UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS PARA INSTITUCIONES EDUCATIVAS BASADO EN REDES LPWAN

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

Mario Gabriel Cruz Palacios

TUTOR:

Ing. Erick Abraham Lamilla Rubio, PhD

GUAYAQUIL – ECUADOR

2022

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS			
TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS PARA INSTITUCIONES EDUCATIVAS BASADO EN REDES LPWAN			
AUTOR(ES): MARIO GABRIEL CRUZ PALACIOS	**REVISOR(ES):** LIC. DIAZ VERA JANETH PILAR, M.Sc		
INSTITUCIÓN: Universidad de Guayaquil	**FACULTAD:** Ciencias Matemáticas y Físicas		
CARRERA: Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones			
FECHA DE PUBLICACIÓN:	**No. DE PÁGINAS:** 144		
ÁREAS TEMÁTICAS: Internet de las cosas, Telecomunicaciones, Educación, sistemas de detección de incendios.			
PALABRAS CLAVES: Redes, Sensores, LPWAN, LoRa			
RESUMEN: Considerando la importancia de precautelar la seguridad de la comunidad educativa dentro de los planteles, el presente trabajo de titulación propone diseñar un sistema para la detección de incendios con equipos de tecnología LoRa, elaborando un prototipo y planteando el uso de las plataformas TTN y Ubidots para el monitoreo de los datos emitidos por los sensores y posible recepción de alarmas. Con esta propuesta de cambio en la tecnología de los sistemas contra incendios que son usados en las instituciones educativas se busca reducir el alto costo que representan las instalaciones de estos, motivo por el cual, en muchos casos, no son consideradas algunas áreas de vital importancia para este tipo de instalaciones. La tecnología LoRaWAN evita el uso extenso de cableado, tubería y canaletas; además de permitir la recepción de alarmas vía correo electrónico o mensajes de texto en caso de fallos en los equipos o previo al inicio de un siniestro. Este proyecto de titulación es realizado basándose en la metodología PMI, cuya estructura dividida en cuatro fases permite analizar los requerimientos, desarrollar el diseño, implementar el prototipo propuesto, y demostrar los resultados mediante pruebas. Al mismo tiempo, se llevó a cabo una encuesta a estudiantes, docentes y autoridades educativas, relacionados directamente con la problemática expuesta, con la que se pudo medir la importancia y factibilidad de la propuesta establecida. Al llevar a cabo las pruebas necesarias con respecto al aumento de temperatura y contaminación del aire, midiendo niveles de CO2 y VOC. Asimismo, se pudo comprobar el sistema de alerta mediante correo electrónico y mensajes de texto, lo que permitió constatar que el prototipo posee una excelente funcionabilidad como para ser implementada a mayor escala en planteles educativos, lo cual representaría un cambio tecnológico en un sistema que se ha mantenido activo bajo el mismo formato alrededor de dos décadas.			
No. DE REGISTRO (en base a datos):	**No DE CLASIFICACIÓN:**		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web): repositorio.cisc.ug.edu.ec			
ADJUNTO PDF:	X	**SI**	**NO**
CONTACTO CON AUTOR: MARIO GABRIEL CRUZ PALACIOS	**Teléfono:** 0997503386	**E-mail:** mario.cruzp@ug.edu.ec	
CONTACTO DE LA INSTITUCIÓN:	**Nombre:** Universidad de Guayaquil Carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones		
	Teléfono: 042-565297		

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS PARA INSTITUCIONES EDUCATIVAS BASADO EN REDES LPWAN. E**laborado por el Sr. Mario Gabriel Cruz Palacios, **Alumno no titulado** de la Carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Networking y Telecomunicaciones, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la Apruebo en todas sus partes.

Atentamente

ING. ERICK ABRAHAM LAMILLA RUBIO, Ph. D

TUTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mi abuela, Mercedes Chica quien sigue siendo un pilar fundamental en mi vida. Además, este logro no podría haber ocurrido sin el apoyo de personas importantes en mi vida como mis padres Guisela Palacios y Mario Cruz, mis hermanos Silvia y Diego Cruz y mi novia María Laura Morcillo quienes me apoyaron durante todo proceso de mi carrera y mi trabajo de titulación.

Mario Gabriel Cruz Palacios

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de realizarme profesionalmente. Así también me siento agradecido con mi madre Guisela Palacios quien ha sido fuente de inspiración y apoyo para continuar a lo largo de mi vida, mi padre Mario Cruz Chica, mis hermanos, mis tías y especialmente a mis tías Gemma y Mónica por haber confiado en mi incondicionalmente durante este proceso.

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor Ing. Erick Lamilla Rubio, por haber sido mi guía durante este proceso y haber contribuido a la realización de este proyecto de titulación.

Mario Gabriel Cruz Palacios

TRIBUNAL PROYECTO DE TITULACIÓN

Ing. Daniel Douglas Iturburu Salvador, M.Sc
DECANO DE LA FACULTAD CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

Ing. Francisco Palacios Ortiz, M.Sc
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES

Lcda. Janeth Pilar Díaz Vera, M.Sc
PROFESOR REVISOR TRIBUNAL

Ing. Oswaldo Vanegas Guillen, M.Sc
PROFESOR DEL ÁREA TRIBUNAL

Ing. Erick Abraham Lamilla Rubio, PhD
PROFESOR TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Ab. Juan Chávez Atocha, Esp.
SECRETARIO (E) FACULTAD

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL"

MARIO GABRIEL CRUZ PALACIOS

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS PARA INSTITUCIONES EDUCATIVAS BASADO EN REDES LPWAN

Proyecto de Titulación que se presenta como requisito para optar por el título de:

INGENIERO EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES

Autor: MARIO GABRIEL CRUZ PALACIOS

C.I. 0912319290

Tutor: ING. ERICK ABRAHAM LAMILLA RUBIO, PhD

Guayaquil, marzo de 2022

CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del proyecto de titulación, nombrado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.

CERTIFICO:

Que he analizado el Proyecto de Titulación presentado por el/la estudiante MARIO GABRIEL CRUZ PALACIOS, como requisito previo para optar por el título de Ingeniero en Networking y Telecomunicaciones cuyo problema es:

Diseño e implementación de un sistema de detección de incendios para instituciones educativas basado en redes LPWAN.

Considero aprobado el trabajo en su totalidad.

Presentado Por:

Tutor: Ing. Erick Abraham Lamilla Rubio, PhD

Guayaquil, marzo del 2022

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES

Autorización para Publicación de Proyecto de Titulación en Formato Digital

1. Identificación del Proyecto de Titulación

Nombre del Alumno: Mario Gabriel Cruz Palacios	
Dirección: Guayacanes Mz. 31 villa 6	
Teléfono: 0997503386	**E-mail:** mario.cruzp@ug.edu.ec

Facultad: Ciencias Matemáticas y Físicas
Carrera: Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones
Proyecto de titulación al que opta: Ingeniero en Networking y Telecomunicaciones
Profesor guía: Ing. Erick Abraham Lamilla Rubio, PhD

Título del Proyecto de titulación: Diseño e implementación de un sistema de detección de incendios para instituciones educativas basado en redes LPWAN.

Tema del Proyecto de Titulación: Diseño, sistema, detección de incendios, lpwan, LoRa.

2. Autorización de Publicación de Versión Electrónica del Proyecto de Titulación

A través de este medio autorizo a la Biblioteca de la Universidad de Guayaquil y a la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas a publicar la versión electrónica de este Proyecto de titulación.

Publicación electrónica:

Inmediata	X		Después de 1 año	

Firma Alumno:

Mario Gabriel Cruz Palacios

3. Forma de envío:

El texto del proyecto de titulación debe ser enviado en formato Word, como archivo .Doc. O .RTF y Puf para PC. Las imágenes que la acompañen pueden ser: .gif, .jpg o .TIFF.

DVDROM			CDROM	

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR III
DEDICATORIA IV
AGRADECIMIENTO V
TRIBUNAL PROYECTO DE TITULACIÓN VI
DECLARACIÓN EXPRESA VII
ABREVIATURAS XV
Resumen XX
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I 3
El problema 3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
Ubicación del Problema en un contexto 3
Situación Conflicto Nudos Críticos 5
Causas y Consecuencias del Problema 6
Delimitación del Problema 7
Formulación del Problema 7
Evaluación del Problema 8
Objetivos 10
Alcances del Problema 10
Justificación e Importancia 11
Metodología del Proyecto 13
CAPÍTULO II 15
MARCO TEÓRICO 15
Antecedentes del Estudio 15
Fundamentación Teórica 17
IoT 18
M2M 20
WSN 20
SENSORES 21

GATEWAY 24
ESTACIÓN BASE 25
TOPOLOGÍA DE LAS REDES WSN 25
TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN EN REDES WSN.....27
LPWAN 28
CARACTERÍSTICAS DE LPWAN 30
ISM 30
NB-IoT.....32
eMTC.....33
SigFox.....33
LORA.....36
VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA LORA.....37
LORA ALLIANCE.....38
LoRaWAN.....39
ARQUITECTURA DE LA RED LORAWAN 40
THE THINGS NETWORK (TTN).....41
UBIDOTS 41
Fundamentación Legal 44
Pregunta científica a contestarse 53
Definiciones Conceptuales 53
CAPITULO III 55
PROPUESTA TECNOLÓGICA 55
Análisis de factibilidad..... 55
Factibilidad operacional 55
Factibilidad técnica..... 56
Factibilidad legal 57
Factibilidad económica..... 57
Etapas de la Metodología del Proyecto 58
Fase I: Requerimiento.....58
Fase II: Diseño.....59
Fase III: Implementación.....61
Encendido del gateway y conexión a la red mediante ethernet 61

Configuración del Gateway en la plataforma TTN 67
Creación de Aplicaciones que son los contenedores de los datos transmitidos por los sensores.....71
Configuración del sensor LTC2 en la plataforma TTN.....73
Integración de la plataforma TTN con la plataforma Ubidots.....79
Fase IV: Pruebas 88
Instalaciones de los dispositivos LTC2 y LAQ4. 88
Pruebas de funcionamiento de sensores.....88
Creación de alarmas en Ubidots 90
Prueba de fallo en el equipo.....96
Criterios de Validación de la Propuesta 98
Población y Muestra..... 98
Instrumentos para la recolección de datos..... 98
Procesamiento y Análisis 99
Pregunta N°1:.....99
Pregunta N°2:.....101
Pregunta N°3:.....102
Pregunta N°4:.....103
Pregunta N°5:.....104
CAPÍTULO IV..... 106
CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE DISPOSITIVO 106
Conclusiones..... 107
Recomendaciones..... 108
BIBLIOGRAFÍA..... 110
ANEXOS..... 113
Anexo 1: Cronograma de trabajo del proyecto de tesis 114
Anexo 2: Formato de encuesta..... 115
Anexo 3: Esquema del prototipo del sistema de detección basado en redes LPWAN..... 116
Anexo 4: Configuración sensor LAQ4 117
Anexo 5: Evidencia de instalación de dispositivos para pruebas..... 121
Anexo 6: Comparativa de costos..... 123

ABREVIATURAS

IoT	Internet of Things (Internet de las Cosas)
LPWAN	Low Power Wide Area Network (Red de Área de Baja Potencia)
ARPA	Advanced Research Project Agency
LoRa	Long Range (Largo Alcance)
BW	Band Width (Ancho de Banda)
M2M	Machine to Machine (Máquina a Máquina)
WSN	Wireless Sensor Network (Red de sensores inalámbricos)
ADC	Analog Digital Converter (Conversor Análogo a Digital)
LAN	Local Area Network (Red de Área Local)
ISM	Industrial, Scientific, Medical frecuency band (Banda de frecuencia Para áreas industriales, científicas y médicas)
TTN	The Things Network (Red de las Cosas)
GSM	Global System for Mobile communication (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)
CO2	Dióxido de carbono
VOC	Volatile Organic Compound (Compuestos volátiles orgánicos)
OTAA	Over The Air Activation (Activación en el aire)
NFPA	National Fire Protection Association (Asociación Nacional de protección contra Incendios)
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Causas y Consecuencias 6
Tabla 2: Delimitación del Problema 7
Tabla 3: Regulaciones mundiales de las bandas ISM 31
Tabla 4: Comparación entre diferentes tecnologías LPWAN 32
Tabla 5: Límites generales para cualquier trasmisor intencional 48
Tabla 6: Límites específicos para transmisores intencionales 49
Tabla 7: Límites a las transmisiones de espectro ensanchado 50
Tabla 8: Dispositivos requeridos para el proyecto 56
Tabla 9: Servidores a utilizar 57
Tabla 10: Presupuesto del prototipo 58
Tabla 11: Características de dispositivos a usar 60
Tabla 12: Tabla de población 98
Tabla 13: Resultados de la Pregunta No 1 99
Tabla 14: Resultados de la pregunta No 2 101
Tabla 15: Resultados de la pregunta No 3 102
Tabla 16: Resultados de la pregunta No 4 103
Tabla 17: Resultados de la pregunta No 5 104
Tabla 18: Resultados de las pruebas realizadas durante el proyecto. 106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Secuencia de los procesos en la metodología PMI 13
Gráfico 2: Mediciones y aplicaciones del IoT 19
Gráfico 3: Componentes de un sensor 22
Gráfico 4: Consumo de energía de un nodo sensor..... 24
Gráfico 5: Red de sensores inalámbricos 25
Gráfico 6: Topologías de las redes WSN 26
Gráfico 7: Comparación de tecnologías de comunicación inalámbrica 28
Gráfico 8: Comparación de tecnologías LPWAN con respecto al ancho de banda y alcance 29
Gráfico 9: LoRa llena la brecha tecnológica 36
Gráfico 10: Aplicaciones de la tecnología LoRa 38
Gráfico 11: Estructura de una red LoRaWAN 39
Gráfico 12: Conexión del LPS8 a internet y al tomacorriente 61
Gráfico 13: Identificación de la dirección Ip del gateway 62
Gráfico 14: Acceso a las configuraciones del gateway mediante web. 63
Gráfico 15: Pantalla de visualización del gateway Dragino 63
Gráfico 16: Ingreso a Semtech UDP 64
Gráfico 17: Identificación del Gateway ID 64
Gráfico 18: Pantalla de inicio de thethingnetwork.org 65
Gráfico 19: Ingreso a la consola..... 66
Gráfico 20: Selección del servidor para la red LoRaWAN..... 66
Gráfico 21: Vista general de la consola 67
Gráfico 22: Ingreso de información general del Gateway 68
Gráfico 23: Selección del plan de frecuencia y la dirección del servidor del gateway 69
Gráfico 24: Visualización del gateway configurado 69
Gráfico 25: Selección de la dirección del servidor en el gateway 70
Gráfico 26: Confirmación del gateway conectado..... 70
Gráfico 27: Vista general de consola para agregar aplicaciones..... 71
Gráfico 28: Agregar sensor (agregar aplicación en TTN) 71
Gráfico 29: Selección del Identificador de la aplicación que va a contener a los sensores 72
Gráfico 30: Verificación de la aplicación creada en TTN 72
Gráfico 31: Agregar sensores a la aplicación en TTN 73
Gráfico 32: Selección de frecuencia, versión de LoRaWAN y OTAA 74
Gráfico 33: Adhesivo con las Credenciales del dispositivo..... 74
Gráfico 34: Ingreso del DevEUI, AppEUI, AppKey en la plataforma TTN para el sensor LTC2 75

Gráfico 35: Ingreso al formateador de carga útil del dispositivo y borrado del código fuente. 76
Gráfico 36: Código fuente del formateador de carga útil (ascendente) del sensor LTC2 76
Gráfico 37: Jumper en posición apagado/posición encendido del sensor LTC2 .. 77
Gráfico 38: Mensajes entre la plataforma TTN y el sensor LTC2 hasta el primer mensaje con datos 78
Gráfico 39: Cambio del intervalo de transferencia de datos a 90 segundos 78
Gráfico 40: Verificación de que el intervalo de tiempo para envío de datos sea de 90 segundos 79
Gráfico 41: Pantalla inicial cuando se accede con una cuenta a Ubidots 80
Gráfico 42: Acceso a los plugins para la vinculación de servidores. 80
Gráfico 43: Selección del plugin The Things Stack para vincular Ubidots con TTN 80
Gráfico 44: Pantalla de referencias iniciales para la configuración 81
Gráfico 45: Asignación de nombre y token para el plugin 81
Gráfico 46: Asignación de nombre y descripción del gateway relacionado con el plugin. 82
Gráfico 47: Visualización del plugin creado 82
Gráfico 48: Obtención del plugin ID de laURL del punto final. 83
Gráfico 49: Obtención del token 84
Gráfico 50: Selección de la integración Webhook en la plataforma TTN 84
Gráfico 51: Selección del webhook Ubidots 85
Gráfico 52: Ingreso del webhook ID, Ubidots Plugin ID y Ubidots token 85
Gráfico 53: Ubicación de la función descifradora por defecto en Ubidots 86
Gráfico 54: Función descifradora para visualizar los datos en Ubidots de forma correcta 87
Gráfico 55: Visualización correcta de los parámetros que mide el sensor LAQ4 87
Gráfico 56: Elementos del fuego provocado intencionalmente 88
Gráfico 57: Prueba de aumento en la medición por contaminación de compuestos orgánicos volátiles (VOC) 89
Gráfico 58: Prueba de aumento en la medición por contaminación por CO2 89
Gráfico 59: Prueba de aumento en la temperatura 90
Gráfico 60: Sección para la creación de eventos en Ubidots 91
Gráfico 61: Parámetros para la creación de un evento en Ubidots 92
Gráfico 62: Opciones de acciones a realizar en un Evento de Ubidots 93
Gráfico 63: Parámetros para crear el mensaje de alerta 93
Gráfico 64: Configuración de horario y días en donde el evento permanezca activo 94
Gráfico 65: Parámetros para activar el evento de temperatura alta en LAQ4 94
Gráfico 66: Llegada del correo notificando un aumento de temperatura. 95
Gráfico 67: Visualización en Ubidots del aumento de temperatura, lo que generó el envío del mensaje de texto 96

Gráfico 68: Creación de la alerta por falla en la batería. 96
Gráfico 69: Creación del mensaje de alerta por fallo en el sensor..... 96
Gráfico 70: Asignación de nombre y horas activas del evento de fallo de sensor 97
Gráfico 71: Correo electrónico alertando el fallo del sensor LTC2..... 97
Gráfico 72: Pregunta No 1 100
Gráfico 73: Pregunta No 2 101
Gráfico 74: Pregunta No 3 102
Gráfico 75: Pregunta No 4 103
Gráfico 76: Pregunta No 5 104
Gráfico 77: Formato de encuesta 115
Gráfico 78: Esquema del prototipo de un sistema de detección de incendios 116
Gráfico 79: Agregar nuevo dispositivo (LAQ4) 117
Gráfico 80: Selección de frecuencia para sensor LAQ4 117
Gráfico 81: Verificación de OTAA para sensor LAQ4 118
Gráfico 82: Ingreso de DevEUI, AppEUI y AppKey para sensor LAQ4..... 118
Gráfico 83: Verificación de dispositivo registrado (LAQ4) 119
Gráfico 84: Ingreso al Payloader Formatter del sensor LAQ4 119
Gráfico 85: Código para el payloader formatter del sensor LAQ4..... 120
Gráfico 86: Instalación del dispositivo LAQ4 en la pared..... 121
Gráfico 87: Instalación del dispositivo LTC2 en el techo..... 121
Gráfico 88: Ubicación del dispositivo LTC2 para las pruebas 122
Gráfico 89: Ubicación del dispositivo LAQ4 para las pruebas..... 122

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS PARA INSTITUCIONES EDUCATIVAS BASADO EN REDES LPWAN

Resumen

Considerando la importancia de precautelar la seguridad de la comunidad educativa dentro de los planteles, el presente trabajo de titulación propone diseñar un sistema para la detección de incendios con equipos de tecnología LoRa, elaborando un prototipo y planteando el uso de las plataformas TTN y Ubidots para el monitoreo de los datos emitidos por los sensores y posible recepción de alarmas. Con esta propuesta de cambio en la tecnología de los sistemas contra incendios que son usados en las instituciones educativas se busca reducir el alto costo que representan las instalaciones de estos, motivo por el cual, en muchos casos, no son consideradas algunas áreas de vital importancia para este tipo de instalaciones. La tecnología LoRaWAN evita el uso extenso de cableado, tubería y canaletas; además de permitir la recepción de alarmas vía correo electrónico o mensajes de texto en caso de fallos en los equipos o previo al inicio de un siniestro. Este proyecto de titulación es realizado basándose en la metodología PMI, cuya estructura dividida en cuatro fases permite analizar los requerimientos, desarrollar el diseño, implementar el prototipo propuesto, y demostrar los resultados mediante pruebas. Al mismo tiempo, se llevó a cabo una encuesta a estudiantes, docentes y autoridades educativas, relacionados directamente con la problemática expuesta, con la que se pudo medir la importancia y factibilidad de la propuesta establecida. Al llevar a cabo las pruebas necesarias con respecto al aumento de temperatura y contaminación del aire, midiendo niveles de CO2 y VOC. Asimismo, se pudo comprobar el sistema de alerta mediante correo electrónico y mensajes de texto, lo que permitió constatar que el prototipo posee una excelente funcionabilidad como para ser implementada a mayor escala en planteles educativos, lo cual representaría un cambio tecnológico en un sistema que se ha mantenido activo bajo el mismo formato alrededor de dos décadas.

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS PARA INSTITUCIONES EDUCATIVAS BASADO EN REDES LPWAN

Abstract

Considering how important it is to keep the education community safe inside of the school buildings, this project proposes a fire detection system design in which some LoRa technology devices are used, creating a prototype that uses the TTN and Ubidots platforms to monitor the information received through the sensors and the alarms it might send. The change in the technology of the fire detection system that is being proposed tries to reduce the installation costs, which is one of the main reasons for not installing this system in each school area, such as classrooms and bathrooms. LoRaWAN technology avoids the excessive number of wires and conduits used; it also allows the reception of alarms through emails and text messages whenever a device presents a problem or even before a fire can happen. PMI framework, which is the methodology used in this thesis project, involves a well-defined set of techniques that allows the analysis of the requirements, the development of the design, the prototype implementation, and the results after carrying out testing. In addition, it was conducted a survey asking important questions related to the problem exposed. Students, teachers, and school authorities were able to confirm the importance and feasibility of this project proposal. When carrying out testing related to temperature rising and air contamination that measured CO2 and VOC. Furthermore, it was possible to prove the alarm system sent through email and text messages, making it easy to realize that the prototype could work correctly in schools. If this prototype gets to be used, it will represent a technological change in the system that has been used for more than two decades.

