendio forestal se liberan gases nocivos que promueven el calentamiento global como: (CO₂) dióxido de carbono, (CH₄) metano, (N₂O) óxido nitroso, (CO) monóxido de carbono y (COVs) compuestos orgánicos (Agama, 2016). La emisión de estos gases a la atmósfera provoca un aumento en la temperatura lo que genera climas secos y calores extremos ideales para la generación de un incendio forestal (*2018 World Disasters Report*, 2018).

Según el estudio *Fires, Forests and The Future* elaborado por World Wide Foundation (de sus siglas en inglés, WWF) los incendios forestales en abril del 2020 tuvieron un aumento del 13% en relación con 2019 marcando un récord histórico. Actualmente los incendios forestales son de mayor magnitud, más intensos y de mayor duración; esto se debe a: climas secos y más calientes, cambio de tierras para la agricultura y otros factores humanos (*Fires, forests and the future: a crisis raging out of control? | WWF*, 2020). Alrededor del mundo existieron sucesos trágicos causados por este fenómeno, en el período 2019-2020, Australia se ha visto azotada por una serie de incendios forestales catalogados como los peores de su historia con consecuencias devastadoras, alrededor de tres billones de animales (26 especies endémicas) han muerto o han sido desplazados porque el 30% de su hábitat desapareció además se estima que alrededor de siete billones de plantas fueron afectadas por este fenómeno. En América Latina en el primer semestre del año 2020 en Brasil se perdieron 307,000 hectáreas de bosque que representa un 26% adicional en relación con 2019, a esto se

suma Bolivia que incrementó los incendios en un 35% (*Fires, forests and the future: a crisis raging out of control?* | WWF, 2020).

A pesar de que las muertes por incendios forestales representan apenas el 0.2% de las muertes provocadas por desastres naturales, este fenómeno tiene un impacto en la calidad de vida de las personas. Se estima que cada año 340,000 personas mueren de forma prematura por problemas respiratorios y cardiovasculares provocados por el humo de los incendios forestales. En el año 2017, 550,000 personas alrededor del mundo tuvieron que abandonar sus viviendas a causa de las llamas. Las comunidades indígenas sufren un mayor impacto debido a la destrucción de sus tierras, fuentes de agua y alimento. En Brasil en el año 2019, 148 comunidades indígenas fueron afectadas por los incendios. Los efectos económicos provocados por los incendios forestales se incrementan cada vez más, generando efectos negativos en la economía de los países. En 2019 la industria del turismo australiana sufrió pérdidas económicas cercanas a los \$2.9 billones (*Fires, forests and the future: a crisis raging out of control?* | WWF, 2020).

En Ecuador, de acuerdo con el Ministerio del Ambiente y Agua, la mayoría de los incendios forestales en el país son antropogénicos, es decir causados por el hombre; el fuego es utilizado para el cambio de suelos, preparación de tierras o renovación de pastizales, aunque también son ocasionados por acciones pirómanas. Ante esta problemática el Código Orgánico Integral Penal en su Art. 246 establece: “que la persona que provoque directa o indirectamente incendios o instigue la comisión de tales actos, en bosques nativos o plantados o páramos, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años”. Entre julio y septiembre del año 2019 en el Ecuador, según datos de (SNGR, 2019) se han presentado 1540 incendios forestales, lo que ha ocasionado la pérdida de aproximadamente 16000 hectáreas de cobertura vegetal, donde las provincias más afectadas son: Loja, Imbabura, Pichincha, Carchi, Guayas y El Oro.

Planteamiento del problema

Los incendios forestales (IF), según la Organización Mundial de la Salud (OMS), es un fenómeno natural provocado por los seres humanos o causas naturales. Los efectos de este fenómeno son diversos como: muerte de personas o animales, destrucción del medio ambiente, reducción de precipitaciones, cambios en la presión del aire, afectación a actividades agrícolas, producción de alimentos, erosión del suelo y altas concentraciones de gases (OMS | *INCENDIOS FORESTALES*, s. f.).

El triángulo del fuego representa las condiciones necesarias para que un incendio se produzca, sus elementos son: combustible, comburente y la temperatura. El combustible es un agente reductor, esto quiere decir un material que puede ser oxidado, aquí se encuentra elementos como: carbón, madera, gasolina, propano, hidrógeno, ceras, metano, etc. El comburente o agente oxidante, es el que oxida a un combustible y se reduce a sí mismo, el oxígeno en todos los incendios es el comburente que alimenta al fuego. La temperatura es el calor mínimo para iniciar el proceso de combustión para que se mantenga de manera independiente (*Elementos del fuego | El oso Smokey*, s. f.). Para que un incendio forestal aparezca debe cumplir con los tres parámetros establecidos en el triángulo del fuego: el combustible está representado por la vegetación, el comburente es el oxígeno y calor es la temperatura ambiental (Comisión Nacional Forestal, s. f.).

Según el estudio de WWF (*Fires, forests and the future: a crisis raging out of control? | WWF*, 2020) el 75% de los incendios forestales son causados por el hombre como por ejemplo: rupturas de líneas eléctricas, actividades relacionadas con la agricultura, tala ilegal, colillas de cigarrillo o fogatas (Comisión Nacional Forestal, s. f.). Cuando un conato de incendio aparece, la velocidad y la forma con la que el fuego se esparce determina su voracidad y los daños que ocasionaría, los elementos que generan

estos incendios forestales están representados en la gran triada y son: topografía, combustible y el tiempo atmosférico. Según (Comisión Nacional Forestal, s. f.) los elementos representados en la gran tríada se los clasifica en dos grupos: condiciones permanentes y transitorias. Las condiciones permanentes se encuentran determinadas por: combustible (constituye los elementos que componen la vegetación) y la topografía. Las condiciones transitorias están relacionadas con factores atmosféricos como: humedad relativa, temperatura, CO₂, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento. Según (Mora, s. f.) determina: "Mediante las condiciones permanentes se puede conocer las probabilidades que el fuego se produzca, mientras que las transitorias prevén los alcances de un incendio". En conclusión, las condiciones permanentes como su nombre lo dicen, son estáticas mientras que los elementos que pertenecen a los factores atmosféricos son los que se deben medir para poder predecir o dar una alerta temprana para determinar un incendio forestal.

Ecuador debido a su posición geográfica está atravesado por la Cordillera de los Andes, que dividen al país en tres regiones (diversidad de climas): Costa Sierra y Oriente. Según (Pazmiño, 2019) la mayoría de los incendios forestales ocurren la Sierra, que posee un clima semi-húmedo y su temperatura en condiciones normales oscilan entre 8°C y 20°C en condiciones normales, mientras que en condiciones extremas puede llegar a estar entre 22°C y 30°C. En el país el origen de un incendio forestal es variado y depende de la zona, pero existen dos factores que se repiten siempre y son: el ser humano y el paisaje. El fuego es provocado por malas prácticas agrícolas, cambios de tierra, ganadería tradicional, irresponsabilidad de las personas o acciones pirómanas. Mientras que el paisaje o la zona se ve afectada por los veranos que son cada vez más intensos y sequías prolongadas, adicional a la radiación solar que actúa como combustible en

altitudes sobre los tres mil metros que provocan pérdida de humedad relativa donde una chispa puede generar un incendio forestal (Linares, s. f.).

La Autoridad Nacional Ambiental, El Ministerio del Ambiente y Agua, es la encargada de realizar acciones de prevención en las áreas protegidas, tiene a su cargo 56 áreas protegidas de las cuales 20 son amenazadas por los incendios forestales (Linares, s. f.). Cuando un conato de incendio forestal ocurre los guardaparques son los encargados de emitir una alerta a las autoridades competentes para socorrer el incendio (Linares, s. f.). Pero en muchas ocasiones debido a la extensión del terreno y a la cantidad de guardaparques, ésta alerta puede ser tardía lo que genera un incendio de mayores proporciones. El éxito para reducir el impacto de un incendio forestal es combatirlo en el menor tiempo posible para evitar su expansión y sus daños.

La Secretaría Nacional de Riesgos hasta el año 2019 en su portal web emitía Informes de Situación acerca de los incendios forestales, que se lo hacía de forma diaria en los meses de junio a septiembre, a través de la recolección de datos provenientes de imágenes satelitales que informaban acerca de focos de calor. Estos boletines informaban acerca de un foco de incendio que sucedió 24 horas atrás más no emitía una alerta preventiva para mitigar un conato de incendio forestal.

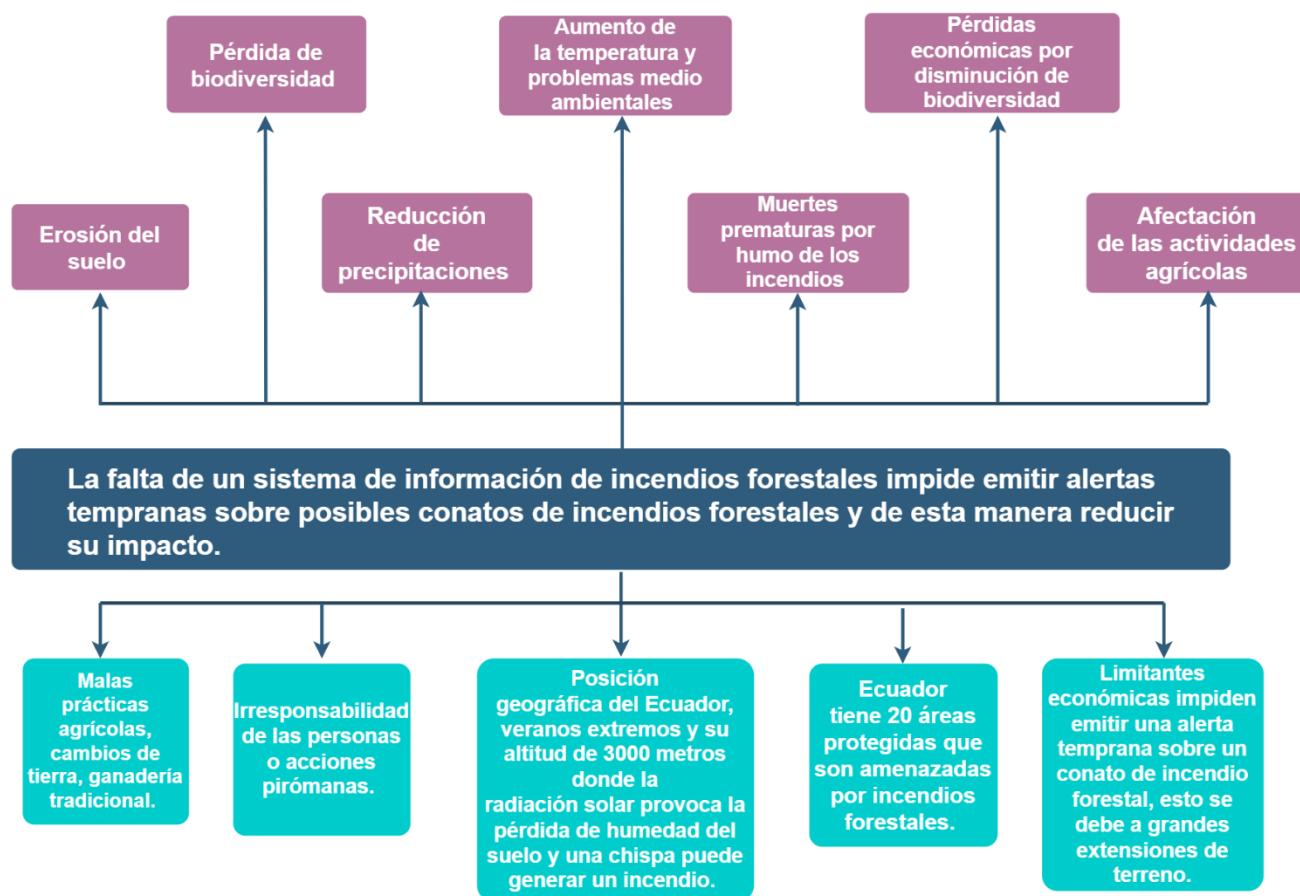
Los bosques son los pulmones del mundo, Ecuador cuenta con grandes extensiones y con una legislación que protege a los mismos, a pesar de esto en el país según datos de La Secretaría Nacional de Riesgos en 2018 Ecuador registró 12,5 millones de hectáreas (ha) de bosque nativo, lo que demuestra una disminución constante desde la década del 90 cuando había 14,5 millones de hectáreas (SNGR, 2019).

Ante la falta de un sistema de información de alerta de incendios forestales, es importante promover un sistema de información que permita monitorear las condiciones

que causan un incendio forestal con el fin de detectar y emitir una alerta temprana para mitigar un conato de incendio forestal. En la figura 1 se detallan las causa y efectos del problema planteado.

Figura 1

Árbol de problemas



Nota. En esta figura se presenta las causas y efectos del problema presentado.

Según lo expuesto en la Figura 1, las causas de los incendios forestales en Ecuador son variadas, empezando por la posición geográfica y su altitud que generan las condiciones idóneas en las épocas de verano para el inicio de un incendio forestal, esto se ve reflejado en que 20 áreas protegidas son amenazadas por este tipo de fenómeno.

Por otro lado, las limitantes económicas para contratar personal humano o equipos tecnológicos que permitan realizar un monitoreo constante de grandes extensiones de bosque y emitir una alerta temprana y evitar que los incendios se transformen en eventos de grandes magnitudes. La principal causa de incendios forestales se debe al factor humano que es el principal responsable. Estos desastres no solo generan pérdidas económicas, sino que el humo y los gases que se desprenden contribuyen a un aumento de la temperatura del planeta generando un gran impacto medio ambiental como: erosión del suelo, reducción de precipitaciones y pérdida de biodiversidad.

Justificación

Los incendios forestales son un problema medio ambiental que tiene efectos negativos en diversos ámbitos como: la pérdida de biodiversidad, personas sin hogar, reducción de lluvias, pérdida de fuentes de agua y alimentos, liberación de millones de toneladas de CO₂, muertes prematuras causadas por el humo de los incendios y efectos negativos en las economías de los países.

Según la Secretaría de Gestión de Riesgos entre 2012 y 2017 en Ecuador ha registrado 57.000 hectáreas afectadas por incendios forestales. Esto provoca la pérdida de hábitat y especies de animales, además de grandes pérdidas económicas. Entre julio y septiembre del año 2019 en el Ecuador, los incendios forestales han ocasionado la pérdida de 16000 hectáreas de cobertura vegetal, en 1540 eventos registrados, donde las provincias más afectadas son: Loja, Imbabura, Pichincha, Carchi, Guayas y El Oro. La Secretaría Nacional de Riesgos en 2013 informó que se pierden 70.000 hectáreas de bosque natural al año, esto se traduce en una pérdida monetaria de 161.000.000,00 USD (SNGR, 2019).

El Ministerio del ambiente tiene 20 áreas protegidas propensas a sufrir incendios forestales. Este fenómeno ocurre en especial en las épocas de verano que son cada vez más intensos en Ecuador. Los incendios forestales toman grandes y magnitudes y generan daños severos cuando no existe una alerta temprana sobre un conato de incendio forestal, esto se debe a las grandes extensiones de terreno lo que impide que los guardias forestales puedan emitir una alerta temprana de incendio y reducir la magnitud del impacto.

A pesar de que existen diferentes técnicas para la vigilancia de bosques, estas son costosas y no permiten anticiparse ante un posible conato de incendio forestal, sino que en muchos casos reaccionan cuando el incendio toma grandes magnitudes. La vegetación ecuatoriana es propensa a sufrir incendios forestales en especial épocas de verano, esto se debe a la falta de un monitoreo constante que permita generar una alerta temprana de un posible conato incendio forestal para minimizar sus efectos. Dentro de las tecnologías emergentes de bajo costo revisadas en la literatura se encontró LPWAN que es una tecnología muy utilizada debido a su amplia área de cobertura (decenas de kilómetros), bajo consumo de energía, un ancho de banda de decenas de kilobits por segundo y una frecuencia ISM, estas soluciones han sido implementadas en otras zonas geográficas con condiciones climáticas diferentes, por esta razón se implementó dentro de la zona ecuatoriana en la provincia de Pichincha. Este tipo de tecnologías permite usar equipos de bajo costo (sensores) que son fáciles de implementar, están orientados al Internet de las Cosas y permiten monitorear de manera constante una amplia variedad de condiciones ambientales sin consumir mucha energía, por lo tanto es ideal para la construcción de nuestro prototipo porque nos permite utilizar sensores de bajo costo en zonas forestales, con un bajo consumo energético de larga duración y una cobertura de

decenas de kilómetros para poder extraer información, ser enviada a un servidor y de esta manera emitir una alerta temprana de incendio forestal.

Al ser un fenómeno que impacta al medio ambiente y a la población es necesario construir un prototipo de bajo costo mediante tecnologías emergentes para la recolección y procesamiento de datos de las condiciones geográficas y climáticas del Ecuador, con el fin de emitir una alerta que permita mitigar un conato de incendio forestal.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo de sistema de información en línea para la detección y emisión de alertas tempranas de incendios forestales mediante el uso de tecnologías emergentes de bajo costo para minimizar posibles conatos de incendios forestales.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión literaria para determinar la situación actual y las propuestas de la comunidad científica acerca la detección y monitoreo de incendios forestales utilizando tecnologías emergentes de bajo costo.
- Desarrollar un prototipo funcional mediante la implementación de los cuatro nodos con sensores (humedad/temperatura, CO₂, presión barométrica y velocidad del viento) para la recolección de datos a ser publicados en línea mediante una aplicación web con el propósito de emitir una alerta temprana de un conato de incendio forestal.
- Validar el prototipo del sistema de información en línea para la detección y emisión de alertas tempranas de incendios forestales por medio de

pruebas funcionales que permitan determinar la cobertura y datos del sistema de información.

Alcance

Construir un prototipo de sistema de información para la emisión de alertas tempranas para determinar un posible conato de incendio forestal empleando la regla del 30-30-30, en un área determinada adecuada para las pruebas en la provincia de Pichincha a través del uso de tecnologías emergentes de bajo costo. Para esto se utilizará nodos con sensores (CO₂, temperatura, humedad, presión barométrica y velocidad del viento) que recolectan información determinante en la aparición de un incendio forestal en el área determinada y son almacenados en un servidor en la nube, para ser procesados y presentados al usuario final través de un dashboard web y generar una alerta sobre un incendio forestal. El propósito es generar un prototipo de bajo costo, que pueda monitorear las condiciones medio ambientales y alertar a tiempo acerca de un posible incendio forestal y disminuir el impacto de este.

Tabla 1

Objetivos específicos y preguntas de investigación

Objetivo específico	Preguntas de investigación
OE1. Realizar una revisión literaria para determinar la situación actual y las propuestas de la comunidad científica acerca la detección y monitoreo de incendios forestales utilizando tecnologías emergentes de bajo costo.	RQ1: ¿Qué soluciones proponen los estudios para monitorear los bosques y emitir una alerta temprana ante un posible incendio forestal? RQ2: ¿Qué tipo de tecnologías emergentes de bajo costo son utilizadas

para la transmisión de datos en ambientes naturales?

OE2. Desarrollar un prototipo funcional mediante la implementación de nodos con sensores (humedad/temperatura, CO₂, presión barométrica y velocidad del viento) para la recolección de datos con el propósito de emitir una alerta temprana de un conato de incendio forestal.

RQ3: ¿Cuáles son los parámetros utilizados para detectar un incendio forestal?

RQ4: ¿Cuál es el proceso para la recolección, almacenamiento y presentación de datos de un conato de incendio al usuario?

OE3. Validar el prototipo para la recolección de datos por medio de pruebas funcionales que permiten determinar la cobertura de la tecnología emergente de bajo costo y un dashboard para observar los datos recolectados por el prototipo.

RQ5: ¿Cómo se mide la cobertura de las tecnologías emergentes en un ambiente rural?

RQ6: ¿Cuál es la frecuencia de envío de datos desde el sensor al servidor?

RQ7: ¿Cuáles son los parámetros para verificar el funcionamiento de un sistema de alerta de incendios forestales?

Hipótesis de trabajo

Sistema de información para la detección de incendios forestales mediante el uso de tecnologías emergentes de bajo costo permitirá emitir alertas tempranas para su detección.

Capítulo II

Marco Metodológico

En el capítulo II se presenta el estado del arte, siguiendo la descripción de la metodología planteada en el proyecto, especificando cada una de las actividades a realizar en cada fase del modelo de investigación. Finalmente, la formulación de una red de categorías donde se presenta el marco teórico.

Estado del Arte

Para la elaboración del estado del arte se basó en las etapas propuestas por (BA & Charters, 2007) que son: (1) Planteamiento de revisión de literatura, (2) Definición del grupo de control, (3) Construcción de la cadena de búsqueda, (4) Selección de estudios primarios y (5) Elaboración del estado del arte. Sin embargo, en la etapa dos, se encontró un estudio que realiza una búsqueda preliminar relacionada con el tema de investigación lo que modificó las siguientes etapas por: (2) Antecedentes al grupo de control y (3) Utilizando la cadena de búsqueda. A continuación, se presenta las etapas para el desarrollo del estado del arte:

Planteamiento de la revisión de literatura

Se realizó una definición rápida del problema de investigación para tener el contexto para realizar la búsqueda de artículos científicos; se definió un objetivo de la búsqueda y preguntas de investigación (Tabla 3) relacionadas al problema y se aplicó criterios de inclusión y exclusión para filtrar información.

Criterios de inclusión

- Estudios actuales que se basan en el monitoreo en tiempo real de bosques.
- Soluciones que implementan tecnologías emergentes de bajo costo, de fácil implementación y permitan tener información en tiempo real de los bosques.
- Estudios cuyo objetivo sea alertar de manera temprana acerca de los incendios forestales.

Criterios de exclusión

- Estudios que utilicen imágenes satelitales para identificar incendios forestales.
- Estudios que muestran el impacto de los incendios forestales en el ambiente, pero no proponen una solución para controlar este fenómeno.
- Artículos publicados antes del 2015 y que no estén escritos en inglés.

Antecedentes al grupo de control

Para establecer el grupo de control (GC) es necesario realizar un mapeo sistemático de literatura, con el fin de identificar artículos, estudios o propuestas que se alineen con el propósito nuestra investigación, no obstante al realizar este procedimiento, en los primeros artículos se encontró el artículo: "Identifying technological alternatives focused on early alert or detection of forest fires: Results derived from an empirical study" que corresponde a una búsqueda preliminar relacionada con nuestra temática, y se toma la decisión de ampliar la cobertura de búsqueda de este artículo a 3 bases digitales más: IEEE, Science Direct y ACM.

Utilizando la cadena de búsqueda

La cadena de búsqueda encontrada en este artículo y que va a ser utilizada para nuestra investigación es la siguiente:

((“forest fires” OR “wildfires” OR “flames”) AND (“early detection” OR “early alert”) AND (“emerging technologies” OR “technological breakthroughs”)).

Selección de estudios

Para la selección de artículos, el estudio seleccionado propone tres etapas de búsqueda que son: Estudios Candidatos, Estudios relevantes y Estudios Primarios.

Science Direct

- Estudios Candidatos: Aplicando la cadena de búsqueda se encontró 65 estudios.
- Estudios Relevantes: En este proceso se aplica los criterios de inclusión y exclusión mostrados en el artículo, se obtuvo 14 estudios relevantes.
- Estudios Primarios: En este proceso se descargaron los 6 estudios relevantes del paso anterior, se aplicó los criterios de inclusión y exclusión, se obtuvo 3 estudios.

Tabla 2*Estudios primarios Science Direct*

Código	Título	Cita
EP1	Multi-hazard disaster studies: Monitoring, detection, recovery, and management, based on emerging technologies and optimal techniques	(Khan et al., 2020)
EP2	A framework for use of wireless sensor networks in forest fire detection and monitoring	(Aslan et al., 2012)
EP3	Analysis of cost-effective sensors: Data Fusion approach used for Forest Fire Application	(Verma & Singh, 2020)

Nota. En esta tabla se muestran todos los estudios encontrados con la cadena de búsqueda en la base digital Science Direct.

IEEE XPLORE

- Estudios Candidatos: Aplicando la cadena de búsqueda se encontró 35 estudios.
- Estudios Relevantes: En este proceso se aplica los criterios de inclusión y exclusión mostrados en el artículo, se obtuvo 16 estudio relevante el otro se excluyó porque era del año 2012.

- Estudios Primarios: En este proceso se descargó el estudio relevante del paso anterior, se aplicó los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 4

Tabla 3*Estudios primarios IEEE XPLORE*

Código	Título	Cita
EP4	Emerging methods for early detection of forest fires using unmanned aerial vehicles and LoRaWAN sensor networks	(Hristov et al., 2018)
EP5	Forest Fire Detection using LoRa Wireless Mesh Topology	(Adnan et al., 2018)
EP6	Integrating Forest Fire Detection with Wireless Sensor Network Based on Long Range Radio	(Sasmita et al., 2018)
EP7	Low Cost LoRa based Network for Forest Fire Detection	(Vega-Rodríguez et al., 2019)

Nota. En esta tabla se muestran todos los estudios encontrados con la cadena de búsqueda en la base digital Science Direct.

ACM

- Estudios Candidatos: Aplicando la cadena de búsqueda se encontró 22 estudios.
- Estudios Relevantes: En este proceso se aplica los criterios de inclusión y exclusión mostrados en el artículo, se obtuvo 11 estudio relevante el otro se excluyó porque era del año 2012.
- Estudios Primarios: En este proceso se descargó el estudio relevante del paso anterior, se aplicó los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 2

Tabla 4*Estudios primarios ACM*

Código	Título	Cita
EP8	Forest fire detection using spiking neural networks	(Luo et al., 2018)
EP9	Local Disaster Risk Reduction Management System Utilizing Unmanned Aerial Vehicles	(Diaz et al., 2019)

Nota. En esta tabla se muestran todos los estudios encontrados con la cadena de búsqueda en la base digital ACM.

Elaboración del estado del arte

EPI (Aslan et al., 2012) A framework for use of wireless sensor networks in forest fire detection and monitoring, en este artículo se propone un framework para la detección de incendios forestales utilizando una red wireless. El objetivo es detectar de manera temprana un incendio forestal y hacer que los nodos colocados en los bosques soporten

climas adversos y a la vez sean eficientes con el consumo de energía. Además, la red tiene un funcionamiento especial cuando existe una alerta de incendio para enviar el mensaje lo más rápido posible. Uno de los aspectos más importantes de este artículo es su arquitectura cluster planteada para optimizar la comunicación entre nodos y la eficiencia de energía. La ventaja de utilizar una red de cluster es la eficiencia al procesar datos, reducir el volumen de tráfico, agregación de datos, eficiencia de energía y una mejor coordinación.