INTRODUCCIÓN

Las instituciones educativas fueron creadas con el objetivo principal de proveer una correcta enseñanza y aprendizaje a los niños, jóvenes y adolescentes de nuestro país, dentro de un ambiente seguro que les permita estudiar sin poner en riesgo sus vidas cuando están en el salón de clases. Por este motivo el Ministerio de Educación creó los diferentes planes y proyectos, entre los cuales se encuentra el PIRR - Plan Institucional de Reducción de Riesgo, requisito indispensable y obligatorio para que a toda institución le pueda ser otorgado o renovado su permiso de funcionamiento.

El Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil es el encargado de emitir este Certificado de Permiso de Funcionamiento a todas las instituciones, el cual para poder ser otorgado debe constar con una inspección in situ, a partir de la cual pueden verificar que todos los requisitos están siendo cumplidos por las instituciones. Entre dichos requisitos se encuentra el sistema de detección de incendios, ya que es indispensable contar con el mismo para evitar cualquier siniestro que pudiera suscitarse dentro de un plantel educativo.

Por tal motivo, el presente proyecto de titulación esta direccionado a realizar un cambio de tecnología en los sistemas contra incendios utilizados hasta el momento en las instituciones educativas, con lo que se busca reducir los altos costos que se generan y el tiempo requerido para las instalaciones de estos sistemas. El

nuevo sistema contra incendios utiliza la tecnología LoRaWAN, misma que evita el uso extenso de cableado, que incluso podría resultar innecesario dependiendo del caso, además de la activación de alarmas mediante correo electrónico y mensajes de texto que serían enviadas antes de que pueda llegar a producirse un siniestro.

Para cumplir con los objetivos planteados se procede a detallar el contenido de cada capítulo.

En el primer capítulo se explica el problema que presentan las Instituciones educativas con respecto al sistema de detección de incendios tradicional cuando existe más de una edificación que lo conforman, puesto que la mayoría de los sistemas utilizan cableado con tuberías y canaletas que representan un aumento en el valor monetario y conlleva mayor tiempo de instalación.

El segundo capítulo estudia los antecedentes teóricos del tema a analizarse, en donde se incluyen sus respectivas fundamentaciones como lo son la teórica y legal, para proceder al desarrollo del presente proyecto.

El tercer capítulo trata sobre la propuesta tecnológica a desarrollarse, el análisis de factibilidad, las etapas de la metodología del proyecto, así como de las herramientas y análisis de los datos obtenidos.

En el capítulo cuatro se procederá a generar los criterios de aceptación del proyecto, además de las conclusiones obtenidas y recomendaciones que se puedan presentar en base a este.

CAPÍTULO I

El problema

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ubicación del Problema en un contexto

Desde que los jesuitas "fundaron en Quito, el colegio de San Luis en 1568" (Altablero, 2015, como se citó en Orbe, 2018), las instituciones educativas han sido un pilar fundamental en la sociedad, siendo éstas sin fines de lucro y debiendo cumplir con los estándares de calidad educativa que están establecidos por el Nivel Central de la Autoridad Educativa Nacional, ayudando al desarrollo de las capacidades y habilidades de los estudiantes en sus diferentes etapas de escolaridad.

Toda institución educativa debe cumplir con los requisitos que impone el Ministerio de Educación, los mismos que son emitidos por los diferentes acuerdos ministeriales e inclusive constan en la Ley y el reglamento de la LOEI, la cual fue emitida el 31 de Marzo del 2011 en el Registro Oficial 417, donde se dieron muchos cambios y se implementaron los diferentes Distritos Educativos que son regulados por la Subsecretaría de Educación de cada zona con la finalidad de sectorizar a las instituciones educativas, para así acompañar a las mismas a que cumplan con todas las regulaciones establecidas por el Ministerio de Educación.

Para que las instituciones educativas puedan iniciar sus funciones necesitan previamente tener aprobado el permiso de funcionamiento, mismo que debe ser

presentado en el Distrito de Educación respectivo, debiendo cumplir con los requisitos dispuestos por el Ministerio de Educación. Entre estos requisitos se encuentra el Plan Institucional para la Reducción de Riesgos – (PIRR), donde se incluye el Permiso de Bomberos, el cual debe ser solicitado al Benemérito Cuerpo de Bomberos de la ciudad para que ellos sean quienes procedan a realizar la inspección y corroborar que la institución conste con el sistema de detección de incendios, otorgándoles así la aprobación para poder iniciar sus labores como institución.

Sin embargo, y pese a lo estricto que es el proceso para obtener los permisos de funcionamiento, dichos permisos son exigidos a nivel de edificios administrativos, mas no en los salones de clases, baños u otros. Debido a esta situación se ha presentado el actual proyecto de tesis, el cual intenta brindar y demostrar la importancia que requiere cada uno de los edificios que corresponden a una institución educativa con respecto a este tema, mismo que posee diversos beneficios. El sistema de detección contra incendios con tecnología LoRaWAN permite detectar cambios en la temperatura o la concentración de partículas de CO_2 y VOC, siendo estos dos de las principales características de un incendio; todo esto buscando la disminución del costo de implementación, y optimizando el tiempo y la accesibilidad para la instalación, permitiendo incluso una monitorización en tiempo real.

Situación Conflicto Nudos Críticos

Considerando que toda institución educativa requiere tener aprobado el permiso de funcionamiento para iniciar sus labores como tal, y que uno de los requisitos es tener un sistema de detección contra incendios, es importante mencionar que la mayoría de las instituciones educativas usan una sola estructura; sin embargo, existen otras que cuentan con dos o más edificaciones como parte del mismo establecimiento educativo. A partir de esta situación, se presenta uno de los conflictos principales, puesto que la mayoría de los sistemas contra incendios generalmente requieren cableado para su instalación, el cual debe ser colocado por toda la edificación, tornándose más difícil en los casos en que la institución posea varios pabellones.

Es indiscutible el hecho de que los equipos más la instalación del cableado con sus respectivas tuberías y canaletas representen un alto costo para la institución, dependiendo de las dimensiones de ésta, cantidad de pabellones que la conforman, y por ende de la cantidad de metros de cable a utilizarse. Todo esto conlleva a que solo los edificios administrativos de las diferentes instituciones estén incluidos dentro de las exigencias para presentar sistema de detección contra incendios.

Adicionalmente, casi todos los sistemas de detección de incendios se concentran en emitir una alerta sonora y encender luces estrobos, las cuales ofrecen una ayuda nula para evitar el inicio o la propagación de un incendio en caso de no encontrarse dentro o siquiera cerca del edificio.

Causas y Consecuencias del Problema

Tabla 1: Causas y Consecuencias

Causas	Consecuencias
Sistemas tradicionales, aquellos que involucran sistemas cableados.	Problemas en la instalación debido a la limitada accesibilidad en lugares por donde se debe pasar el cable con su respectiva protección, ya sea tubería o canaleta.
Costos de los materiales para la instalación de los sistemas tradicionales.	Incremento en el monto de inversión debido al costo de materiales como cables, tuberías y canaletas, y el tiempo de instalación dependiendo de la extensión del lugar.
Costos altos en sistemas que notifiquen al usuario sobre alguna alarma activada.	Estos sistemas tienen un alto costo en el mercado, lo que, en la mayoría de las ocasiones, los convierte en sistemas difíciles de adquirir.
Instalación del sistema de detección de incendios tradicionales dentro de las instituciones educativas no incluyen aulas y baños.	La detección de un posible incendio en estas áreas no puede ser realizado de manera inmediata, lo que dificulta el rápido accionar ante esta posibilidad.

Delimitación del Problema

Al realizar el respectivo análisis se determina que la problemática está delimitada por:

Tabla 2: Delimitación del Problema

Campo:	**Tecnológico**
Área:	IoT, Smart building & city
Aspecto:	Sistema de detección de incendios, diseñado con tecnología LoRa, basado en el protocolo LoRaWAN, utilizando las plataformas TTN y Ubidots para monitoreo y visualización de los datos, así como el envío de mensajes de alerta.
Tema:	Diseño e implementación de un sistema de detección de incendios para instituciones educativas basado en redes LPWAN.

Formulación del Problema

Actualmente en el Ecuador uno de los requisitos para obtener el permiso de funcionamiento y aprobación del Plan Institucional para la Reducción de Riesgos – (PIRR) para una institución educativa, es que debe contar con un sistema de detección de incendios aprobado por el Benemérito Cuerpo de Bomberos.

"Todas las edificaciones deben contar con los sistemas y equipos necesarios para la prevención y el combate de incendios, los cuales deben mantenerse en condiciones de ser operados en cualquier momento" (art 115, Reglamento de prevención, mitigación y protección contra incendios, 2009)

Por lo general, el sistema de detección de incendios consiste en un panel central, el cual se conecta mediante tuberías o por canaletas a los detectores de humo y temperatura mediante un cableado que debe constar con ciertas características especiales como protección contra fuego. Si la institución cuenta con varias edificaciones o la superficie del edifico es muy extensa, de acuerdo con la normativa establecida serían necesarios varios paneles centrales: uno para cada edificio o piso. Dicho requerimiento en ocasiones podría resultar muy costoso debido a la cantidad de equipos y materiales que pudieran ser necesarios, además del incremento en el tiempo de instalación.

En otras palabras, dentro de la planificación y diseño del sistema de detección de incendios deben considerarse diversos factores importantes tales como el tiempo de implementación y el costo del sistema, lo cual, en su gran mayoría, termina por permitir solamente la protección de aquellas zonas consideradas como más vulnerables, dejando por fuera a otras zonas "no tan vulnerables" como las aulas de clases y baños de las instituciones.

Evaluación del Problema

Los aspectos generales para la evaluación son:

Delimitado: La implementación de un sistema de detección de incendios con monitoreo inalámbrico en instituciones educativas a nivel general.

Claro: El diseño de un sistema de detección de incendios que carezca de cableado es un factor importante para las instituciones educativas que poseen más de un

pabellón, debido a que los sistemas tradicionales requieren una instalación centralizada para cada uno de los edificios.

Concreto: El diseño de este sistema es innovador ya que permite el monitoreo en tiempo real con su respectiva información estadística y envío de alertas mediante correo electrónico o mensajes de texto al o los responsables en caso de un connato de incendio.

Relevante: La relevancia del presente proyecto consta de la implementación de una tecnología relativamente nueva en nuestro país, que involucra grandes beneficios al utilizar un sistema de monitoreo inalámbrico con tecnología LoRaWAN para temprana detección y envío de alertas de posibles incendios en las instituciones educativas.

Original: Se considera original debido a la utilización de un sistema de monitoreo inalámbrico con sensores también conocidos como nodos finales, que se comunican directamente a un gateway y poseen largo alcance de comunicación y bajo consumo energético debido a la larga duración de la batería.

Factible: El presente prototipo es factible debido a su bajo consumo de energía eléctrica y la accesibilidad de su instalación, lo que la vuelve más sencilla y rápida; además, permite un monitoreo frecuente durante las 24 horas y posee un sistema de alerta al usuario en tiempo real.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema con sensores LPWAN de tecnología LoRa para la de detección de incendios en instituciones educativas.

Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de equipos LPWAN con tecnología LoRa para la detección de incendios en edificaciones.
- Elaborar un prototipo funcional del sistema de detección de incendio con sensores LPWAN.
- Plantear el uso de la plataforma Ubidots para el control y visualización de alarmas y sensores.

Alcances del Problema

Mediante este proyecto se pretende construir un prototipo que demuestre el beneficio de utilizar la tecnología Lora para brindar el servicio de detección temprana de incendios en los planteles educativos. El prototipo está conformado por sensores de temperatura y de calidad de aire que forman una red de largo alcance y bajo consumo energético. Estos nodos serán conectados por medio del gateway, el cual estará a cargo de conectarse con el servidor para el monitoreo y

respectivo envío de alertas mediante mensajes de texto o correo electrónico en caso de ser requerido.

Es importante mencionar que el presente prototipo podría presentar limitantes de acuerdo con las necesidades de cada institución educativa, como por ejemplo la cantidad de sensores a utilizarse dependiendo de la extensión de un plantel. Además, debido a que el presente prototipo se refiere a un sistema de detección de incendios, no tendría la facultad de combatir un probable siniestro de este tipo.

Justificación e Importancia

Los fenómenos provocados por el hombre son parte del escenario de toda actividad social o económica, por tal motivo es necesario conocer su área de influencia, así como la correcta implementación de estrategias para la prevención y respuesta inmediata ante cualquier percance que pudiera presentarse, para así poder lograr la minimización del impacto producido.

En el caso de las instituciones educativas es primordial salvaguardar la vida de todos los integrantes que pertenecen a la comunidad educativa, lo cual representa cumplir con una serie de requisitos. Dos características importantes de usar equipos LPWAN es el bajo consumo de energía y la comunicación a grandes distancias. El bajo consumo de energía se refiere al hecho de que estos equipos pueden usar baterías como fuente de energía, mismas que tienen una duración de años y no de meses como los sensores tradicionales, por lo que no es necesario conectarse a una

red eléctrica. Asimismo, si llegase a existir una falla en alguno de los sensores, este sería informado en el mismo momento mediante una alerta enviada vía correo electrónico o mensaje de texto.

> En el caso de instalación de sistemas de detección y alarmas se debe aplicar la norma NFPA 72, la cual tiene como propósito definir los medios para activar señales, transmitirlas, notificarlas y anunciarlas, los niveles de desempeño, la confiabilidad de los diversos tipos de alarmas de incendios, sistemas de alarmas de estaciones de supervisión, sistemas públicos de reporte de alarmas de emergencias, equipos de advertencias de incendios, sistemas de comunicaciones de emergencias y sus componentes. (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2019, Artículo 7.2.2.b)

Acorde con la normativa NFPA 72 (2022), capítulo 27, artículo 27.1.1.1, indica que “Los sistemas de notificación de alarma de emergencia pública deberán consistir en cajas de alarmas, otros equipos o tecnologías de iniciación de alarmas, y equipo de procesamiento de alarmas que se comuniquen a través de una red alámbrica o inalámbrica” (p.174). Esto refiere a que pueden existir redes cableadas o no cableadas, motivo por el cual, este proyecto busca reemplazar los sistemas tradicionales de detección de incendios por uno más eficaz que permita visualizar en cualquier momento y lugar la información que se encuentra almacenada en la nube, permitiendo así responder eficientemente en un menor periodo de tiempo para minimizar probables impactos negativos.

Metodología del Proyecto

La metodología por utilizarse en este proyecto es la metodología PMI, la cual posee una estructura acorde a las necesidades de las etapas a desarrollar, puesto que son procesos eficientes y eficaces para la dirección de los proyectos, incluyendo la ventaja de poder ser adaptados e integrados en función de estos.

A continuación, se muestra las fases de la metodología usada en el proyecto.

Gráfico 1: Secuencia de los procesos en la metodología PMI

Nota: Gráfico representativo de la metodología PMI a utilizarse durante el proyecto.

Fase I Requerimientos: En esta fase se analiza el problema para lograr identificar los alcances y objetivos, definir los requisitos necesarios, así como el tiempo de duración y el presupuesto del proyecto.

Fase II Diseño: En esta fase se analizan los equipos a utilizarse, en este caso específico serían los dispositivos, Gateway, servidor y nodos finales, para proceder a crear el diseño del prototipo a implementarse.

Fase III Implementación: En esta fase se realizan las actividades para la implementación del prototipo propuesto.

Fase IV Pruebas: En esta fase se muestran los resultados de la implementación del prototipo, buscando posibles errores, permitiendo así poder decidir si el proyecto es factible o no para beneficio de los planteles educativos, lo que conlleva a evitar posibles riesgos existentes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes del Estudio

Desde la fundación de la Advanced Research Project Agency (ARPA) por parte del Ministerio de Defensa de Estados Unidos a finales de los años 60 hasta 1982, donde ARPANET adoptó el protocolo TCP/IP y finalmente se creó el internet, se ha buscado facilitar tantas cosas como sean posibles, desde la creación de pequeñas redes hasta llegar a la comunicación global.

Todo este avance tecnológico busca crear soluciones a problemas pequeños e incluso cotidianos, lo que hace pensar que el mundo tal y como lo conocemos va encaminado a uno donde todo funcione con internet. Una parte de las soluciones presentes en los últimos años es el desarrollo del IoT. Kevin Ashton (2009, como se citó en Bruno, 2017) dijo:

> Si tuviésemos ordenadores que fuesen capaces de saber todo lo que pudiese saberse de cualquier cosa –usando datos recolectados sin intervención humana– seríamos capaces de hacer seguimiento detallado de todo, y poder reducir de forma importante los costes y malos usos. Sabríamos cuando las cosas necesitan ser reparadas, cambiadas o recuperadas, incluso si están frescas o pasadas de fecha. El Internet de las Cosas tiene el potencial de cambiar el mundo como ya lo hizo Internet. O incluso más.

Según Bravo y Asencio (2020) dicen que el IoT (Internet of Things), o su traducción en español, el Internet de las Cosas es la integración de varios objetos

cotidianos convertidos en dispositivos electrónicos a una red, asignándoles una dirección IP, con la finalidad de que la interacción humana no sea una necesidad (p. 17). Pero se puede profundizar un poco más y decir que el IoT se logra habilitar mediante la integración y comunicación de variados dispositivos M2M (Machine to Machine) o según su traducción al español: Máquina a Máquina.

M2M según Tello y Satán (2020), se podría considerar como una tecnología que permite que diferentes dispositivos puedan interactuar entre sí por medio de una red de comunicación alámbrica o inalámbrica sin la interacción humana. El IoT y el M2M son dos tecnologías íntimamente relacionadas que se complementan entre sí y forman parte de un concepto más amplio (p. 6).

El IoT y M2M pueden trabajar con redes LPWAN. Las características principales de este tipo de redes es que tienen una gran cobertura, lo que significa una comunicación de largo alcance; la segunda característica principal es que al trabajar con un ancho de banda relativamente bajo y al ser los mensajes que se envían cortos, se obtiene un bajo consumo de energía, lo que significa que se logra optimizar la duración de la batería.

LPWAN tiene varias opciones en lo que a tecnología se refiere. Se pueden agrupar a las que ofrecen el servicio en espectro licenciado como NB-IoT y LTE-M1 y por otra parte están la LoRa y SigFox, cuyo servicio está en el espectro no licenciado. Son tecnologías con gran acogida, pero de entre todas destaca LoRa debido a varios factores empezando porque tiene a LoRa Alliance, que es un grupo

de fabricantes que producen los microcontroladores. Otros beneficios son la duración de la batería, capacidad de transmisión e instalación a bajo coste.

Existen una gran variedad de campos de aplicación para la tecnología LoRa, como la agricultura, acuacultura, ciudades, edificios y casas inteligentes; donde existen controles de acceso, apertura de puertas, medición de calidad del aire, medición de la calidad del agua, medición de temperatura, enchufes eléctricos, sistemas de seguridad entre algunos otros, para monitorear en tiempo real.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2019) en su artículo 7.2.2, dice que las edificaciones deben tener un sistema de detección y alarmas de incendios, la cual está basada en la norma NFPA 72.

Esto indica que todo edificio de una institución educativa debe contar con su respectivo sistema de detección y alarma de incendio. Un buen sistema de detección de incendios puede disminuir drásticamente los riesgos de que se forme un siniestro, de tal manera que el uso de la tecnología LoRa puede ayudar a resolver este desafío.

Fundamentación Teórica

Un sistema de detección de incendio permite monitorear la presencia de humo en los diferentes espacios de una edificación. Está compuesto por un panel de controlador del sistema, el cual recibe señales eléctricas provenientes de los detectores de monóxido de carbono y temperatura instalados en dichos espacios. Todo este sistema tradicional funciona por medio una conexión alámbrica, lo que

implicaría posibles daños en la fachada, tiempos mayores en la implementación, y costes altos de acuerdo diseño a implementar.

Paucar (2015) acota que existen que hay dos tipos de sistema de detección de incendios y son los sistemas convencionales e Inteligentes o direccionables.

- Sistemas convencionales: Son dispositivos agrupados en zonas, de tal manera que cuando se origina un incendio, se pueda determinar en qué área o zona está ocurriendo el siniestro.
- Sistemas Inteligentes o direccionables: Son aquellos en donde se puede identificar de manera específica el dispositivo que ha generado una alarma. (p. 17)

Según Placeres (2018), ningún sistema o tecnología debería ser menospreciado, ya que cada uno posee cualidades específicas y tampoco se debería considerar a uno de estos como “solución universal” para todos los casos.

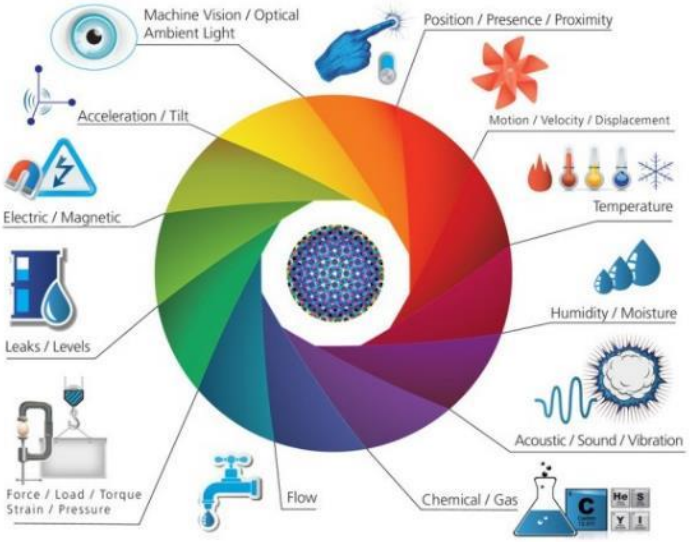
Para la elección de los dispositivos a utilizar en el prototipo se necesita considerar dos condiciones importantes que resultan con la presencia del fuego. Estas son el aumento de temperatura y la presencia de humo. Debido a esto los sensores requeridos deben ser sensores de temperatura y de calidad de aire.