EP2 (Khan et al., 2020) Multi-hazard disaster studies: Monitoring, detection, recovery, and management, based on emerging technologies and optimal techniques

En este artículo se muestran técnicas basadas en tecnologías emergentes para el monitoreo, detección, recuperación y manejo de los desastres naturales. Dentro de la detección de incendios forestales, se implementan sensores de red inalámbrica para la vigilancia de los incendios forestales, los sensores deben medir de manera precisa los niveles que alertan sobre un posible incendio y mantener los niveles de consumo de energía. En un estudio realizado en Corea del Sur utilizan una cámara híbrida con la ayuda de una red (clúster) que utilizan nodos de medición de la humedad, temperatura, presión y otros parámetros. Molina utiliza WSN en dos tipos: Nodos sensores (SN) para la recolección de datos en el ambiente y Nodos Cluster (CN) que recolecta los datos de los SN y transmiten la información a un servidor. Sharma presenta un sistema de detección de fuego utilizando sensores de humo, temperatura y una alarma, utiliza IoT y una página web que recolecta los datos de los sensores y monitorea constantemente y envía una alerta al celular. Otra solución para la detección de incendios forestales es utilizar drones, aviones no tripulados e imágenes de satélites que envían esos datos a una estación y estos se transmiten a una aplicación móvil.

EP3(Verma & Singh, 2020) Analysis of cost-effective sensors: Data Fusion approach used for Forest Fire Application

El autor de este paper menciona un problema de imprecisión de la información que existe provocada por los tipos de sensores de bajo costo que se ocupan. El problema con los sensores es que al hacer de bajo costo tienen problemas con la batería y las condiciones climáticas pueden afectar su funcionamiento. Los factores que se deben tomar en cuenta para detectar incendios forestales son: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y la actividad lluviosa. Para evitar las imprecisiones generadas por los sensores, es necesario aplicar fusión de datos, esto consiste en obtener información redundante y confiable de varios nodos para combinar la información de los sensores y enviarla a la estación. Según el autor de este documento las imágenes por sensor son la mejor opción para detectar incendios forestales, pero son menos usados por su alto costo y mantenimiento. La conclusión de este artículo es que la precisión de la información de los sensores colocados en un área específica depende del número de nodos que se coloquen, entre más nodos se podrá obtener información más precisa para detectar un incendio forestal. Además, es primordial encontrar una relación entre los datos recolectados por los sensores (temperatura, humedad, velocidad del viento, intensidad de luz, actividad lluviosa) para poder detectar un incendio forestal.

EP4 (Hristov et al., 2018) Emerging methods for early detection of forest fires using unmanned aerial vehicles and LoRaWAN sensor networks

Se utilizan vehículos aéreos no tripulado (UAVs) con cámaras que sobrevuelan los bosques a una altura de 350-5500 metros y detectan un posible incendio, para evitar falsas alarmas se envían drones que vuelan a una altura de 10-350 metros para confirmar el incendio y enviar una alerta a las autoridades correspondientes. Otra alternativa es la

de implementar una red LORAWAN en la región de Ruse (Bulgaria), se monta un gateway utilizando un Raspberry Pi 3 que es capaz de recibir la información de 6000 dispositivos LORAWAN.

EP5 (Adnan et al., 2018) Forest Fire Detection using LoRa Wireless Mesh

Topology

Este paper está orientado en la India, donde se detectó que no existe una red de comunicación para enviar información de los incendios forestales. Para lo cual el autor propone diseñar una red pública para que los sensores puedan enviar la información recolectada desde los bosques. Para lo cual utilizan LoRa, una tecnología inalámbrica de largo alcance. La topología de red implementada fue malla, donde se utilizan 3 nodos construidos con: Arduino Uno, Lora, DHT11 (sensor de humedad) y MQ2 (sensor de CO₂). Estos son colocados a distancia máxima de 500 metros y envían los resultados obtenidos a la nube para ser enviados al usuario. Las alertas que envía el sistema son preventivas, el sistema emite una alarma cuando se da la siguiente condición que puede generar un conato de incendio: la temperatura es mayor a 40°C, humedad es del 50% y las partículas obtenidas por el sensor MQ2 están alrededor de 2.368 ppm. Este artículo es importante porque muestra un prototipo de sistema para emitir alertas tempranas de incendios forestales, indica su arquitectura, la tecnología de bajo costo y largo alcance, la fórmula para mostrar una alerta de incendio y la forma como están desplegados los nodos para la transmisión de datos y la distancia máxima que puede cubrir con esto equipos.

EP6 (Sasmita et al., 2018) Integrating Forest Fire Detection with Wireless Sensor Network Based on Long Range Radio

El autor de este paper muestra la importancia de la elección de tecnologías de largo alcance y bajo consumo de energía para la recolección y transmisión de datos para

un sistema de incendios forestales. Para el sistema propuesta utiliza: Raspberry Pi (GPS, sensor y módulo LoRa) como nodo transmisor de información y la información será recibida por un módulo de recepción LoRa que muestra la ubicación donde el fuego apareció. La conclusión de los autores del paper fue que con estos equipos en condiciones ideales (sin obstáculos) la distancia máxima de transmisión de 1.3 Km, a diferencia de cuando los nodos sensores son colocados en un ambiente real con obstáculos la distancia máxima es de 400 metros.

EP7 (Vega-Rodríguez et al., 2019) Low Cost LoRa based Network for Forest Fire Detection

En este artículo se muestra la construcción de un sistema para la detección de incendios forestales en España. Los autores de esta investigación utilizaron la tecnología LoRa, 4 nodos (construidos con Arduino Uno) que poseen tres sensores en cada nodo (temperatura/humedad relativa, CO₂ y velocidad del viento), utilizan una topología tipo malla, un Gateway, un servidor TTN y un aplicativo web para mostrar los datos recolectados por los sensores. La parte más interesante del artículo fue la forma de interpretar los datos para emitir una alerta acerca de un posible incendio forestal, para esto utilizaron la regla del 30, que se basa en los siguientes parámetros para emitir una alerta de un incendio forestal: temperatura mayor o igual a 30°C, humedad relativa menor del 30%, velocidad del viento mayor a 30km/h y la ausencia de precipitaciones en los últimos 30 días.

EP8 (Luo et al., 2018) Forest fire detection using spiking neural networks

Los incendios forestales son una de las principales causas de la degradación ambiental y su detección y pronóstico es un desafío. En este artículo se propone un método novedoso de detección de incendios forestales basado en redes neuronales de

picos. Los datos obtenidos de experimentos controlados se utilizan como muestras de entrenamiento de entrada y se establece un modelo de detección considerando los factores de temperatura, humedad, concentración de monóxido de carbono, velocidad y dirección del viento. Los resultados experimentales muestran que la red neuronal con picos puede lograr una precisión de detección de ~ 91% y, por lo tanto, proporciona una mejor compensación de potencia / precisión frente a los enfoques existentes.

EP9 (Diaz et al., 2019) Emerging methods for early detection of forest fires using unmanned aerial vehicles and LoRaWAN sensor networks

Después de que ocurre un desastre natural, la evaluación de daños juega un papel crucial en las operaciones de socorro. La información de la gravedad del desastre dentro de amplios alcances geográficos ayuda a los socorristas a identificar áreas de operación para priorizar y determinar terrenos intransitables o peligrosos. En comparación con las imágenes de satélite, los vehículos aéreos no tripulados proporcionan imágenes geográficas mejores y oportunas. Este estudio se centró en el desarrollo de un sistema que genera informes con imágenes del área devastada para la oficina local de gestión de reducción del riesgo de desastres (LDRRMO), utilizando drones para capturar las imágenes. El mapa de la aplicación generado a partir de las imágenes del dron en la implementación y las pruebas proporciona imágenes de mayor resolución temporal y resulta rentable en comparación con las imágenes de satélite. El sistema tiene como objetivo ayudar a los LDRRMO en su evaluación inicial de daños a través de la aplicación.

Características estado del arte

Los incendios forestales son un problema a nivel mundial, con la búsqueda realizada se encontró investigaciones realizadas en varios países como: China, Bulgaria, Rusia, India, España entre otros. A pesar de existen diversas soluciones para la

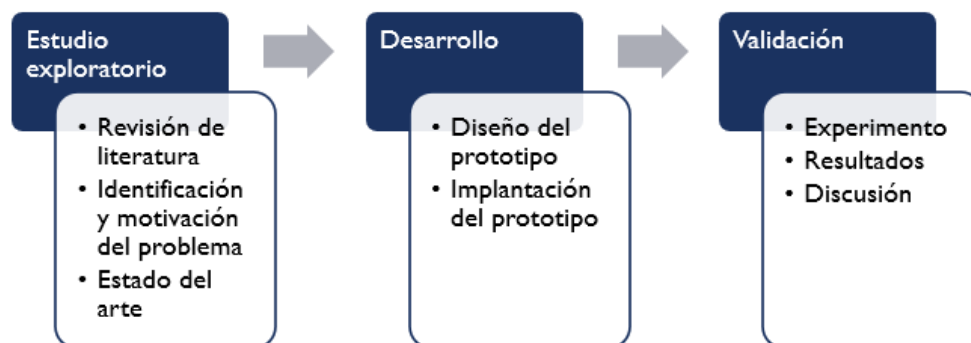
recolección de datos. Respondiendo a las preguntas RQ1 y RQ2 correspondientes al objetivo específico 1, se encontró que la tecnología utilizada en la mayoría de los estudios es la tecnología LoRa porque se basa en el Internet de las Cosas, es la que mejor se adapta a las condiciones de los bosques, tiene un radio de cobertura de decenas de kilómetros y en especial por su bajo consumo de energía. Los sensores para la recolección de datos en su mayoría deben medir: humedad relativa, temperatura, CO2 y la velocidad del viento. A pesar de que la mayoría de las investigaciones utilizan estos factores para medir un posible conato de incendio la diferencia principal radica en la forma de utilizar los datos y la manera de combinarlos para tener un estándar para poder emitir una alerta temprana. Los equipos utilizados son de bajo costo (Arduinos y Rasberry) pero su precisión radica en la cantidad de nodos utilizados en una zona determinada.

Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto se ha considerado estructurar una metodología propia que se presenta en la figura 2.

Figura 2

Fases de la metodología propuesta.



Nota. En esta imagen se muestra las fases de la metodología propia, propuesta para la elaboración del proyecto.

Estudio exploratorio

Esta fase contribuye con la identificación del problema y la valoración del estado del arte.

Revisión de literatura: se la realiza a través de la búsqueda artículos relacionados con la temática a tratar.

Identificación y motivación del problema: a través de la revisión de literatura se determina causas y efectos para poder identificar el problema a ser resuelto.

Estado del arte: es un proceso que permite profundizar el problema de investigación planteado a través de una revisión de literatura cuyo objetivo es encontrar estudios relevantes de actualidad relacionados con la temática.

Desarrollo

Esta fase determina las fases para plantear el diseño e implantación del prototipo

Diseño del prototipo: se plantea la estructura con la que constara la arquitectura del prototipo mediante módulos, utilizando las tecnologías valoradas en el estado del arte. Los módulos de la arquitectura son: (1) módulo de recolección de información, (2) módulo de conexión y enlace, (3) módulo de almacenamiento y (4) presentación y (5) módulo de recepción y publicación

Implantación del prototipo: en esta parte se monta los módulos de la arquitectura propuesta.

Validación

Se estructura el experimento que permite determinar la funcionalidad del prototipo y la obtención de resultados para su posterior discusión.

Experimento: se valora las propiedades funcionales y no funcionales del prototipo

Resultados: es la obtención de datos que permitan determinar el correcto funcionamiento del prototipo dentro de los parámetros presentados.

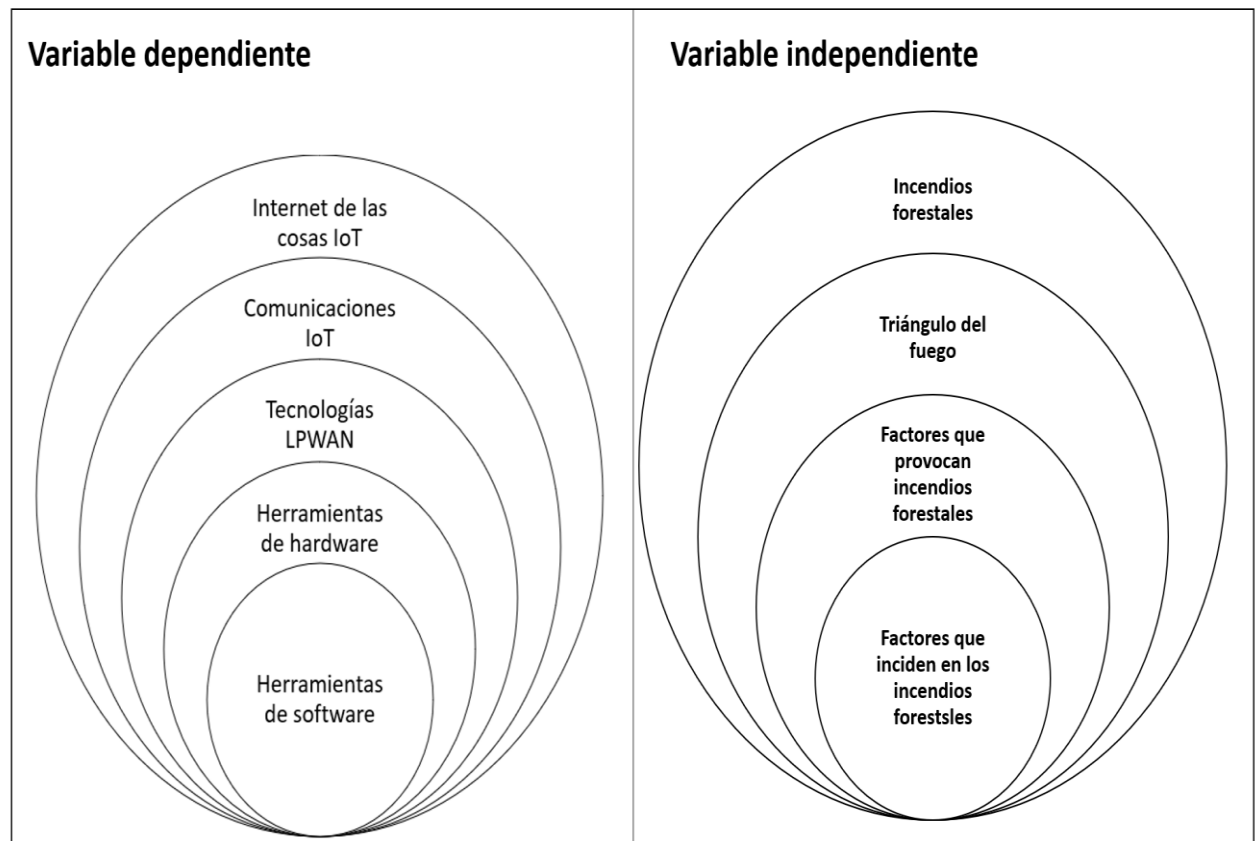
Discusión: valorar los resultados obtenidos para concluir si el prototipo es funcional o no funcional

Marco teórico

Se expone los temas relacionados con el tema de investigación, basado en la red de categorías de variables dependiente e independientes. A continuación, expondremos la red de categorías.

Red de Categorías

Se definirá los temas relacionados con el tema de investigación, mismo que está basado en la red de categorías conformado por la variable dependiente e independiente expuesta en la hipótesis. A continuación, en la figura 3 se expone la red de categorías.

Figura 3*Red de categorías*

Nota. En la figura se visualiza la variable los temas a ser desarrollados en el marco teórico determinados por la variable dependiente e independiente presentada en la hipótesis.

Fundamentación Científica de la Variable Independiente

Incendios forestales

Un incendio forestal es un desastre natural que provoca daños severos al ambiente, a diferencia de otros desastres, este es provocado en su mayoría por los seres humanos. Se denomina incendio forestal al fuego incontrolable ocurrido en ecosistemas terrestres que

se propaga en bosques o en áreas silvestres, el fuego es alimentado por factores como: viento, clima y el tipo de suelo (cobertura vegetal) (Comisión Nacional Forestal, s. f.). Los efectos de este fenómeno son diversos como: destrucción del medio ambiente, altas concentraciones de gases, erosión del suelo, pérdidas económicas, pérdida de la biodiversidad, muertes prematuras de personas, desplazamientos humanos, afectación a las actividades agrícolas entre otros (Khan et al., 2020). Cuando un incendio forestal ocurre, se liberan gases peligrosos a la atmósfera como: (CO_2) dióxido de carbono, (CH_4) metano, (N_2O) óxido nitroso, (CO) monóxido de carbono y (COVs) compuestos orgánicos.

Los incendios forestales tienen una estrecha relación con el calentamiento global, cuando los gases nocivos provocados por este fenómeno son emitidos a la atmósfera, esto genera un aumento considerable de la temperatura ambiental lo que incide de manera directa en clima secos y calores extremos lo que genera condiciones ideales para la aparición de un incendio forestal. Los incendios forestales se clasifican en tres tipos:

- Superficiales: El fuego se propaga de manera horizontal sobre el terreno y puede alcanzar hasta un metro y medio de altura.
- Subterráneos: La característica de este tipo de incendio es su forma de propagación, debajo de la superficie del suelo, genera daños a la materia orgánica. Este tipo de incendios no genera llama y produce poca cantidad de humo.
- Copa o Aéreos: Es el incendio más destructivo, peligroso y más difícil de controlar y genera un gran daño a la vegetación. El fuego se produce sobre 1.5 metros de altura, en algunos casos el fuego inicia como un incendio superficial que se propaga de manera vertical hacia la copa de los árboles.

Triángulo del fuego

El triángulo del fuego son los elementos necesarios que al interactuar entre si producen fuego, mismos que se visualizan en la Fig. 4.

Figura 4

Triángulo del fuego



Nota. El gráfico muestra los elementos que conforman el triángulo del fuego y como estos producen un incendio. Tomado de (Comisión Nacional Forestal, s. f.).

Temperatura de ignición o calor: Es la temperatura mínima para que una sustancia o material inicie el proceso de combustión y permita que el fuego se propague y se mantenga de manera independiente.

Combustible: Denominado agente reductor, es todo material que pueda ser oxidado (quemado). Un aspecto importante en los incendios forestales es la cantidad de humedad del combustible que determina la facilidad de quemarse.

Oxígeno: También llamado agente oxidante, es el elemento presente en todos los incendios con la capacidad de oxidar al combustible (alimentar el fuego), al hacer esto se reduce a sí mismo.

Factores que provocan los incendios forestales

Según (Földi & Kuti, 2016) clasifica a los factores que provocan incendios forestales en:

Factores abióticos: Estos factores están relacionados con el clima, como el índice de precipitación y la temperatura que son factores importantes en el desarrollo de un incendio forestal. Además, se incluye otros parámetros como: la cantidad de luz solar, circunstancias atmosféricas y el viento (velocidad y dirección).

Factores bióticos: Son los elementos naturales de los bosques, está relacionado con la composición del combustible (elemento principal para determinar las características del incendio), aquí se encuentra las especies vegetales (tipo de hojas y grosor) y la topografía del terreno.

Factores económicos: Están relacionados con prácticas que obtienen beneficios monetarios de los bosques como: tala de árboles y la quema de desechos (agrícolas, fuego controlado).

Factores humanos: Según (*Fires, forests and the future: a crisis raging out of control? | WWF, 2020*) los incendios forestales son provocados por los seres humanos en un 75%. Dentro de esto se encuentra las actividades humanas como: rupturas de líneas eléctricas, fogatas, quemas agrícolas, la ganadería, piromanía y el uso del fuego como una herramienta de trabajo.

Factores meteorológicos: Influyen de manera directa en la aparición de un incendio forestal y son parámetros que determinan la probabilidad de un incendio forestal de grandes magnitudes.

Factores que inciden en los incendios forestales

Según (Smith et al., s. f.) determina el concepto de clima de fuego, mismo se refiere a períodos de tiempo con alta probabilidad de un incendio forestal, esto se debe a la combinación de diversos factores como: altas temperaturas, humedad baja provocada por la ausencia de lluvias y fuertes vientos. Además, (Vega-Rodríguez et al., 2019) en su artículo utiliza la regla del 30-30-30 para predecir incendios forestales. Esta regla consiste en la combinación de tres factores: temperatura de 30°C, humedad menor a 30% y vientos con velocidades superiores a 30 km/h. Otro factor que incide en los incendios forestales es la presión atmosférica que produce variaciones en el aire e incide en la generación y propagación de un incendio forestal (Li et al., 2006).

Temperatura

La temperatura es uno de los factores principales que inciden sobre los incendios forestales, un aumento en la temperatura medioambiental provoca que los elementos denominados combustibles (palos, los árboles arbustos y vegetación) aumente su calor y con este se genere las condiciones necesarias para el inicio de incendio forestal. Además, la luz solar en los incendios forestales es la fuente de energía que incide en el aumento de la temperatura atmosférica. La temperatura aumenta cuando la intensidad de luz está en el nivel más alto esto por lo general en la tarde, mientras que en las primeras horas de día la intensidad de luz es baja con lo que se determina un patrón regular (Verma & Singh, 2020).

Humedad relativa

La humedad está presente en la atmósfera en forma de vapor de agua y esto afecta la humedad de la vegetación. La humedad relativa es un parámetro importante para la predicción de incendios forestales. La humedad relativa es la proporción de humedad en el aire en comparación con la cantidad de humedad que saturaría el aire, se la representa como la cantidad de humedad presente en el aire expresada en porcentaje. Cuando la temperatura aumenta, disminuye la humedad relativa (aire más seco), esto provoca que la vegetación se seque y aumente las probabilidades de un incendio forestal. A diferencia de cuando llueve o la temperatura disminuye se genera un aire húmedo lo que reduce el riesgo de un incendio. La humedad relativa en las primeras horas del día es máxima mientras que en la tarde suele ser mínima. Al igual que en las temporadas de invierno la humedad relativa es alta y en el verano más baja (Verma & Singh, 2020).

Velocidad del viento

La velocidad del viento reduce la cantidad de humedad en la vegetación y actúa como un agente oxidante (alimenta el fuego con oxígeno) en la combustión. Además, este factor incide en la forma de propagación e intensidad un incendios forestales (Pazmiño, 2019).

Presión atmosférica

La presión atmosférica disminuye al aumentar la altitud, es decir menor cantidad de oxígeno lo que incide en un conato de incendio forestal. Las diferencias de presión en la atmósfera generan movimientos de aire como en las costas que generan brisas marinas (US Department, s. f.). Este factor al estar directamente relacionado con la cantidad de oxígeno influye en la generación y propagación del fuego (Li et al., 2006).

Fundamentación Científica de la Variable Dependiente

Internet de las cosas IoT

El Internet de las cosas IoT (de sus siglas en inglés Internet of Things) es la interconexión de diversos tipos de dispositivos (incorporan sensores integrados) a través de Internet para la recolección y transferencia de datos por medio de una red inalámbrica sin intervención humana (*What is IoT?*, s. f.). Los dispositivos son variados, desde pequeños sensores, automóviles autónomos, dispositivos fitness de salud, agricultura, transporte entre otros. Según (Oracle, s. f.) en 2025 se estima contar con 22.000 millones de dispositivos conectados.

Servidores IoT

Son servidores alojados en la nube los cuales ofrecen herramientas necesarias para el almacenamiento y procesamiento de información. En este caso los mismos recolectan información de diversos objetos IoT (Oracle, s. f.).

TTN (THE THINGS NETWORK)

TTN con sus siglas en inglés (The Things Network) es un ecosistema colaborativo IoT, que proporciona un conjunto de herramientas abiertas y una red global abierta con el objetivo de proveer un ecosistema para la implantación de aplicaciones IoT con un alto nivel de seguridad (AES-128) y escalabilidad (Network, s. f.). Los servicios ofrecidos se basan en el protocolo de red LoRaWAN, estos son: servidor en la nube para aplicaciones y hardware IoT.

CHIRP STACK

CHIRP Stack es un servidor LoRaWAN de código abierto basado en una interfaz Web de para desplegar redes LPWAN públicas o privadas en base a APIs gRPC y REST.

- gRPC (Remote Procedure Calls), es un sistema de código abierto creado por Google. Utiliza HTTP2 para lenguaje de interfaz.
- REST (representational state transfer), es una arquitectura de software libre utilizado para manejo de datos en internet el cual está basado en HTTP.

Herramientas hardware

Las herramientas de hardware son los componentes electrónicos que permite la creación de distintas clases de dispositivos necesarios para la construcción de dispositivos de nuestro nodo sensor inalámbrico el cual nos permite monitorear y gestionar los conatos de incendios forestales.

Sistemas empotrados

Denominado sistema integrado o embebido, es un sistema con hardware de computadora basado en un microcontrolador o microprocesador y un software diseñado para realizar tareas específicas, como un sistema independiente o como parte de un sistema más grande (*What is an Embedded System?*, s. f.). Según (Pérez, s. f.) un sistema embebido posee los siguientes componentes:

El software de un sistema embebido tiene las siguientes restricciones: cantidades pequeñas de memoria (KB), limitaciones en procesamiento esto se debe a que los procesadores tienen velocidades en Mhz y la necesidad de racionar el consumo de energía (Pérez, s. f.).

El hardware es el conjunto de elementos físicos, encargado de realizar tareas específicas designadas por el software. Los elementos más importantes según (Shaw, 2021) de un sistema embebido son:

- Fuente de alimentación: encargado de suministrar la energía necesaria al sistema embebido por lo general son de 5V.
- Microprocesador: es un componente LSI (con sus siglas en ingles Large Scale Integration) es el encargado de realizar una gran cantidad de funciones en una sola pieza de circuito integrado (Pérez, s. f.).
- Microcontrolador: denominado circuito integrado, se encarga de dar potencia de cálculo a un sistema y es utilizado para una aplicación en específico. Recopilan y procesan información de las entradas y realizan una acción determinada.
- Memoria: es la parte encargada de almacenar información, está integrada en el microcontrolador o microprocesador. La memoria tipo ROM es no volátil, es decir que la información no se elimina cuando se quita la fuente de energía a diferencia de la memoria RAM que se utiliza para el almacenamiento temporal de información.
- Puertos de comunicación: son utilizados para establecer comunicación con otros sistemas integrados, existen varios puertos como: USB, UART, I2, SPI entre otros.
- Sensores: en la actualidad los sistemas empotrados vienen equipados con sensores. Estos son elementos con la capacidad de recolectar información determinada en un espacio y tiempo determinado para su procesamiento.

Dentro de los sistemas empotrados más utilizados están:

Arduino

Arduino es una placa de circuito de programable (microcontrolador) y un IDE de programación que permite a los programadores escribir código en C++ y cargarlo desde una computadora por medio de un cable USB a la placa física, esto lo hace atractivo ya que no se requiere de hardware adicional para realizar este proceso (*What is an Arduino?*)

- *learn.sparkfun.com*, s. f.). Las placas de Arduino más utilizadas en proyectos orientados a IoT son:

Tabla 5

Modelos de la placa Arduino

	Uno	Leonardo	Zero	Mega 2560
Procesador	ATmega328P	ATmega32U4	ATSAMD21G18	ATmega2560
Voltaje de operación	5 V / 7-12 V	5 V / 7-12 V	3.3 V / 7-12 V	5 V / 7-12 V
E/S Analógicas	6/0	12/0	6/1	16/10
E/S Digitales	14/6	20/7	14/10	54/15
EEPROM	1	1	0	4
Velocidad CPU (MHz)	16	16	48	16
Memoria (k)	32	32	256	256
Reloj (MHz)	16	16	48	16

Nota. En esta tabla se presenta los diferentes modelos ofrecidos por la marca Arduino que son utilizados para proyectos IoT.

A partir de la construcción de la tabla 2 se determina que los modelos Uno y Leonardo son los sistemas empotrados con características básicas para el desarrollo de proyectos IoT. A diferencia del modelo Mega, que ofrece un mayor número de entradas y

salidas para la conexión de un mayor número de dispositivos con esta placa. Y el modelo Zero utilizado para proyectos de mayor complejidad al implementar mejores capacidades computacionales como: la velocidad del CPU tres veces mayor, memoria RAM y velocidad del reloj.

Raspberry Pi

Raspberry Pi es una computadora del tamaño de una tarjeta de crédito de bajo costo, cuya placa es fabricada por la fundación Raspberry Pi con sede en el Reino Unido («What Is a Raspberry Pi?», s. f.). Esta computadora se lanzó en el año 2012 y ha tenido varios modelos con diferentes características y cuyos valores oscilan entre \$5 y \$100 dólares. Esta computadora tiene como sistema operativo a Linux y proporciona una serie de pines GPIO (entrada y salida) para el control de componentes electrónicos IoT (sensores), es por eso que es utilizada en proyectos de electrónica como la automatización de hogares (Sasmita et al., 2018b).

Tabla 6 Modelos de Raspberry

Modelos de Raspberry

	4B	3B+	Zero W	Zero
Procesador	ATmega328P	ATmega32U4	ATSAMD21G18	ATmega2560
Voltaje de operación	5 V / 7-12 V	5 V / 7-12 V	3.3 V / 7-12 V	5 V / 7-12 V
RAM	2/4/8 GB	1 GB	512 MB	512 MB
Bluetooth	Si	Si	Si	No

Wifi	Si	Si	Si	No
Velocidad	1.5-GHz, 4-	1.4-GHz, 4-core	1-GHz, 1-core	1-GHz, 1-core
CPU (GHz)	core Broadcom BCM2711 (Cortex-A72)	Broadcom BCM2837B0 (Cortex-A53)	Broadcom BCM2835 (ARM1176JZF- S)	Broadcom BCM2835 (ARM1176JZF- S)

Nota. En esta tabla se presenta los diferentes modelos ofrecidos por Raspberry utilizados para proyectos IoT.

El modelo 4B es el modelo estándar para cualquier tipo de proyecto orientado a IoT. Todos los modelos tienen a Linux como sistema operativo, tienen la capacidad de soportar memorias externas para el almacenamiento de datos y permite la conexión de dispositivos periféricos que pueden hacerla funcionar como una computadora.

Sensores para monitoreo de incendios forestales

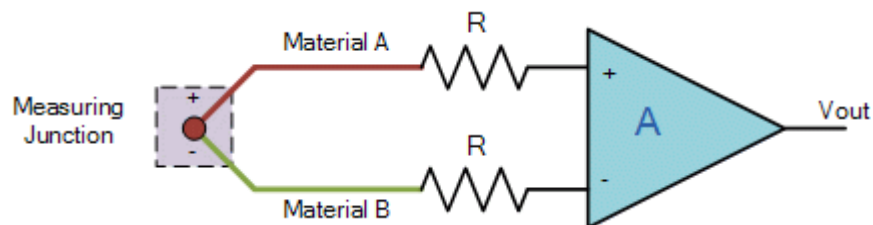
Los sensores son instrumentos eléctricos o mecánicos que transforman una magnitud física en una señal eléctrica para que sea expresado en forma de número. Los sensores que monitorean los factores que inciden en un incendio forestal son: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, gases y presión barométrica.

Sensor para temperatura

Es un componente electrónico que determina la temperatura (calor o frío) y lo convierte en una señal eléctrica. La cantidad de calor se determina por el movimiento de los átomos que producen energía cinética es decir calor, a mayor movimiento se genera más calor («Temperature Sensor Types for Temperature Measurement», 2013).

Figura 5

Composición de un sensor de temperatura.



Nota. Esta imagen muestra los elementos que conforman un sensor de temperatura.

Tomado de («Temperature Sensor Types for Temperature Measurement», 2013).

Este tipo de sensores miden la cantidad de energía térmica de un sistema u objeto, esto permite detectar cualquier cambio físico de temperatura y produce una salida analógica o digital. Existen dos tipos de sensores:

- Contacto: los sensores deben tener contacto físico con el objeto y a través de la conducción determinar los cambios de temperatura. Son utilizados para detectar la temperatura en sólidos, líquidos y gases.
- Sin contacto: esta clase de sensores emplean radiación y convección para determinar los cambios de temperatura. Son utilizados en gases y líquidos que emiten energía a medida que aumenta el calor y el frío.
 - Clases de sensores de temperatura
- Termistores: son de tamaño reducido, están recubiertos de epoxi y tiene dos cables que pueden estar conectados a un circuito eléctrico (*What is a Temperature Sensor?*, s. f.). La forma de medir la temperatura es a través del cambio de resistencia de la corriente eléctrica. Una de sus ventajas es su bajo costo.

- RTD: conocido como los sensores de temperatura de resistencia que miden la resistencia óhmica para determinar la temperatura. Están conectados a un circuito y puede medir un rango de temperatura más amplio (temperaturas extremas).
- Termopares: este tipo de sensores emplean dos conductores conformada por diferentes tipos de metales que forman una unión y al someterse al calor, esto genera un voltaje directamente proporcional a la entrada de temperatura (*What is a Temperature Sensor?*, s. f.).

Sensor de humedad

La humedad es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Los sensores de humedad también llamados higrómetros miden la humedad relativa (RH), humedad absoluta y humedad específica (Poongodi et al., 2020). Existen dos tipos sensores: humedad absoluta y humedad relativa. Según (*Humedad relativa: qué es y por qué es importante controlarla | Secoin*, s. f.) la humedad relativa es la cantidad de vapor presente en el aire expresada en porcentaje. Cuando el aire se calienta retiene más humedad, esto quiere decir que la humedad relativa cambia con la temperatura. Los sensores de tipo capacitivos implementan dos conductores eléctricos cubiertos con una capa de polímero no conductor y crean un campo eléctrico entre ellos, la humedad del aire se acumula en la capa del polímero y genera un cambio en los niveles de voltaje de las placas, esto se transforma de una medida digital de la humedad relativa del aire (*Humidity Sensors*, s. f.).

Sensor de gases

Es un dispositivo utilizado para la detección de moléculas de gas en un entorno determinado. El sensor de gas empieza a funcionar cuando las moléculas de gas entran en

contacto con los receptores sólidos del sensor y esto genera una diferencia de potencial que se transforma en una señal eléctrica (Stojanovska et al., 2019). Puede determinar diferentes tipos de gases como monóxido de carbono (CO), etanol (C₂H₆O), amoníaco (NH₃) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

El sensor de gas debe tener la capacidad de monitorear los gases que se producen cuando un incendio forestal ocurre, estos son: (CO₂) dióxido de carbono, (CH₄) metano, (N₂O) óxido nitroso y (CO) monóxido de carbono.

Sensor de presión barométrica

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce la atmósfera (aire) sobre la superficie terrestre, en otras palabras es el valor de la presión atmosférica medido en cualquier punto sobre el nivel del mar (mundocompresor.com, s. f.). La presión atmosférica es la fuerza ejercida por el aire en un área determinada, es por esta razón que la presión a mayor altitud es menor («¿Cómo Funciona la Presión Barométrica?», 2021). El sensor de presión barométrica es el encargado de medir la presión atmosférica del aire.

Sensor de velocidad de viento

El sensor o instrumento con la capacidad de medir la velocidad o fuerza del viento es denominado anemómetro (RAE & RAE, s. f.). En el mercado existen diferentes tipos de anemómetros como:

Digital de cazoleta: poseen una hélice expuesta al viento que al momento de girar permite determinar la velocidad del viento.

Rotación (hélice): son los más utilizados por su exactitud y simpleza. Este anemómetro posee hélices semicirculares unidas a un eje central, que giran con el viento y permiten determinar la velocidad del viento.

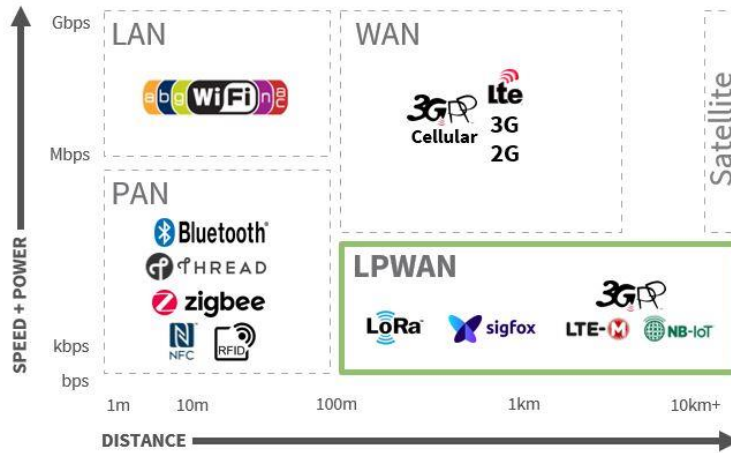
Filamento caliente: es un instrumento acústico, cuyo principio radica en medir la velocidad del sonido que varía con la dirección del viento.

Comunicaciones IoT

En las redes de comunicaciones IoT existen diferentes tecnologías que poseen diversas características como: velocidad de datos, rango de cobertura, número de conexiones entre otros. En lo que respecta a tecnologías IoT que abarcan redes PAN están tecnologías como: Bluetooth, ZigBee y NFC; con un corto alcance y una baja transmisión de datos. Mientras para redes LAN está la tecnología principal que es WiFi con un corto alcance (100 m) pero con altas velocidades de transmisión de datos. En la figura 7 se muestra una comparativa entre el alcance y la transmisión de datos de las comunicaciones IoT.

Figura 6

Comparación de comunicaciones IoT



Nota: El gráfico representa las Comunicaciones IoT donde podemos encontrar que LPWAN puede funcionar a mayor distancia, pero con menor tamaño de datos

LPWAN

A diferencia de las tecnologías WiFi o 3G/4G cuyo objetivo es permitir altas velocidades de datos y minimizar la latencia, LPWAN (con sus siglas en inglés Low Power Wide Area Network) establece sus métricas en la eficiencia energética, la escalabilidad, bajo costo, cobertura de grandes áreas y una mayor cantidad de dispositivos (Song et al., 2017).

El rango de comunicación que LPWAN puede alcanzar es de 15 km en áreas rurales y en áreas urbanas alrededor de 5 km. Permite una sensibilidad de recepción muy alta (alrededor de -150 dBm) gracias a su diseño de capa física. La mayoría de las tecnologías LPWAN operan en la banda ISM (con sus siglas en inglés Industrial, Scientific and Medicine) a 2.4 GHz en las bandas 868MHz, 915 MHz, 433MHz y 169 MHz, esto

depende de la región donde se opere (Centenaro et al., 2015). Las redes LPWAN se dividen en redes que operan en frecuencias ISM como: LoRaWAN y Sigfox. Y las redes que no utilizan ISM y son de pago como el caso de NB-IoT (Hernández et al., s. f.).

Las características de la tecnología LPWAN son:

- Bajo costo de los equipos de hardware.
- Cobertura amplia entre 15 km en áreas rurales.
- Baja potencia, esto permite un consumo eficiente de energía, las baterías de los dispositivos pueden durar hasta 10 años.
- Soporta gran cantidad de dispositivos conectados.

En conclusión, la tecnología LPWAN permite establecer una red IoT a través del despliegue de una gran cantidad de dispositivos con sensores distanciados geográficamente, transmitiendo un bajo volumen de datos y con un consumo de energía reducido (Hernández et al., s. f.).

Tecnologías LPWAN

Entre las principales tecnologías LPWAN están: Sigfox, LoRa y NB-IoT.

SigFox

Sigfox es una tecnología LPWAN desarrollada en 2010 en Toulouse Francia por una compañía que lleva el mismo nombre la cual ofrece soluciones IoT en 31 países y sigue expandiéndose debido a la asociación con operadores de red en todo el mundo (Pitu & Gaitan, 2020).

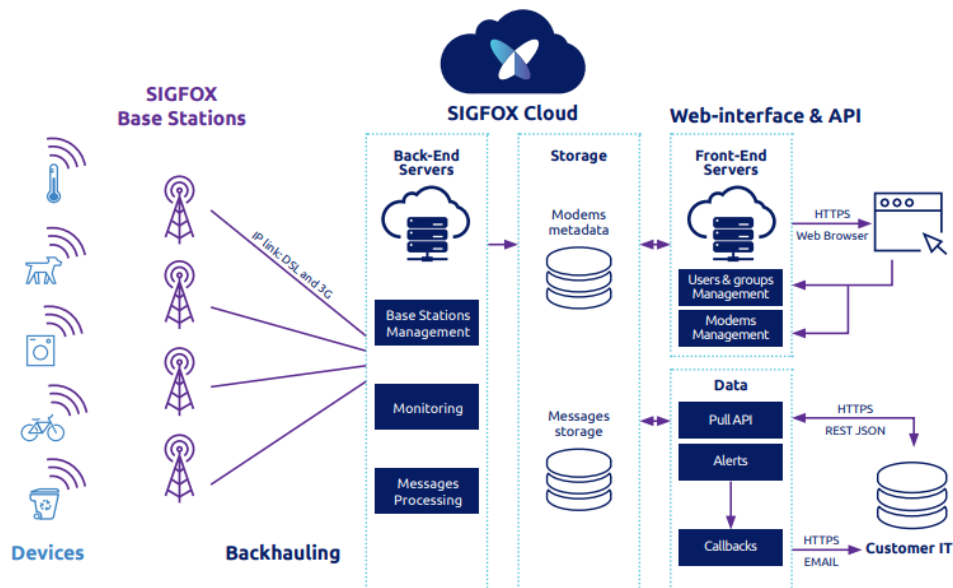
Opera en las bandas ISM sin licencia como: 433 MHz en Asia, 868 MHz en Europa y 915 MHz en América del Norte. (Nashiruddin & Yusri, 2020) menciona que esta

tecnología emplea una banda ultra estrecha (con sus siglas en inglés UNB) con un ancho de banda de 192kHz, velocidad de transferencia de 100 bps y modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK). Aprovecha el ancho de frecuencia de banda de una forma eficiente lo que le permite experimentar niveles bajos de ruido, esto conlleva a un bajo consumo de energía y alta sensibilidad de los receptores. En sus inicios no soportaba comunicación bidireccional pero ahora lo soporta con ciertas restricciones. Los mensajes uplink están limitados a 140 por día con un payload de 12 bytes, mientras los mensajes de downlink son cuatro mensajes por día con un payload de 8 bytes (Mekki et al., 2019).

Sigfox emplea una topología en forma de estrella. La arquitectura planteada por esta tecnología se compone de dos capas. Capa de equipos red, compuesta por los equipos físicos de entrada como: antenas, sensores, estaciones base entre otros. Y la Capa de soporte (Sigfox), es la parte encargada de la administración de la red, procesamiento y gestión de la información. La información recolectada por los nodos sensores es enviada por medio de las estaciones (antenas) al servidor en la nube (Sigfox Cloud), donde la información es procesada y puede ser visualizada por los usuarios a través un Front-End de servicio (interfaz web o API) que implementa el protocolo HTTPS para la visualización de la información. En la figura 8 se detalla los elementos de esta arquitectura (Toro Bernal, 2020).

Figura 7

Arquitectura Sigfox



Nota. En esta imagen se muestra los componentes que conforman la arquitectura de la tecnología Sigfox. Tomado de («Como funciona la red LPWAN Sigfox», s. f.)

NB-IoT

NB-IoT (con sus siglas en inglés NarrowBand Internet of Things) es una tecnología de banda estrecha con la capacidad de coexistir con GSM (sistema global para comunicaciones) y LTE utilizando bandas de frecuencia con licencia (Mekki et al., 2019).

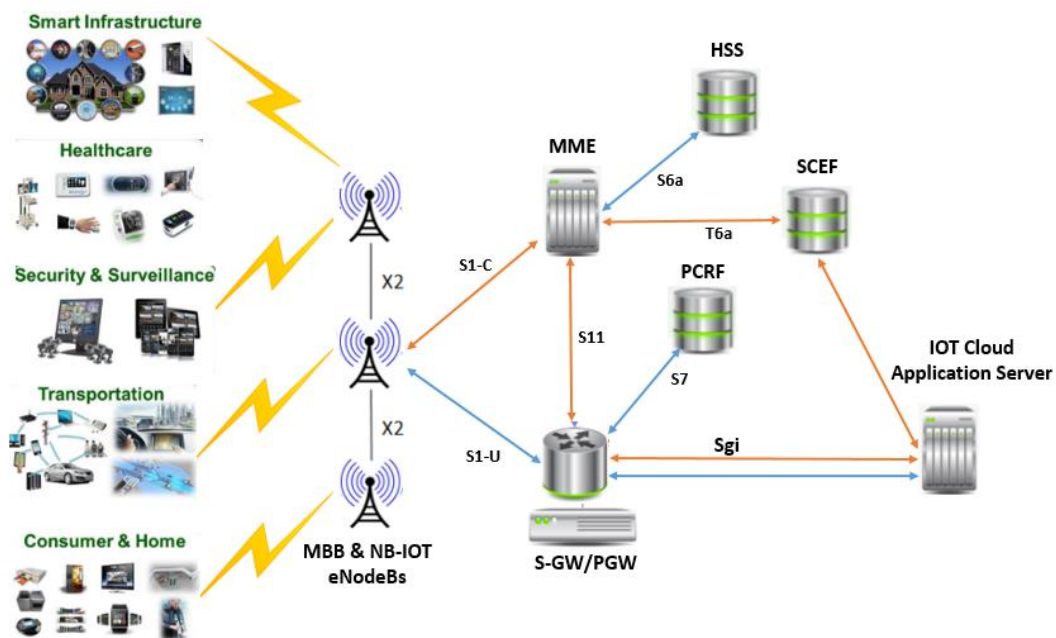
Trabaja bajo el protocolo de comunicación de LTE, optimizado para aplicaciones IoT lo que permite que los dispositivos finales puedan alcanzar una vida útil de batería de 10 años transmitiendo 200 bytes al día. NB-IoT en enlace ascendente utiliza FDMA (con sus siglas acceso múltiple por división de frecuencia) con una velocidad de 200 kbps mientras en el enlace descendente emplea FDMA ortogonal (OFDMA) con una velocidad de 20kbps, su modulación es por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) con un ancho de

banda de 200kHz (Mekki et al., 2019). No presenta restricciones para el envío de mensaje y su payload máximo por mensaje es 1600 bytes.

Esta tecnología utiliza una arquitectura EPC (con sus siglas en inglés Evolved Packet Core) basada en la red LTE, pero optimizada para soportar una conexión masiva de dispositivos, facilitando transmisiones cortas de datos. La arquitectura está conformada por dos partes: una red de acceso y la red central del sistema (EPS).

Figura 8

Arquitectura de NB-IoT



Nota. En esta imagen se muestra la arquitectura de NB-IoT y todos los elementos que conforman. Tomado de (*Narrow Band LTE- NB-IoT - Techplayon, s. f.*).

LoRa

LoRa (con sus siglas en inglés Long Range) es una tecnología desarrollada en 2009 en Francia, en 2012 es comprada por Semtech, una empresa fabricante de chips de radio que utiliza una técnica de modulación de radiofrecuencia denominada Chirp Spread Spectrum (CSS) (Mekki et al., 2019). En el año 2015 LoRa fue estandarizado por LoRa – Alliance y ha sido implementada en 42 países y aún está en proceso de implementación en otros países gracias a la inversión de operadoras móviles.

Es la tecnología que más se utiliza en LPWAN, porque utiliza bandas sin licencia (915 MHz en América del Norte, 433 MHz en Asia y 868 MHz en Europa), está abierta para todos los usuarios y alcanza una cobertura de 20 Km en zonas despejadas. Implementa modulación CSS lo que permite establecer conexiones de bajo consumo de energía a precios bajos, inmunidad alta a interferencias y resistente al efecto Doppler (Hernández et al., s. f.).

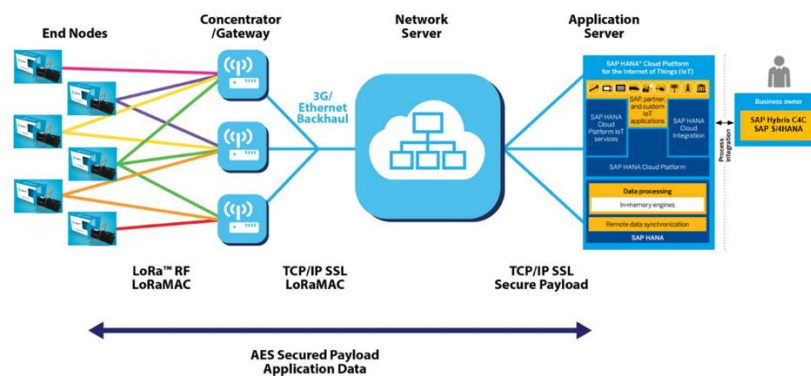
LoRa emplea una topología en forma de estrella de un solo salto, esto facilita la implementación y gestión de este tipo de redes porque no necesitan elementos de enrutamiento (Hernández et al., s. f.). Los nodos finales envían la información a los gateways que retransmiten la información a un servidor en la nube para que los usuarios puedan acceder a visualizar la información de los sensores. Los elementos de esta arquitectura son:

- **Dispositivos finales:** También denominados nodos, son dispositivos equipados con sensores que transmiten y reciben información específica al gateway. El dispositivo final implementa una comunicación inalámbrica single-hop con uno o distintos gateways.

- **Gateway:** Es un dispositivo que actúa como interfaz entre los dispositivos finales y los servidores (aplicaciones back-end). Son dispositivos que reciben información de múltiples dispositivos (nodos), los datos se transmiten a los servidores por medio de una puerta de enlace que están conectadas al servidor de red a través de una conexión IP estándar.
- **Servidores de red:** Es responsable de la autenticación de los datos, es el encargado del procesamiento de datos (eliminación de datos duplicados), los mismos que son enviados al servidor de aplicaciones. La conexión entre el servidor de red y el de aplicaciones es mediante una conexión IP estándar.
- **Servidores de aplicaciones:** Este servidor es el encargado de consumir, analizar la información de los nodos finales y presentarlos al usuario.

Figura 9

Arquitectura de red LoRa



Nota. En esta imagen se muestra la arquitectura de la red LoRa y todos sus componentes.

Tomado de (Ploeg, s. f.).

En resumen, tomando como referencia ciertas métricas se elaboró un cuadro comparativo entre tecnologías LPWAN, específicamente: Sigfox, LoRa NB-IoT.

Tabla 7

Comparación de tecnologías LPWAN

	Sigfox	LoRa	NB-IoT
Frecuencia	Bandas sin licencia 868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia	Bandas sin licencia 868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia	Bandas con Licencia LTE
Modulación	BPSK	CSS	QPSK
Ancho de banda	100 Hz	125 kHz – 250 kHz	200 kHz
Velocidad máxima de datos	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidireccional	Limitada/ Half duplex	Half duplex	Half duplex
Mensajes por día	140 (uplink) y 4 (downlink)	Ilimitado	Ilimitado
Longitud de payload	12 bytes (uplink) y 8 (downlink)	243 bytes	1600 bytes

Dispositivos finales	50.000	50.000	100.000
Cobertura Km	10 km (zona urbana) y 40 km (zona rural)	5 km (zona urbana) y 20 km (zona rural)	1 km (zona urbana) y 10 km (zona rural)
Inmunidad a interferencias	Alta	Alta	Baja
Encriptación	No	AES 128b	Encriptación LTE
Estandarización	Sigfox con ETSI	Lora-Alliance	3GPP
Costa de dispositivos finales	< \$3	\$3.20 - \$5.20	> \$20
Duración de la batería	20 años	Mayor a 15 años	Mayor a 10 años
QoS	Media	Media	Muy Alta
Latencia	Alta	Alta en clase A-B Baja en clase C	Baja
Escalabilidad	Baja	Baja	Alta
Costo	Bajo	Bajo	Alto

Nota. Esta tabla representa los aspectos más importantes de las tres principales tecnologías LPWAN. (Mekki et al., 2019).

Finalmente, LoRa es una tecnología abalada por LoRa Alliance, es gratuita al utilizar la frecuencia ISM (915 para América), posee una alta inmunidad a interferencias lo que le permite tener un alcance de 20 kilómetros en zonas rurales, permite establecer redes de bajo costo, cuenta con un bajo consumo de energía, mensajes ilimitados con un payload de 243 bytes y soporte para un número elevados de dispositivos.

Herramientas Software

Las herramientas software nos ayudan a ser más eficientes en el desarrollo software ofreciéndonos una arquitectura y componentes de software listos para usar y ser reutilizables, el presente trabajo utilizó metodologías de desarrollo ágiles y frameworks de desarrollo ya que permite tener una retroalimentación rápida

Metodologías ágiles de desarrollo de software

Las metodologías ágiles de desarrollo de software nos sirven para proporcionar en poco tiempo piezas pequeñas de sistemas de software en funcionamiento para mejorar la satisfacción del cliente utilizando enfoques flexibles y el trabajo en equipo para ofrecer mejoras constantes.