IoT

El internet de las cosas (IoT) es la interconexión de dispositivos por medio de una red que puede ser privada o internet, permitiendo la comunicación constante entre ellos. Actualmente existen una gran variedad de dispositivos como equipos de

uso cotidiano como refrigeradoras, aires acondicionados, televisores, interruptores de luz hasta el calzado o ropa, así como sensores específicos como son los lumínicos, de temperatura, humedad, presión, calidad de aire, etc. Al permitir la comunicación entre dichos dispositivos se puede crear una automatización de estos.

Gráfico 2: Mediciones y aplicaciones del IoT



Nota: Representación de las aplicaciones del IoT. Tomado de https://universoabierto.org

El IoT tiene varias características básicas en las cual se fundamenta:

- **Interconectividad:** Permite que todos los elementos de la red se encuentren conectados, así como la comunicación entre sí.
- **Heterogeneidad:** Permite la diversidad de elementos que componen estas redes.
- **Servicios Orientados a Objetos:** Son los que otorgan a los dispositivos físicos y virtuales funciones tales como seguridad, gestión y comunicación, así como permitir el acceso a los recursos que ofrecen dichos objetos.
- **Escalabilidad:** Debido a que los objetos de la red están en constante variación, permitiendo conectarse, desconectarse, entrar y mantener el estado de reposo, cambiar su ubicación, etc. La red debe ser capaz de adaptarse al aumento de objetos, sin ver afectada la gestión de la información.

M2M

Este tipo de comunicación se caracteriza porque al tener diferentes dispositivos en una red, permitiendo una autonomía de los mismo ya que no se necesita la intervención del ser humano en este tipo de comunicación.

WSN

Las redes de sensores inalámbricos o Wireless Sensor Network (WSN) Son redes capaces de comunicar sensores de bajo coste, conocidos como nodos, de forma inalámbrica. Dichos sensores recogen la información del medio y la transforman en señales electrónicas, procurando el mínimo consumo energético

posible. Todos los datos son transmitidos a un nodo central en donde se podría procesar, almacenar o encaminar al núcleo de dicha red. (Cervantes, 2018, p. 21).

Las WSN se conforman por:

- Sensores
- Gateway
- Estación base (servidor)

Las redes WSN pueden ser utilizados en:

- Monitoreo de suelo, agua y aire. (temperatura, presión, humedad, Ph, CO2, VOC, etc.)
- Vigilancia y monitoreo estructural de edificaciones.
- Monitoreo de procesos.
- Monitoreo Industrial (máquinas, líneas de producción)
- Monitoreo de personas (diagnóstico médico, televigilancia)
- Seguimientos de activos.

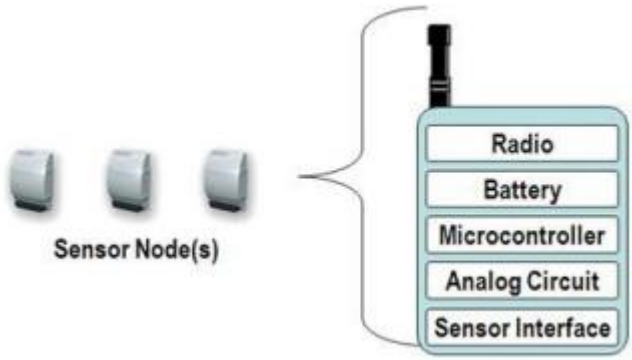
SENSORES

Son los nodos inalámbricos que se caracterizan por su ligereza y tamaño reducido. Son los encargados de captar la información que proviene del medio en el que se encuentran ubicados para procesarla y transmitirla hacia otro destinatario (Edmans, 2009, como se citó en Mero y Hermenejildo, 2019).

Los sensores también tienen la capacidad de poder comunicarse con otros sensores, y debido al tamaño reducido, pueden ser ubicados en casi cualquier lugar donde sea requerido. Estos dispositivos funcionan con baterías que, se pueden recargar mediante paneles solares en caso de ser necesario.

Los sensores tienen componentes que se muestran en el Gráfico 3 que son radio, batería, microcontrolador, circuito análogo e interfaz a sensor. Estos componentes deben de ser analizados cuidadosamente en base a los requerimientos del proyecto, siempre y cuando se vaya a construir un sensor desde cero, pero también se tiene la opción de comprar dichos sensores de algún fabricante.

Gráfico 3: Componentes de un sensor



Nota: Representación de los componentes de un sensor o nodo. (Burbano, 2016)

Los sensores tienen una estructura funcionamiento y es de la siguiente manera:

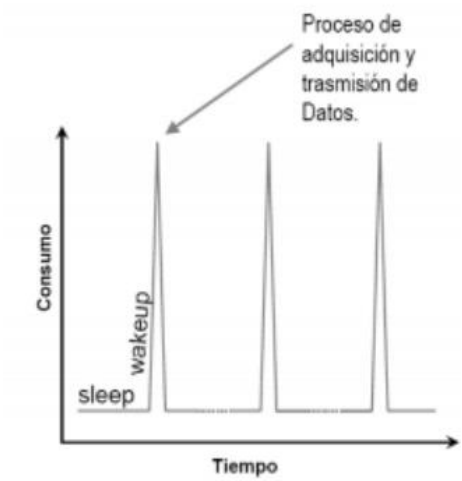
- Procesador: Compuesto por el microcontrolador y ADC (Conversor análogo a digital), se encarga de controlar el dispositivo, permitiendo la interpretación y procesamiento de los datos para ser transmitidos

a otra estación. También se encarga de administrar el almacenamiento de los datos

- Batería: Es la fuente de alimentación que permite el funcionamiento del sensor. Las baterías pueden ser de una sola vida o recargables mediante paneles solares, aunque hay otros sistemas de carga basados en energías renovables.
- Memoria: Es donde se almacenan los datos y el programa que permite el funcionamiento del sensor.
- Sensores: Son de luz, temperatura, humedad, presión, etc. Son los encargados de receptar la información del ambiente por medio de respuestas eléctricas a los cambios de estado físico.
- Radio: Es el transceptor que permite el envío y recepción de información con otros dispositivos de la red. Utilizan algunos módulos o protocolos para la comunicación, entre algunas tenemos a Zigbee, basado en el estándar IEEE 802.15.4, Bluetooth, Z-Wave, 6LowPAN, Sigfox, Neul y LoRa, entre otros

En una red WSN los sensores deben extender la vida de la batería, para eso los nodos se encienden de forma periódica, para luego transmitir los datos y apagarse para conservar energía. La tecnología de transmisión por el radio del WSN debe ser eficiente en el proceso de transmisión de la señal y permitir que el sensor regrese al estado sleep con el mínimo uso de energía. Esto quiere decir que el procesador responsable debe tener la capacidad de despertar, encenderse y volver a dormir de manera eficiente.

Gráfico 4: Consumo de energía de un nodo sensor



Nota: Adaptado de http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf

GATEWAY

Es el equipo encargado de interconectar las redes WSN con una red TCP/IP. Su funcionamiento está en los niveles más altos del modelo OSI y pueden realizar la conversión de protocolos para la interconexión de redes. Según Guambuguete y Soledispa (2015) el gateway tiene los 7 niveles del modelo OSI, y a pesar de que es más costoso que un router (enrutador), puede ser utilizado como dispositivo universal en una red compuesta por un gran número de redes de diferentes tipos (p.32)

Esto es debido a que no solo conectan diferentes tipos de redes, sino que permiten tener la seguridad de que los datos que se transportan de una red sean compatibles con lo de otra red.

Gráfico 5: Red de sensores inalámbricos

Nota: Representación de la conexión de sensores inalámbricos a una estación base. Adaptado de (Hervas, 2018)

ESTACIÓN BASE

La estación base puede ser un equipo físico o virtual que permita recolectar datos provenientes de una red WSN. (Edmans, 2009, tal como lo citó Mero y Hermenejildo, 2016, p.21). Los usuarios pueden acceder de forma remota a dicho equipo para poder observar y analizar los datos almacenados.

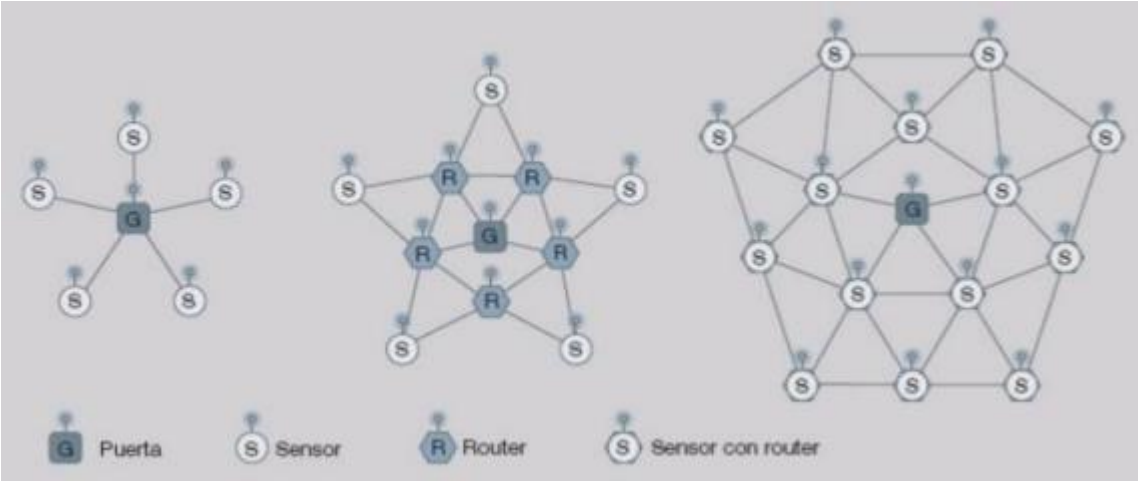
TOPOLOGÍA DE LAS REDES WSN

Las redes WSN utilizan tres tipos de topologías que son la topología estrella, Estrella extendida y malla.

- Topología Estrella: Esta topología se caracteriza porque los sensores se encuentran conectados de forma directa al gateway. Esta topología es la que menos energía consume y brinda seguridad ante la caída de cualquier sensor, aunque acota el rango de la red.

- Topología Estrella extendida: En este tipo de configuración, los sensores se conectan a routers, que sirven como intermediarios entre los sensores y el gateway. Esta configuración permite extender el rango de la red, pero requiere un mayor consumo de energía.
- Topología en Malla: En esta topología los sensores también actúan como enrutadores (routers), permitiendo que el rango de la red sea mucho más amplio. La desventaja es que la lógica de los sensores se complica un poco, lo que hace que aumente considerablemente el consumo de energía comparado con las otras dos topologías.

Gráfico 6: Topologías de las redes WSN



Nota: Adaptado de http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf

Hay que aclarar que, para el diseño del proyecto, se utilizará la topología de estrella ya que es la que ofrece menor consumo energético.

TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN EN REDES WSN

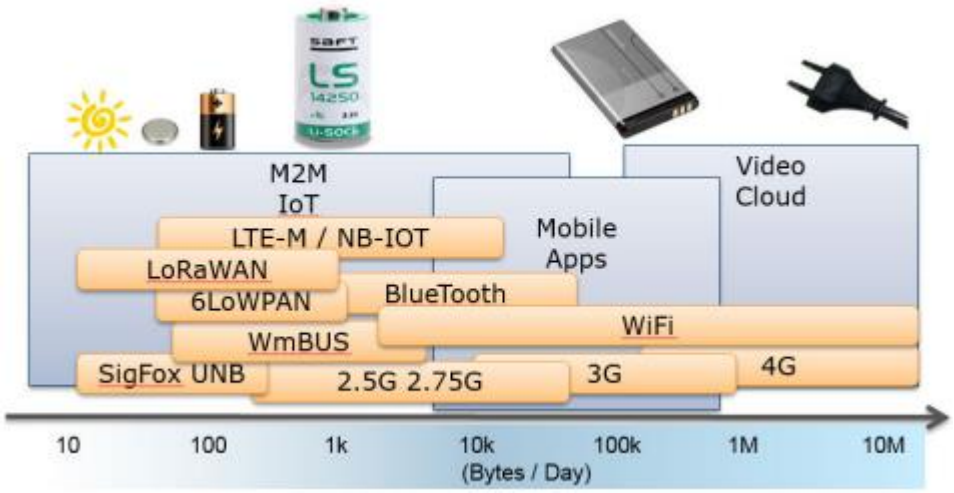
Al saber que las redes WSN están compuestas de dispositivos inalámbricos, entonces hay diferentes tecnologías que pueden ser utilizadas. La selección de la tecnología va a depender de las necesidades de la WSN, tomando como factores importantes la distancia entre los dispositivos, el ancho de banda necesario y el consumo energético.

En la actualidad, las tecnologías de comunicaciones inalámbricas se clasifican en tres grandes grupos:

- Tecnologías LAN (Local Area Network o Red de Área Local): Son comunicaciones entre dispositivos a corta distancia y que no estén condicionados en el ámbito energético. Los estándares de esta tecnología están bien establecidos y su capacidad de comunicación es media-alta y algunas de las más importantes son Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi.
- Tecnologías celulares: Son comunicaciones de largo alcance en donde los dispositivos móviles no tienen condiciones energéticas y cuya capacidad de comunicación es media-alta. Esta tecnología tiene una cobertura a nivel mundial y el despliegue requiere un alto costo. Entre algunas de ellas están 2G (GSM, GPRS, EDGE), 3G (UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA), 4G (LTE y LTE-Advanced) y la 5G que recién está siendo implementada.

- Tecnologías LPWAN: Son comunicaciones de largo alcance que se enfoca a dispositivos de bajo consumo energético, bajo coste y que no requieran una tasa de transmisión de datos elevada. Algunas de estas tecnologías son LoRaWAN, eMTC, NB-IoT, SigFox, Nwave, Weightless entre otros.
-

Gráfico 7: Comparación de tecnologías de comunicación inalámbrica



Nota: Representación de diferentes tecnologías de acuerdo con el consumo de Bytes por día. (Cervantes, 2018)

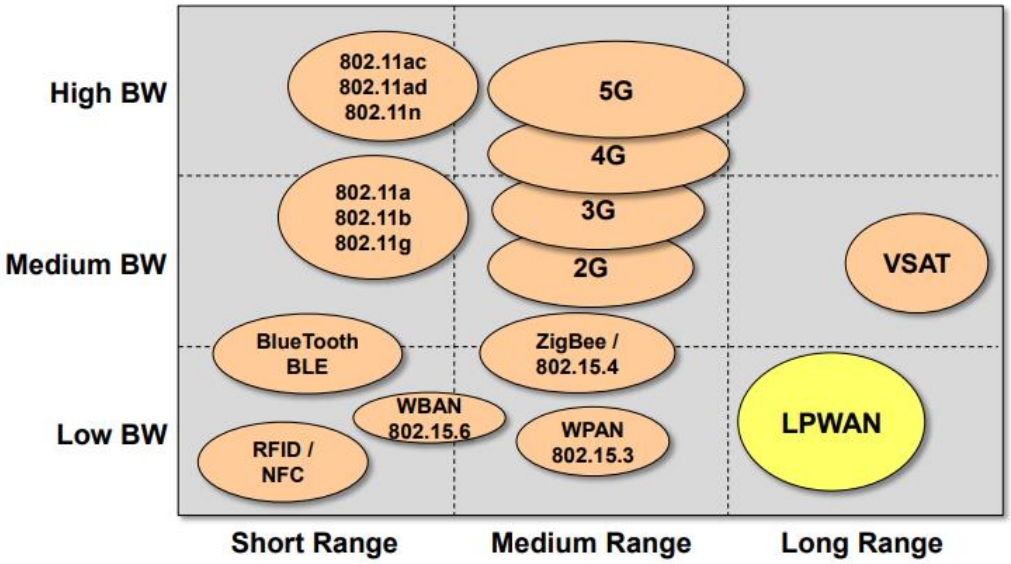
LPWAN

LPWAN son las siglas de Low Power Wide Area Network (Red de Área Amplia de Baja Potencia), permite la comunicación entre dispositivos con una pequeña tasa de bits. En realidad, es un protocolo de transporte inalámbrico de datos que en la actualidad se considera como uno de los protocolos básicos de IoT.

LPWAN es un protocolo importante para IoT ya que actualmente hay una gran cantidad de dispositivos conectados alrededor del mundo que utilizan dicho protocolo.

No se puede considerar a LPWAN como un estándar para IoT, pero suele resultar como una opción válida para ciertas necesidades IoT y cubre casi que en exclusiva las necesidades de aquellas aplicaciones que requieren transmitir pequeñas cantidades de datos. (Guambuguete y Soledispa, 2021, p.34)

Gráfico 8: Comparación de tecnologías LPWAN con respecto al ancho de banda y alcance



Nota: Representación de Tecnologías LPWAN de acuerdo con el ancho de banda y el alcance. Adaptado de: indigoo.com/dox/itdp/12_MobileWireless/LPWAN.pdf

CARACTERÍSTICAS DE LPWAN

Las características de LPWAN según Alvarado y Córdova (2020) son las siguientes:

- **Amplio alcance:** Su diseño permite conectar dispositivos de forma inalámbrica, gracias a su optima comunicación estos se enlazan hasta kilómetros de distancia.
- **Bajo consumo:** Los dispositivos requieren poca energía para funcionar, alimentados con pequeñas baterías puede tener autonomía por años.
- **Transmisión Limitada:** Frente a otras tecnologías para tener amplio alcance y bajo consumo se sacrificó la cantidad de datos a transmitir, por lo que no se podrá superar los Kbs por cada mensaje.
- **Monitoreo a bajo costo:** Se puede usar espectro no licenciado para supervisar remotamente dispositivos en pequeñas aplicaciones.

ISM

Son bandas reservadas internacionalmente de radiofrecuencia electromagnética para uso no comercial en distintas áreas como la industrial, científica y médica. Dichas bandas actualmente son bastante conocidas por ser usadas en comunicaciones WLAN o WPAN. Estas bandas de frecuencia son de uso libre por lo cual carecen de la necesidad de licencias mientras sean respetadas las regulaciones de los límites potencias permitidas.

A continuación, se detallarán las frecuencias estandarizadas:

- 314 MHZ
- 434 MHz (433.05-434.79 MHz)
- 868 MHz (868-868.6 MHz)
- 915 MHz (902-928 MHz)
- 2.4 GHz (2400-2483.5 MHz)
- 5.6 GHz

Las bandas actualmente utilizadas por los diseños inalámbricos (Wi-Fi) son la 2.4 GHz y la 5.6 GHz. Con respecto a la 2.4 GHz, se puede destacar que está disponible mundialmente lo cual reduce los inconvenientes en cuanto a la logística que pueden surgir cuando hay diferentes regulaciones geográficas para otras bandas ISM.

Tabla 3: Regulaciones mundiales de las bandas ISM

PAÍS	**FRECUENCIA**	**REGULACIÓN**
USA/ CANADA	260 -470 MHz	FCC Part 15.231;15.205
	902-928 MHz	FCC Part 15.247; 15.249
	2400 – 2483.5 MHz	FCC Part 15.247;15.249
EUROPA	433.050-434.790 MHz	ETSI EN 300 220
	863.0-870.0 MHz	ETSI EN 300 440 o ETSI EN 300 328
	2400-2483.5 MHz	ETSI EN 300 440 o ETSI en 300 328
JAPÓN	315 MHz	Aplicaciones de muy baja potencia
	426-430, 449, 469 MHz	ARIB STD-T67

	2400-2483.5 MHz	ARIB STD-T66
	2471-2497 MHz	ARIB RCR STD-33

Nota: Frecuencias de Bandas ISM de acuerdo al país o continente con su respectiva regulación.

Tabla 4: Comparación entre diferentes tecnologías LPWAN

Tecnología	SigFox	LoRa	eMTC (LTE-M1)	NB-IoT
Cobertura	>15 km	>14 km	11 km	15 km
Banda de frecuencia	868/902 MHz	433/868/780/915 MHz	LTE	LTE y 2G
Ancho de banda	100 Hz	<500 KHz	1.4 MHz	200 KHz
Tasa de bits	100 bps	0.3-50 Kbps	1 Mbps	<100 Kbps
Estandarización	De facto	De facto	3GPP Rel. 13	3GPP Rel. 13
VoIP	No	No	Si	No
Vida de batería	>10 años	>10 años	10 años	10 años
Duplicidad	Half Duplex	Half Duplex	Full Duplex	Half Duplex
Coste de despliegue	Medio	Medio	Medio	Medio-Bajo
Latencia	Medio	Rápida-Media	Rápida	Media

Nota: Cuadro comparativo de diferentes tecnologías de acuerdo a diferentes características.

NB-IoT

La tecnología NB-Iot trabaja con la misma estructura que la red LTE admitiendo los requisitos masivos Iot de manera optimizada, utiliza parte de las bandas 2G así también como de las LTE, La combinación de ambas proporciona a esta tecnología una cobertura mayor. Los canales 2G trabajan también con el ancho

de banda 180KHz lo que implica la actualización de las estaciones con la finalidad de ajustarse a la tecnología NB.

La velocidad en que transmite es de 20 a 65 kbps, mayor a la LTE, lo que ocasiona que no se puedan mover los dispositivos ni se transmita voz durante la transmisión, pero a pesar de esto, posee un incremento de cobertura de hasta 15 km y una duración en cuanto a su batería de aproximadamente 10 años.

eMTC

La tecnología eMTC es una tecnología usada primordialmente en las telecomunicaciones y por ende de gran importancia en las redes móviles ya que debido a su gran capacidad de extensa cobertura y enlace permite que la transmisión de datos sea a mayor velocidad. Se ha comprobado que el uso de esta tecnología es de bajo costo ya que a mayor conexión se producirá disminución en el valor de los chips de módulo.