Extreme Programming XP

XP es la metodología ágil más conocida fue desarrollada por Kent Beck buscando guiar equipos de desarrollo de software pequeños o medianos, entre dos y diez desarrolladores, en ambientes de requerimientos imprecisos o cambiantes XP tiene como base cinco valores: Simplicidad, Comunicación, Retroalimentación, Respeto y Coraje.

Sus principales fases son:

- Planificación del proyecto con el cliente

- Diseño del proyecto
- Codificación, donde los programadores trabajan en pareja para obtener resultados más eficientes y de calidad
- Pruebas para comprobar que funcionan los códigos que se van implementando

SCRUM

Se caracteriza por ser la metodología del caos que se basa en una estructura de desarrollo incremental, esto es, cualquier ciclo de desarrollo del producto y/o servicio se desgrana en pequeños proyectos divididos en distintas etapas: análisis, desarrollo y testing. En la etapa de desarrollo encontramos lo que se conoce como interacciones del proceso o Sprint, es decir, entregas regulares y parciales del producto final.

Esta metodología permite abordar proyectos complejos que exigen una flexibilidad y una rapidez esencial a la hora de ejecutar los resultados. La estrategia irá orientada a gestionar y normalizar los errores que se puedan producir en desarrollos demasiado largos, a través de, reuniones frecuentes para asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Las reuniones son el pilar fundamental de la metodología, donde diferenciamos entre: reuniones de planificación, diaria, de revisión y de retrospectiva, la más importante de todas ellas, ya que, se realiza después de terminar un sprint para reflexionar y proponer mejoras en los avances del proyecto. Los aspectos clave por los que se mueve el Scrum son: innovación, flexibilidad, competitividad y productividad.

Frameworks de desarrollo

Un framework es una estructura de soporte definida, en la cual otro proyecto de software puede ser organizado y desarrollado. Los frameworks suelen incluir: soporte de programas, bibliotecas, lenguaje de scripting, software para desarrollar y unir diferentes componentes de un proyecto de desarrollo de programas.

Arduino framework

El framework Arduino permite escribir software multiplataforma para controlar dispositivos conectados a una amplia gama de placas Arduino para crear todo tipo de codificación creativa, objetos interactivos, espacios o experiencias físicas.

El lenguaje de programación Arduino se puede dividir en tres partes principales: funciones, valores (variables y constantes) y estructura.

- Funciones para el control de la placa Arduino.
- Variables Arduino tipos de datos y constantes.
- La estructura de los elementos en Arduino es en C++.

Capítulo III

Desarrollo de la solución

En este capítulo se detalla el desarrollo del prototipo de sistema de información de alertas de incendios forestales, que incluye el proceso de selección de herramientas hardware y software que son los componentes respectivos con lo que presenta la arquitectura planteada.

Herramientas hardware

Dado que en el capítulo anterior se muestran los factores que inciden en la aparición de incendios forestales, es necesario determinar los dispositivos para seleccionar los sensores (humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, presión barométrica, gas) para el monitoreo y comunicación de los datos recolectados.

Sensor de temperatura y humedad relativa.

En el mercado existe una amplia variedad de sensores de temperatura compatibles con Arduino, dentro de estos está el sensor DHT11 que fueron utilizados por (Adnan et al., 2018) y (Vega-Rodríguez et al., 2019) en sus proyectos de investigación recopilados en el Estado del Arte y el sensor DHT22, ambos con la capacidad de monitorear la temperatura y la humedad relativa de manera simultánea. Las métricas determinadas para seleccionar el sensor de temperatura y humedad relativa en el prototipo son las expuestas en la Tabla 8.

Tabla 8*Métricas sensor de temperatura y humedad relativa*

	DHT11	DHT22
Valor \$1-2	Si	No
Suministro de energía 3- 5 V	Si	Si
Temperatura 0°C a 50°C	Si	No (-40°C a 80°C)
Precisión de temperatura +/- 2°C	Si	Si
Humedad precisión +/- 5%	Si	Si
Período de muestreo 1 segundo	Si	No

Bibliotecas compatibles con Arduino	Adafruit DHT Library Adafruit Unified Sensor Library	Adafruit DHT Library Adafruit Unified Sensor Library
-------------------------------------	---	---

Nota. En esta table se muestra las métricas para la selección del sensor de temperatura y humedad relativa.

Luego de establecer las métricas para la elección del sensor de temperatura y humedad relativa, se seleccionó al sensor DHT11 porque se acopla de mejor manera a las necesidades del diseño del prototipo, por su período de muestreo que es de 1 segundo y siete veces más barato que su competidor.

Sensor de gas

Existen una variedad de sensores compatibles con Arduino, pero la principal diferencia radica en los tipos de gases que son capaces de monitorear. Según los estudios primarios recopilados en el Estado del Arte, (Adnan et al., 2018) en su experimento para la construcción de un nodo sensor empleó el sensor MQ2 mientras que (Vega-Rodríguez et al., 2019) utilizó el sensor MQ135 por su capacidad para monitorear los gases desprendidos por un incendio forestal. Para el diseño del prototipo propuesto se ha elaborado la Tabla 9 donde se exponen las métricas necesarias para la elección del sensor de gas.

Tabla 9

Comparación de sensores de gas.

Sensor	CO ₂	NO _x	Humo	NH ₃
MQ7	Si	No	No	No

MQ-370 A	No	No	No	No
MQ-9	No	No	No	No
MQ-135	Si	Si	Si	Si
MQ3	No	No	No	No
MQ2	No	No	Si	No

Nota. En esta table se muestra una comparación de los gases que pueden medir los distintos sensores de gas que existen en el mercado.

En este caso, el sensor de gas elegido es el modelo MQ-135 por su alta sensibilidad a la detección de gases que se desprenden en un incendio forestal como: NO_x, NH₃, CO₂ y humo.

Sensor de presión barométrica

En la tabla 10 se muestra los parámetros determinados para la selección del sensor de presión barométrica que sean compatibles con Arduino.

Tabla 10

Comparación de sensores de presión barométrica.

	BMP180	BMP280
Voltaje	1.8V – 3.6V	1.71V - 3.6V
Precio	\$ 4.60	\$12.99
Peso	1,18 g	1.3 g

Tamaño	21 mm x 18 mm	19.2 mm x 17.92mm
Presión 300 – 1100 hPa (+/- 1 Pa)	Si	Si
Consumo de energía	5 μ A	2,7 μ A

Nota. En esta table se muestra los aspectos más importantes para la selección de la presión barométrica.

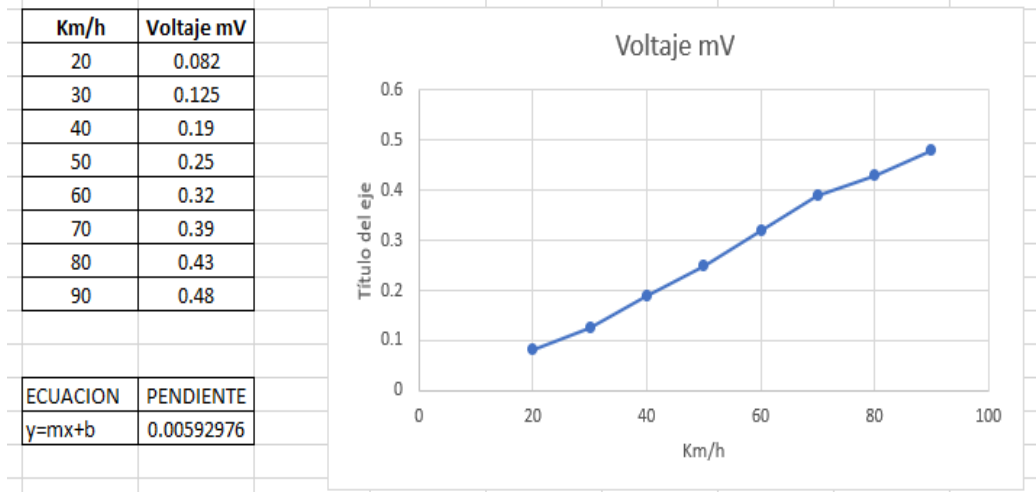
La métrica determinante para este sensor es el costo debido a que sus características técnicas con muy similares, por lo que el sensor elegido es el BMP180.

Sensor de viento (Anemómetro)

Para medir la velocidad del viento se necesita un anemómetro, en el mercado existen tres tipos de estos sensores con el problema que ninguno tiene compatibilidad con Arduino y por ende no se puede enviar los datos recolectados al servidor TTN. Para solucionar este inconveniente se tomó como referencia la solución presentada por (Vega-Rodríguez et al., 2019) en el estado del arte para poder medir el viento. Se determinó la implementación de un anemómetro de rotación (hélice) en el cual se imprime en 3D una veleta de viento (hélice) conectada a un motor de 5V y de esta manera cada vez que la veleta sea movida por el viento el motor convertirá esta magnitud física en una señal eléctrica (voltaje) que permitirá determinar la velocidad del viento (Vega-Rodríguez et al., 2019) se presenta los datos obtenidos y la pendiente de la curva resultante en la Fig. 11. Según el

Figura 10

Gráfica de voltaje respecto a la velocidad.



Nota. En esta imagen se representa la gráfica con los valores obtenidos de la velocidad y la señal eléctrica que transforma esta magnitud en un voltaje.

Para calcular la velocidad del viento de manera aproximada se colocó en anemómetro en la parte superior de un vehículo, con la medida de velocidad del tablero del carro cada 10 Km/h se tomaba el voltaje del motor (anemómetro) y se construyó una tabla de valores, de esta forma se obtuvo un valor que es introducido en el código de Arduino para poder tener una velocidad del viento aproximada.

Sistemas empotrados

Determinados los dispositivos que permiten monitorear los factores que inciden en la aparición de un incendio forestal, ahora se requiere controlar mediante un dispositivo hardware que permita la recolección de estos datos y la comunicación respectiva con nuestros sistemas de información alojados en la nube para el procesamiento para lo cual

se utilizó mediante la gestión de la recolección de los datos de los sensores mediante la utilización de sistemas empotrados.

Según la bibliografía recolectada en el Estado del Arte, (Sasmita et al., 2018b) determinó que la placa de Arduino es el hardware con la capacidad detectar y recibir información de la condición medio ambiental a través de diversos sensores y es ideal para este tipo de proyectos. Además, (Adnan et al., 2018) y (Vega-Rodríguez et al., 2019) en sus experimentos para la detección de incendios forestales emplean como sistema empotrado el Arduino Uno, mientras que (Adnan et al., 2018) emplea una Raspberry Pi para simular un gateway esto debido a que cuenta con mayor capacidad computacional que Arduino. Es por esta razón que se descartó el uso de Raspberry Pi como sistema empotrado, al ser considerada como una computadora, se estaría subutilizando su capacidad al ser empleada como un nodo.

Para determinar el sistema empotrado del sistema propuesto se determinó las siguientes métricas expuestas en la Tabla 11.

Tabla 11

Comparación de sistemas empotrados Arduino.

	Arduino Uno	Arduino Leonardo
Pines E/S digital	Si	Si

Pines entrada analógica 6	Si	Si
Compatibilidad con shield	SI	No

Nota. En esta table se muestra una comparación de los aspectos más importantes de los dos sistemas empotrados de la marca Arduino para realizar proyectos de este tipo.

El sistema empotrado elegido para la elaboración del proyecto es Arduino Uno por su compatibilidad con “shield” que son circuitos impresos que se colocan arriba de la placa para dar mayores funcionalidades como el módulo LoRa Dragino Shield (*¿Que es un Shield?, s. f.*).

Módulos LoRa

Posterior a esto se debe implementar la instrumentación de la comunicación de los sistemas empotrados que poseen la capa de recolección de datos mediante sensores hacia un sistema de información que está ubicado en la nube para esto se aplicó comunicación LoRa en la capa de recolección de datos y comunicación TCP/IP entre los sistemas empotrados y la nube

Para la elección de los módulos LoRa se decidió tomar en cuenta factores como: el precio, compatibilidad con Arduino Uno (el sistema empotrado elegido) y con los servidores a utilizar en este proyecto, además de otras métricas que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12

Métricas de módulos Lora

	Dragino LoRa Shield SX127x	ESP32 LoRa 32	LoRa32u4ii Lora
Potencia transmisión +20 dBm	Si	Si	Si
Sensibilidad de recepción -148	Si	Si	Si
Velocidad de transmisión de datos 300 kbps	Si	Si	Si
Modulación FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa y OOK.	Si	Si	Si
Shield/compatibilidad con Arduino Uno	Si	No	No
Compatibilidad con TTN Sever	Si	Si	Si

Nota. En esta tabla se muestra las métricas propuestas para la selección de de un módulo LoRa.

Los tres módulos LoRa presentan características similares en todos los aspectos evaluados. Sin embargo, un aspecto decisorio en la selección de este dispositivo fue la bibliografía encontrada en el Estado del Arte, donde los autores (Adnan et al., 2018) y (Vega-Rodríguez et al., 2019) implementaron este módulo en sus nodos sensores, debido

a su compatibilidad con Arduino Uno y al ser un shield, agrega mayores funcionalidades al sistema empotrado. Por estos aspectos el módulo elegido fue el modelo Dragino LoRa Shield.

Comunicación

Se previó instrumentar la comunicación de los sistemas empotrados que contienen el módulo de recolección de información mediante sensores hacia el sistema de información ubicado en la nube, para ello se contempló la comunicación LoRaWAN entre los módulos de “recolección de información” y “recepción y publicación”, posterior en el módulo de almacenamiento y presentación se realizó a través del protocolo TCP entre los sistemas de información en la nube.

Gateway

Debido a los altos costos de adquisición se descartó el uso de gateways para exteriores y solo se evaluó dispositivos para interiores que tienen un rango de cobertura aceptable entre cinco y diez kilómetros. Se incluyó en la lista de selección el modelo The Things Indoor LoRaWAN utilizado por (Vega-Rodríguez et al., 2019) artículo encontrado en el Estado del Arte. En la tabla 13 se muestra los parámetros para la selección del gateway.

Tabla 13*Métricas para la selección del gateway*

	The Things Indoor LoRaWAN	LG02 Channels Gateway	Dual LoRa IoT	LG01-N Channel Gateway	Single LoRa IoT
Banda de frecuencia 915	Si	Si		Si	
Canales >4	Si	No		No	
Rango 10 km	Si	Si		Si	
Rango 10 Km	Si	Si		Si	

Nota. En esta tabla se muestra las métricas para la selección del gateways para nuestro proyecto.

Después de evaluar las métricas, el gateway elegido es el modelo The Things Indoor LoRaWAN debido a que tiene 8 canales y eso permite la conexión con los cuatro nodos del sistema a diferencia de los otros modelos que solo tienen dos canales.

Herramientas Software

Una vez estructurada y ubicados los dispositivos necesarios para la instrumentación de la arquitectura planteada es necesario determinar las herramientas de software

necesarias para establecer la recolección, comunicación y procesamiento de la información que permita generar una alerta (notificación) de un posible conato de incendio forestal.

Servidores

TTN Server es un servidor gratuito en la nube, construido para facilitar el diseño e implementación de redes IoT, permite el procesamiento de datos desde cualquier parte del mundo a través de una conexión a internet. En lo que respecta a la gestión de la información el backend evita la duplicidad de los mensajes, maneja los mensajes descendentes, gestiona integraciones con diversas plataformas (AWS IoT, Cayenne, HTTP, TTN Mapper), ofrece APIs y librerías en diversos lenguajes de programación (Go, Java, Python, Node-RED y Node.js). Basado en el Estado del Arte (Vega-Rodríguez et al., 2019) en su proyecto para la detección de incendios forestales utilizó este servidor por su compatibilidad con el modelo de gateway The Things Indoor LoRaWAN el mismo a ser utilizado en este prototipo.

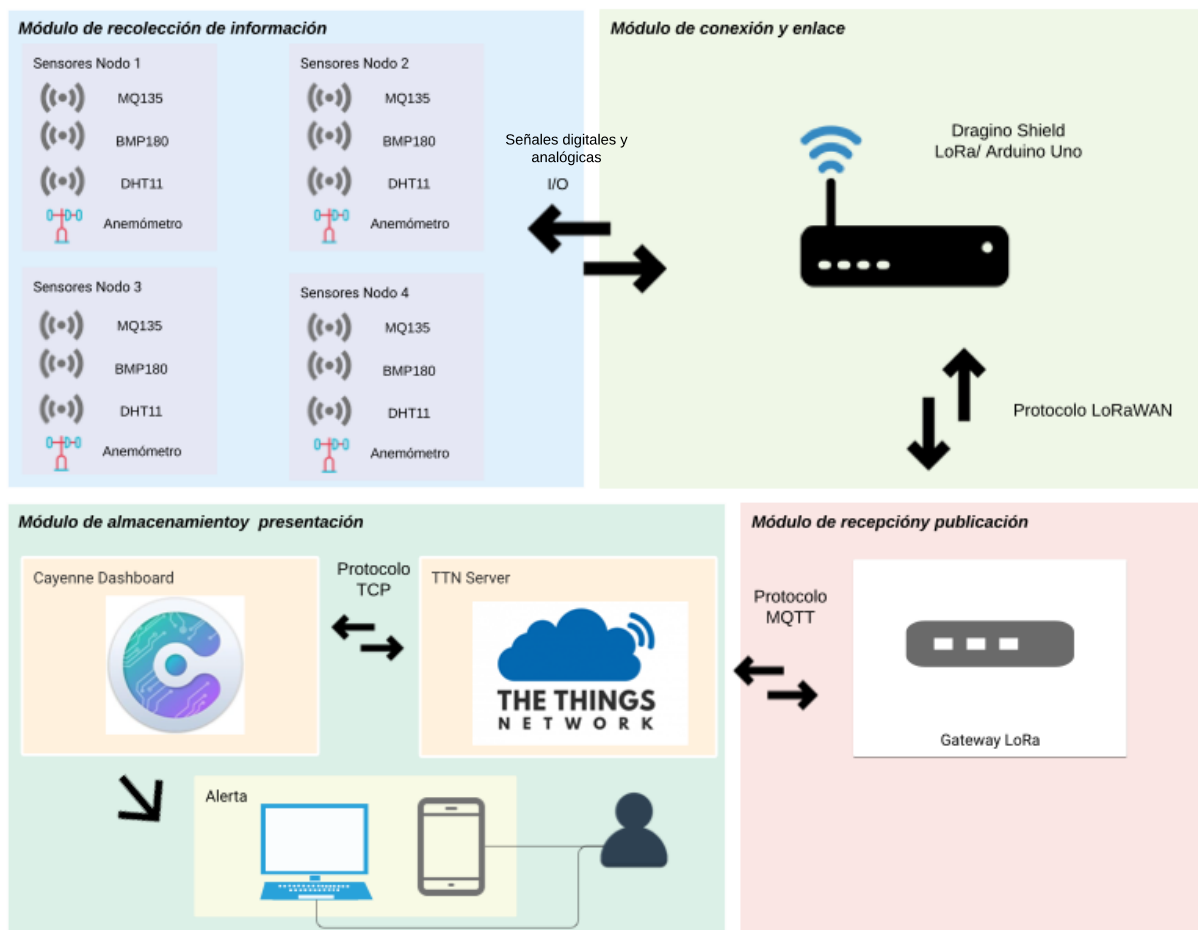
Cayenne Server es un servidor en la nube que permite el almacenamiento, procesamiento y visualización de la información, ya que permite la creación de widgets dependiendo del número de datos obtenidos con lo cual se permite transformarlo a información, esta información se puede utilizar como triggers para la generación de alertas dependiendo las condiciones de la regla del 30-30-30 por lo cual este servidor permite el envío de notificaciones: vía email o por medio de un SMS. Su elección fue debido a que es una solución gratuita y por su compatibilidad para mostrar en tiempo real los datos enviados por el servidor TTN,

Arquitectura del prototipo

En base a las herramientas de software y hardware analizadas, valoradas y determinadas en los ítems anteriores se plantea la arquitectura del prototipo para el sistema de información de notificación de alerta temprana ante un posible conato de incendio forestal en la en la Fig.11.

Figura 11

Arquitectura propuesta para desarrollo del prototipo.



Nota. En esta ilustración se muestra la arquitectura propuesta para realizar las pruebas con los nodos sensores.

Módulo de recolección de información

Este módulo se centra en la gestión de los sensores para la captación de los datos recolectados por cada uno de los nodos hacia el módulo de conexión y enlace.

Sensores

- **DHT11:** es el encargado de medir la temperatura ambiental y la humedad relativa de un área determinada. Los valores recolectados por este sensor establecen la segunda y tercera condición para la emisión de una alerta de incendio forestal.
- **MQ135:** es el encargado de medir la concentración de diferentes tipos de gases que se desprenden al iniciarse un incendio forestal como: CO, NH₃, NO_x, y humo. A través de este sensor podremos emitir la primera alerta de presencia de humo si se sobrepasa los 700ppm de CO₂.
- **BMP180:** es el encargado de medir la presión atmosférica. Este valor permite determinar la concentración de oxígeno en un área específica siendo factor para la creación y expansión del fuego.
- **Anemómetro:** es el encargado de determinar la velocidad del viento, factor que sirvió para emitir una alerta de posible conato de incendio forestal.
- **Batería:** fuente de energía (2000 mA) para los nodos finales.

Módulo de conexión y enlace

Este módulo permite enlazar los nodos con el gateway y después realizar la conexión MQTT contra el servidor de TTN Server. Cabe resaltar que MQTT es el protocolo usado por defecto por nuestro Gateway para el intercambio de datos con TTN Server.

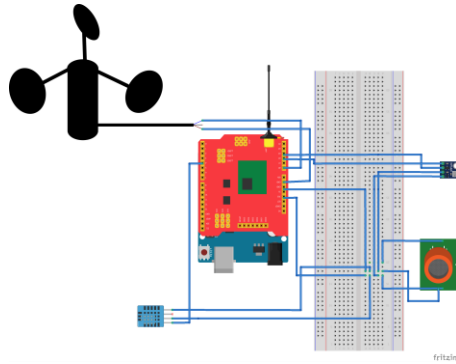
Arduino Uno Rev3: es la placa principal de nuestro sistema, tiene un microcontrolador ATmega328P que permite el procesamiento de información. (*Arduino Uno Rev3 | Arduino Official Store*, s. f.) Para nuestra solución se ocupó los 2 pines GND para polarizar nuestro circuito, el power pin de 5v como operador de voltaje, el pin digital I/O número 2 para procesamiento del sensor DHT11 y los pines analógicos 4 y 5 destinados al sensor BMP180.

Dragino Lora Shield: Este componente establece la comunicación con el Gateway TTN para el envío de los datos recolectados por los sensores del prototipo a través del protocolo LoRaWAN. Al ser de tipo shield fue compatible con la placa Arduino Uno Rev3 debido a que incorpora el transceptor RFM95W con el chip SX1276 de Semtech(*Arduino Shield Featuring LoRa® Technology*, s. f.). La frecuencia utilizada en nuestra región es la de 915 MHz.

La unión de los módulos de recolección de información, conexión y enlace generan el nodo sensor, a través de la modulación LoRa permite la conexión con el módulo de recepción y publicación, en la Fig. 14 podemos visualizar el diagrama de la estructura del mismo.

Figura 12

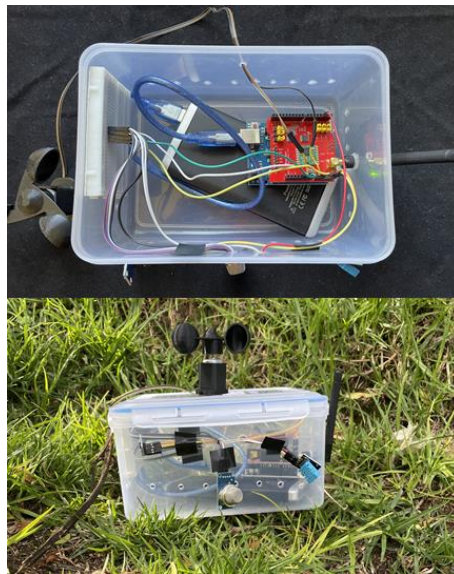
Diagrama de la estructura del nodo.



Nota. En esta imagen se muestra todos los elementos que conforman el nodo.

Figura 13

Estructura del nodo sensor.



Nota. En esta imagen se muestra como la conformación de un nodo sensor y todos sus elementos.

Módulo de recepción y publicación

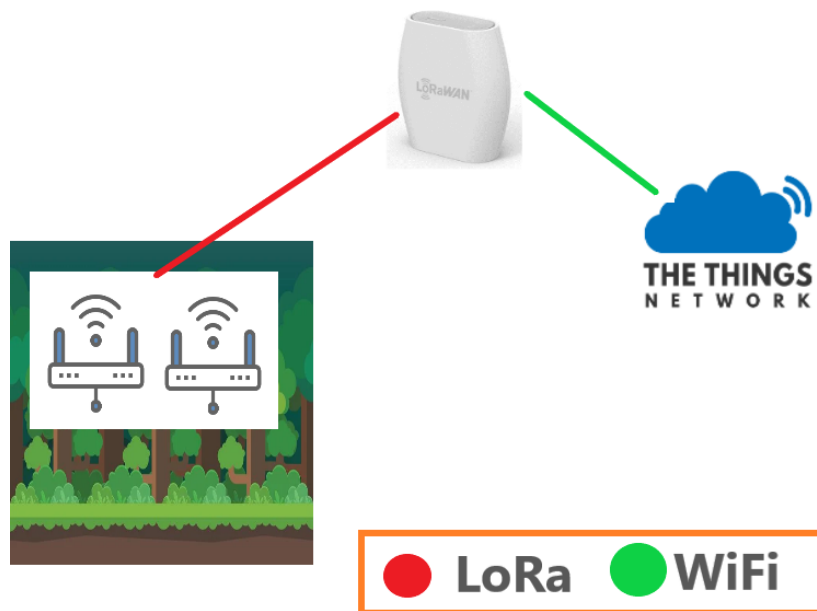
En este módulo presentamos nuestra puerta de enlace para la subida de datos a nuestro servicio The Things Network mediante el protocolo MQTT.

TTN Indoor Gateway: Es el dispositivo que permitió la toma de datos desde los sensores LoRa para ser almacenados y procesados. Nuestra solución trabajó con la frecuencia 915 MHz, al tener 4 nodos sensores se necesitó la escucha mínima de este número de canales por lo que el mismo al poseer una antena omnidireccional capaz de escuchar 8 canales LoRaWAN nos permitió captar todos estos y realizar la conexión al Módulo de almacenamiento presentación

(*The Things Indoor Gateway*, s. f.) en la Fig.16 podemos encontrar como es físicamente el gateway.