El consumo de energía puede ser de larga duración ya que el uso de baterías puede ser de más de 10 años, lo que reduciría la complejidad de los dispositivos y aumenta el alcance en la cobertura. Durante las comunicaciones la tecnología eMTC permite producir transferencia de voz y reubicación de los equipos.

SigFox

En 2009, la empresa francesa Sigfox decidió desarrollar una tecnología que lleva el mismo nombre. Esta tecnología posee una infraestructura privada de antenas y servidores desplegados por la misma empresa, misma que ofrece servicios de cobertura y tratamiento de mensajes que son recogidos por un servidor Sigfox.

Cuando los mensajes llegan al servidor back-end de Sigfox, al usuario le es posible tratar dichos mensajes mediante una interfaz API (Application Programming Interface o Interfaz de programación de aplicación) y REST, (y Representational State Transfer o Transferencia de Estado Representacional).

Como Sigfox es una infraestructura y red propietarias, el modelo de negocio que siguen está basado en la venta de conectividad. Por este motivo, si un usuario desea utilizar esta tecnología, deberá contratar el servicio por cada dispositivo que vaya a ser conectado durante un periodo de un año. Asimismo, la tasa de bits diaria y la cantidad de nodos desplegados determinará el tipo de conectividad que sería necesaria, por lo que el pago está directamente ligado con estos factores.

La manera en la que funciona la red de Sigfox se simplifica de la siguiente manera: los sensores o motas se interconectan con las estaciones base a través de un enlace de radiofrecuencia, éstas al mismo tiempo se comunican con la nube Sigfox por medio del protocolo IP vía VPN, cuyas siglas significan Virtual Private Network o Red Privada Virtual. Cuando la información se encuentra en la nube puede ser transmitida mediante distintos protocolos hasta los servidores del cliente, ya sea por medio de peticiones HTTP, documentos REST JSON o correo electrónico.

Técnicamente hablando, el enlace de radiofrecuencia de Sigfox posee una tecnología bidireccional, misma que realiza la transmisión de mensajes muy pequeños de máximo 12 bytes de carga útil y 14 bytes de cabeceras. El límite máximo permitido para transmitir diariamente por dispositivo es de 140 mensajes,

lo que representa una tasa de bit igual a 100 bps y un ancho de banda de 100 Hz por mensaje

Las modulaciones usadas por Sigfox son BPSK junto con la tecnología UNB, cuyas siglas significan Binary Phase Shift Key o Modulación por desplazamiento de Fase Binario y Ultra-Narrow Band o Banda Ultra Estrecha respectivamente; y la modulación GFSK, según sus siglas Gaussian Frequency-Shift Keying o Modulación por Desplazamiento de Frecuencia Gaussiana. Las bandas de espectro público usadas en Europa son 868 MHz [868,034 – 868,226], mientras que en el resto del mundo son 902 MHz a 928 MHz, consumiendo un ancho de banda total de 192 KHz.

Con el objetivo de facilitar la recepción de mensajes evitando interferencias, Sigfox realiza la transmisión de dos réplicas de un mismo mensaje en diferentes momentos y frecuencias. Adicionalmente, permite la múltiple recepción de mensajes por diferentes estaciones base, logrando una mejoría en la calidad de servicio y evitando perdidas de mensajes por interferencias. Todos estos factores permiten tener una amplia cobertura que puede llegar desde 30 a 50 km en zonas rurales, y hasta los 3 a 10 km en zonas urbanas, permitiendo obtener cobertura incluso en zonas subterráneas.

Resumiendo, Sigfox está destinado a aquellas aplicaciones que no necesitan transmitir gran cantidad de información durante el día, que no dependan de la transmisión de mensajes en sentido descendente y que necesiten larga duración de las baterías. Al permitir reducir el coste energético por la baja cantidad de bytes

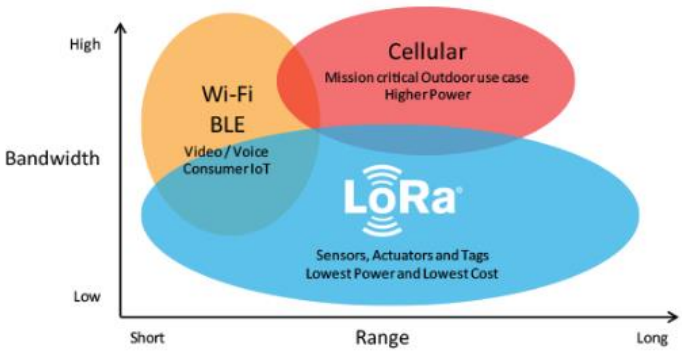
transmitidos, se maximizan los tiempos de reposo al no necesitar sincronización con las estaciones base. Estas características permiten que Sigfox alargue la vida útil de los dispositivos que lo utilizan entre 10 a 15 años.

LORA

Se trata de una tecnología de comunicación inalámbrica de largo alcance que trabaja sobre un espectro de frecuencia no licenciada, misma que ha sido patentada por la empresa fabricante de chips de radio Semtech con su protocolo abierto llamado LORAWAN.

LoRa se basa en la modulación Chirp Spread Spectrum (CSS), que ha sido utilizada desde hace décadas en comunicaciones a nivel militar y espacial. Esta modulación puede lograr comunicaciones a grandes distancias y gran resistencia a interferencias.

Gráfico 9: LoRa llena la brecha tecnológica



Nota: Descripción de como la tecnología LoRa logra ocupar un vacío dejado por otras tecnologías, basándose en el ancho de banda y alcance de la comunicación. Adaptado de https://www.semtech.com/lora/why-lora

VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA LORA

- Permite usar un dispositivo de forma bidireccional, un receptor puede transmitir usando el mismo rango de frecuencia.
- Trabaja sobre la última capa del modelo OSI (capa física). Logrando transmitir a largas distancias.
- Alcanza la entrega de datos de forma simple de punto a punto.
- Utiliza las frecuencias de la banda ISM, dependiendo en que continente se encuentre.
- Bajo consumo energético, por lo que hay larga duración de las baterías.
- Los dispositivos tienen alta sensibilidad para la recepción de datos (-168 dB)
- Alta tolerancia a posibles interferencias.

Gráfico 10: Aplicaciones de la tecnología LoRa

Nota: Aplicaciones en donde se utiliza la tecnología LoRa. Adaptado de: https://www.semtech.com/lora/why-lora

LORA ALLIANCE

A finales de marzo del 2015 se crea una alianza tecnológica a grandes pasos agigantados para ayudar a solventar e impulsar el crecimiento en lo que respecta a la tecnología. Son más de 500 miembros los que conforman esta alianza, entre ellos se encuentra IBM, Cisco, Hewlett Packard, Foxconn, Semtech y Sagemcom, Schneider, Bosch, Diehl y Mueller, además de Pymes y empresas emergentes, además de incluir a grandes operadores de redes móviles que actualmente se encuentran usando tecnología en la implementación de redes públicas.

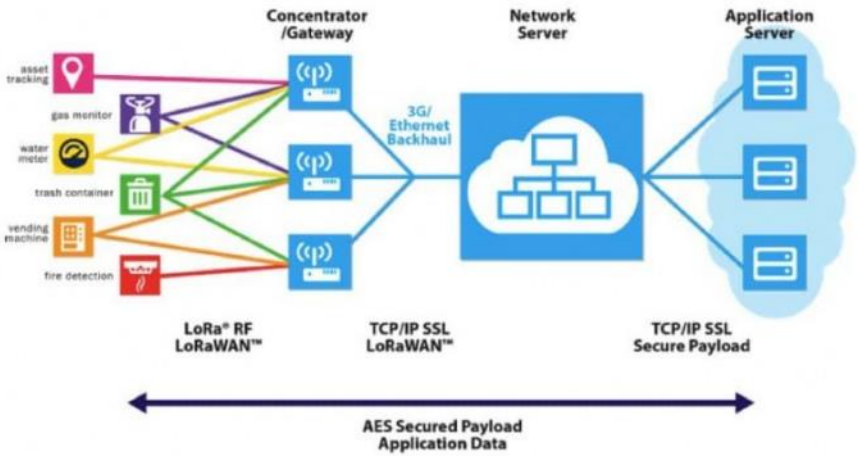
El programa creado por esta alianza garantiza la interoperabilidad lo que certifica su calidad y cumple con las especificaciones requeridas, ya que estimula a

que el volumen para las redes que se encuentren ubicadas en grandes áreas sean de baja potencia. La implementación en las variadas redes de los dispositivos finales de LoRaWAN podrán movilizarse de una a otra red, sin afectar en la infraestructura de esta o del operador.

LoRaWAN

Es el protocolo utilizado por LoRa para LPWAN, está diseñado para dispositivos con bajo consumo energético. Este protocolo apunta a los requerimientos de IoT y está compuesto de sensores y nodos. Los sensores son los nodos finales que envían y reciben información del Gateway, que a su vez es el encargado de recibir y enviar la información a los nodos y a la estación base (servidores de red y de aplicación).

Gráfico 11: Estructura de una red LoRaWAN



Nota: Adaptado de: https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan

Algunas de las características de este protocolo son:

- Conexiones Bidireccionales.
- Encriptación de extremo a extremo.
- Bajo consumo energético.
- Largo alcance de comunicación.
- Bajas velocidades de datos.
- Baja frecuencia de transmisión.
- Conexión de infinidad de sensores y equipos a redes públicas o privadas.
- Interoperabilidad entre diferentes redes LoRaWAN en todo el Mundo.

ARQUITECTURA DE LA RED LORAWAN

Se presenta en una topología de estrella de estrellas en la que el Gateway es el encargado de retransmitir los mensajes entre los nodos (dispositivo final) y un servidor de red central. La conexión entre el Gateway y el servidor de red es por medio de conexiones IP estándar pero los dispositivos finales se comunican de manera inalámbrica mediante un solo salto a uno o varios Gateways.

Las velocidades de la transmisión de los datos oscilan entre 0,3 kbps y 50 kbps y para la seguridad, LoRaWAN utiliza la encriptación AES-128 junto con el intercambio de claves utilizando el identificador IEEE EU164 así como dos capas de seguridad: uno para la red y otro para la aplicación.

- **Network Session Key:** Se encarga de la autenticidad del nodo
- **Aplication Session Key:** Se encarga de saber si el operador tiene permiso para manejar la red

THE THINGS NETWORK (TTN)

The Things Network (TTN) buscando una solución para el avance de la tecnología lanza al mercado en el año 2015 una red creada especialmente para beneficio del internet desde donde se permita solventar abundante conectividad de datos, utilizando tecnología LoRaWAN, la que permite la conexión a internet sin necesidad del uso 3G o Wifi, ya que no existen códigos ni acceso a los dispositivos móviles. Por su excelente alcance, bajo ancho de banda y el mínimo consumo de la batería es lo adecuado para el uso del internet.

En la actualidad existe esta red en más de 90 países, cubriendo mayormente 3.000 pasarelas LoRaWAN, donde los encargados de la construcción, cuidado y pago de portales está a cargo de voluntarios.

Ámsterdam ha sido cubierta la mayor parte de su área urbana, mientras que en Zúrich, Berna y los Países Bajos ya utilizan esta red, que fue instalada en menor tiempo cubriendo aproximadamente a 3,500.000 personas en Berlín en solamente 9 meses.

El “internet de las cosas” (IoT) cuenta con la participación de más de 30.000 voluntarios para un mejor desarrollo e implementación, siendo considerada la red más grande del mundo.

UBIDOTS

UBIDOTS surge en el año 2012 como empresa de servicios de ingeniería junto a Netux como empresa cofundadora, siendo considerada en la actualidad una

plataforma de gran ayuda para el manejo de datos en proyectos IoT por la información desglosada e increíble cantidad de sensores que se utilizan. El enfoque que se le dio inicialmente fue para proyectos de monitoreo, control y automatización de procesos, donde principalmente sus aplicaciones estaban relacionadas con el cuidado de la salud.

En el año 2013 logra que una empresa aceleradora de negocios le brinde el apoyo necesario lo que da resultados favorables. A fines del 2014 contaba con proyectos del cuidado de la salud, energía, manufactura, transporte y distribuidores minoristas, lo que hizo que viera la necesidad de aprender detalles de la plataforma IoT, logrando adaptarse a la evolución de proyectos y necesidades del Internet de las Cosas e Industria 4.0.

Ya para el año 2014 Ubidots brinda los servicios de hardware, software e ingeniería confiable para ecosistemas IoT. Ubidots en el año 2018 lanza la primera versión de nube la que es utilizada por 60.000 usuarios. A partir de este momento su enfoque va dirigido a estudiantes e investigadores, ya que permite que los tres primeros dispositivos conectados por usuario tengan acceso a la nube sin tener ningún costo, permitiendo visualizar y procesar los datos en tiempo real, facilitando el desarrollo y prototipos para su producción. Esta plataforma facilita el envío de datos a la nube desde cualquier dispositivo conectado a internet, a más de configurar acciones y/o alertas que se basan en el análisis de datos. Estos datos enviados a la nube se encuentran doblemente protegidos, cuyo almacenamiento es encriptado contando con el soporte TLS/SSL.

Esta plataforma nos permite como usuarios configurar permisos y grupos para cada módulo del proyecto realizado, además de tener la seguridad de que la información esté disponible para los usuarios vinculados al proyecto.

Ubidots además permite la creación de aplicaciones que convierten la información de los sensores conectados a la tarjeta de desarrollo y por las herramientas o APIs de visualización y análisis de datos con que cuenta se pueden tomar decisiones.

Maneja diversos protocolos de conexión, entre los que se pueden mencionar HTTP, MQTT y TCP.

Fundamentación Legal

A continuación, se presenta el marco legal, las normativas y artículos vigentes en el Ecuador con los que se respalda el presente proyecto.

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR 2008

Sección tercera

Comunicación e Información

Art. 16.- Todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a:

1. Una comunicación libre, intercultural, incluyente, diversa y participativa, en todos los ámbitos de la interacción social, por cualquier medio y forma, en su propia lengua y con sus propios símbolos.

2. El acceso universal a las tecnologías de información y comunicación.

3. La creación de medios de comunicación social, y al acceso en igualdad de condiciones al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias, y a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas.

4. El acceso y uso de todas las formas de comunicación visual, auditiva, sensorial y a otras que permitan la inclusión de personas con discapacidad.

5. Integrar los espacios de participación previstos en la Constitución en el campo de la comunicación

LEY ORGANICA DE TELECOMUNICACIONES

TÍTULO XI

RECURSOS ESCASOS Y OCUPACIÓN DE BIENES CAPÍTULO I

Asignación del espectro radioeléctrico

Artículo 94.- Objetivos.

La administración, regulación, gestión, planificación y control del espectro radioeléctrico perseguirá los siguientes objetivos:

1. Uso eficiente. - Al ser un recurso natural escaso, el espectro radioeléctrico, tanto desde el punto de vista técnico, como económico, debe ser administrado y gestionado en forma eficiente.

2. Uso racional. - Las decisiones sobre el uso deben ser planificadas, ordenadas, adecuadas en lo técnico y económico y encaminadas a la satisfacción del interés público o general y la consecución del Buen Vivir, Sumak Kawsay.

3. Maximización económica. - En la valoración para permitir el uso del espectro radioeléctrico, se debe procurar su máximo rendimiento económico a favor del Estado, para alcanzar el bienestar social, pero considerando los estímulos necesarios para la inversión.

4. Desarrollo tecnológico e inversión. - Se debe promover el desarrollo y la utilización de nuevos servicios, redes y tecnologías de la información y las comunicaciones y su acceso universal a toda la población y fomentar la inversión pública y privada.

5. Comunicación. - Se debe garantizar una comunicación libre, intercultural, incluyente, diversa y participativa, así como la creación y fortalecimiento de medios de comunicación social públicos, privados y comunitarios y el acceso universal a las tecnologías de información y comunicación en especial para las personas y colectividades que carezcan de dicho acceso o lo tengan de forma limitada.

6. Eliminación de interferencias. - Se debe garantizar el uso de las frecuencias sin interferencias perjudiciales, para lo cual se implementarán adecuados sistemas de monitoreo y control.

7. Acceso equitativo y transparente. - El acceso al espectro radioeléctrico deberá realizarse en forma transparente y equitativa.

8. Seguridad pública y del Estado. - El uso del espectro radioeléctrico deberá contribuir a la seguridad pública y del Estado.

9. Flexibilización y convergencia. - La asignación del espectro radioeléctrico debe realizarse con procedimientos ágiles y flexibles y se debe promover y facilitar que las redes inalámbricas soporten varios servicios con diversas tecnologías. La administración, regulación, gestión, planificación y control del espectro radioeléctrico deberá considerar los principios ambientales de prevención, precaución y desarrollo sostenible

Artículo 95.- Planificación.

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones planificará el uso del espectro radioeléctrico tanto para los servicios de telecomunicaciones como para los servicios de radiodifusión, considerando lo establecido en la Constitución de la República y buscando el desarrollo y acceso universal a las tecnologías de la información y las comunicaciones. Deberá considerar, además, las decisiones y recomendaciones de las conferencias internacionales competentes en materia de radiocomunicación. La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones es competente para elaborar, aprobar, modificar y actualizar el Plan Nacional de Frecuencias, instrumento dinámico que contiene la atribución de las frecuencias del espectro radioeléctrico. Toda asignación de frecuencias del espectro radioeléctrico deberá realizarse con estricta sujeción a dicho plan.

Artículo 96.- Utilización.

El uso del espectro radioeléctrico técnicamente distinguirá las siguientes aplicaciones:

1. Espectro de uso libre: Son aquellas bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por el público en general, con sujeción a lo que establezca el ordenamiento jurídico vigente y sin necesidad de título habilitante, ni registro.

2. Espectro para uso determinado en bandas libres: Son aquellas bandas de frecuencias denominadas libres que pueden ser utilizadas para los servicios atribuidos por la Agencia de Regulación y Control y tan sólo requieren de un registro.

3. Espectro para usos determinados: Son aquellos establecidos por la Agencia de Regulación y Control; dentro de este grupo pueden existir asignaciones de uso privativo o compartido.

4. Espectro para usos experimentales: Son aquellas bandas de frecuencias destinadas a la investigación científica o para pruebas temporales de equipo.

5. Espectro reservado: Son aquellas bandas de frecuencias destinadas a la seguridad pública y del estado.

AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES

ANEXO 1
CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA EQUIPOS QUE OCUPEN ESPECTRO DE USO LIBRE

2. BANDAS DE USO LIBRE

2.1 Limites generales

Salvo que en la presente norma técnica se indique lo contrario, ningún transmisor intencional deberá sobrepasar los límites de intensidad de campo indicados en la siguiente tabla

Tabla 5: Límites generales para cualquier trasmisor intencional

Frecuencia (MHz)	Intensidad de campo(µV/m) Distancia de medición(m)	Distancia de medición (m)
0.009-0.490	2400/f (kHz)	300
0.490-1.705	24000/f (kHz)	30
1.705-30.0	30	30
30-88	100	3
88-216	150	3
216-960	200	3
Por encima de 960	500	3

Nota: Adaptado de la Arcotel, fuente: UIT-R SM.2153-5.

2.2 Excepciones o exclusiones de los limites generales

En las siguientes bandas, los límites establecidos reemplazan a los límites generales:

Tabla 6: Límites específicos para transmisores intencionales

Bandas de frecuencia	Tipo de utilización	Límite de emisión
890-915MHz	Señales intermitentes de control	12500 µV/m a 3 m
	Transmisiones periódicas	5000 µV/m a 3 m
	Señales utilizadas para medir las características de un material	500 µV/m a 30 m
915-928 MHz	RLAN	Potencia de salida de cresta de 500 mW
	Sensores de perturbación de campo	500000 µV/m a 3 m
	Teléfonos inalámbricos	50000 µV/m a 3 m
	Señales utilizadas para medir las características de un material	500 µV/m a 30 m
	Señales intermitentes de control	12500 µV/m a 3 m
	Transmisiones periódicas	5000 µV/m a 3 m
5.25-5.35 GHz	Señales intermitentes de control	12 500 V/m a 3 m
	RLAN	Potencia de salida de cresta de 250 mW; Rec. UIT-R M.1450-5
	Transmisiones periódicas	5 000 V/m a 3 m

Nota: Adaptado de la Arcotel, fuente: UIT-R SM.2153-5.

3.2 Antenas

No se pueden utilizar antenas diferentes a aquellas para las cuales el equipo fue diseñado y fabricado.

ANEXO 2

CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA USO DETERMINADO DE BANDAS LIBRES, UDBL

2. Bandas UDBL

Tabla 7: Límites a las transmisiones de espectro ensanchado

Banda UDBL	**Banda UDBL Tipo de Enlace/ Sistema**		
	Punto a punto	Punto a multipunto	Móvil
915 – 928 MHz	X	X	X
2400 – 2483.5 MHz	X	X	X
5150 – 5250 MHz	X	X	X
5250 – 5350 MHz	X	X	X
5470 – 5725 MHz	X	X	X
5725-5850 MHz	X	X	X
24.05 – 24.25 GHz	X	No permitido	No permitido
57 – 64 GHz	X	No permitido	No permitido

Nota: Adaptado de la Arcotel.

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC)

7. Requisitos mínimos para protección contra incendios en las edificaciones.

7.2.2 Sistemas de Detección y Alarma

a. Se debe cumplir con los requisitos establecidos en la NFPA 101, con base a la ocupación y uso de la edificación. b. En el caso de instalación de sistemas de detección y alarmas se debe aplicar la norma NFPA 72, la cual tiene como propósito definir los medios para activar señales, transmitirlas, notificarlas y anunciarlas, los niveles de desempeño, la confiabilidad de los diversos tipos de alarmas de incendios, sistemas de alarmas de estaciones de supervisión, sistemas públicos de reporte de alarmas de emergencias, equipos de advertencias de incendios, sistemas de comunicaciones de emergencias y sus componentes.

CÓDIGO NACIONAL DE ALARMAS DE INCENDIO Y SEÑALIZACIÓN

CAPÍTULO 27. Sistemas públicos de Reporte de Emergencias.

27.1 Aplicación.

27.1.1. Las disposiciones del presente capítulo se aplican a la adecuada configuración, desempeño, instalación y funcionamiento de los sistemas públicos de reporte de alarma de emergencia y de los sistemas de alarma auxiliares.

27.1.1.1 Los sistemas públicos de reporte de alarma de emergencia deben estar compuestos por estaciones de alarmas y equipos de procesamiento de alarmas que establezcan comunicaciones a través de una o más redes cableadas o inalámbricas, de una vía o de dos vías, que cumplan con los requisitos del presente capítulo.

ACUERDO Nro. MINEDUC-MINEDUC-2021-00052-A

CAPÍTULO III RENOVACIÓN O ACTUALIZACIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Artículo 8.- Renovación del funcionamiento de las instituciones educativas particulares, fiscomisionales y municipales.

Para este proceso el promotor o representante legal de la institución educativa particular, fiscomisional o municipal deberá presentar ante el nivel de gestión zonal los siguientes requisitos:

4. Documento que certifique que el inmueble donde presta sus servicios el establecimiento educativo cuenta con el permiso de funcionamiento emitido por Gobierno Autónomo Descentralizado competente, y el permiso de funcionamiento emitido por el cuerpo de bomberos que servirán para emitir la certificación otorgada por el Nivel Zonal de que las edificaciones de la institución cumplen con los estándares de infraestructura y equipamiento;

5. Registro del Plan de reducción de riesgos;

ACUERDO 01257 (REGISTRO OFICIAL EDICIÓN ESPECIAL 114, 2-IV-2009)

REGLAMENTO DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DEL MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL

Art. 115.- Todas las edificaciones deben contar con los sistemas y equipos necesarios para la prevención y el combate de incendios, los cuales deben mantenerse en condiciones de ser operados en cualquier momento, debiendo ser

revisados y aprobados periódicamente y contar con la autorización anual del Cuerpo de Bomberos de cada jurisdicción.

Pregunta científica a contestarse

¿Qué beneficios podrían obtenerse a través de la implantación de un sistema de detección de incendios basado en redes LPWAN para las instituciones educativas del norte de Guayaquil?

Definiciones Conceptuales

SISTEMA DETECCION DE INCENDIOS: Sistema de control para la detección de incendios supervisando a través de detectores, humo, temperatura, gas y otros.

LPWAN: (Low Power Wide Area Network) red de área amplia y baja potencia, también conocidas como LPWA O LPN, son tecnologías de transmisión inalámbrica de datos que permiten la transmisión entre un dispositivo y un gateway que pueden encontrarse a cientos de kilómetros con un bajo consumo energético.

LORA: Tecnología de modulación inalámbrica de amplio espectro y de bajo consumo energético patentada por Semtech.

GATEWAY: Gateway o puerta de enlace en español, es un dispositivo que interconecta las arquitecturas diferentes y redes con protocolos a todos los niveles de comunicación. Tiene como finalidad traducir la información del protocolo utilizado en la red hacia la red de destino.

SENSOR: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

REDES INALAMBRICAS: término para establecer la conexión de nodos mediante ondas electromagnéticas y que carece de cables.

APIS: Interfaz de programación de aplicaciones, que promueve que los servicios y dispositivos se comuniquen con otros.

CAPITULO III

PROPUESTA TECNOLÓGICA

Análisis de factibilidad

La elaboración de un prototipo para el diseño e implementación de un sistema de detección de incendios es sostenible y viable ya que beneficia a las instituciones educativas en cuanto a la optimización de recursos en la instalación de estos sistemas a diferencia de los sistemas tradicionales. La factibilidad se analizará de acuerdo con las siguientes clasificaciones:

- Factibilidad Operacional
- Factibilidad Técnica
- Factibilidad Legal
- Factibilidad Económica

Factibilidad operacional

La factibilidad operacional determina el grado de aceptación que tiene el presente proyecto dentro de las instituciones educativas que poseen más de un pabellón o edificación que requieren de un sistema de detección de incendios en sus instalaciones para obtener el respectivo permiso de funcionamiento. Beneficiando así, a la comunidad educativa asegurando la prevención de un siniestro antes de que llegue a ser incontrolable. Esto gracias al monitoreo continuo que presenta y el sistema de envío de alertas mediante mensajes de texto o correo electrónicos al

encargado y las autoridades pertinentes. Otro beneficio que posee este nuevo sistema con tecnología LoRaWAN es que carece del uso de cableado con lo que se busca reducir el alto costo que se genera en material y disminuir el tiempo de instalación.

Factibilidad técnica

Se analizaron varias marcas de dispositivos y de servidores teniendo en cuenta las características necesarias para crear el prototipo de un sistema de detección de incendios que cumpla con los objetivos planteados.

Los dispositivos por utilizar fueron elegidos siguiendo características que permitan que el proyecto funcione de una forma óptima y son detallados a continuación.

Tabla 8: Dispositivos requeridos para el proyecto

Dispositivo	**Modelo**
Gateway	Dragino LPS8
Sensor de temperatura	Dragino LTC2 con sensor PT100
Sensor de temperatura, humedad y calidad de aire	Dragino LAQ4

Nota: Lista de modelos de dispositivos a utilizarse durante el desarrollo del proyecto.

En el caso de los servidores, también se analizaron características que funcionen de forma óptima.

Tabla 9: Servidores a utilizar

Servidor	**Descripción**
The Things Network (TTN)	Permite la interpretación de los datos.
Ubidots	Permite un control y visualización sencilla de los datos

Nota: Lista de servidores a utilizarse durante el desarrollo del proyecto.

Factibilidad legal

El objetivo de la factibilidad legal es determinar si el presente proyecto cumple con las normativas vigentes para la implementación de un sistema de detección de incendios dentro del territorio ecuatoriano. Habiendo constatado las diferentes reglamentaciones se pudo determinar la implementación de este proyecto cumple con las normativas de las entidades reguladoras.

Factibilidad económica

El presente proyecto es factible económicamente ya que beneficia a las instituciones educativas especialmente a las que poseen varios pabellones logrando establecer un ahorro significativo debido al bajo costo de la instalación de este prototipo y al poco consumo energético del mismo.

El presupuesto para la elaboración del proyecto se detallará en un cuadro a continuación:

Tabla 10: Presupuesto del prototipo

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	Gateway Dragino LPS8	$159,00	$159,00
1	Sensor de temperatura Dragino LTC2 con sensor PT100	$58,00	$ 58,00
1	Sensor de temperatura, humedad y calidad de aire Dragino LAQ4	$68,00	$58,00
1	Patch cord UTP cat 6A (1 m)	$4,50	$4,50
1	Costes del Courier para la importación de los dispositivos	$118,56	$118,56
	TOTAL		$398,06

Nota: Costos de cada uno de los dispositivos a utilizarse durante el desarrollo del proyecto y el costo total del proyecto.

Etapas de la Metodología del Proyecto

Se utilizo la metodología PMI que consta de cuatro fases, que se detallan a continuación:

Fase I: Requerimiento

La fase de requerimiento se procedió a analizar el problema a tratar, donde se determinó que ciertas instituciones educativas que cuentan con más de un pabellón suelen invertir un presupuesto elevado en cuanto a la instalación de los sistemas contra incendios tradicionales. Se revisaron y aprobaron tanto los objetivos

generales y específicos para finalmente definir los requisitos para el esquema de funcionamiento del sistema.

Fase II: Diseño

Al ser un proyecto de IoT, basándose en las redes inalámbricas de sensores (WSN) el prototipo debe tener una topología de estrella, ya que es la opción que tiene mayor ahorro energético. Los elementos que componen el prototipo son un Gateway (LPS8) y dos sensores: Uno de temperatura (LTC2) y otro de temperatura, humedad y calidad de aire (LAQ4).

Los equipos son marca Dragino y fueron seleccionados cumpliendo varios puntos. El primero es que el prototipo debe funcionar de la mejor manera. El segundo punto es que al producirse un incendio aparecen dos condiciones importantes: la primera es que aumenta la temperatura y la segunda es que existe contaminación en el aire, por ese motivo se requiere un sensor que pueda medir la temperatura, y un sensor que pueda medir la cantidad de CO2 en el aire, así como compuestos orgánicos volátiles (VOC) que se producen al quemarse algún material solido o líquido.

Tabla 11: Características de dispositivos a usar

Gateway Dragino LPS8	**Sensor de temperatura LTC2**	**Sensor de temperatura, humedad y calidad de aire LAQ4**
-Sistema Open Source OpenWrt -1 x SX1308 + 2 x 1257 LoRa Transceiver -1 puerto 10M/100M RJ45 -1 WiFi 2.4G (802.11 bgn) -1 puerto host USB -Voltaje de entrada vía USB tipo C: 5V, 2A -Controlado por Web GUI, SSH vía LAN o WiFi -Emula 49x LoRa demuladores -Con 10 rutas de demulación paralelas programables -Características del sensor de temperatura LTC2	-Frecuencia de transmisión (US915) -Incluye una batería de 8500mA Li-SOCI2 (no incluida) -Permite monitorear la temperatura para diferentes entornos -Cuenta con dos interfaces ADC internas de 16 bits -Es compatible con LoRaWAN v1.0.3 -Tiene un conjunto de claves únicas -Tiene un sensor de temperatura PT-100 de tres hilos	-Frecuencia de transmisión (US915) -Rango de medición de TVOC: 0ppb a 29206ppb -Rango de medición de eCO2: 400ppm a 32768ppm (dióxido de carbono equivalente calculado) es diferente al CO2 real -Rango de temperatura: -40 a 80°C ±0.3 @ 0-90°C -Resolución: 0.01°C -Rango de humedad: 0 a 99.9%HR ± 3%RH (0 ~ 100%RH) -Resolución: 0.04%HR -LoRaWAN v1.0.3 Clase A -Soporta comandos AT para cambio de parámetros -Ajuste automático del tiempo. Recuperación remota de datos -Transferencia ascendente en forma periódica o Interrupción -transferencia descendente para cambiar la configuración

	-Ultra bajo consumo de potencia -Funciona con batería de Li-SOCI2 4000mAh

Nota: Características de los tres dispositivos a utilizarse durante el desarrollo del proyecto.

Fase III: Implementación

Encendido del gateway y conexión a la red mediante ethernet

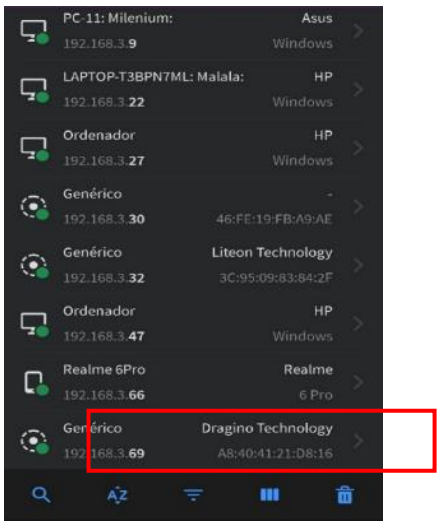
Se conecta el gateway LPS8 a la red mediante un cable ethernet, y se procede a conectar el cable de alimentación al tomacorriente.

Gráfico 12: Conexión del LPS8 a internet y al tomacorriente

Nota: Conexión del gateway LPS8 a la red mediante un cable ethernet.

Con el celular, se abre la aplicación Fing, la cual permite detectar todos los dispositivos conectados a la red. Esto se realiza para saber cuál es la dirección IP del gateway.

Gráfico 13: Identificación de la dirección Ip del gateway



Nota: Uso de la aplicación Fing para detectar la dirección Ip del gateway LPS8.

Ahora que se conoce la dirección Ip del gateway, se procede a introducir dicha dirección en el navegador de esta forma “<IP>:8000” para acceder al web login.

Se va a abrir un cuadro de dialogo para solicitar el acceso. Para acceso por web login el usuario por defecto es “*root”* y la contraseña es “d*ragino”*.

Gráfico 14: Acceso a las configuraciones del gateway mediante web.

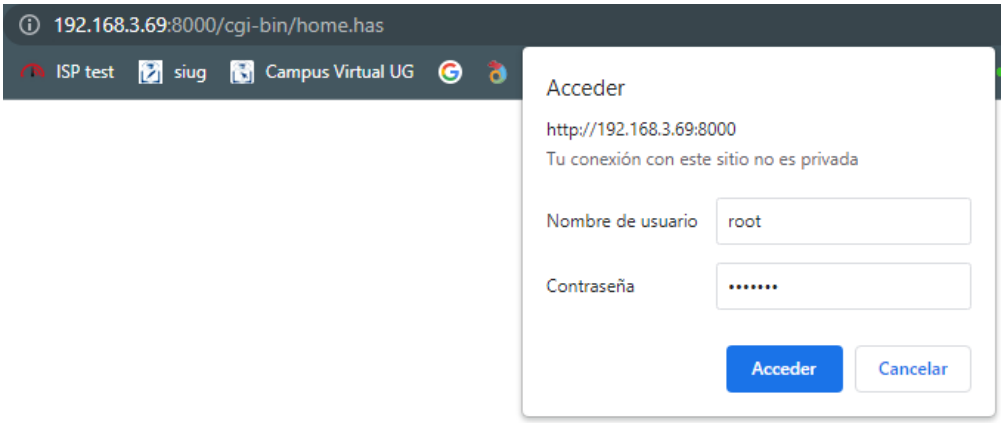
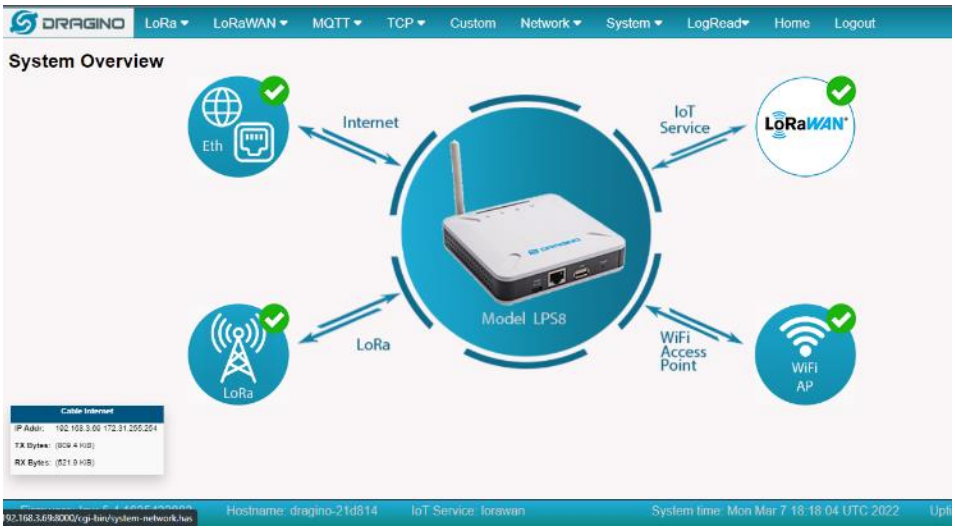


Gráfico 15: Pantalla de visualización del gateway Dragino



En la parte superior derecha se visualiza si el dispositivo tiene conexión a internet o no. Como se visualiza el símbolo verde, significa que el Gateway tiene acceso a internet.

También se puede ver la configuración LoRa, la configuración LoRaWAN y en caso de que se requiera la configuración del gateway como un punto de acceso a internet.

Se da clic en la pestaña LoRaWAN, semtech UDP, se visualiza el ID del Gateway, el cual es necesario para conectarlo a plataformas como TTN o Ubidots.

Gráfico 16: Ingreso a Semtech UDP

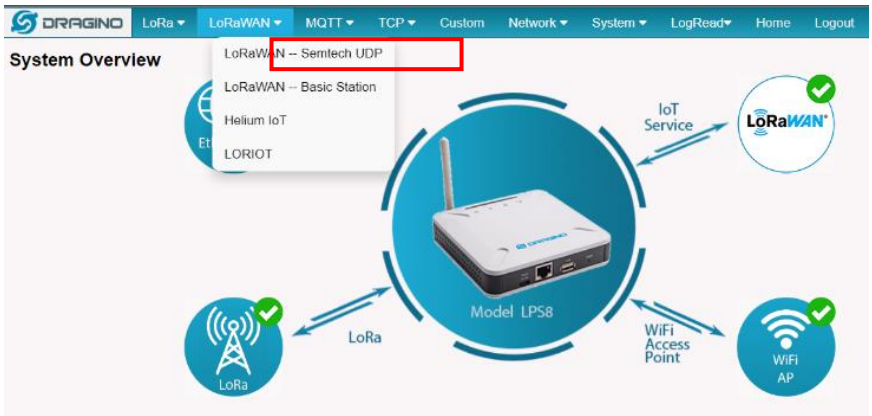
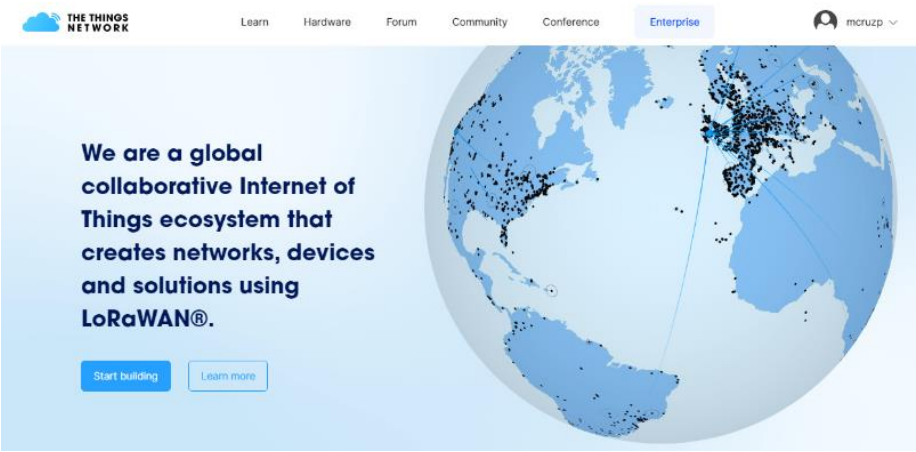


Gráfico 17: Identificación del Gateway ID

Se tiene que copiar el Gateway ID, que se va a utilizar para poder conectar el gateway a la plataforma The Things Network (TTN).

Ir a la dirección thethingnetwork.org para crear una cuenta.

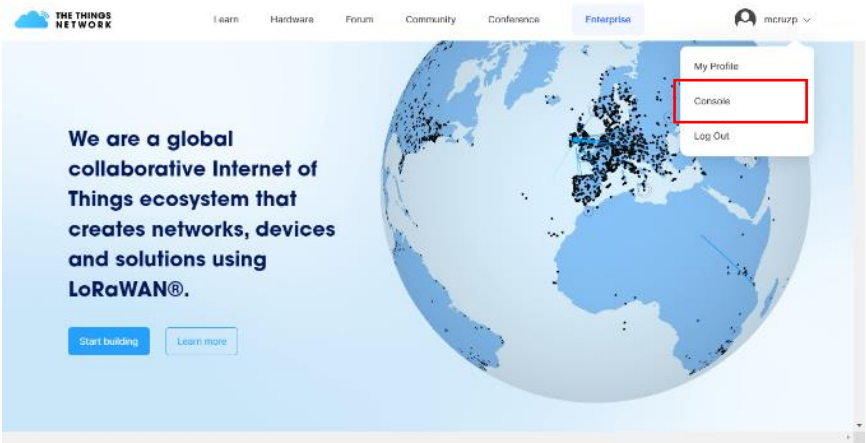
Gráfico 18: Pantalla de inicio de thethingnetwork.org



La creación de la cuenta se encuentra en Anexos.

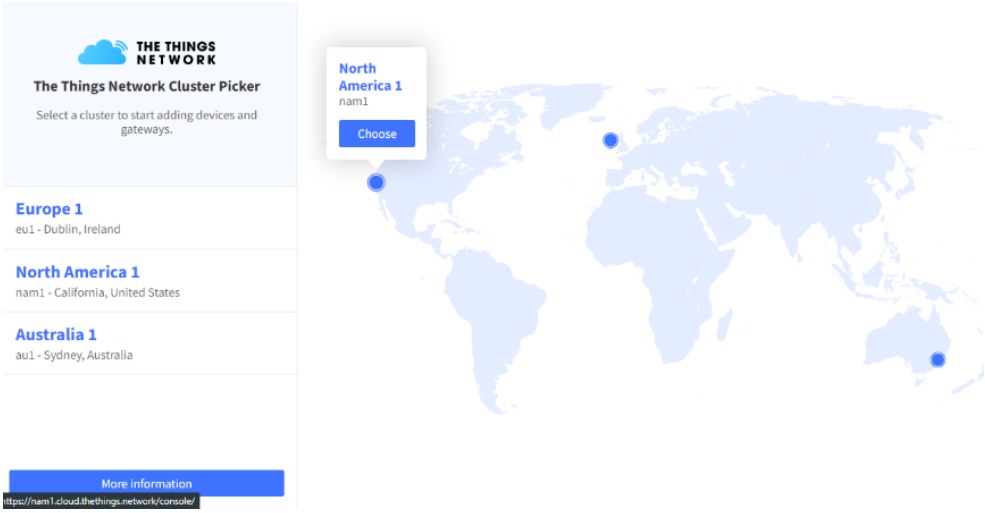
Una vez creada la cuenta, se accede a la consola. Solo se debe dar clic en la flecha junto al nombre de usuario y luego clic en consola (console).