Figura 14

TTN Indoor Gateway



Nota. Esta imagen representa el modelo TTN Indoor Gateway. Tomado de (*The Things Indoor Gateway*, s. f.).

Módulo de almacenamiento presentación

Una vez que se establece la comunicación con el módulo de recepción y enlace y los datos llegan hacia nuestro sistema de información ubicado en la nube, se procede a implementar, configurar el servidor y el dashboard para poder recibir, almacenar y procesar los datos de acuerdo al algoritmo de la regla del 30-30-30 que permite validar los umbrales normales de (gas, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa) para concluir que no existe un posible conato de incendio y si se sobrepasa estos umbrales notificar o generar la alerta temprana de conato de incendio.

La regla del 30-30-30 es un parámetro utilizado en diferentes partes del mundo (cuerpo de bomberos de Canadá y Australia) para determinar un posible conato de incendio forestal. Según (Vega-Rodríguez et al., 2019) la alerta de incendio forestal se activa, cuando la temperatura ambiental es 30°C o superior, la velocidad del viento es igual o mayor a 30 Km/h y humedad relativa es menor al 30%.

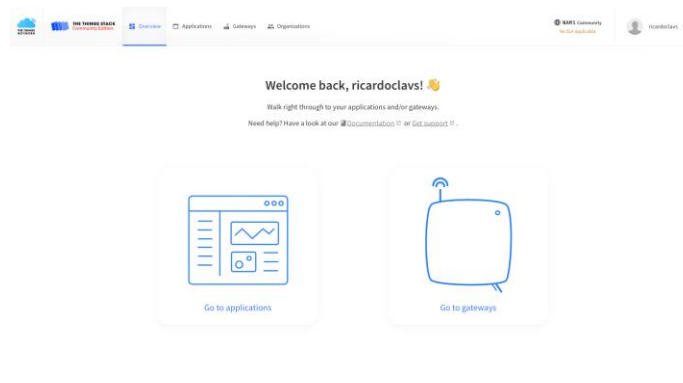
Para la instrumentación de este módulo se estructuró en dos partes: i) configurar la capa de acceso y usos de los servicios en el servidor TNN, ii) instrumentar el dashboard que permita monitorear, visualizar hacia los usuarios vía aplicación web para la gestión, procesamiento y monitoreo de los datos recolectados por los sensores.

The Things Network: Este servidor nos permite visualizar los logs, estado de los dispositivos finales (Nodo Sensor) y el Gateway siendo así un gestor para el monitoreo del hardware de nuestra solución. Este servidor nos ayuda a decodificar los payloads enviados por los nodos y subirlos a Cayenne para su almacenamiento y presentación. En

la Fig. 17 se muestra la interfaz para elección del hardware de control, y en la Fig. 18 y Fig.19 las interfaces de monitoreo por aplicación y gateway

Figura 15

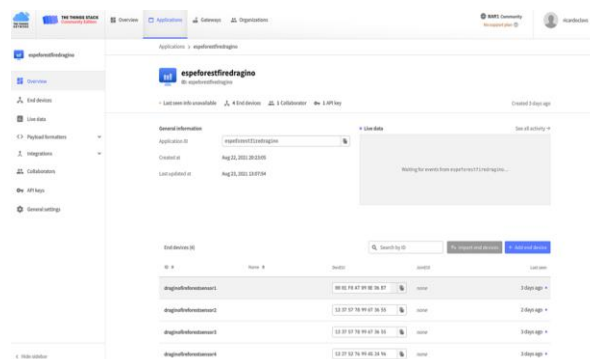
Interfaz The Things Network



Nota. Podemos encontrar como se administra las aplicaciones con los dispositivos finales y los gateways registrados en TTN.

Figura 16

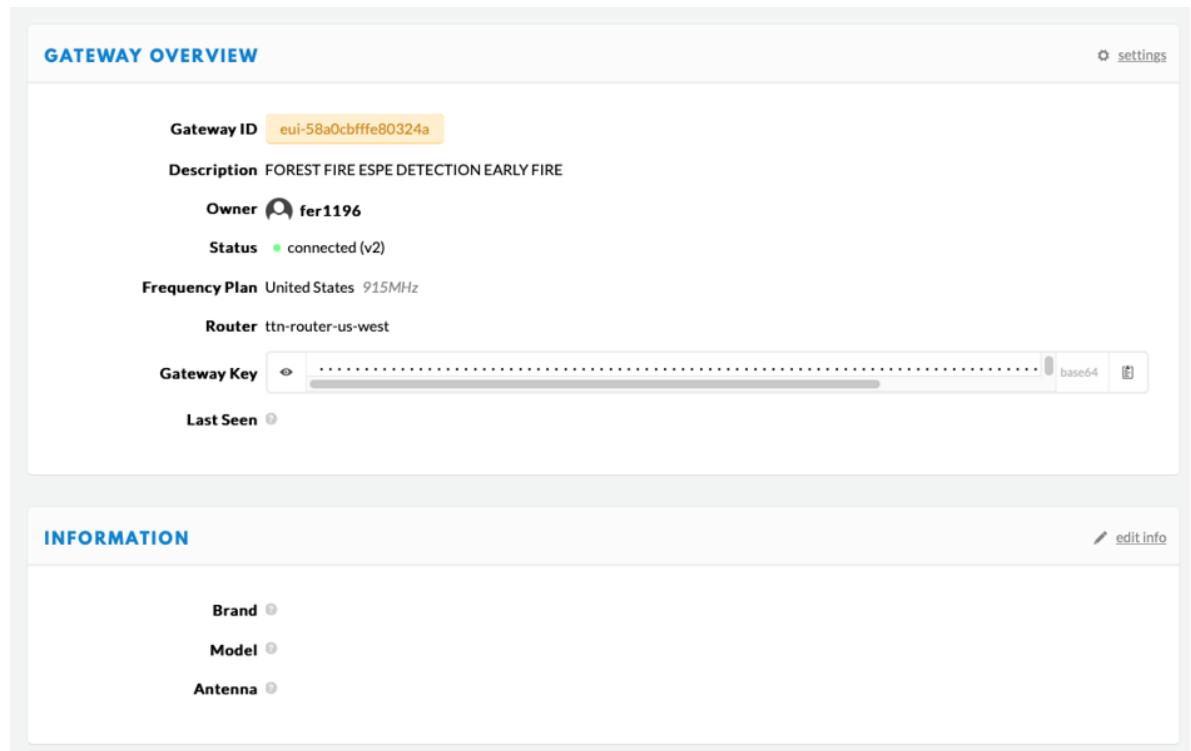
Interfaz de Aplicación y dispositivos finales



Nota. Podemos encontrar el dashboard para la gestión de nuestros dispositivos finales.

Figura 17

Interfaz para monitoreo del Gateway TTN



Nota. Podemos encontrar los campos de overview para estado del gateway, traffic para visualizar los logs de la información enviada por cada nodo y settings para la configuración del mismo.

Cayenne Server: Esta herramienta nos permitió guardar los datos recibidos por The Things Network, además al ser un dashboard interactivo podemos mostrar los datos obtenidos por los sensores creando widgets por cada segmento de payload destinado a cada sensor, a su vez se programó disparadores dependiendo los parámetros de cambio establecidos en nuestra solución para cada sensor y a su vez emitir la alerta enviando

notificaciones por correo y sms, en la Fig. 20 podemos encontrar el resultado de nuestro dashboard.

Figura 18

Dashboard Cayenne



Nota. Podemos encontrar como cada widget de nuestro dashboard corresponde a cada sensor integrado en nuestro nodo

Funcionalidad del prototipo

Los módulos establecidos anteriormente permiten detallar el funcionamiento de toda nuestra solución, empezando desde el Módulo de recolección de información donde se obtiene los datos a través de sensores y enviándolos por señales digitales y analógicas

al Módulo de conexión y enlace que consta de nuestro sistema empotrado el cual nos sirvió para enviar los datos mediante el protocolo LoRaWAN al Módulo de recepción y publicación, este a su vez se comunica con nuestro servicio The Things Network mediante el protocolo MQTT, este mismo envía los datos a Cayenne para ser guardados y publicados generando alertas de posibles conatos de incendio, finalizando así en el Módulo de almacenamiento y presentación.

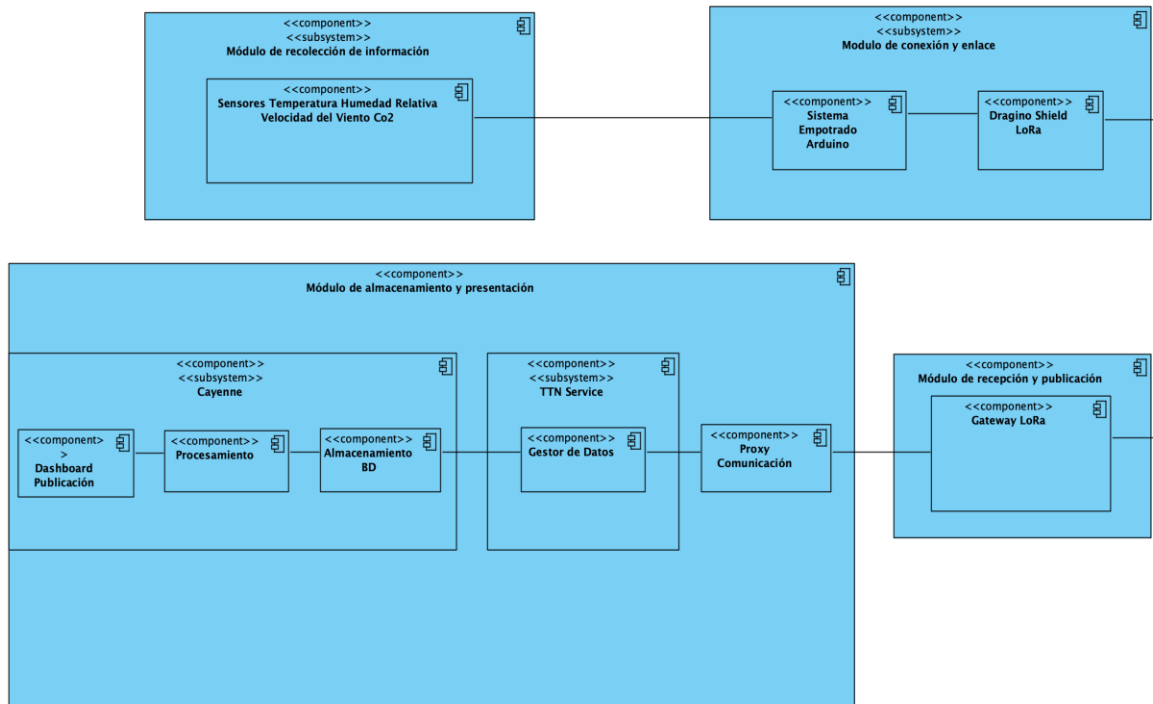
Para construcción de todos los módulos se hizo uso de la metodología ágil Scrum ya que permite usar un modelo dinámico que se ajusta al cambio de los ciclos de vida de nuestra solución, así se pudo realizar entregables continuos en base a la elaboración del mismo. La funcionalidad de nuestra solución es presentada por nuestro diagrama de componentes, diagrama de secuencia y diagrama de flujo los cuales se explican a continuación.

Diagrama de componentes

En el diagrama de componentes (Fig. 19) se puede apreciar todo nuestro sistema de comunicación, donde podemos encontrar que cada componente corresponde a un módulo de nuestra arquitectura siendo así cada uno un subsistema de nuestra solución teniendo concordancia entre la arquitectura y nuestro sistema.

Figura 19

Diagrama de componentes



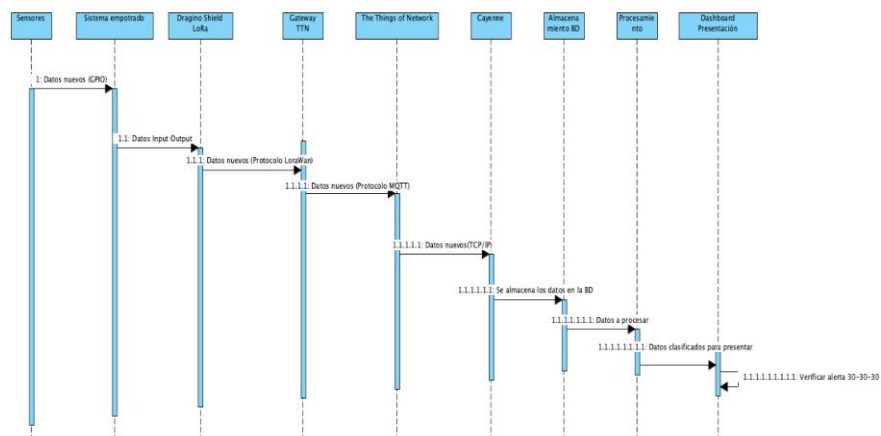
Nota En el gráfico observamos como el Módulo de recolección de información interactúa mediante su componente de sensores con el de sistema empotrado en el Módulo de conexión y enlace, este se acopla al componente de Gateway para enviar los nuevos datos leídos en el Módulo de recepción y publicación gestionando la data hacia TTN y su componente de gestor de datos donde finalmente se envían al dashboard para la presentación de los mismos.

Diagrama de secuencia

En la Fig. 22 apreciamos el paso a paso de la funcionalidad de nuestro sistema, el ciclo de vida empieza desde que nuestros sensores recopilan los datos para transmitirlos al sistema empotrado mediante señales digitales y analógicas, consecuente el mismo mediante la programación realizada se encarga de transmitir la trama generada al Gateway TTN a través del protocolo LoRaWAN, de aquí en adelante el Gateway TTN se encarga de subir los datos hacia The Things Network con el protocolo MQTT, dentro de este servicio se utiliza un script que permite decodificar los payloads para ser enviados a Cayenne por medio de TCP/IP y puedan ser interpretados para su presentación, una vez aquí determinamos las condiciones para la emisión de una alerta, Temperatura > 30° C, Humedad Relativa < 30% y Velocidad del viento > 30 km/h, con la comprobación de estos valores se lanzara una alerta al usuario final, a continuación en la Fig. 22 se puede visualizar la secuencia de nuestra solución.

Figura 20

Diagrama de secuencia



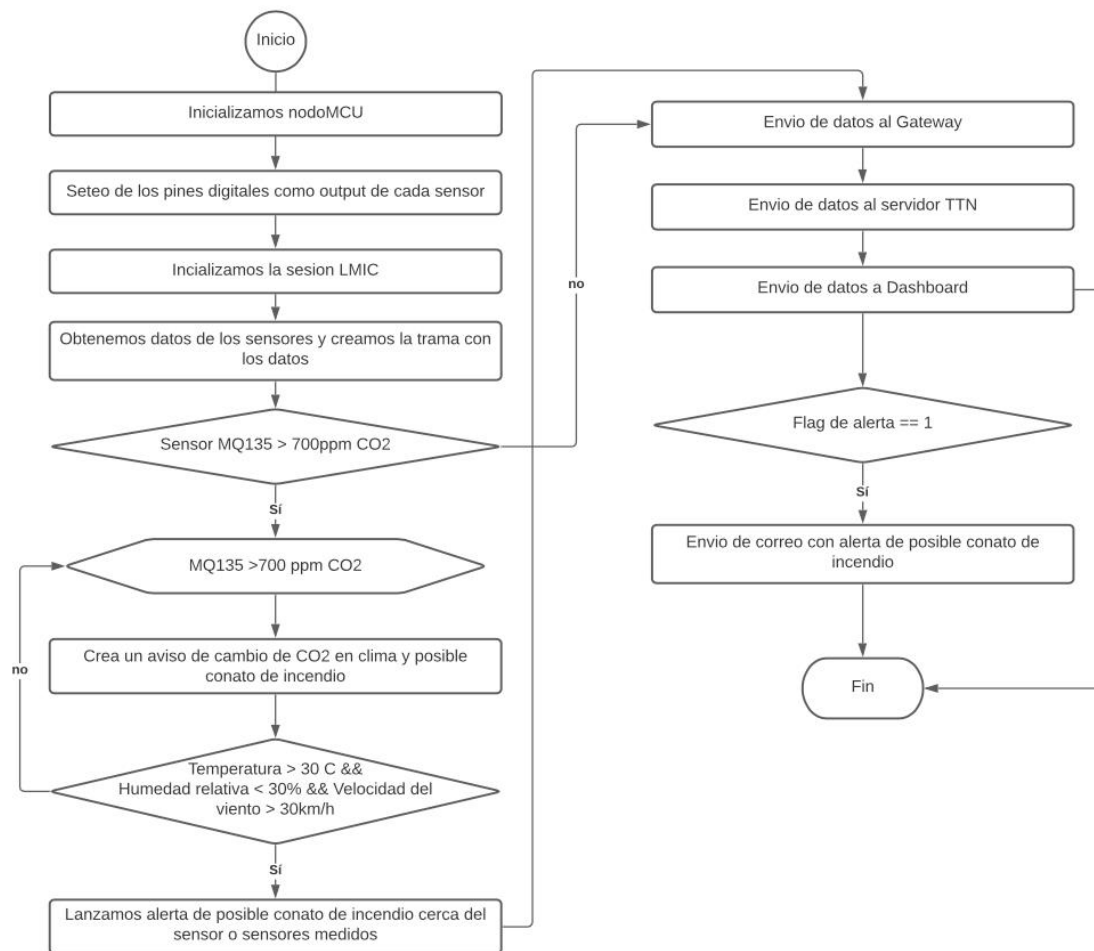
Nota Observamos como el flujo comienza desde la recepción de una nueva medida de los sensores hasta que se presentan en nuestro dashboard Cayenne.

Diagrama de flujo

En la Fig. 23 procedemos a describir el flujo completo del prototipo sistema de información siendo así desde el inicio de configuración y lanzamiento de cada nodo hasta la presentación y alerta enviadas en el dashboard.

Figura 21

Diagrama de flujo



Nota. El gráfico representa el diagrama de flujo de nuestro prototipo de sistema de información, así como las alertas programadas para la notificación por correo y sms.

Se inicializa los pines digitales del nodo poniéndolos como output, se inicia la sesión de LMIC “IBM LoraWAN-in-C Framework”, con los parámetros de la creación de la aplicación en TTN Server (Network Key, Device Address Key y AP Key) se obtiene los datos de cada sensor, si el sensor MQ-135 arroja más de 700 ppm de CO₂ en el aire se activa la primera bandera, una vez activada se verificará la regla del 30-30-30 donde se determina que la temperatura no sea mayor a 30°C, la humedad relativa no sea superior al 30% y la velocidad del viento sea inferior a 30 Km/h, caso contrario se lanzará una alerta, para lo cual Cayenne verificará si esta llegó en el payload y activará el widget de posible conato de incendio forestal a su vez lanzará las notificaciones de correo y SMS.

Construcción del prototipo

En esta sección se indicará los pasos necesarios para la configuración de la red y la visualización de los datos recolectados por los nodos sensores en el dashboard final. Los elementos necesarios para armar el prototipado mediante los lenguajes de programación, servicios de hardware y software.

Configuración de la solución

Para el funcionamiento de los nodos finales, que están compuestos de un Dragino Lora Shield y la placa Arduino Uno, se lo realiza a través de la instalación del software de Arduino y librerías como:

- Arduino LMIC (LoraWAN-MAC-in-C): es una framework de IBM, que admite dispositivos LoRaWAN Clase A y Clase B, y soporta la frecuencia 915 Mhz para América. Esto permite la elaboración de una red LoraWAN con los nodos finales.
- Librerías para medir los datos de los sensores como: SFE_BMP180.h, dht.h y hal/hal.h.

Configuración del receptor

En primera instancia se debe tener acceso a una red internet para poder acceder al servidor TTN, y se realiza el siguiente procedimiento:

Configuración de TTN Indoor Gateway

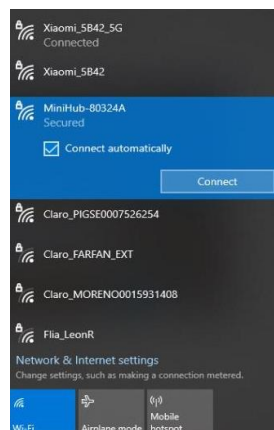
A continuación, detallaremos el paso a paso para la implementación de nuestro TTN Indoor Gateway, desde su registro en The Things Network hasta el funcionamiento del código implementado en los nodos sensores.

Configuración de acceso a Internet

Se debe conectar el Gateway, aplastar el botón de reset por 10 segundos hasta que una luz roja aparezca en el dispositivo, luego se debe mantener presionado el botón de SETUP por 5 segundos, a través de una computadora se debe buscar la red MiniHUB-80324A y conectarse.

Figura 22

La red del TTN Indoor Gateway.

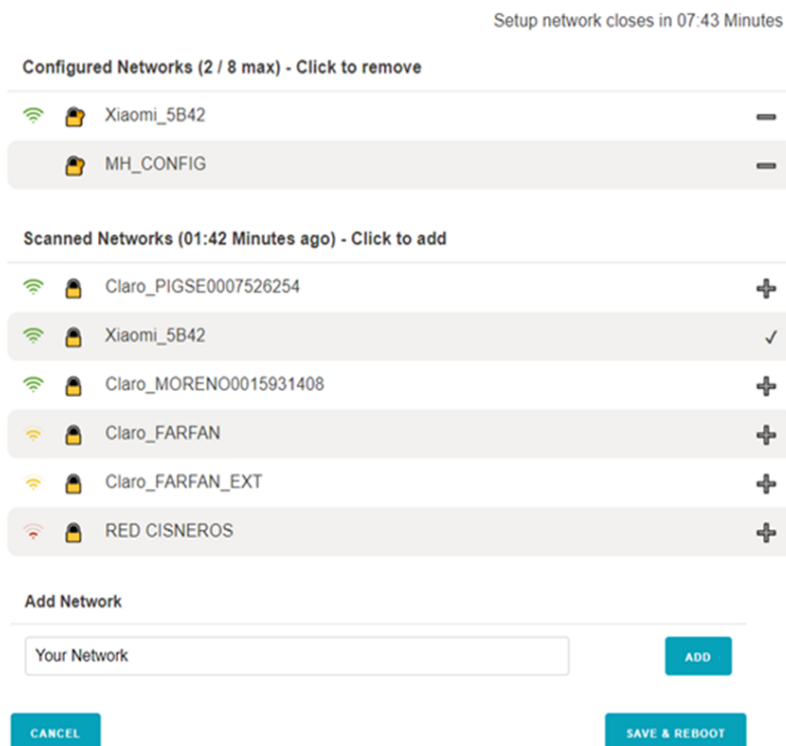


Nota. En esta imagen se muestra la red que ofrece el *TTN Indoor Gateway* y que fue detectada por el computador.

Se debe ingresar a la ruta proporcionada por TTN una vez que nuestro Gateway actué como router (<http://192.168.4.1>) es aquí donde está levantado el servicio para la conexión de red, en este caso Xiaomi_5B42 y guardar los cambios

Figura 23

Conectando al Gateway a una red Wifi



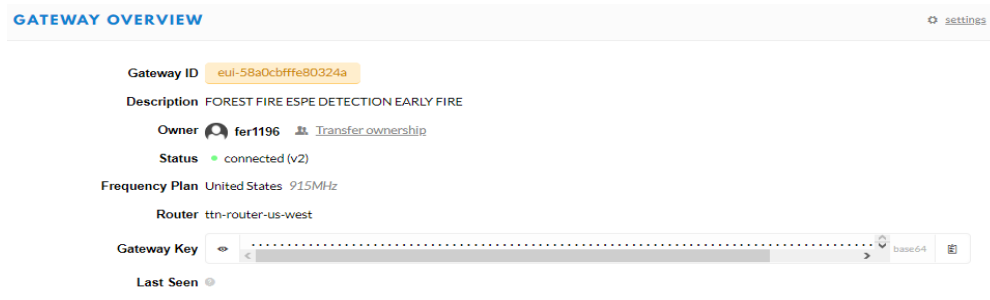
Nota. En esta imagen se muestra como el Gateway se conectó de manera exitosa a una red WiFi.

Vinculación del Gateway con TTN Server

Ir al link: <https://v2console.thethingsnetwork.org> y seleccionar Gateway. Agregar un nuevo Gateway e ingresar los parámetros solicitados, recordar seleccionar la frecuencia de 915 Mhz que es la recomendada para la región.

Figura 24

Gateway registrado en TTN Server.



Nota. Esta imagen muestra que el registro del Gateway en la consola TTN Server, fue exitoso.

Creación de la aplicación

Una vez registrado el Gateway, se debe crear una aplicación en el servidor TTN que permite la recepción y visualización de los datos de los nodos finales. Para esto se debe dirigir la página <https://v2console.thethingsnetwork.org> y seleccionar la opción Applications, y crear una nueva aplicación.

Figura 25

Creación de una aplicación en TTN Server.



Nota. En esta imagen se muestra que la aplicación se creó de manera exitosa en TTN Server.

Figura 26

Vista de la aplicación

The screenshot shows the TTN Server interface for an application named 'espeforestfiredragino'. The interface includes a sidebar with navigation options like Overview, End devices, Live data, Payload formatters, Integrations, Collaborators, API keys, and General settings. The main content area displays the application's general information, including its ID, creation and last update dates, and a list of four end devices. Each device entry shows its ID, name, Device EUI, Join EUI, and last seen time.

ID	Name	DevEUI	JoinEUI	Last seen
draginofireforestsensor1		00 01 F0 A7 09 8E D6 07	none	14 hours ago
draginofireforestsensor2		13 37 57 78 99 67 36 55	none	33 seconds ago
draginofireforestsensor3		13 37 57 78 99 67 36 55	none	15 hours ago
draginofireforestsensor4		13 27 52 76 99 45 24 96	none	15 hours ago

Nota en este grafico podemos encontrar la información general de la aplicación creada

Vinculación del hardware con TTN Server

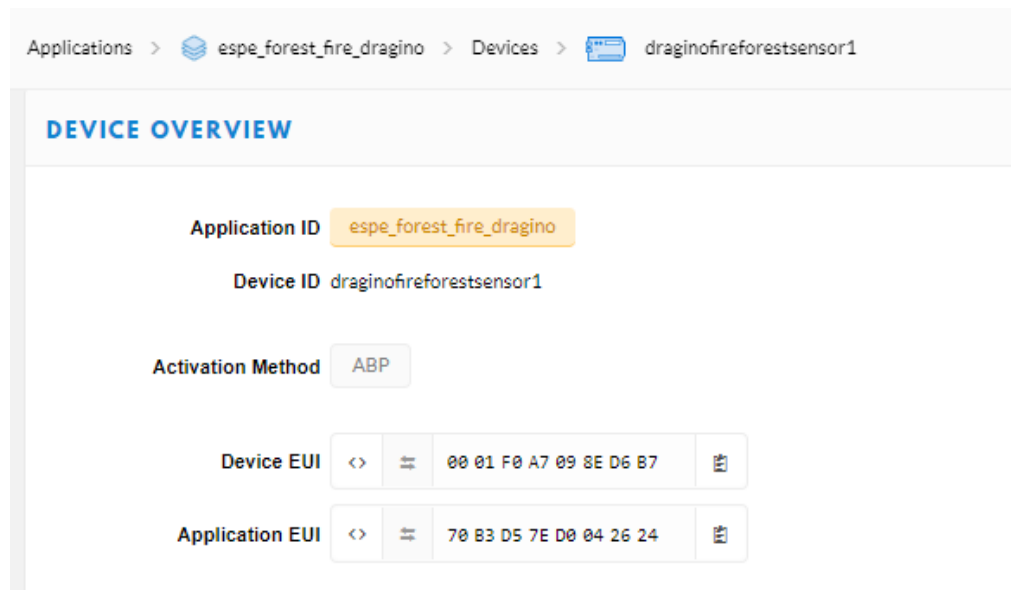
En esta parte se muestra la configuración de los nodos sensores con sus elementos de hardware para que puedan ser vinculados con el servidor TTN.