Gráfico 19: Ingreso a la consola



Para escoger el servidor hay que revisar la frecuencia con la que trabajan los dispositivos. En este caso la frecuencia de los dispositivos es US915, por lo que se escoge el servidor North America 1 (nam1)

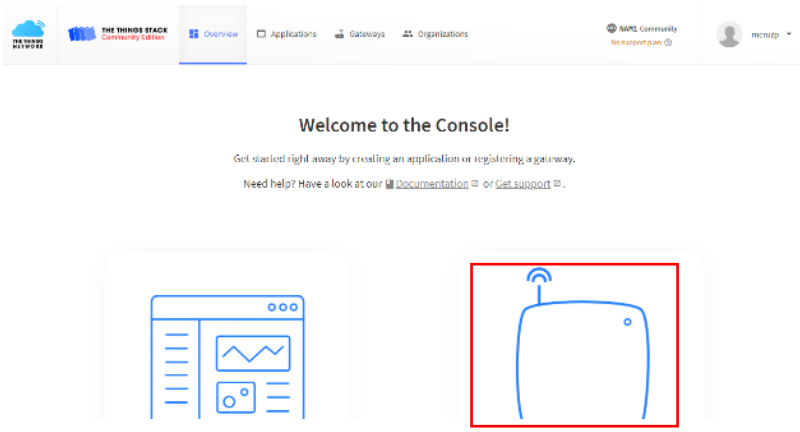
Gráfico 20: Selección del servidor para la red LoRaWAN



Configuración del Gateway en la plataforma TTN

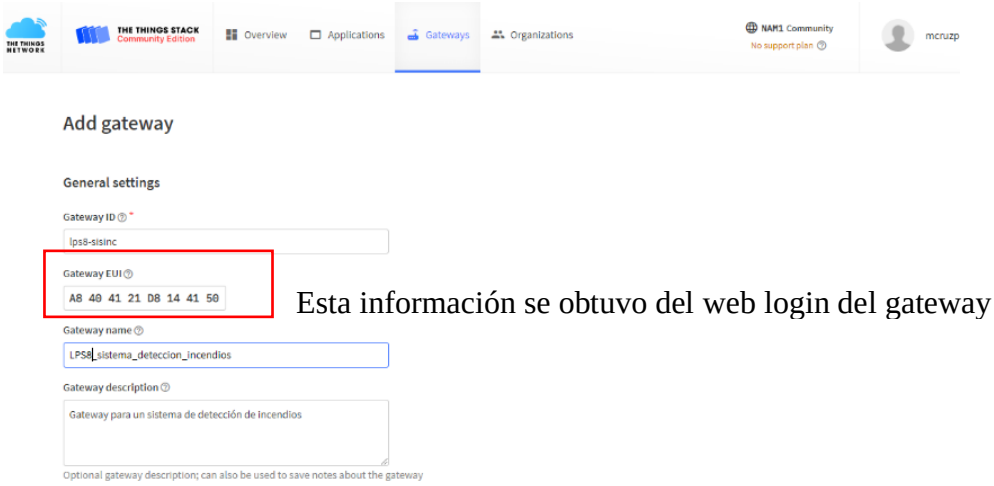
Una vez que se selecciona el servidor, se habilita la consola. Ahí es donde se pueden agregar el gateway y los sensores. Primero se agrega el gateway que es la opción de la derecha.

Gráfico 21: Vista general de la consola



Al dar clic se habilita la opción de agregar gateway. El Gateway ID, Gateway name y gateway description corresponde a información ingresada por parte del usuario, pero el Gateway EUI es el Gateway ID que se obtuvo del web login del Gateway. EL Gateway EUI si debe ser ingresado de acuerdo con dicha información obtenida.

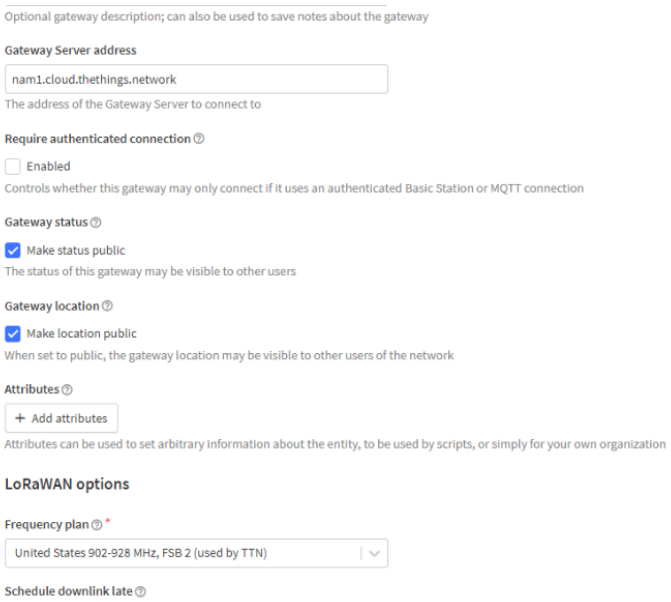
Gráfico 22: Ingreso de información general del Gateway



Esta información se obtuvo del web login del gateway

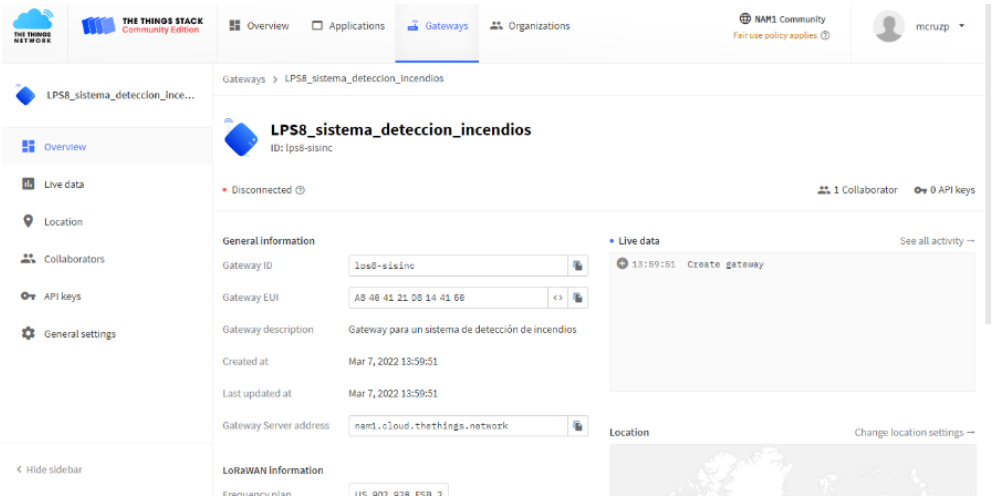
Se debe corroborar que el Gateway Server address coincida con el de la configuración del Gateway, que para este caso es *nam1.cloud.thething.network*. Luego se escoge el plan de frecuencia (frequency plan), el cual es Estados Unidos 902-928 MHz, FS2 (used by TTN) ya que permite conectarnos al TTN.

Gráfico 23: Selección del plan de frecuencia y la dirección del servidor del gateway



Aparecerá el Gateway, pero si se observa aparece como desconectado, para poder activarlos se debe regresar a la dirección del Gateway.

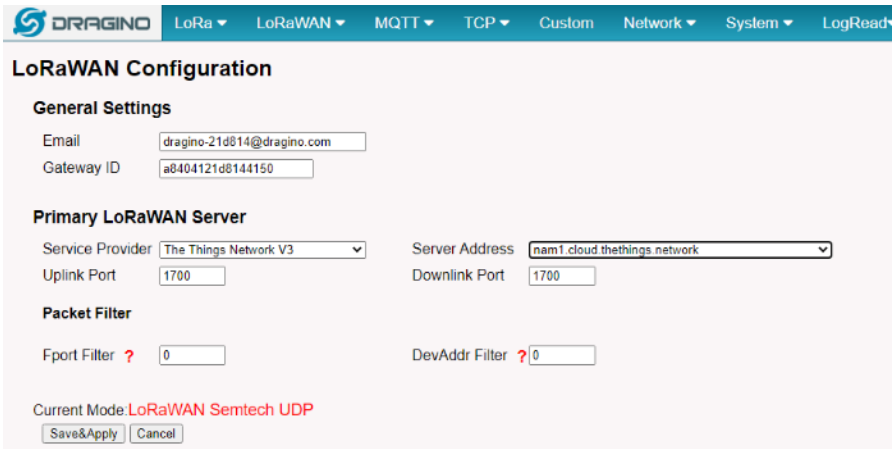
Gráfico 24: Visualización del gateway configurado



Ahora se va a configurar el Gateway LPS8 para que se conecte a TTN, para ello se debe verificar que tenga conexión a internet.

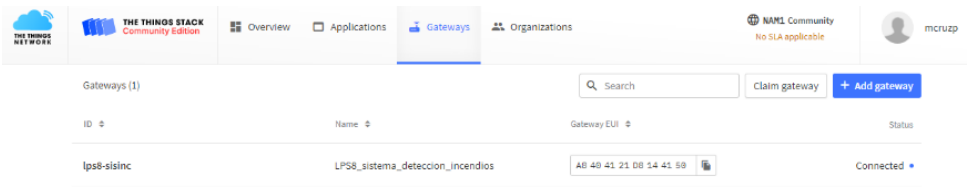
Lo único que se debe verificar es que en la parte de Primary LoRaWAN Server, debe estar la dirección del servidor que es "*nam1.cloud.thethings.network*" (que fue la que se seleccionó en TTN).

Gráfico 25: Selección de la dirección del servidor en el gateway



Se guardan los cambios y si se refresca la página en TTN, en la parte de Gateway, se puede ver que el Gateway ya aparece como conectado.

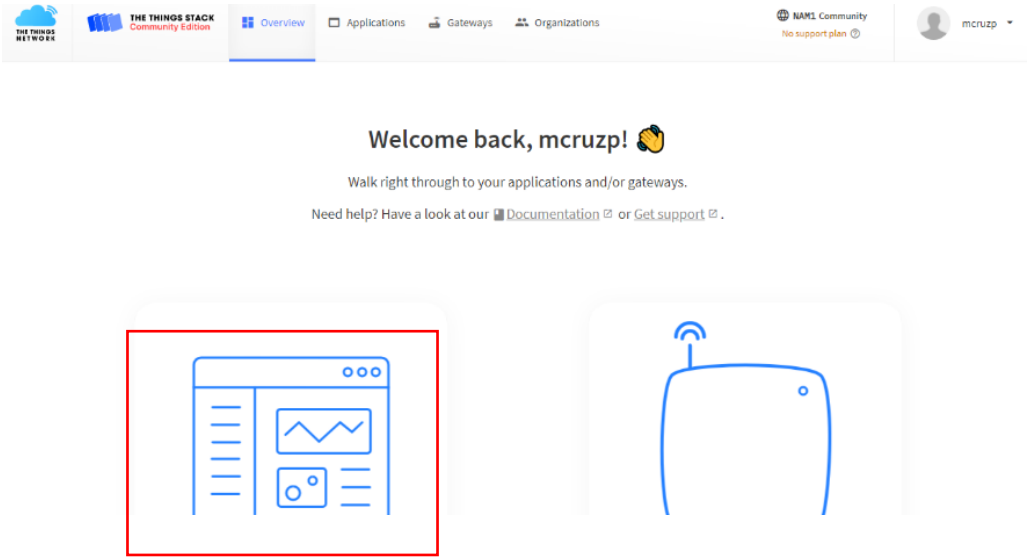
Gráfico 26: Confirmación del gateway conectado



Creación de Aplicaciones que son los contenedores de los datos transmitidos por los sensores

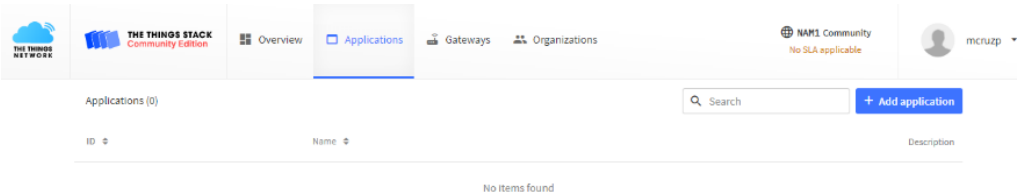
Los sensores van dentro de las aplicaciones, por lo cual después de agregar el gateway se debe crear la aplicación. En la parte de vista general (Overview), se escoge la opción de aplicación (aplication en la parte izquierda)

Gráfico 27: Vista general de consola para agregar aplicaciones



Se da clic en la parte izquierda, y en la pantalla que se muestra se debe escoger la opción de agregar aplicación (+Add aplication).

Gráfico 28: Agregar sensor (agregar aplicación en TTN)



El usuario es el encargado de asignar el ID de la aplicación que crea conveniente y se recomienda agregar una pequeña descripción en caso de ser necesario. Con eso listo se puede crear la aplicación.

Gráfico 29: Selección del Identificador de la aplicación que va a contener a los sensores

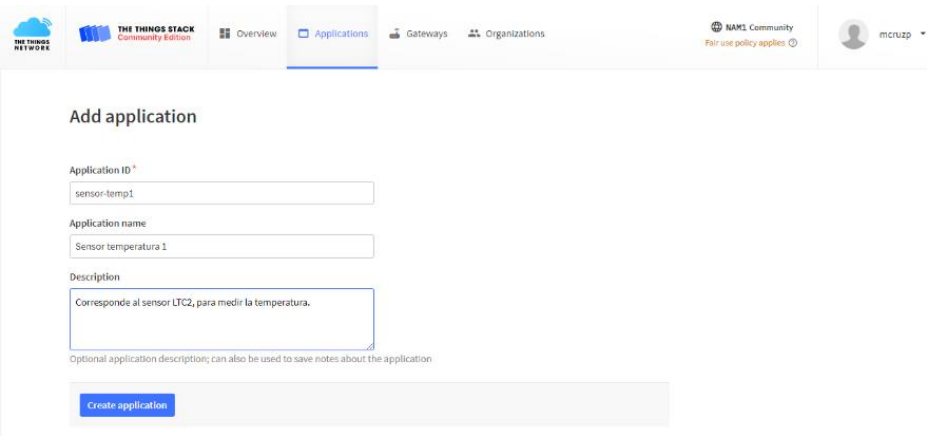
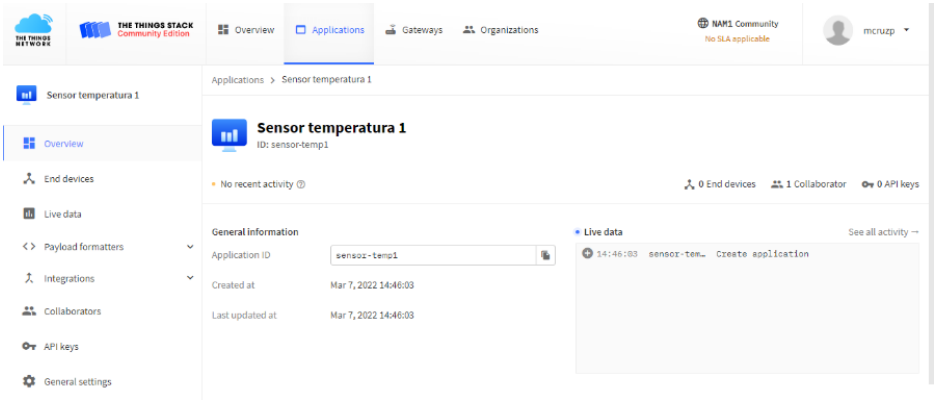


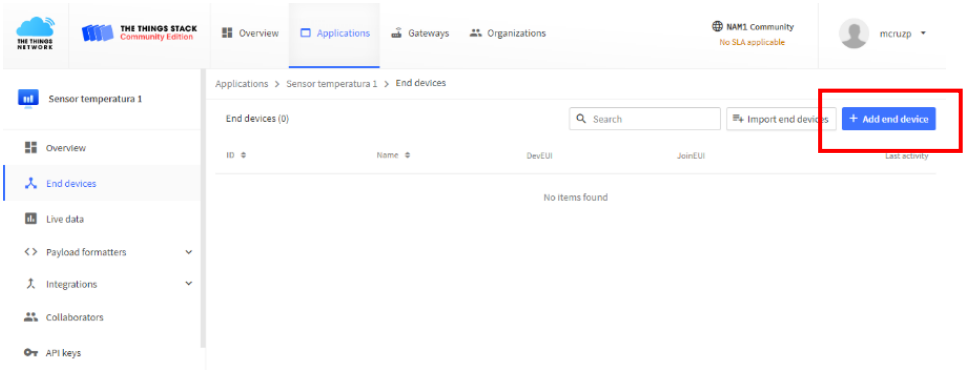
Gráfico 30: Verificación de la aplicación creada en TTN



Configuración del sensor LTC2 en la plataforma TTN

Ahora que esta creada la aplicación, se debe crear los sensores, para eso se da clic en Agregar nodo final (+ Add End Device)

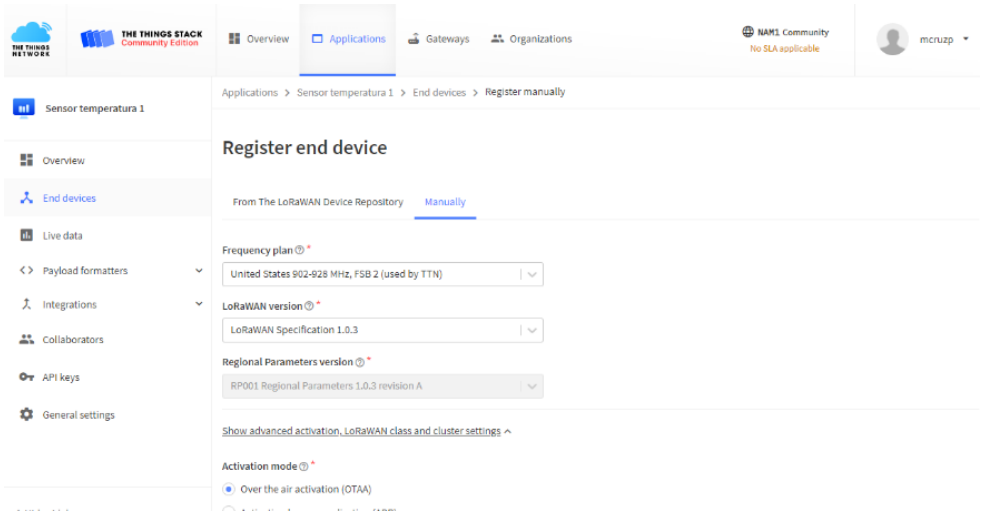
Gráfico 31: Agregar sensores a la aplicación en TTN



En el registro del sensor, se debe escoger la opción Manual (Manually), luego se selecciona el plan de frecuencia (United States 902-928 MHz, FSB2 used by TTN). Como el sensor que se va a agregar es el LTC2 (sensor de temperatura) , la versión del LoRaWAN debe ser la 1.0.3

Adicional a eso dar clic en la opcion de mostrar activacion avanzada (show advanced activation) para poder verificar que este la activacion por aire OTAA (On The Air Activation).

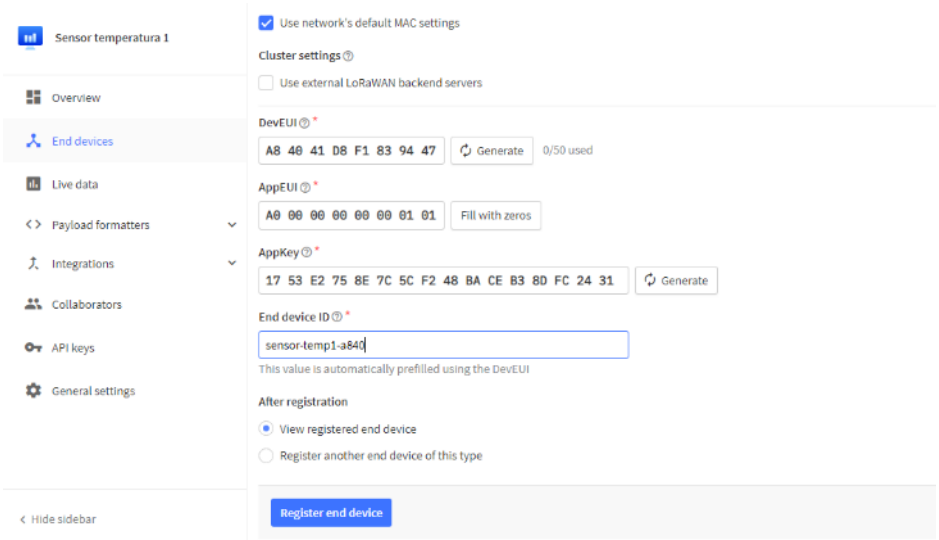
Gráfico 32: Selección de frecuencia, versión de LoRaWAN y OTAA



El DevEUI, AppEUI, AppKey viene en un adhesivo en el interior de la caja donde viene el sensor. Esa información es la que se va a ingresar en la plataforma TTN.

Gráfico 33: Adhesivo con las Credenciales del dispositivo.

Gráfico 34: Ingreso del DevEUI, AppEUI, AppKey en la plataforma TTN para el sensor LTC2

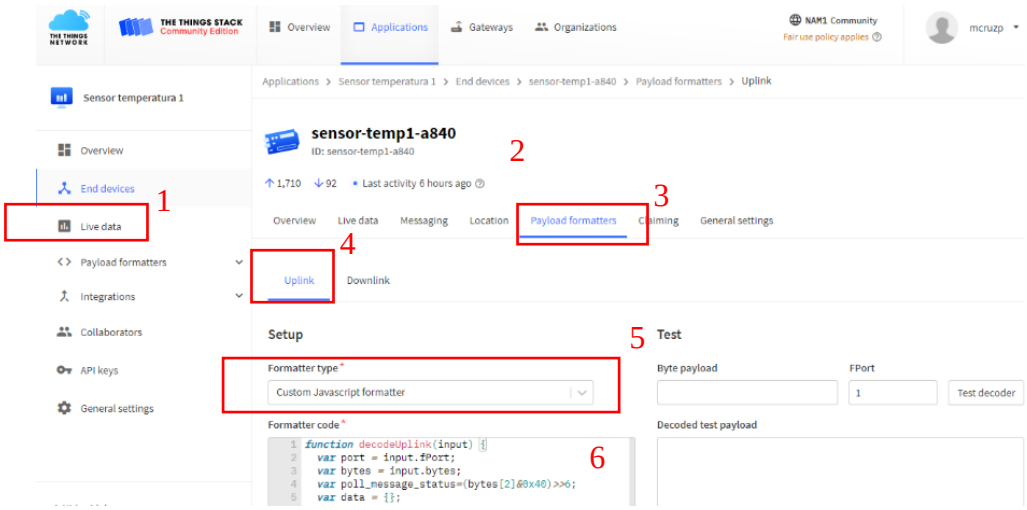


Ahora falta el formateador de carga útil (payloader formatter) para que la plataforma TTN sepa como analizar e interpretar el valor de carga del sensor LTC2.

Para acceder al formateador, se debe dar clic en Dispositivos finales (End Devices) (1), seleccionar el sensor (2) y escoger la opción Formateador de carga útil (Payloader formatter) (3) para seleccionar la parte de carga ascendente (Uplink) (4).

En tipo de formateador (Formatter type) se selecciona la opción de Formateador de javascrit (Custom Javascript Formatter) (5) y se procede a borrar el código fuente que viene escrito por defecto (6).

Gráfico 35: Ingreso al formateador de carga útil del dispositivo y borrado del código fuente.



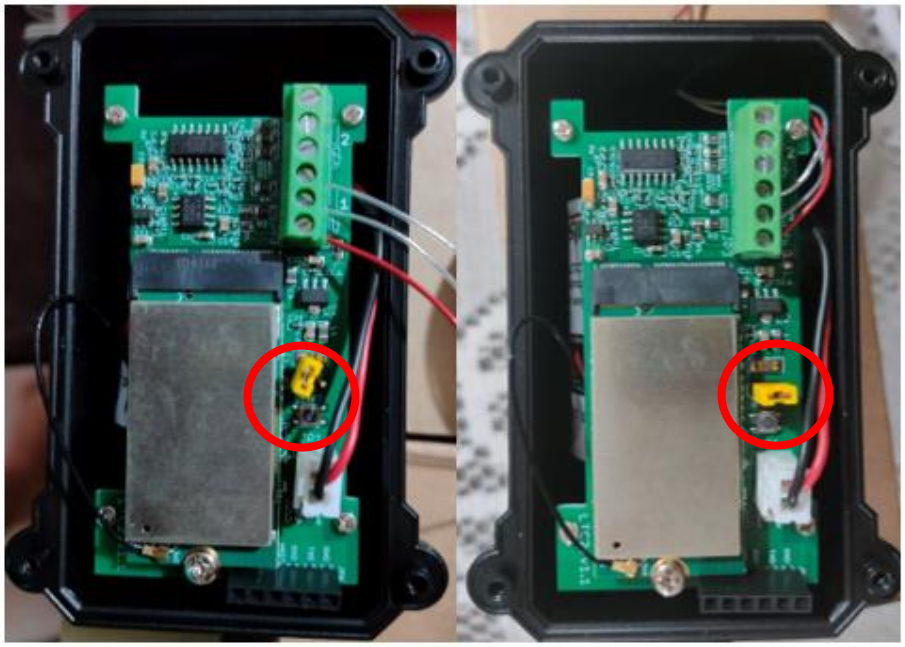
Una vez que se borra el código fuente de formateador, se debe ingresar el siguiente código:

Gráfico 36: Código fuente del formateador de carga útil (ascendente) del sensor LTC2

```
function decodeUplink(input) {
  var port = input.fPort;
  var bytes = input.bytes;
  var poll_message_status=(bytes[2]&0x40)>>6;
  var data = {};
  switch (input.fPort) {
    case 2:

  if(poll_message_status===0)
  {
  data.Ext= bytes[2]&0x0F;
  data.BatV= ((bytes[0]<<8 | bytes[1]) & 0x3FFF)/1000;

  if(data.Ext==0x01)
  {
    data.Temp_Channel1=parseFloat(((bytes[3]<<24>>16 | bytes[4])/100).toFixed(2));
  }
  else if(data.Ext==0x02)
  {
    data.Temp_Channel1=parseFloat(((bytes[3]<<24>>16 | bytes[4])/10).toFixed(1));
  }
  else if(data.Ext==0x03)
  {
    data.Res_Channel1=parseFloat(((bytes[3]<<8 | bytes[4])/100).toFixed(2));
  }

  data.Systimestamp=(bytes[7]<<24 | bytes[8]<<16 | bytes[9]<<8 | bytes[10] );
  }

  return {
        data:data,
      };
      default:
   return {
     errors: ["unknown FPort"]
   }
  }
  }
}
```

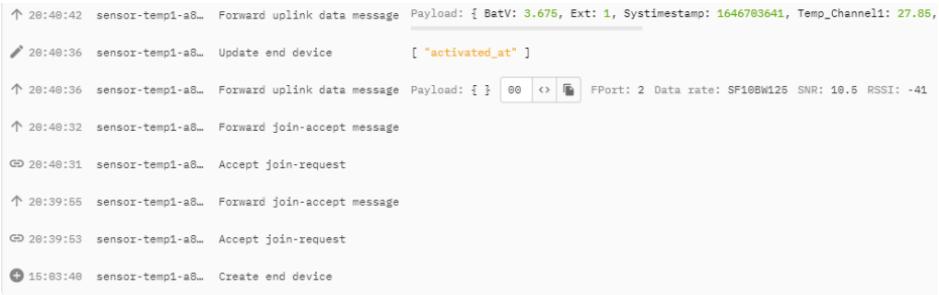
Una vez que el código del formateador este cargado y guardado, se debe ir al sensor, abrirlo y conectar el jumper de encendido ya que viene desconectado por defecto para preservar la carga de la batería.

Gráfico 37: Jumper en posición apagado/posición encendido del sensor LTC2



En el instante en que se conecte el jumper de forma correcta, el dispositivo se va a conectar de forma automática a la red TTN a través del Gateway LPS8. Después de unirse de forma exitosa, El dispositivo LTC2 va a empezar a enviar mensajes con los datos de la batería, tiempo (Systimestamp) y de la temperatura al servidor TTN.

Gráfico 38: Mensajes entre la plataforma TTN y el sensor LTC2 hasta el primer mensaje con datos



Ahora que se ve que el sensor está transmitiendo los datos, se debe considerar que por defecto los paquetes son enviados cada 20 minutos. Para modificar la tasa de transferencia (lo recomendable sería a 90 segundos). Para eso, seleccionar la opción de messaging, luego se selecciona la opción de descendente (downlink)

En la parte carga útil (payload) escribimos 01 00 00 5A, que es el formato HEX para 90 segundos

Gráfico 39: Cambio del intervalo de transferencia de datos a 90 segundos

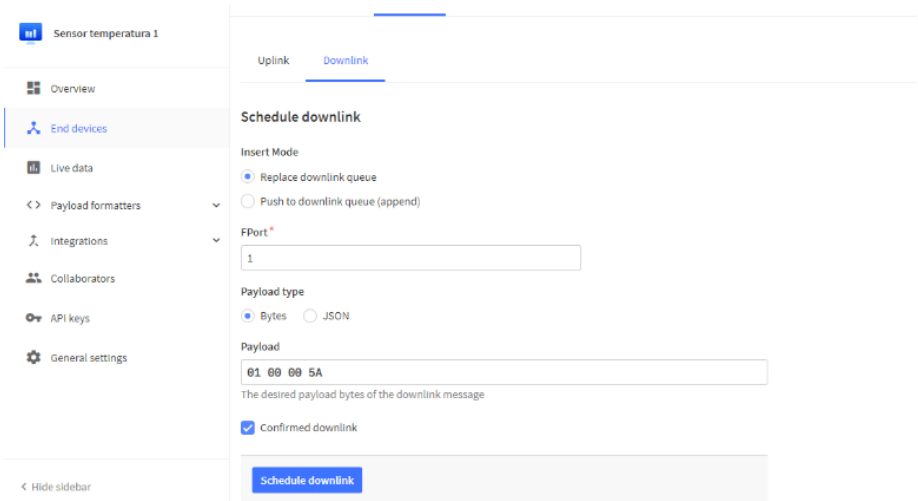


Gráfico 40: Verificación de que el intervalo de tiempo para envío de datos sea de 90 segundos

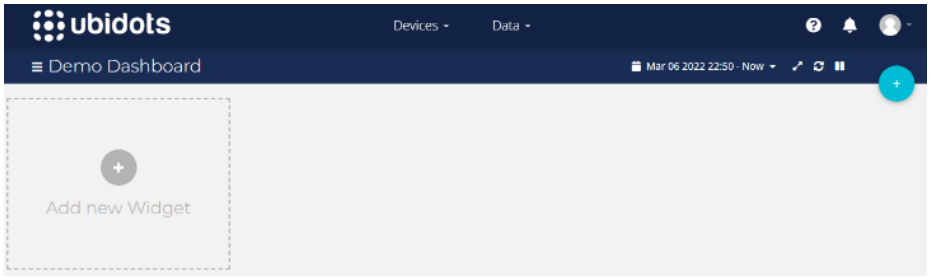
La configuración del sensor LAQ4 (temperatura, humedad, calidad de aire) se encuentra en los Anexos.

Integración de la plataforma TTN con la plataforma Ubidots

Ahora que se tienen los sensores conectados y transmitiendo datos a la plataforma TTN, se va a integrar dicha plataforma con Ubidots, para tener una visualización más sencilla mediante la creación de visualizadores gráficos (Widgets) y poder crear eventos de alerta.

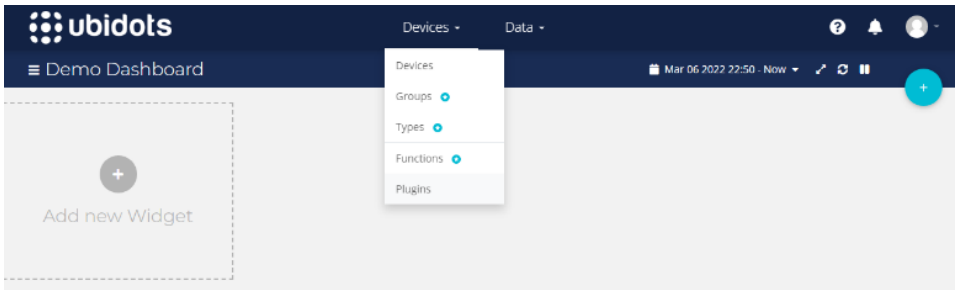
Se introduce Ubidots.com en el explorador y se crea una cuenta. La cuenta va a ser Stem o gratuita, ya que es solo para uso personal o educacional.

Gráfico 41: Pantalla inicial cuando se accede con una cuenta a Ubidots



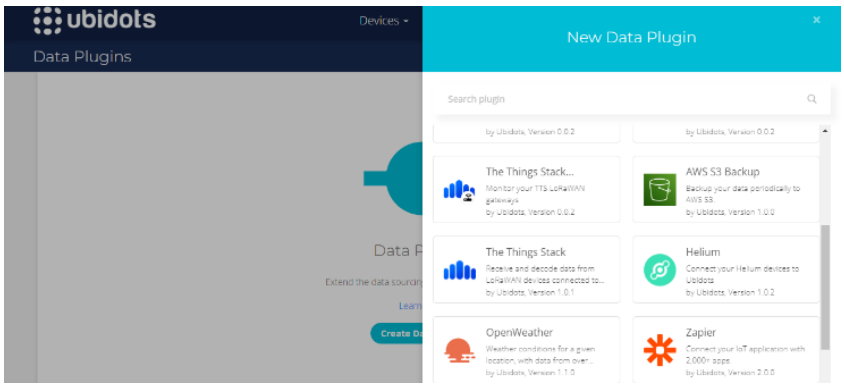
Para empezar con la vinculación de los servidores, dar clic en la parte de dispositivos (Devices) y se escoge la opción de plugins.

Gráfico 42: Acceso a los plugins para la vinculación de servidores.



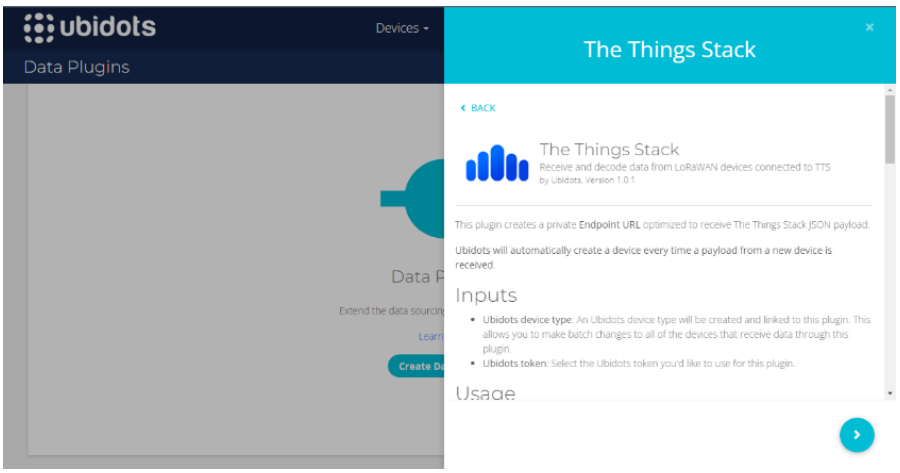
Se deja que cargue correctamente la pantalla y luego se selecciona la opción "+" y se busca el plugin TTS.

Gráfico 43: Selección del plugin The Things Stack para vincular Ubidots con TTN



Una vez que se selecciona el plugin “The Things Stack”, va a mostrar información referente a la configuración, pero solo hay que dar clic en la flecha hacia la derecha.

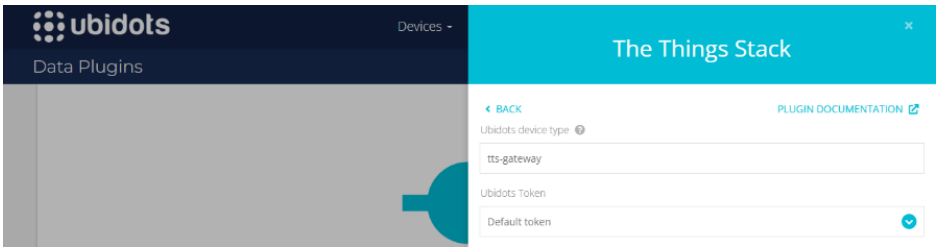
Gráfico 44: Pantalla de referencias iniciales para la configuración



Ahora se escribe el tipo de dispositivo Ubidots, que es definido por el usuario, pero en este caso se lo llamará tts-gateway, y en la parte de Ubidots token se escoge la única opción que se va a mostrar (Default token).

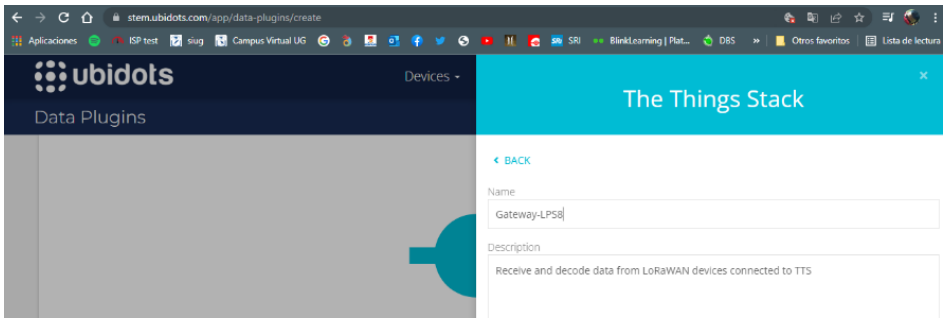
Hay que tener en cuenta que, al usar una cuenta gratuita, solo se tendrá la opción del default token.

Gráfico 45: Asignación de nombre y token para el plugin



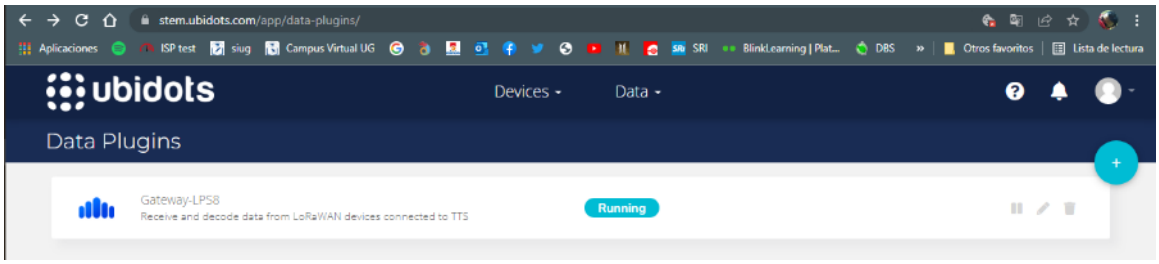
La parte final es asignar el nombre del gateway que envía la información de los sensores, el nombre es asignado por el usuario, que en este caso será “Gateway-LPS8” y se agrega una pequeña descripción. Dar clic en el visto verde.

Gráfico 46: Asignación de nombre y descripción del gateway relacionado con el plugin



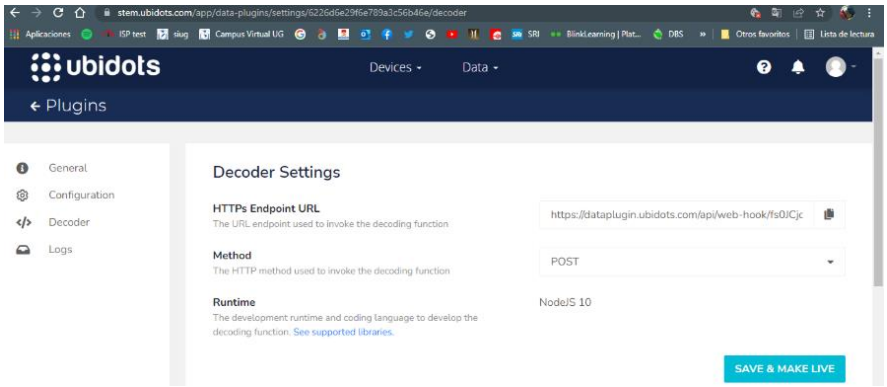
El plugin ha sido creado y está listo para ser vinculado con la plataforma TTN.

Gráfico 47: Visualización del plugin creado



Una vez creado el plugin, se accede al mismo dando clic y luego a la opción descifrador (decoder), porque en esa sección se obtendrá el plugin ID. EL plugin ID se obtiene de la URL del punto final (HTTPs Endpoint URL), el cual tiene el siguiente esquema: *https://dataplugin.ubidots.com/api/web-hook/<plugin id>*

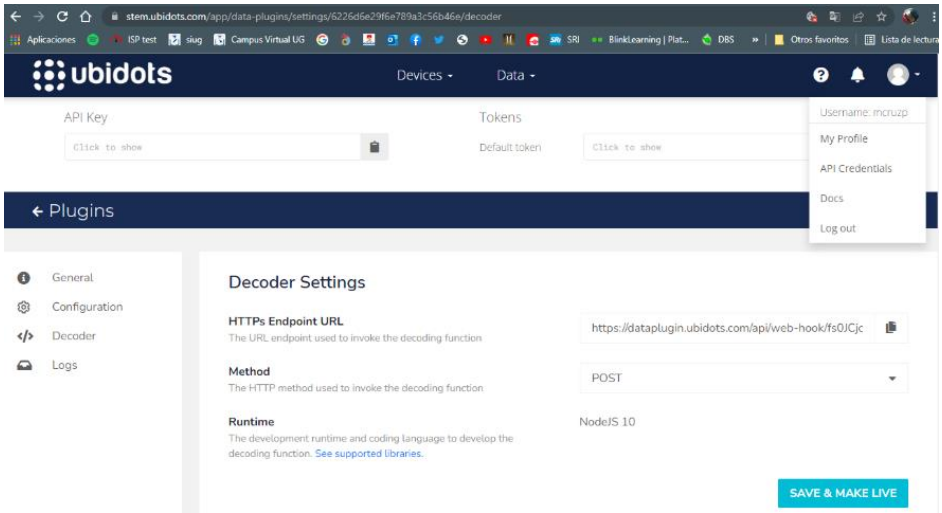
Gráfico 48: Obtención del plugin ID de laURL del punto final.



El otro dato que se necesita es el Token, el cual se puede obtener al dar clic en la flecha que se encuentra junto a la foto de perfil, que está en la parte superior derecha, y luego se selecciona Credenciales API (API Credentials).

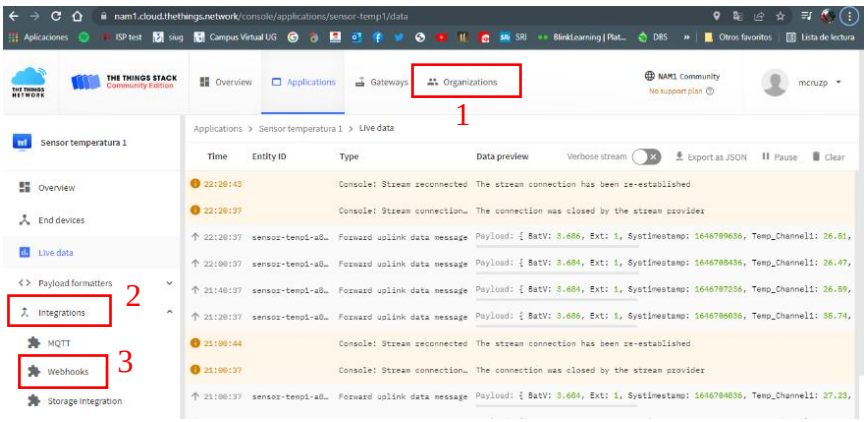
Se va a desplegar un menú donde se encuentra el token, que corresponde a la opción de la derecha.

Gráfico 49: Obtención del token



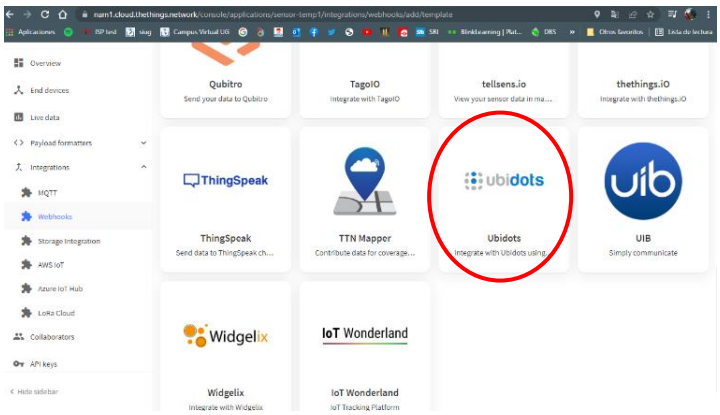
Ahora que se obtuvo el ID del plugin y el token de Ubidots, se regresa a la plataforma TTN. En la parte de aplicaciones (Aplications) se selecciona integraciones (Integrations) y se selecciona la opción de webhooks.