Configuración del dispositivo

Para esto se debe agregar el dispositivo final en nuestra aplicación de TTN Server. Una vez registrado el nodo sensor, el servidor provee de elementos de identificación únicos como: Device EUI y Application EUI que son necesarios para la conexión entre los nodos y el servidor TTN.

Figura 27

Registro de un módulo LoRa en TTN server.



Nota. En esta imagen apreciamos que se encuentra creado nuestro dispositivo final en la aplicación espe_Forest_fire_dragino obteniendo las claves EUI del mismo.

Una vez definido los parámetros (NWKSKEY, APPSKEY y DEVADDR) que son propios de cada nodo, se procede a ingresar estos datos en el programa desarrollado en el IDE de Arduino que permite establecer la comunicación LoRa entre los dispositivos finales y el Gateway.

Figura 28

Configuración del dispositivo en Arduino

```

dht DHT;
#define DHT11_PIN 2
#define PIN_A A0
int sensorValue;
float temperature, humidity;
float tem, hum;

unsigned int count = 1;    //For times count

String datastring1="";
String datastring2="";
String datastring3="";

//DRAGINO
static uint8_t mydata[25] = {0x01,0x67,0x00,0x00,0x02,0x68,0x00,0x03,0x65,0x00,0x00,0x04,0x73,0x00,0x00,0x05,0x67,0x00,0x00,0x06,0x66,0x00,0x07,0x66,0x00};
/* LoRaWAN NwkSKey, network session key
This is the default Semtech key, which is used by the prototype TTN
network initially.
ttn*/
static const PROGMEM u1_t NWKSKEY[16] = { 0x67, 0x11, 0xA6, 0xA0, 0xF3, 0x8F, 0x85, 0xDB, 0x02, 0x4C, 0x70, 0xBC, 0xD2, 0x37, 0xBE, 0xD6 };

/* LoRaWAN AppSKey, application session key
This is the default Semtech key, which is used by the prototype TTN
network initially.
ttn*/
static const u1_t PROGMEM APPSKEY[16] = { 0xDA, 0xE4, 0x0E, 0x57, 0xDF, 0xED, 0xA5, 0x92, 0x3A, 0x23, 0xEC, 0x43, 0x14, 0xCC, 0x98, 0x3E };

/*
LoRaWAN end-device address (DevAddr)
See http://thethingsnetwork.org/wiki/AddressSpace
ttn*/
static const u4_t DEVADDR = 0x260C25F2;

```

Nota Podemos encontrar los parámetros (NWKSKEY, APPSKEY y DEVADDR) otorgados por la aplicación generada en TTN Server.

Una vez subido el programa en los nodos finales, los datos recolectados por los dispositivos finales son enviados a través del módulo LoRa al Gateway y compartidos con la aplicación creada en el servidor TTN.

Figura 29

Datos de nodo final

The screenshot shows the TTN dashboard for the application 'espeforestiredragino'. The selected device is 'draginofireforestsensor1'. The 'Live data' view displays a list of messages:

Time	Type	Data preview
22:11:44	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.6, luminosity_3: 366, relative_humidity_2: 71, temperature_1: 20 } 01 67 00 C8 02 68 8E 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B
22:11:32	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.6, luminosity_3: 362, relative_humidity_2: 25, temperature_1: 20 } 01 67 00 C8 02 68 32 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B
22:07:53	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.6, luminosity_3: 361, relative_humidity_2: 25, temperature_1: 20 } 01 67 00 C8 02 68 32 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B
22:07:29	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.6, luminosity_3: 362, relative_humidity_2: 25, temperature_1: 20 } 01 67 00 C8 02 68 32 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B
22:07:29	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.6, luminosity_3: 362, relative_humidity_2: 25, temperature_1: 20 } 01 67 00 C8 02 68 32 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B
22:07:16	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.6, luminosity_3: 367, relative_humidity_2: 72, temperature_1: 20 } 01 67 00 C8 02 68 90 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B
22:06:52	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.6, luminosity_3: 368, relative_humidity_2: 72, temperature_1: 20 } 01 67 00 C8 02 68 90 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B
22:06:40	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.6, luminosity_3: 361, relative_humidity_2: 25, temperature_1: 20 } 01 67 00 C8 02 68 32 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B
22:00:18	Update end device	["locations"]
22:00:18	Update end device	["locations"]
22:00:18	Update end device	["locations"]
22:00:18	Update end device	["locations"]
22:00:18	Update end device	["locations"]
21:59:58	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.5, luminosity_3: 371, relative_humidity_2: 72, temperature_1: 19.8 } 01 67 00 C6 02 68 90 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B
21:59:46	Forward uplink data message	Payload: { barometric_pressure_4: 718.5, luminosity_3: 364, relative_humidity_2: 25, temperature_1: 19.8 } 01 67 00 C6 02 68 32 03 ... FPort: 1 Data rate: SF7B

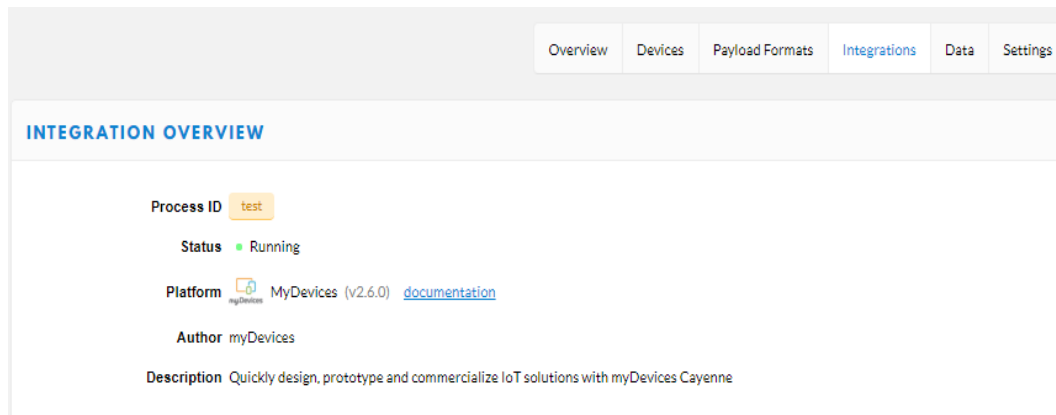
Nota En esta figura podemos encontrar como llegan los datos directamente a la aplicación creada en TTN.

Integración con Cayenne

La integración provista por la aplicación creada en el servidor TTN permite enviar los datos recibidos a Cayenne para que pueda ser visualizados en un dashboard.

Figura 30

Integración desde TTN server con Cayenne.



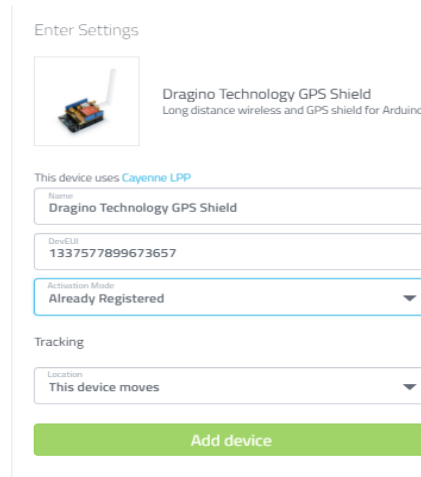
Nota. En esta imagen se muestra como la aplicación agrega una integración con el servidor de Cayenne para que todos los nodos registrados en esta aplicación envíen sus datos a este servidor.

Vinculación con Cayenne


Para que los datos recibidos de los nodos finales puedan ser gestionados en Cayenne es necesario configurar nuestra aplicación con la plataforma myDevices como se muestra en la imagen.

Figura 31

Registro de un módulo LoRa en Cayenne.



Enter Settings

 Dragino Technology GPS Shield
Long distance wireless and GPS shield for Arduino.

This device uses [Cayenne LPP](#)

Name
Dragino Technology GPS Shield

DevEUI
1337577899673657

Activation Mode
Already Registered

Tracking
Location
This device moves

Add device

Nota. En esta imagen se muestra la fase de registro del módulo Dragino LoRa Shield en el servidor de Cayenne, esto permitió visualizar los datos recolectados por sensores colocados en cada uno de los nodos.

Configuración de dispositivos en Cayenne

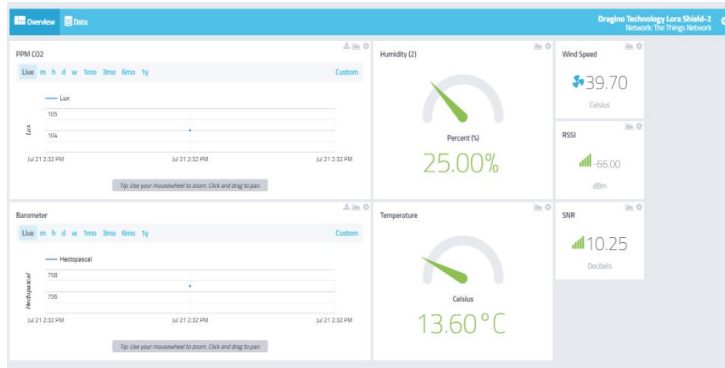
Dirigirse a la página <https://cayenne.mydevices.com/cayenne/dashboard/start>

Y agregar los nodos (Dragino Shield) previamente registrados en la aplicación de TTN Server, para esto es necesario es introducir el DevUI generado en TTN Server al momento de la creación del dispositivo final.

Una vez configurado se mostró la siguiente pantalla con los datos recolectados por el sensor.

Figura 32

Dashboard con los nodos sensores.



Nota. En esta imagen se muestra un dashboard con los datos almacenados en el servidor de Cayenne, y permite visualizar los datos recolectados por sensores colocados en cada uno de los nodos.

Capítulo IV

Validación del prototipo

Este capítulo tiene como objetivo determinar la funcionalidad del prototipo con una serie de pruebas, los cuales contaron con diferentes escenarios para la recolección de datos. A partir de esto se obtiene resultados para su discusión y evaluación de las alertas emitidas por el sistema.

El prototipo fue evaluado tanto en el proceso de recolección de datos como en la publicación de los mismos, realizando las pruebas para determinar la posibilidad de un conato de incendio, siendo así se permitió valorar de acuerdo a las siguientes pruebas.

Prueba 1

Esta prueba se lo realiza con el fin de comprobar el funcionamiento del módulo de recolección de información de la arquitectura propuesta, comprobando que los sensores colocados en los nodos envíen los datos al servidor.

Definición de escenario

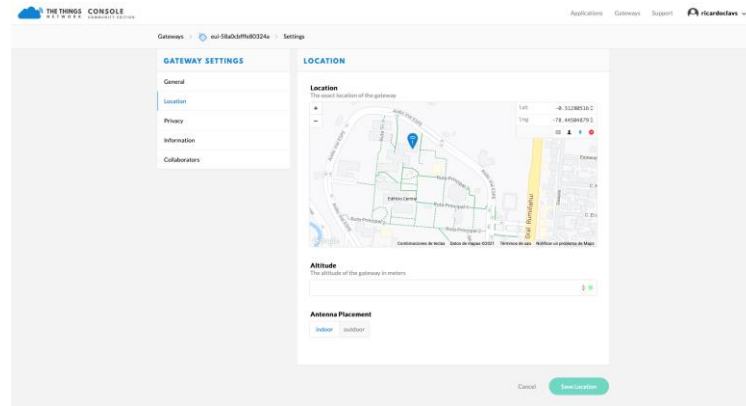
De acuerdo con la Fig. 37, se presentan la ubicación de los dispositivos (nodos sensores y gateway).

Lora Gateway (Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” – Sede Sangolquí)

- Latitud: -0.31280516
- Longitud: -78.44504879

Figura 33

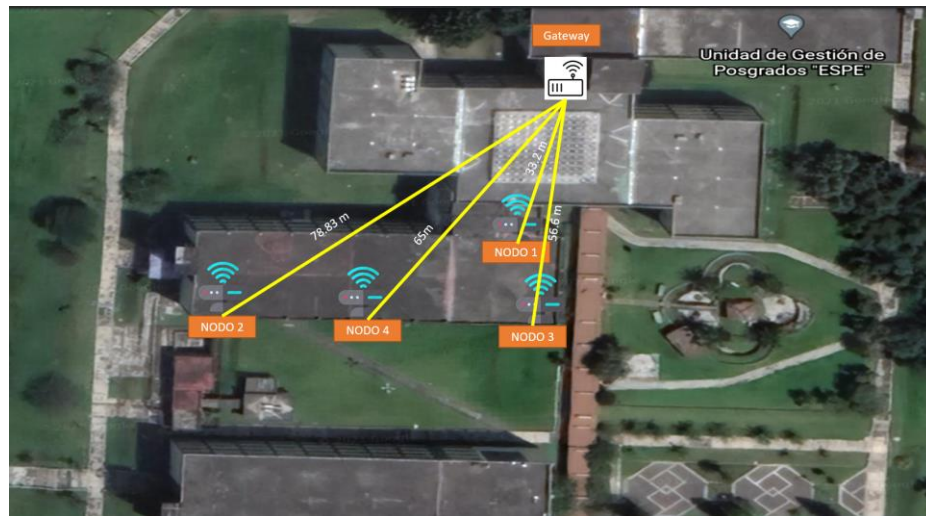
Ubicación del Gateway en la Plataforma The Things of Network para Experimento 1



Nota En la figura podemos encontrar la ubicación geográfica del Gateway para el experimento 1.

Figura 34

Ubicación y distancia de los nodos sensores.



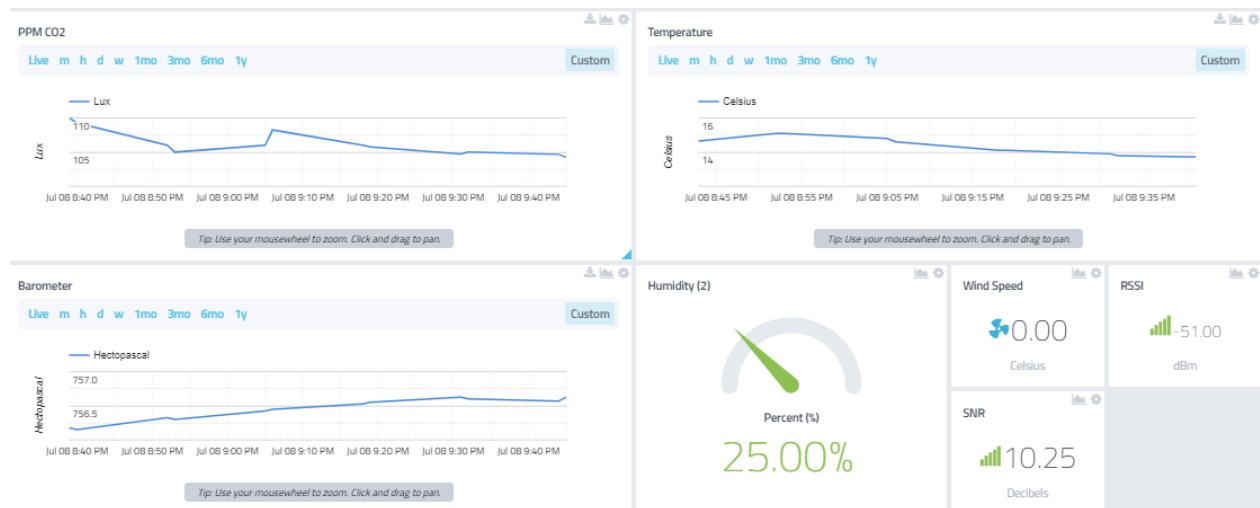
Nota. En esta imagen se muestra la colocación de los nodos sensores y la distancia expresada en metros que tienen con el Gateway.

Prueba de Campo

Se realizó la prueba de campo en la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” en los laboratorios de Computación, con el objetivo de determinar que los datos estén llegando de manera correcta, en esta instancia se utilizó el dashboard como medio de verificación; el cual nos deja evidenciar en tiempo real los datos recolectados por el servidor. Además, se observa que los datos recolectados por los 4 sensores no tengan una variación mayor a la establecida en la ficha técnica (según el tipo de sensor) para lo cual se compara los datos recolectados por estos y se determinó que no existe una brecha por fuera de lo normal.

Figura 35

Datos recolectados en el Experimento 1.



Nota. En esta imagen se muestra los datos recolectados por uno de los nodos sensores durante el Experimento 1.

Análisis de resultados

En esta primera prueba se pudo comprobar que los datos recolectados por los sensores llegaron de manera correcta al servidor, pero se determinó ciertas correcciones

en lo que respecta al ahorro de batería. En esta prueba se realizaba el envío de datos cada 20 segundos, que en algunos casos eran datos repetitivos, que conllevan al agotamiento de la batería y un exceso de información de datos en el servidor. Para esto se determinó que los datos se deben enviar con una ventana de tiempo de cada 5 minutos con el fin de preservar la duración de la batería en pruebas con mayor duración de tiempo y evitar el exceso de información. Pese a estar en época de verano, el clima de la provincia de Pichincha es variable, y al momento de realizar la prueba empezó una llovizna que hizo que la prueba dure apenas 2 horas y en ciertos casos daño a las cajas de cartón donde se colocó los nodos, con este problema se tomó la decisión de comprar cajas plásticas que permitan preservar la integridad de los nodos y soporten cualquier clima.

Figura 36

Evidencia de la colocación del nodo sensor.



Nota. En esta imagen se muestra el nodo sensor ubicado en la terraza de los laboratorios de Ciencias de la Computación en la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

Prueba 2

En esta prueba se realizó la evaluación del material con el que se compone el contenedor del prototipo, con esto determinar que es apropiado para el nodo sensor y no constituya en un factor externo para la creación de falsos positivos.

Definición de escenario

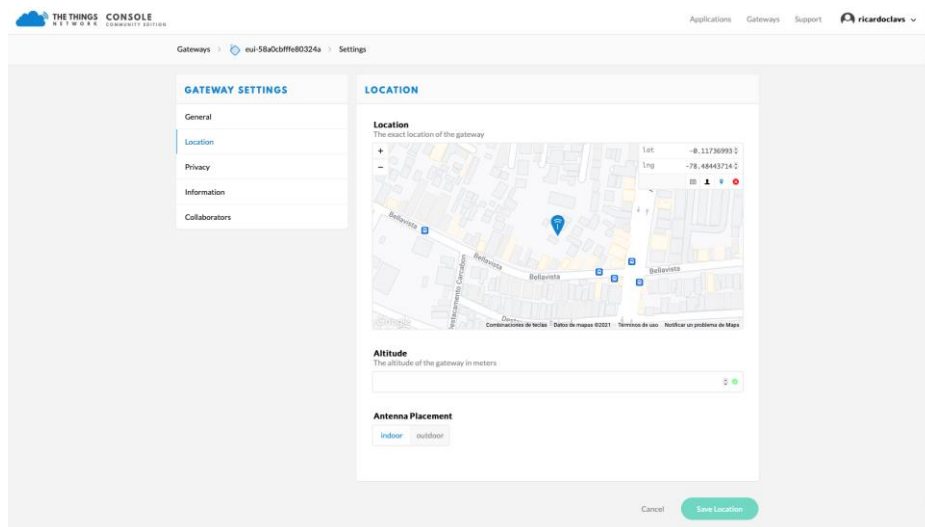
De acuerdo con la Fig. 41, a continuación, se presentan de manera específica la ubicación de los dispositivos.

Lora Gateway (Sector Ponciano)

- Latitud: -0.11736993
- Longitud: -78.48443714

Figura 37

Ubicación del Gateway en la Plataforma The Things of Network para Experimento 2



Nota. En esta imagen se muestra la ubicación y la colocación del Gateway.

Prueba de Campo

Se realizó por un lapso de 24 horas, en la ciudad de Quito sector de Ponciano. En este experimento se colocó dos nodos finales, uno en una caja de cartón denominado sensor 1 y el otro en una caja plástica (con 4 agujeros) denominado sensor 2. El fin es determinar si la temperatura entre un sensor y otro tiene una variación por el material que los protege.

Figura 38

Mapa del Experimento 2.



Nota. En esta imagen se muestra la ubicación y la colocación de los nodos sensores y el Gateway en el Experimento 2.

Análisis de resultados

En la noche del primer día la temperatura entre los dos nodos no ha sufrido ninguna variación, esto se repite hasta el mediodía del segundo día, donde existe una diferencia de casi 2 grados, que es un error tolerable porque el sensor de temperatura DHT11 tiene una

precisión de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, siendo así podemos encontrar los dashboard generales del nodo 1 y 2 en la Fig. 43 y Fig. 44.

Figura 39

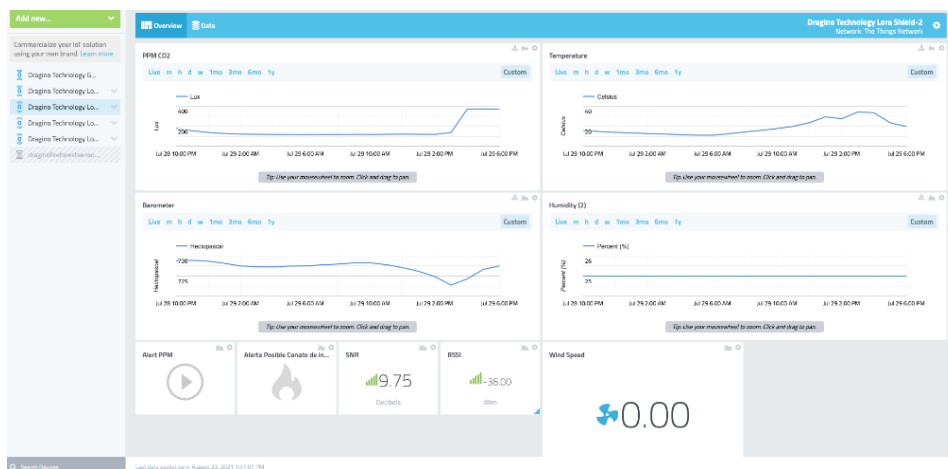
Dashboard General Nodo 1



Nota. En esta imagen se muestra los datos recolectados por el sensor uno.

Figura 40

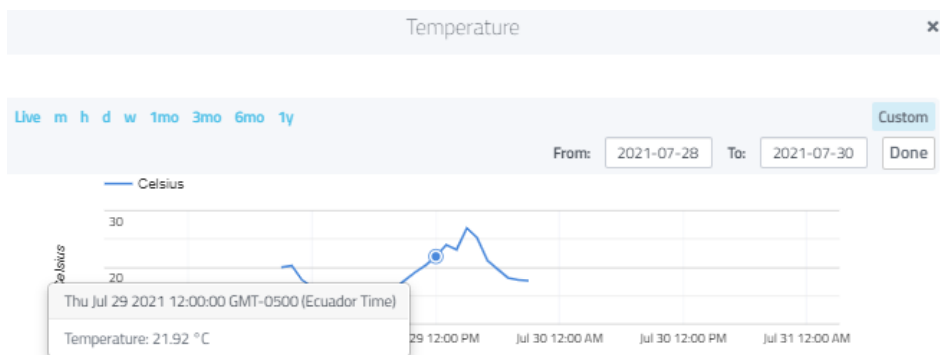
Dashboard general Nodo 2



Nota. En esta imagen se muestra todos los datos recolectados por el nodo sensor dos.

Figura 41

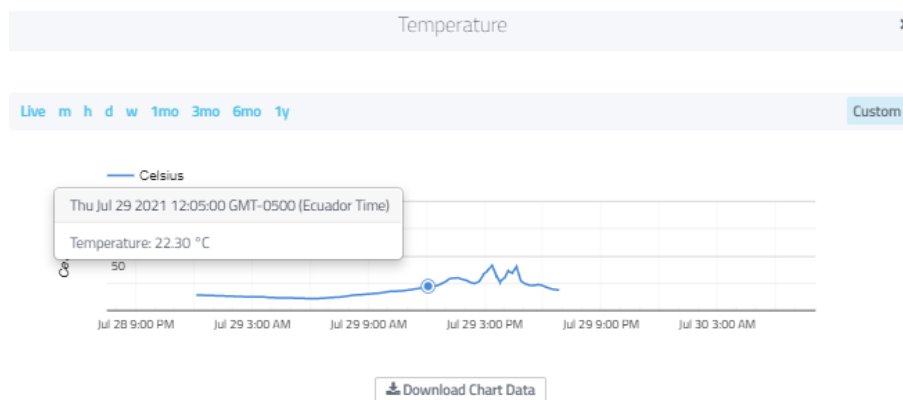
Medición de temperatura del sensor 1.



Nota. En esta figura se muestra una gráfica con los valores de temperatura recolectados por el sensor DHT11 del nodo 1.

Figura 42

Medición de temperatura del sensor 2.



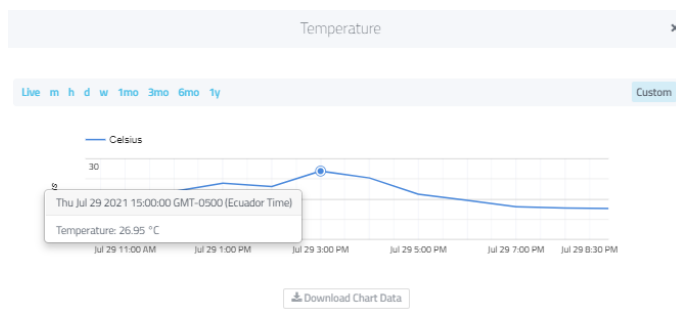
Nota. En esta figura se muestra una gráfica con los valores de temperatura recolectados por el sensor DHT11 del nodo 2.

Sin embargo, a las 15:00 horas en la tarde del mismo día se produjo una variación considerable en la temperatura marcada por ambos sensores. El sensor 2 presentó una temperatura de 41.40°C a diferencia del sensor 1 con una temperatura registrada de

26.95°C, lo que representa una diferencia de 14.45°C, un valor no tolerable para el prototipo.

Figura 43

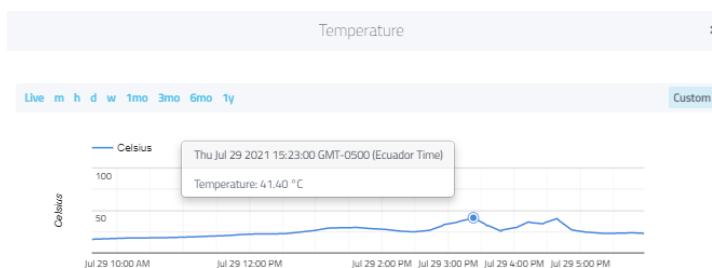
Medición de temperatura a las 15:00 del nodo sensor 1.



Nota. En esta imagen se muestra una gráfica con el valor de temperatura recolectado a las 15:00 por el nodo sensor 1.

Figura 44

Pico de temperatura a las 15:00 del nodo sensor 2.



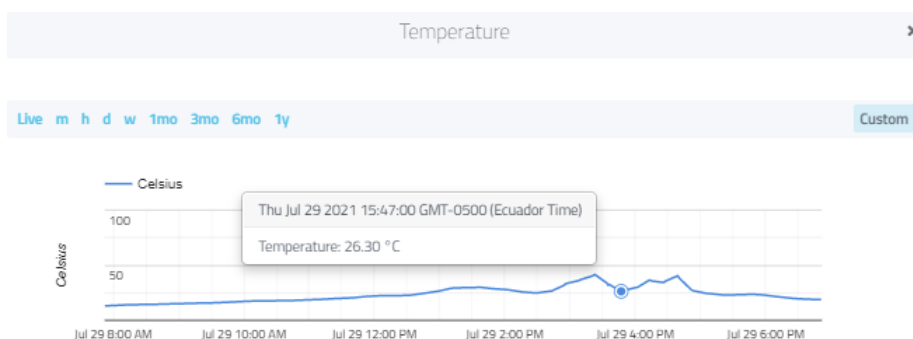
Nota. En esta imagen se muestra una gráfica con los datos de temperatura recolectados a las 15:00 por el nodo sensor 2 y que muestran un valor anormal.

Para descartar cualquier problema con el sensor DHT11 se procedió a reemplazarlo con otro nuevo y a sacar al sensor 2 del calor. Aproximadamente 20 minutos después de ese mismo día se volvió a colocar al nodo en misma posición y a las 15:47 se tomó registro

de la temperatura que fue de 26.30°C con lo que se determinó que el sensor estaba funcionando correctamente.

Figura 45

Temperatura recolectada por el nodo sensor 2.

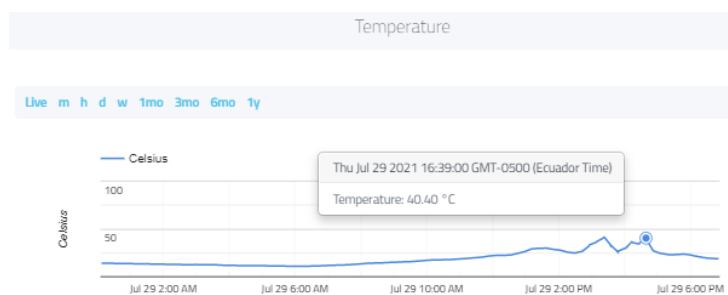


Nota. En esta imagen se muestra una gráfica con los datos de temperatura recolectados por el nodo sensor 2 después de cambiar el sensor DHT11.

Pero a las 16:39 más tarde se observó otro pico alto de temperatura en el sensor 2 de 40.4°C , marcando una diferencia de aproximadamente 19.18°C con el sensor 1.

Figura 46

Pico de temperatura del nodo sensor.

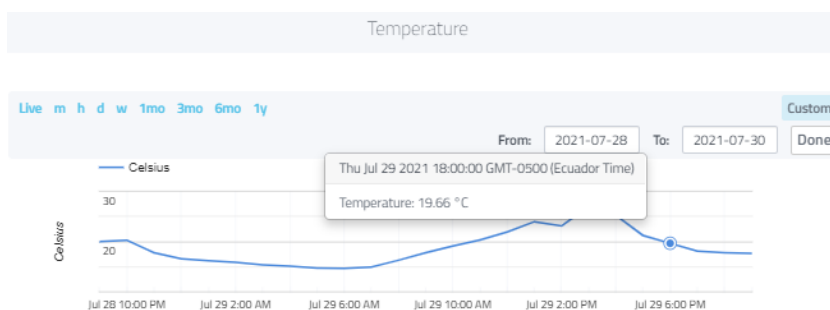


Nota. En esta imagen se muestra un pico de temperatura del nodo sensor 2 luego de a ver realizado el cambio del sensor DHT11 y a ver sometido al sensor al calor.

A las 18:00 horas del mismo día se tomó las temperaturas lo que reflejó una variación de 0.39 °C entre ambos sensores lo que está en el umbral de tolerancia.

Figura 47

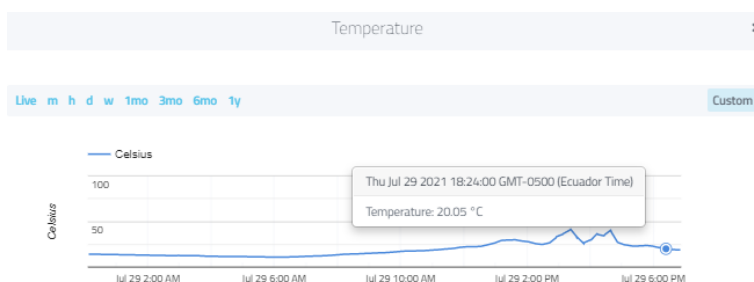
Medición de temperatura del nodo sensor 1.



Nota. En esta imagen se muestra una gráfica con los datos de temperatura recolectados por el nodo sensor 1 a las 18:00 horas.

Figura 48

Medición de temperatura del nodo sensor 2.



Nota. En esta imagen se muestra una gráfica con los datos de temperatura recolectados por el nodo sensor 2 a las 18:00 horas.

Las otras mediciones de los sensores no tuvieron problema alguno. Ante el problema de pico de temperatura se procedió a realizar 20 agujeros en la caja plástica para

evitar que el calor se acumule, generando falsos positivos en las mediciones realizadas por el sensor DHT11 y tener datos confiables.

Prueba 3

En esta prueba se pone a prueba todos los módulos de la arquitectura de nuestro trabajo de titulación con el fin de comprobar el funcionamiento real por un periodo de tiempo más prologando.

Definición de escenario

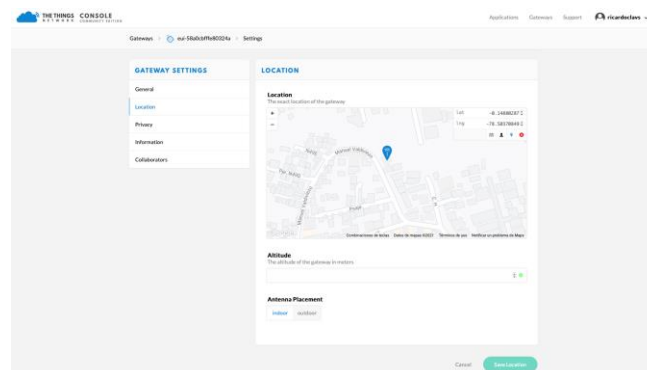
De acuerdo a la Fig. 46, a continuación, se presentan de manera específica la ubicación de los dispositivos.

Lora Gateway (Sector Pinar Alto)

- Latitud: -0.14914329
- Longitud: -78.50368579

Figura 49

Ubicación del Gateway en la Plataforma The Things of Network para Experimento 3



Nota. En esta imagen se muestra la ubicación del Gateway Lora Indoor, donde se va a recolectar los datos de los nodos sensores.

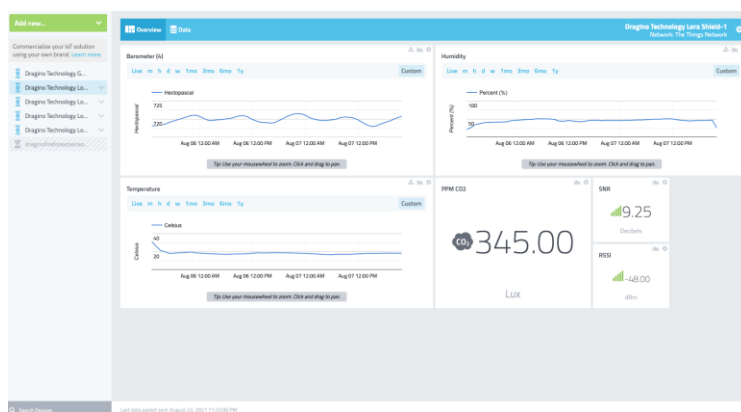
Prueba de Campo

La prueba empezó el primer día en la tarde con los 4 nodos activos en el sector Pinar Alto con una distancia 100 mts entre cada uno y terminó 2 días después a las 06:00 pm de la tarde de tal manera que se pudo comprobar en vivo la recolección de los datos y el monitoreo dentro del dashboard. La prueba concluyó con éxito reflejando en las gráficas los cambios de las condiciones meteorológicas en base a las distintas horas del día y condiciones presentadas a lo largo de la prueba.

Análisis de resultados

Figura 50

Dashboard Nodo 1



Nota: En esta imagen se muestran los datos recogidos donde se puede validar el comportamiento de los sensores con respecto a las condiciones climáticas en la prueba real.

Figura 51

Datos Nodo 1

Timestamp	Device Name	Channel	Unit	Sensor Name	Sensor ID	Unit	Data Type	Value	Min	Max
2021-08-07 0:00:15	Drogo Technol...	101	000	Temperature	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	temp	18	18	18
2021-08-07 0:00:15	Drogo Technol...	4	000	Batteries V0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	V	bat	7.8	7.8	7.8
2021-08-07 0:00:15	Drogo Technol...	2	000	Humidity	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	%	hum	86	86	86
2021-08-07 0:00:15	Drogo Technol...	1	000	Temperature	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	temp	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:15	Drogo Technol...	100	000	AC0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	ac0	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:15	Drogo Technol...	2	000	Luminosity ES	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	lux	lux	303	303	303
2021-08-07 0:00:15	Drogo Technol...	100	000	AC0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	ac0	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	1	000	Temperature	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	temp	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	4	000	Batteries V0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	V	bat	7.8	7.8	7.8
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	2	000	Humidity	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	%	hum	86	86	86
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	101	000	AC0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	ac0	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	2	000	Luminosity ES	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	lux	lux	304	304	304
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	4	000	Batteries V0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	V	bat	7.8	7.8	7.8
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	1	000	Temperature	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	temp	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	2	000	Humidity	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	%	hum	86	86	86
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	100	000	AC0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	ac0	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	100	000	AC0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	ac0	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	1	000	Temperature	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	temp	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	2	000	Luminosity ES	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	lux	lux	303	303	303
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	1	000	Temperature	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	temp	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	101	000	AC0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	ac0	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	100	000	AC0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	ac0	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	2	000	Humidity	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	%	hum	86	86	86
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	101	000	AC0	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	ac0	18.2	18.2	18.2
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	2	000	Luminosity ES	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	lux	lux	303	303	303
2021-08-07 0:00:27	Drogo Technol...	1	000	Temperature	01240000-0001-11ae-8770-1f565a	°C	temp	18.2	18.2	18.2

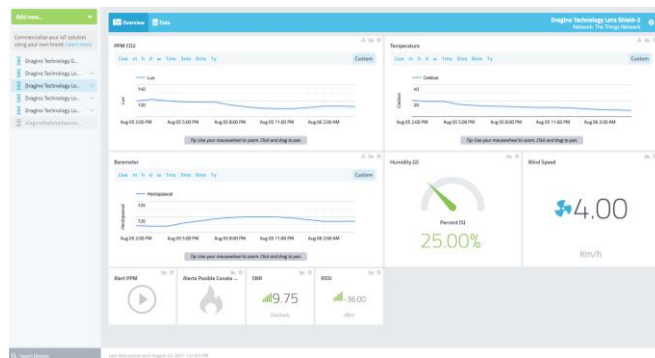
Nota: Los datos recibidos por TTN en forma de log y decodificados del nodo 1

Observamos que los datos presentados no muestran un posible conato de incendio manteniendo rangos normales dependiendo de la hora del día.

Se percibe un pico en la temperatura el segundo día a las 13:00 pm-pasado el mediodía siendo la única variación con respecto al estudio.

Figura 52

Dashboard Nodo 2



Nota: Podemos observar los parámetros del nodo 2 en el dashboard general.

Figura 53

Datos nodo 2

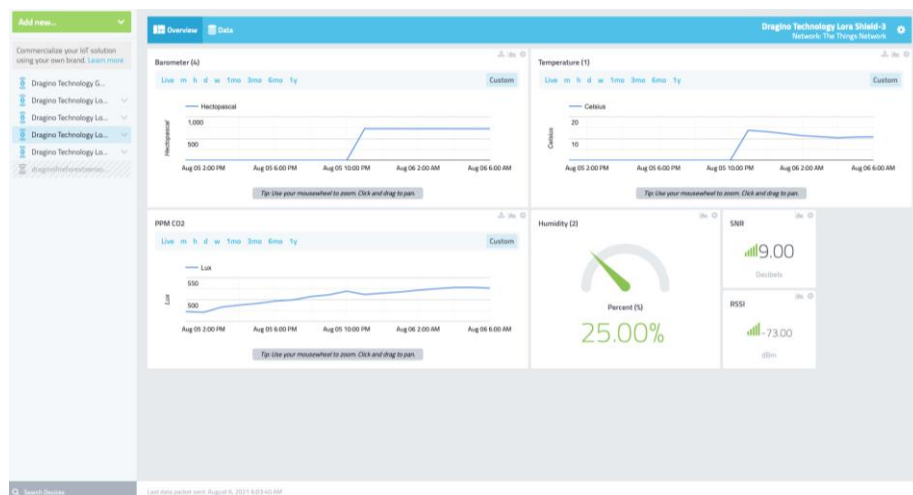
Timestamp	Device Name	Channel	Y	Sensor Name	Y	Sensor ID	Y	Data Type	Y	Unit	Value
2021-08-06 4:53:01	Dragino Technol...	3		PPM CO2		75503ba0-c8ab-11eb-8767-3f168f...		lux		lux	112
2021-08-06 4:53:01	Dragino Technol...	5		Wind Speed		864605d0-885b-11eb-8767-3f168f...		temp		°C	7.5
2021-08-06 4:53:01	Dragino Technol...	2		Humidity (D)		78a60320-c8ab-11eb-8770-1016a6...		rel_humid		%	25
2021-08-06 4:53:01	Dragino Technol...	100		RSSI		7c764d70-c8ab-11eb-8264-5326a4...		dbm		dbm	-51
2021-08-06 4:53:01	Dragino Technol...	1		Temperature		7c38a6df-c8ab-11eb-8883-638683...		temp		°C	7.5
2021-08-06 4:53:01	Dragino Technol...	101		SWR		7d3276a0-c8ab-11eb-8264-5326a4...		swr		db	10.25
2021-08-06 4:53:01	Dragino Technol...	4		Barometer		7c7c7c70-c8ab-11eb-8883-638683...		sp		hpa	718.70001220703
2021-08-06 4:53:08	Dragino Technol...	2		Humidity (D)		78a60320-c8ab-11eb-8770-1016a6...		rel_humid		%	25
2021-08-06 4:53:08	Dragino Technol...	101		SWR		7d3276a0-c8ab-11eb-8264-5326a4...		swr		db	8.75
2021-08-06 4:53:08	Dragino Technol...	3		PPM CO2		75503ba0-c8ab-11eb-8767-3f168f...		lux		lux	112
2021-08-06 4:53:08	Dragino Technol...	1		Temperature		7c38a6df-c8ab-11eb-8883-638683...		temp		°C	7.5
2021-08-06 4:53:08	Dragino Technol...	5		Wind Speed		864605d0-885b-11eb-8767-3f168f...		temp		°C	7.5
2021-08-06 4:53:37	Dragino Technol...	2		Humidity (D)		78a60320-c8ab-11eb-8770-1016a6...		rel_humid		%	25
2021-08-06 4:53:37	Dragino Technol...	1		Temperature		7c38a6df-c8ab-11eb-8883-638683...		temp		°C	7.5
2021-08-06 4:53:37	Dragino Technol...	5		Wind Speed		864605d0-885b-11eb-8767-3f168f...		temp		°C	7.5
2021-08-06 4:53:37	Dragino Technol...	3		PPM CO2		75503ba0-c8ab-11eb-8767-3f168f...		lux		lux	114
2021-08-06 4:53:37	Dragino Technol...	101		SWR		7d3276a0-c8ab-11eb-8264-5326a4...		swr		db	10
2021-08-06 4:53:37	Dragino Technol...	100		RSSI		7c764d70-c8ab-11eb-8264-5326a4...		dbm		dbm	-51
2021-08-06 4:53:37	Dragino Technol...	4		Barometer		7c7c7c70-c8ab-11eb-8883-638683...		sp		hpa	718.70001220703
2021-08-06 4:53:26	Dragino Technol...	5		Wind Speed		864605d0-885b-11eb-8767-3f168f...		temp		°C	7.5
2021-08-06 4:53:26	Dragino Technol...	3		PPM CO2		75503ba0-c8ab-11eb-8767-3f168f...		lux		lux	112
2021-08-06 4:53:26	Dragino Technol...	2		Humidity (D)		78a60320-c8ab-11eb-8770-1016a6...		rel_humid		%	25
2021-08-06 4:53:26	Dragino Technol...	4		Barometer		7c7c7c70-c8ab-11eb-8883-638683...		sp		hpa	718.70000770203
2021-08-06 4:53:26	Dragino Technol...	1		Temperature		7c38a6df-c8ab-11eb-8883-638683...		temp		°C	7.5999999046326
2021-08-06 4:53:26	Dragino Technol...	101		SWR		7d3276a0-c8ab-11eb-8264-5326a4...		swr		db	7.25
2021-08-06 4:53:26	Dragino Technol...	100		RSSI		7c764d70-c8ab-11eb-8264-5326a4...		dbm		dbm	-45
2021-08-06 4:53:13	Dragino Technol...	3		PPM CO2		75503ba0-c8ab-11eb-8767-3f168f...		lux		lux	113

Nota. Los datos recibidos por TTN en forma de log y decodificados del nodo 2.

En este caso se observó de igual manera regularidad en los datos obtenidos con variaciones respecto a la hora del día, obteniendo una semejanza de subida de temperatura el tercer día en el rango de 12:00 pm a 13:30pm

Figura 54

Dashboard Nodo 3



Nota. Podemos observar los parámetros del nodo 3 en el dashboard general.

Figura 55

Datos nodo 3

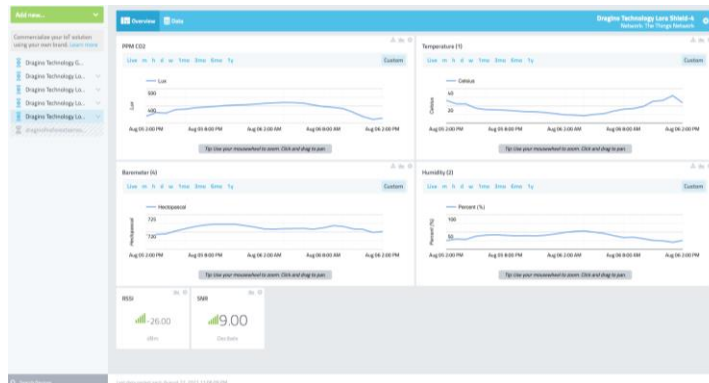
Timestamp	Device Name	Channel	T	Sensor Name	Sensor ID	T	Data Type	Unit	Value
2021-08-06 6:03:40	Dragino Technol...	4		Barometer (6)	7d0505f0-cba8-11eb-883c-4398d...		hpa	hpa	722.5
2021-08-06 6:03:40	Dragino Technol...	1		Temperature (1)	7d0823d5-cba8-11eb-8767-3f1a8f...		temp	c	18.60000038167
2021-08-06 6:03:40	Dragino Technol...	3		PM2.5 (2)	7d044260-cba8-11eb-8779-7d56a...		lum	µg	524
2021-08-06 6:03:40	Dragino Technol...	2		Humidity (2)	7d085430-cba8-11eb-a244-532aa...		rel_hum	%	25
2021-08-06 6:03:40	Dragino Technol...	100		RSSI	7d031350-cba8-11eb-a244-532aa...		rsnr	dbm	-73
2021-08-06 6:03:40	Dragino Technol...	101		SNR	7d078a60-cba8-11eb-8779-7d56a...		snr	db	9
2021-08-06 6:03:26	Dragino Technol...	1		Temperature (1)	7d0823d5-cba8-11eb-8767-3f1a8f...		temp	c	18.60000038167
2021-08-06 6:03:26	Dragino Technol...	100		RSSI	7d031350-cba8-11eb-a244-532aa...		rsnr	dbm	-72
2021-08-06 6:03:26	Dragino Technol...	4		Barometer (6)	7d0505f0-cba8-11eb-883c-4398d...		hpa	hpa	722.5
2021-08-06 6:03:26	Dragino Technol...	3		PM2.5 (2)	7d044260-cba8-11eb-8779-7d56a...		lum	µg	530
2021-08-06 6:03:26	Dragino Technol...	2		Humidity (2)	7d085430-cba8-11eb-a244-532aa...		rel_hum	%	71
2021-08-06 6:03:26	Dragino Technol...	101		SNR	7d078a60-cba8-11eb-8779-7d56a...		snr	db	8.75
2021-08-06 6:03:16	Dragino Technol...	2		Humidity (2)	7d085430-cba8-11eb-a244-532aa...		rel_hum	%	28
2021-08-06 6:03:16	Dragino Technol...	4		Barometer (6)	7d0505f0-cba8-11eb-883c-4398d...		hpa	hpa	722.5
2021-08-06 6:03:16	Dragino Technol...	100		RSSI	7d031350-cba8-11eb-a244-532aa...		rsnr	dbm	-72
2021-08-06 6:03:16	Dragino Technol...	3		PM2.5 (2)	7d044260-cba8-11eb-8779-7d56a...		lum	µg	523
2021-08-06 6:03:16	Dragino Technol...	101		SNR	7d078a60-cba8-11eb-8779-7d56a...		snr	db	8.75
2021-08-06 6:03:16	Dragino Technol...	1		Temperature (1)	7d0823d5-cba8-11eb-8767-3f1a8f...		temp	c	18.60000038167
2021-08-06 6:03:02	Dragino Technol...	4		Barometer (6)	7d0505f0-cba8-11eb-883c-4398d...		hpa	hpa	722.5
2021-08-06 6:03:02	Dragino Technol...	3		PM2.5 (2)	7d044260-cba8-11eb-8779-7d56a...		lum	µg	529
2021-08-06 6:03:02	Dragino Technol...	100		RSSI	7d031350-cba8-11eb-a244-532aa...		rsnr	dbm	-75
2021-08-06 6:03:02	Dragino Technol...	2		Humidity (2)	7d085430-cba8-11eb-a244-532aa...		rel_hum	%	71
2021-08-06 6:03:02	Dragino Technol...	1		Temperature (1)	7d0823d5-cba8-11eb-8767-3f1a8f...		temp	c	18.60000038167
2021-08-06 6:03:02	Dragino Technol...	101		SNR	7d078a60-cba8-11eb-8779-7d56a...		snr	db	5.5
2021-08-06 6:02:50	Dragino Technol...	2		Humidity (2)	7d085430-cba8-11eb-a244-532aa...		rel_hum	%	25
2021-08-06 6:02:50	Dragino Technol...	3		PM2.5 (2)	7d044260-cba8-11eb-8779-7d56a...		lum	µg	533
2021-08-06 6:02:50	Dragino Technol...	1		Temperature (1)	7d0823d5-cba8-11eb-8767-3f1a8f...		temp	c	18.69999969265
2021-08-06 6:02:50	Dragino Technol...	4		Barometer (6)	7d0505f0-cba8-11eb-883c-4398d...		hpa	hpa	722.5
2021-08-06 6:02:50	Dragino Technol...	101		SNR	7d078a60-cba8-11eb-8779-7d56a...		snr	db	9.75

Nota Los datos recibidos por TTN en forma de log y decodificados del nodo 3.

Para el nodo 3 de igual manera se observó la semejanza con los demás nodos en presencia de una mayor temperatura el segundo día de 12:00pm a 13:00pm además de una alta presencia de CO2 el tercer día a las 06:00 am pero sin sobrepasar la alerta.

Figura 56

Dashboard Nodo 4



Nota Podemos observar los parámetros del nodo 4 en el dashboard general

Figura

Datos nodo 4

Timestamp	Device Name#	Channel	Sensor Name	Sensor Value	Data Type	Unit	Values
2021-08-06 2:13:40	Dragino Technol...	4	Barometer (A)	7735380-cbc1-11eb-b767-3f1a8f...	bp	hpa	720.09997589594
2021-08-06 2:13:40	Dragino Technol...	3	PPM CO2	800b2af0-cba5-11eb-b779-7d56e...	lum	lux	328
2021-08-06 2:13:40	Dragino Technol...	101	SNR	7f5c310-cba5-11eb-b2e4-832eaf...	svr	db	10.5
2021-08-06 2:13:40	Dragino Technol...	1	Temperature (1)	7f5c310-cba5-11eb-b2e4-832eaf...	temp	c	22.89999961853
2021-08-06 2:13:40	Dragino Technol...	2	Humidity (2)	7f29960-cba5-11eb-b779-7d56e...	rel_hum	p	25
2021-08-06 2:13:40	Dragino Technol...	100	RSSI	7f93890-cba5-11eb-b779-7d56e...	rssi	dbm	-49
2021-08-06 2:13:28	Dragino Technol...	4	Barometer (A)	7735380-cbc1-11eb-b767-3f1a8f...	bp	hpa	720.20001220703
2021-08-06 2:13:28	Dragino Technol...	2	Humidity (2)	7f29960-cba5-11eb-b779-7d56e...	rel_hum	p	27
2021-08-06 2:13:28	Dragino Technol...	1	Temperature (1)	7f5c310-cba5-11eb-b2e4-832eaf...	temp	c	23
2021-08-06 2:13:28	Dragino Technol...	3	PPM CO2	800b2af0-cba5-11eb-b779-7d56e...	lum	lux	335
2021-08-06 2:13:28	Dragino Technol...	101	SNR	7f5c310-cba5-11eb-b779-7d56e...	svr	db	9
2021-08-06 2:13:28	Dragino Technol...	100	RSSI	7f93890-cba5-11eb-b779-7d56e...	rssi	dbm	-47
2021-08-06 2:13:16	Dragino Technol...	1	Temperature (1)	7f5c310-cba5-11eb-b2e4-832eaf...	temp	c	23
2021-08-06 2:13:16	Dragino Technol...	101	SNR	7f5c310-cba5-11eb-b779-7d56e...	svr	db	10
2021-08-06 2:13:16	Dragino Technol...	100	RSSI	7f93890-cba5-11eb-b779-7d56e...	rssi	dbm	-48
2021-08-06 2:13:16	Dragino Technol...	4	Barometer (A)	7735380-cbc1-11eb-b767-3f1a8f...	bp	hpa	720.09997589594
2021-08-06 2:13:16	Dragino Technol...	3	PPM CO2	800b2af0-cba5-11eb-b779-7d56e...	lum	lux	328
2021-08-06 2:13:16	Dragino Technol...	2	Humidity (2)	7f29960-cba5-11eb-b779-7d56e...	rel_hum	p	25
2021-08-06 2:13:04	Dragino Technol...	4	Barometer (A)	7735380-cbc1-11eb-b767-3f1a8f...	bp	hpa	720.09997589594
2021-08-06 2:13:04	Dragino Technol...	3	PPM CO2	800b2af0-cba5-11eb-b779-7d56e...	lum	lux	335
2021-08-06 2:13:04	Dragino Technol...	2	Humidity (2)	7f29960-cba5-11eb-b779-7d56e...	rel_hum	p	26
2021-08-06 2:13:04	Dragino Technol...	100	RSSI	7f93890-cba5-11eb-b779-7d56e...	rssi	dbm	-47
2021-08-06 2:13:04	Dragino Technol...	1	Temperature (1)	7f5c310-cba5-11eb-b2e4-832eaf...	temp	c	23
2021-08-06 2:13:04	Dragino Technol...	101	SNR	7f5c310-cba5-11eb-b779-7d56e...	svr	db	9.5
2021-08-06 2:12:51	Dragino Technol...	1	Temperature (1)	7f5c310-cba5-11eb-b2e4-832eaf...	temp	c	23.1000038147
2021-08-06 2:12:51	Dragino Technol...	100	RSSI	7f93890-cba5-11eb-b779-7d56e...	rssi	dbm	-48
2021-08-06 2:12:51	Dragino Technol...	4	Barometer (A)	7735380-cbc1-11eb-b767-3f1a8f...	bp	hpa	720.20001220703
2021-08-06 2:12:51	Dragino Technol...	3	PPM CO2	800b2af0-cba5-11eb-b779-7d56e...	lum	lux	328
2021-08-06 2:12:51	Dragino Technol...	2	Humidity (2)	7f29960-cba5-11eb-b779-7d56e...	rel_hum	p	25

Nota Los datos recibidos por TTN en forma de log y decodificados del nodo 4

En este caso nos encontramos con el pico más alto de CO2 siendo el 6 de agosto a las 16:00 pm de igual manera sin sobrepasar la alerta y a su vez se presenta semejanza con los demás nodos del segundo día al tener un pico de temperatura de 12:30pm a 14:00pm. El experimento 3 no obtuvo datos válidos para poder emitir la alerta de conato de incendio.

Prueba 4

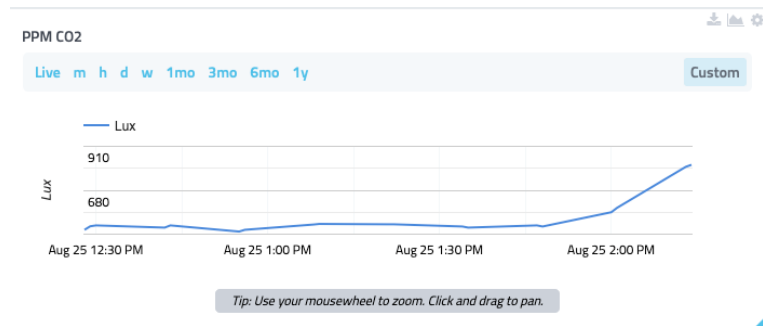
Esta prueba se lo realiza para la verificación de la emisión de la alerta de conato de incendio simulando condiciones para el incendio, dentro de un ambiente controlado.

Prueba de alerta Sensor de CO₂.

El sensor MQ135 se somete a prueba de estrés con el uso del humo del tabaco para prender la primera alerta de detección de humo y cambio de PPM en el CO₂.

Figura 58

PPM de CO₂ superan 700



Nota: Se muestra la gráfica de los datos recolectados por el sensor de gas de CO₂

Prueba de alerta regla de 30 30 30

Se puso a prueba los sensores de humedad temperatura y velocidad del viento llevándolos a obtener los siguientes datos. Dht11: Humedad relativa menor al 30%
Temperatura mayor a 30 °C

Figura 59

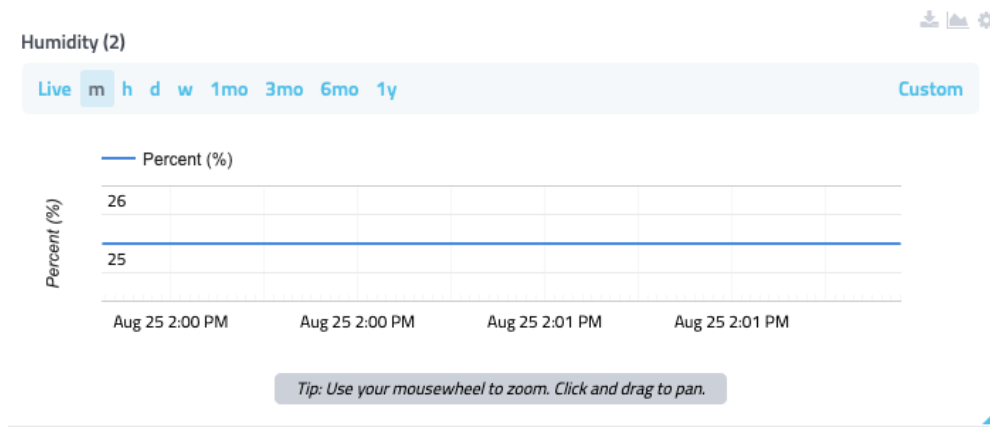
Temperatura mayor a 30° C



Nota podemos apreciar el pico de subida por el acercamiento de calor hacia el sensor subiendo hasta más de 30°.

Figura 60

Humedad relativa menor a 30%



Nota al utilizar tierra seca cerca del sensor mantuvo una constante de entre 25 y 26% de humedad relativa

Anemómetro: Velocidad del viento mayor a 30 km/h utilizando una secadora para simular el viento

Figura 61

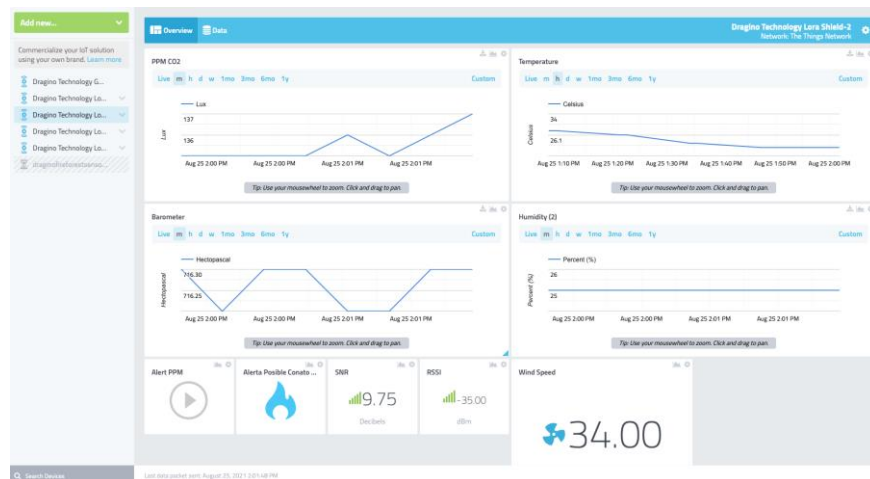
Velocidad del viento mayor a 30 km/h



Nota Se observa que después del uso de la secadora llegamos a una velocidad de 34km/h.

Figura 62

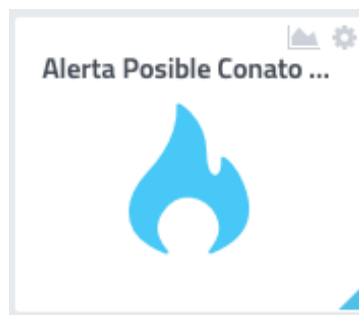
Datos validación de alerta mediante ambiente controlado



Nota: Podemos observar los grandes cambios con respecto a cada prueba realizada al sensor por eso los picos de datos en cada diagrama, siendo levantada la alerta de posible conato de incendio.

Figura 63

Alerta de Posible Conato de Incendio

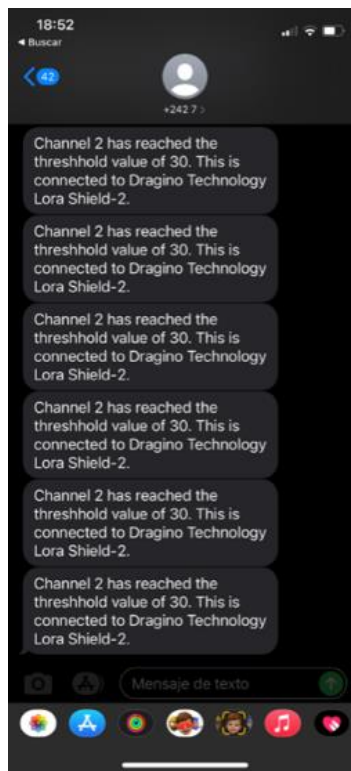


Nota: Se genera la alerta de un posible conato de incendio en el dashboard.

La alerta despliega un correo y un mensaje de texto que se sobrepasado los parámetros de humedad temperatura y velocidad del viento levantando la alerta de conato de incendio

Figura 64

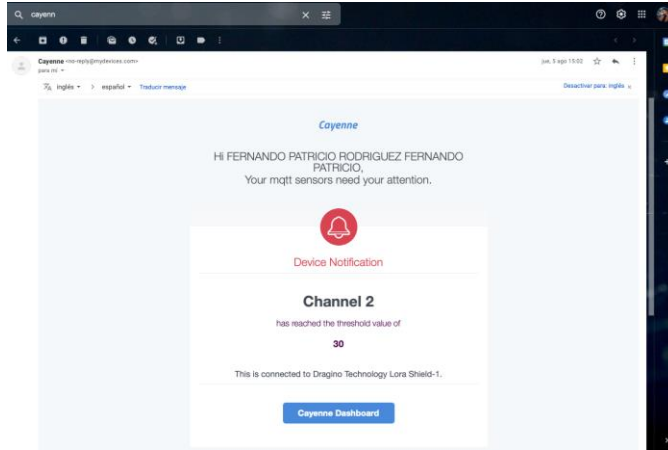
Mensaje de alerta SMS



Nota: Se muestra un SMS de alerta temprana de un posible conato de incendio forestal cuando la regla del 30-30-30 se cumple.

Figura 65

Correo Electrónico alerta



Nota: Se muestra un correo electrónico de alerta temprana de un posible conato de incendio forestal cuando la regla del 30-30-30 se cumple.

Finalmente, tras el desarrollo y la evaluación de cada experimento acorde a las condiciones establecidas, con los parámetros de configuración expuestos al principio del capítulo, el prototipo de sistema de información descrito anteriormente se concluye de manera exitosa cada prueba de campo, por lo que se determinó que el alcance y estabilidad de la señal es buena, cada nodo sensor envió de manera eficiente los datos, TTN no tuvo pérdida de los mismos con los cuales se pudo alimentar el dashboard con el alcance de determinar datos con el rango de cada minuto del día, la alerta funcionó de manera correcta enviando notificaciones al usuario final.

Capítulo V

Conclusiones

Como resultado de la literatura se evaluó diferentes tecnologías de la comunidad científica aplicadas a nivel mundial (imágenes de satélite, drones, helicópteros entre otros) para determinar un posible conato de un incendio forestal, cabe resaltar que muchas de estas soluciones no han sido probadas en Latinoamérica y tienen un alto valor monetario, nuestro propósito es el minimizar costos y generar un prototipo que utilice componentes de bajo costo que permitan monitorear las condiciones medio ambientales que generan un posible conato de incendio forestal.

Para el desarrollo del prototipo funcional se implementó las herramientas hardware (Módulo de recolección de información conformado por los sensores: sensor de gases (MQ135), sensor de presión barométrica (BMP180), sensor de temperatura y humedad relativa (DHT11), anemómetro, módulo de conexión, sistema empotrado y módulo LoRa) y software (servidor TTN y Cayenne) determinados en el documento. Se instrumentaron los factores que inciden en un posible conato de incendio mediante los sensores establecidos que envían mediante tecnología LoRa los datos a nuestro Gateway y por medio de WiFi son enviados al servidor TTN para ser presentador en un dashboard web. Este prototipo pudo abarcar una gran cobertura con instrumentos de bajo costo y consumo de energía, lo que permite una autonomía de energética de 72 horas continuas.

La validación y experimentación del prototipo se lo realizó en 3 distintas ubicaciones: la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (campus sede matriz), en el

Sector de Ponciano y el Pinar Alto, siendo así un éxito utilizando los 4 nodos sensores y el Gateway TTN obteniendo una conexión estable a lo largo de hasta 2 días consecutivos con un ritmo de transmisión de datos de 5 minutos y un alcance de alrededor de 250 metros para la transmisión del mensaje de alerta, siendo así efectivo el uso del mismo para la alerta temprana de un posible conato de incendio forestal. Se debe tomar en cuenta que es un prototipo, pero con dispositivos más sofisticados y de mejor alcance se puede llegar hasta distancias superiores a 1 kilómetro.

Recomendaciones

En lo que respecta al Estado del Arte, para la obtención de artículos científicos actuales y de interés, es necesario aplicar la cadena de búsqueda en más de un motor de indexación de artículos científicos, lo que permitirá tener una mayor variedad de estudios.

Para poder tener un mayor control de toda la arquitectura se recomienda utilizar TTN Server dentro un servidor local y tener una red privada.

Para extender la vida útil de las baterías se recomienda realizar la recolección de los datos medio ambientales cada 5 minutos dependiendo la zona, con esta medida se ahorra el consumo de energía y se evita el almacenamiento de datos duplicados.

Si los sensores van a estar cubiertos, evitar que los materiales que los cubren sean densos porque esto genera calor y humedad y conlleva a la obtención de falsos positivos como en la prueba 2 donde el sensor DHT11 llegó a medir una temperatura de 40°C, esto se debe a que el material que recubría al sensor era plástico y no tenía suficiente ventilación, por lo que se debió realizar agujeros y así evitar la acumulación de calor y permitió la obtención de datos reales.

Trabajos futuros

Implementar en los nodos sensores dispositivos GPS o instrumentar ubicación GPS mediante triangulación para recolectar y exportar esta información hacia el servidor ubicado en la nube y determinar su posición geográfica.

En lo que respecta a la comunicación se debe utilizar un Gateway para exteriores que abarque una mayor zona de cobertura (decenas de kilómetros) la cual permitirá recolectar información de nodos sensores en zonas geográficas más extensas.

Implementar nuevas pruebas con distintos materiales para los contenedores de los nodos sensores ya que el uso de cualquier material puede afectar el desenvolvimiento de los sensores generando falsas alarmas.

A la solución planteada se puede agregar varias características de mejora como el uso de Big Data y aprendizaje automático, con la recolección de datos establecer patrones y generar una predicción de un posible conato de incendio forestal.

Referencias

2018 World Disasters Report: Leaving No One Behind - World. (2018). ReliefWeb.
<https://reliefweb.int/report/world/2018-world-disasters-report-leaving-no-one-behind>

Adnan, Salam, A. E. U., Arifin, A., & Rizal, M. (2018). *Forest Fire Detection using LoRa Wireless Mesh Topology. 2018 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIconCIT), 184-187.*
<https://doi.org/10.1109/EIconCIT.2018.8878488>

Arduino Shield featuring LoRa® technology. (s. f.). 15 de agosto de 2021, de
<https://www.dragino.com/products/lora/item/102-lora-shield.html>

Arduino Uno Rev3 | Arduino Official Store. (s. f.). 15 de agosto de 2021, de
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

ARDUINO UNO REV3 Original. (s. f.). Tostatronic. 15 de agosto de 2021, de
<https://tostatronic.com/store/placas/1924-arduino-uno-rev3-original-7630049200050.html>

Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2015). Long-Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios. *IEEE Wireless Communications, 23.*
<https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7721743>

Comisión Nacional Forestal. (s. f.). *Incendios forestales Guía práctica para comunicadores.* 27 de enero de 2021, de
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

¿Cómo Funciona la Presión Barométrica? (2021, junio 7). *Agencia Universitaria DQ.* <https://agenciauniversitariadq.online/como-funciona-la-presion-barometrica/>

Como funciona la red LPWAN Sigfox. (s. f.). *Como funciona la red LPWAN Sigfox*. 16 de agosto de 2021, de <https://blockchainadministration.blogspot.com/2018/12/como-funciona-la-red-lpwan-sigfox.html>

Disaster. (s. f.). 24 de enero de 2021, de <https://www.undrr.org/terminology/disaster>

Elementos del fuego | El oso Smokey. (s. f.). 27 de febrero de 2021, de <https://smokeybear.com/es/about-wildland-fire/fire-science/elements-of-fire>

Fires, forests and the future: A crisis raging out of control? | WWF. (2020). https://wwf.panda.org/discover/our_focus/forests_practice/forest_publications_news_and_reports/fires_forests/

Földi, L., & Kuti, R. (2016). *Characteristics of Forest Fires and their Impact on the Environment*. 15, 5-17.

Hernández, S., Vicario, J., & Vilajosana, X. (s. f.). *Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico*. 7 de abril de 2021, de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memoria.pdf>

Humedad relativa: Qué es y por qué es importante controlarla | Secoin. (s. f.). 14 de agosto de 2021, de <https://www.secoin.com.uy/blog/humedad-relativa-qu%C3%A9-es-y-por-qu%C3%A9-es-importante-controlarla>

Humidity Sensors. (s. f.). 14 de agosto de 2021, de <https://www.tech-faq.com/humidity-sensors.html>

Khan, A., Gupta, S., & Gupta, S. K. (2020). Multi-hazard disaster studies: Monitoring, detection, recovery, and management, based on emerging technologies and optimal techniques. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 101642. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101642>

Li, Y., Wang, Z., & Song, Y. (2006). *Wireless Sensor Network Design For Wildfire Monitoring*. 1, 109-113. <https://doi.org/10.1109/WCICA.2006.1712372>

Linares, I. M. (s. f.). *Los incendios forestales en Ecuador*. Osbodigital. Todo sobre gestión forestal. 24 de enero de 2021, de <https://osbodigital.es/2019/03/25/los-incendios-forestales-en-ecuador/>

Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>

Mora, J. (s. f.). *MANEJO DE QUEMAS AGROPECUARIAS Y CONTROL DE INCENDIOS EN VERTEDEROS DE REDIDUOS SÓLIDOS*". 22 de agosto de 2021, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/628484/Tema_1_MANEJO_DE_QUEMA_S.pdf

mundocompresor.com. (s. f.). *Qué es la Presión barométrica—Definición mundocompresor.com*. mundocompresor.com. 17 de agosto de 2021, de <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/presion-barometrica>

Narrow Band LTE- NB-IoT - Techplayon. (s. f.). 16 de agosto de 2021, de <https://www.techplayon.com/narrow-band-lte-narrow-band-iot-nb-iot/>

Nashiruddin, M. I., & Yusri, A. (2020). SigFox Network Planning for Smart Metering Based on Internet of Things for Dense Urban Scenario. *2020 8th International Conference*

on *Information and Communication Technology (ICoICT)*, 1-6.

<https://doi.org/10.1109/ICoICT49345.2020.9166398>

Network, T. T. (s. f.). *The Things Network*. The Things Network. 24 de agosto de 2021, de <https://www.thethingsnetwork.org/>

OMS | *INCENDIOS FORESTALES*. (s. f.). WHO; World Health Organization. 27 de enero de 2021, de https://www.who.int/hac/techguidance/ems/vegetation_fires/es/

Oracle. (s. f.). *¿Qué es Internet of Things (IoT)?* 6 de abril de 2021, de <https://www.oracle.com/ar/internet-of-things/what-is-iot/>

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>

Pérez, D. (s. f.). *Sistemas Embebidos y Sistemas Operativos Embebidos*. 14 de agosto de 2021, de

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39032903/Info_Sistemas_Embebidos-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1628997881&Signature=AiiyNjYiKjmdZLvIjMEa--

QL3abitHsXpsB5THKnMXUOP9uoMnt8K~zJAs7g1f7pz~BT4AaT5RuKcOMmORZIXXzi7xAAv0gNDLHTpZNhVtfzdpMcvRMP3PVEzYLj294jrb26laiiHvRUjAiGJ7EQgCrdx5yaVhibqMhQal~qe-

zBhLwDSQ7w8ePH6AIIYhqjesXqcOdKs9l5VEcAiDJmxpafbD9NiSzzbMCM9H0a3TkPGo x96cbF7dMg-VcPHwFuLU5nyl5MT2Ssmc0ppLo52UfoQQTi-

T0olu1HOdKZmzbn~CjZZG6KO10JmLGZ7ADhhfjn9pPk63llh3QSkbS8g__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Pitu, F., & Gaitan, N. C. (2020). Surveillance of SigFox technology integrated with environmental monitoring. *2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, 69-72. <https://doi.org/10.1109/DAS49615.2020.9108957>

Ploeg, R. van der. (s. f.). *Great IoT opportunities with SAP and LoRa—Acorel*. <https://www.acorel.nl/>. 16 de agosto de 2021, de <https://www.acorel.nl/2016/11/great-iot-opportunities-with-sap-and-lora/>

Poongodi, T., Lucia Agnesbeena, T., Janarthanan, S., & Balusamy, B. (2020). Chapter 5—Accelerating data acquisition process in the pharmaceutical industry using Internet of Things. En V. E. Balas, V. K. Solanki, & R. Kumar (Eds.), *An Industrial IoT Approach for Pharmaceutical Industry Growth* (pp. 117-152). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821326-1.00005-X>

¿Que es un Shield? | *Arduino.cl*. (s. f.). 19 de agosto de 2021, de <https://arduino.cl/que-es-un-shield/>

RAE, & RAE. (s. f.). *Anemómetro | Diccionario histórico de la lengua española*. «Diccionario histórico de la lengua española». 19 de agosto de 2021, de <https://www.rae.es/dhle/anemómetro>

Sasmita, E. S., Rosmiati, M., & Rizal, M. F. (2018a). Integrating Forest Fire Detection with Wireless Sensor Network Based on Long Range Radio. *2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, 222-225. <https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2018.8711991>

Sasmita, E. S., Rosmiati, M., & Rizal, M. F. (2018b). Integrating Forest Fire Detection with Wireless Sensor Network Based on Long Range Radio. *2018 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, 222-225. <https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2018.8711991>

Smith, A., Jones, & Abatzoglou, J. (s. f.). *Climate Change Increases the Risk of Wildfires*. 18 de agosto de 2021, de https://sciencebrief.org/uploads/reviews/ScienceBrief_Review_WILDFIRES_Sep2020.pdf

SNGR. (2019, septiembre 24). *Informe de Situación—Incendios Forestales a nivel nacional 2019*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2019/09/Informe-de-Situaci%C3%B3n-No-32-Incendios-Forestales-24092019.pdf>

Song, Y., Lin, J., Tang, M., & Dong, S. (2017). An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN. *Engineering*, 3(4), 460-466. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.011>

Stojanovska, E., Calisir, M. D., Ozturk, N. D., & Kilic, A. (2019). 3 - Carbon-based foams: Preparation and applications. En A. Khan, M. Jawaid, Inamuddin, & A. M. Asiri (Eds.), *Nanocarbon and its Composites* (pp. 43-90). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102509-3.00003-1>

Temperature Sensor Types for Temperature Measurement. (2013, agosto 15). *Basic Electronics Tutorials*. https://www.electronics-tutorials.ws/io/io_3.html

The Things Indoor Gateway. (s. f.). The Things Network. 15 de agosto de 2021, de <https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/thethingsindoor/>

Toro Bernal, H. (2020). *ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS PARA DETERMINAR LA MEJOR OPCIÓN A IMPLEMENTAR PARA LOS SERVICIOS QUE PRESTA LA DITG-EAAB*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/20741/2020hectortoro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

US Department. (s. f.). *AGRICULTURE HANDBOOK 360*. 18 de agosto de 2021, de https://training.nwccg.gov/pre-courses/s290/Fire_Weather_Handbook_pms_425.pdf

Vega-Rodríguez, R., Sendra, S., Lloret, J., Romero-Díaz, P., & Garcia-Navas, J. L. (2019). Low Cost LoRa based Network for Forest Fire Detection. *2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)*, 177-184. <https://doi.org/10.1109/IOTSMS48152.2019.8939193>

Verma, N., & Singh, D. (2020). Analysis of cost-effective sensors: Data Fusion approach used for Forest Fire Application. *Materials Today: Proceedings*, 24, 2283-2289. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.756>

What is a Raspberry Pi? (s. f.). *Raspberry Pi*. 14 de agosto de 2021, de <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>

What is a Temperature Sensor? (s. f.). 14 de agosto de 2021, de <https://www.variohm.com/news-media/technical-blog-archive/what-is-a-temperature-sensor->

What is an Arduino? - Learn.sparkfun.com. (s. f.). 14 de agosto de 2021, de <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>

What is an Embedded System? Definition and FAQs | OmniSci. (s. f.). 14 de agosto de 2021, de <https://www.omnisci.com/technical-glossary/embedded-systems>

What is IoT? (s. f.). Aeris | India. 24 de agosto de 2021, de <https://www.aeris.com/in/what-is-iot/>