Gráfico 50: Selección de la integración Webhook en la plataforma TTN



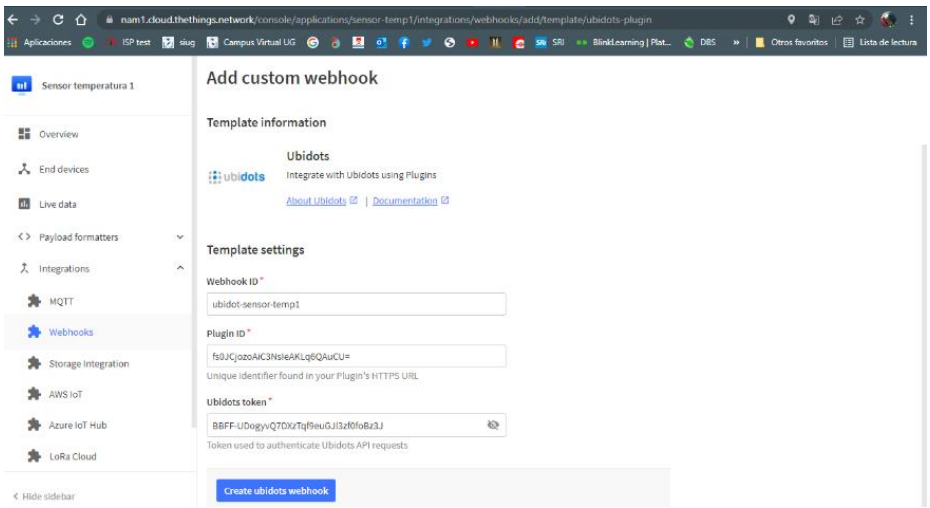
Seleccionar la opción de agregar webhook (+Add Webhook) que se encuentra en la parte derecha y de las opciones que se muestran, buscar y seleccionar la opción de Ubidots.

Gráfico 51: Selección del webhook Ubidots



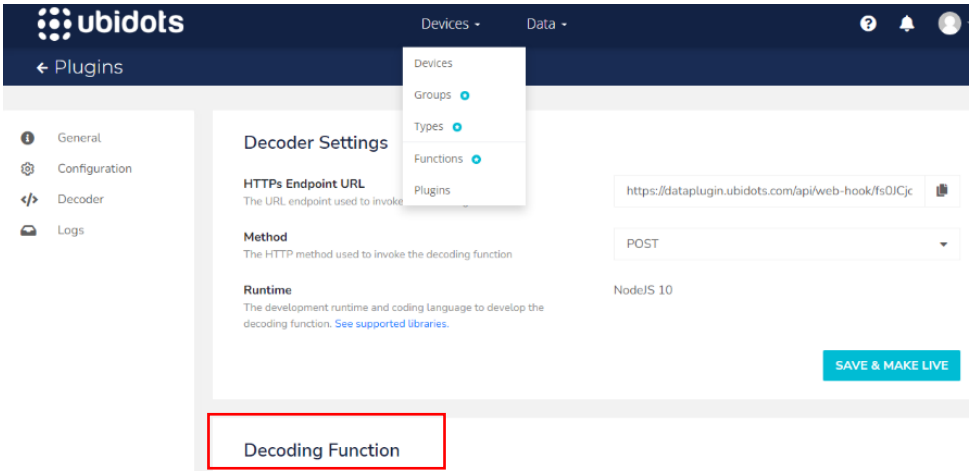
Se debe escribir el ID del webhook, y se ingresa el ID del plugin y el token que se obtuvo en la plataforma Ubidots. Luego se da clic en crear webhook de Ubidots.

Gráfico 52: Ingreso del webhook ID, Ubidots Plugin ID y Ubidots token



Las plataformas están vinculadas, pero al verificar, los datos no se muestran de forma correcta en la plataforma Ubidots. Para corregir ese inconveniente se debe ir a Dispositivos, luego a pluging. Después se carga el plugin del gateway, se da clic y por último clic en descifrador (decoder) y se va a la parte inferior donde está la función descifradora.

Gráfico 53: Ubicación de la función descifradora por defecto en Ubidots



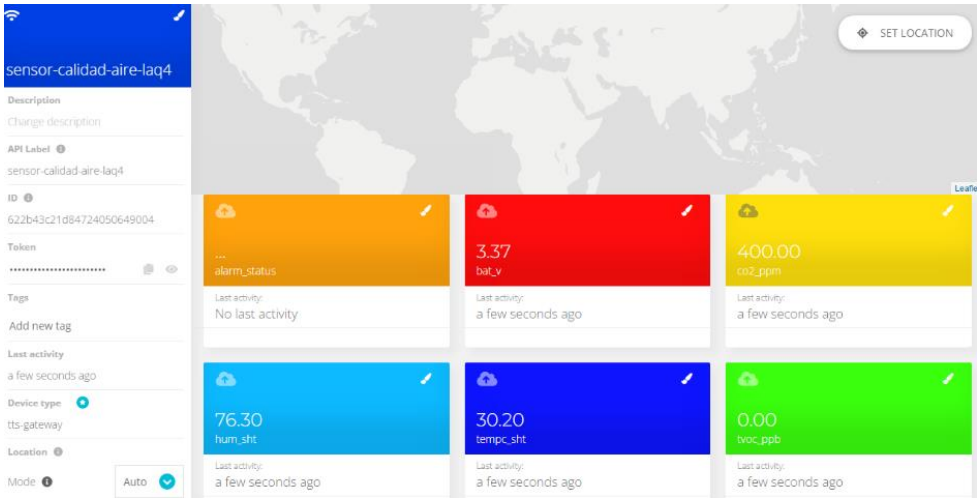
En la función descifradora se borra la que viene por defecto, se ingresa el siguiente código.

Gráfico 54: Función descifradora para visualizar los datos en Ubidots de forma correcta

```
function format_payload(args){
  var ubidots_payload = {};
  // Log received data for debugging purposes:
  console.log(JSON.stringify(args));

  // Get uplink's timestamp
  ubidots_payload['timestamp'] = new Date(args['uplink_message']['received_at']).getTime();

    // See if there's a decoded payload already
    var decoded_payload = {};
    if("decoded_payload" in args['uplink_message']){
      // If "uplink_message.decoded_payload" is found, then it will be used, and "uplink_message.frm_payload" will be ignored
      decoded_payload = args['uplink_message']['decoded_payload'];
      console.log(`Decoded payload found! --> ${JSON.stringify(decoded_payload)}`);
    }
    else{
      // If no decoded_payload was found, then decode "uplink_message.frm_payload" here:
      let bytes = new Buffer(args['uplink_message']['frm_payload'], 'base64');
      decoded_payload = decodeUplink(bytes)['data'];
    }

    // Merge decoded payload into Ubidots payload
    Object.assign(ubidots_payload, decoded_payload);

    return ubidots_payload
}

module.exports = { format_payload };
```

A partir de ahora ya se puede visualizar la información de los sensores dentro de la plataforma Ubidtos.

Gráfico 55: Visualización correcta de los parámetros que mide el sensor LAQ4



Fase IV: Pruebas

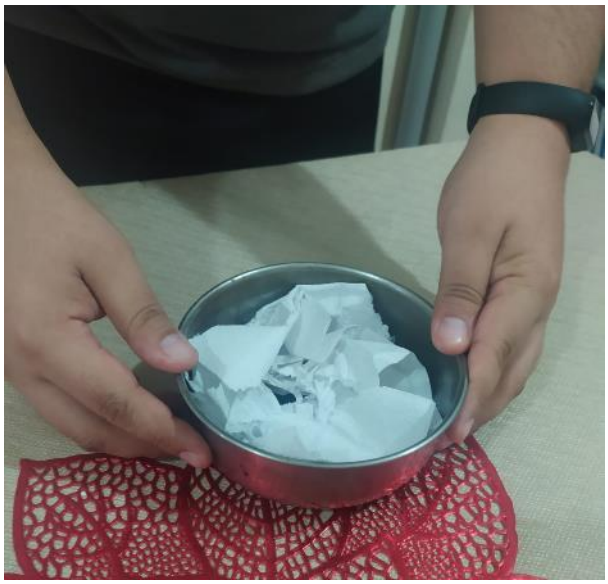
Instalaciones de los dispositivos LTC2 y LAQ4.

El dispositivo LTC2 se colocó en el techo mientras que el dispositivo LAQ4 se colocó en la pared. Ver Anexo 5.

Pruebas de funcionamiento de sensores

Para las pruebas a efectuar, primero se debe confirmar que se realicen mediciones con el sensor LAQ4 para verificar el aumento de la contaminación por Dioxido de carbono (CO2) y/o compuestos orgánicos volatiles (VOC) con ciertos fuegos provocados de forma intencional.

Gráfico 56: Elementos del fuego provocado intencionalmente



Una vez realizado el experimento con el fuego provocado de manera intencional, se observa que las mediciones de CO2 y VOC se dispararon, tal como se muestran en las siguientes imágenes.

Gráfico 57: Prueba de aumento en la medición por contaminación de compuestos orgánicos volátiles (VOC)

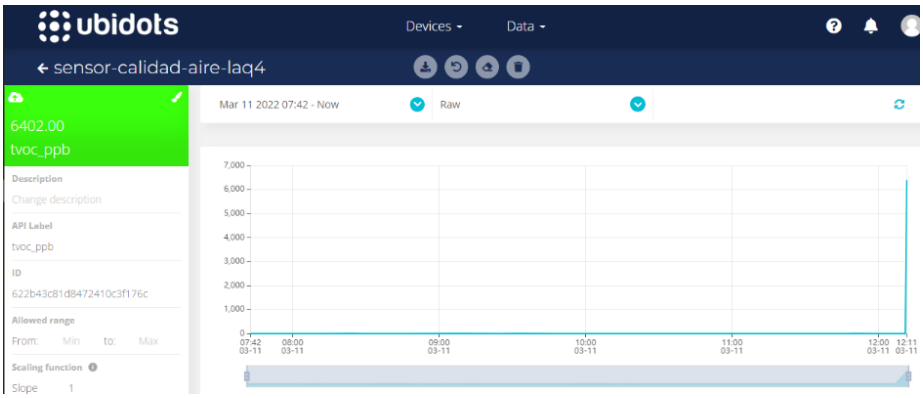
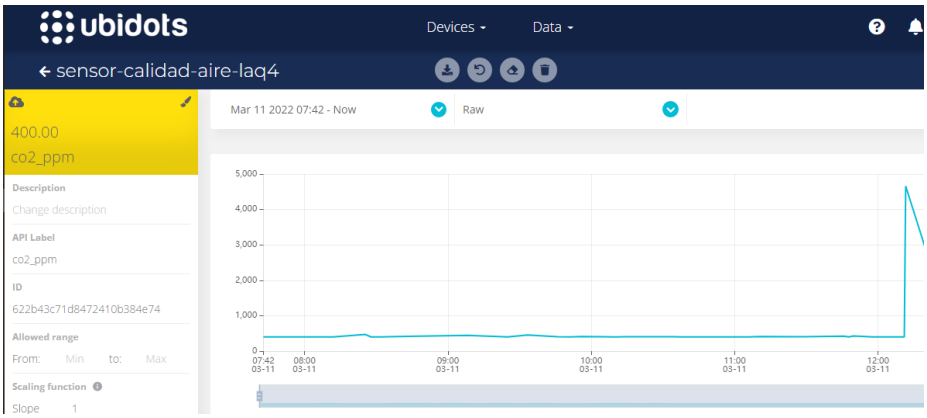


Gráfico 58: Prueba de aumento en la medición por contaminación por CO2



Se puede observar que el sensor de temperatura también registro un aumento en la temperatura, aunque se realizaron otras pruebas

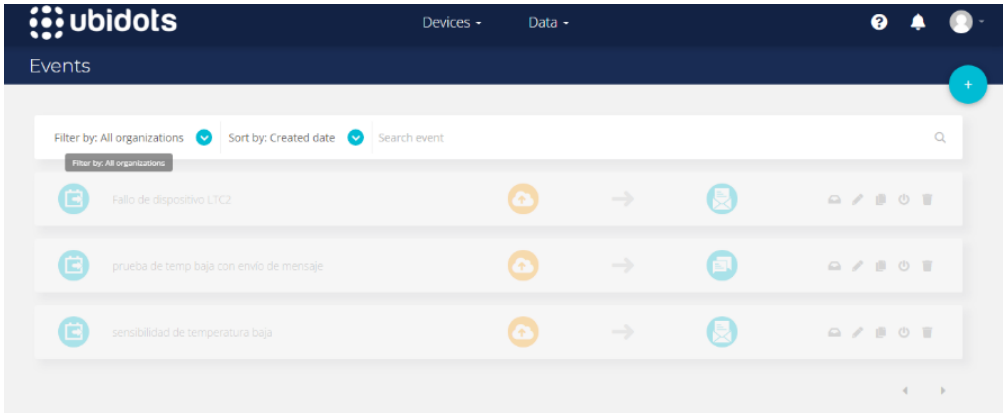
Gráfico 59: Prueba de aumento en la temperatura

Los gráficos 57, 58 y 59 corresponden a la prueba realizada con un fuego controlado y provocado de manera intencional. Con estos resultados se puede determinar que el sensor detecta cambios en los parámetros que se tienen establecidos como críticos al momento de producirse un incendio.

Creación de alarmas en Ubidots

Para crear las alarmas en Ubidots, dar clic en la parte de Datos (Data), luego escoger la opción de eventos (Events).

Gráfico 60: Sección para la creación de eventos en Ubidots



Para crear un nuevo evento hay que dar clic en el "+" que está en la parte derecha, se va a abrir una ventana con dos partes: Si Disparadores (If Triggers) y luego acciones (then actions).

En la parte de disparadores se escoge la variable. La selección empieza seleccionando el sensor que en este caso será el LAQ4 y luego se selecciona la variable que para la prueba será la de CO2, dar clic en el visto verde y queda la variable asignada.

El segundo casillero tiene tres opciones: Valor, Posición y ha estado inactivo. Para la prueba se debe seleccionar valor ya que se creará una alerta cuando exista un aumento en el valor de la medición.

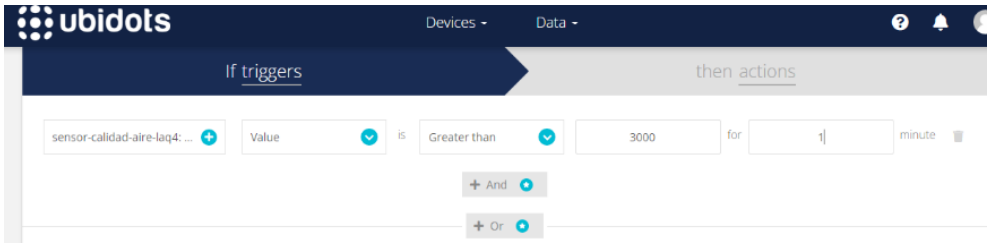
El tercer casillero corresponde se seleccionará "mayor a", y en el cuarto casillero se pone el valor que va a disparar el evento. En el gráfico 58 se visualiza que aumento la medición a valores de 4000 ppm que según el Índice de calidad de aire (ICA) está en valores de emergencia. Y como son zonas interiores de edificaciones, no debería haber esos niveles a menos que exista alguna emergencia

como un incendio. Por lo tanto, se dejará el valor de 3000 como el límite para detonar la alerta.

El quinto casillero completa el disparador, ya que es el tiempo que se puede mantener dicho valor. En este caso se va a dejar en un minuto, ya que, si hay una medición de 3000 ppm por ese intervalo de tiempo, entonces algo esta contaminando el ambiente interior.

Cabe recalcar que hay operadores como “y” (and) y el “o” (or) que podrían complementar el evento, pero eso solo se encuentra habilitado cuando se tiene una cuenta de pago en Ubidots.

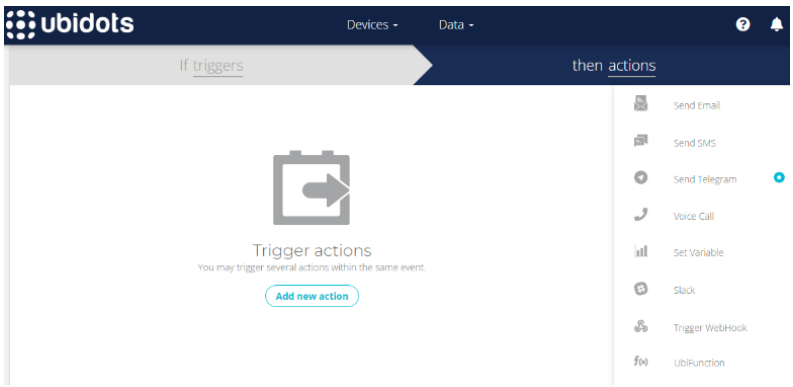
Gráfico 61: Parámetros para la creación de un evento en Ubidots



Se selecciona la siguiente parte (entonces acciones) y dar clic en el “+”. Se mostrarán varias opciones como enviar correo, enviar sms, enviar un mensaje por telegram, realizar una llamada, cambiar variable, Slack, Disparar webhook o Ubifunción.

Para las pruebas se va a utilizar enviar correo ya que enviar SMS, mensajes por telegram o realizar una llamada son opciones para cuentas de pago.

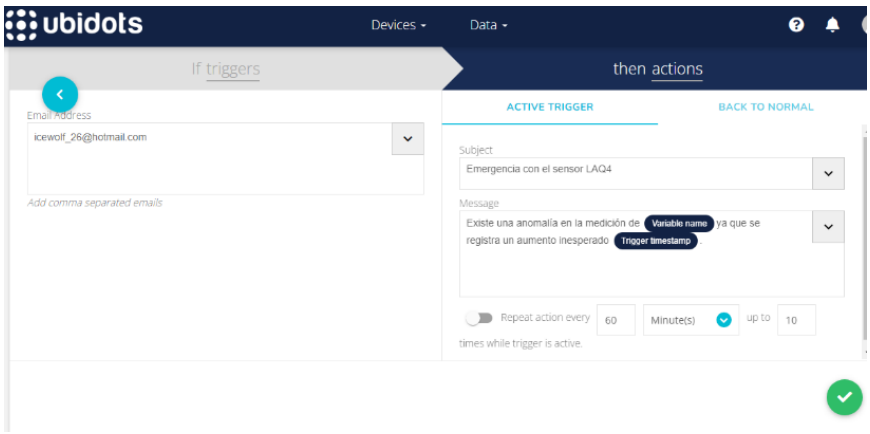
Gráfico 62: Opciones de acciones a realizar en un Evento de Ubidots



Por último, solo se debe introducir el o los correos electrónicos a los que se debe enviar la alerta, junto con el encabezado del correo y el mensaje. En el encabezado y cuerpo el mensaje se puede usar variables como indicar el valor de la variable, que dispositivo es, etc.

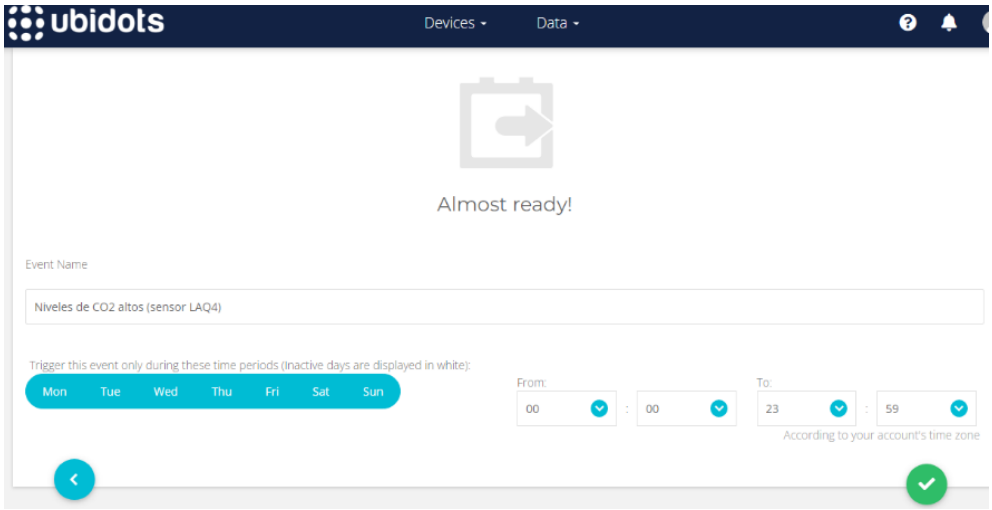
Hay una opción de repetir el mismo mensaje por varias ocasiones en un intervalo de tiempo. En este caso no se utilizará esa opción.

Gráfico 63: Parámetros para crear el mensaje de alerta



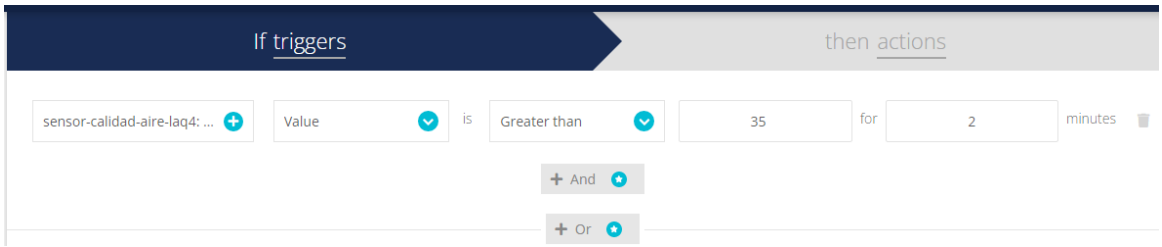
Todavía no ha sido creada la alerta porque falta algo más que es la opción de asignar un nombre al evento para hacer más sencilla su ubicación, así como los días y las horas en las que debe estar activo el evento. Para este caso al ser medición de CO2, se dejará la alerta a toda hora y todos los días.

Gráfico 64: Configuración de horario y días en donde el evento permanezca activo



Se creo un evento adicional con respecto a la medición de la temperatura.

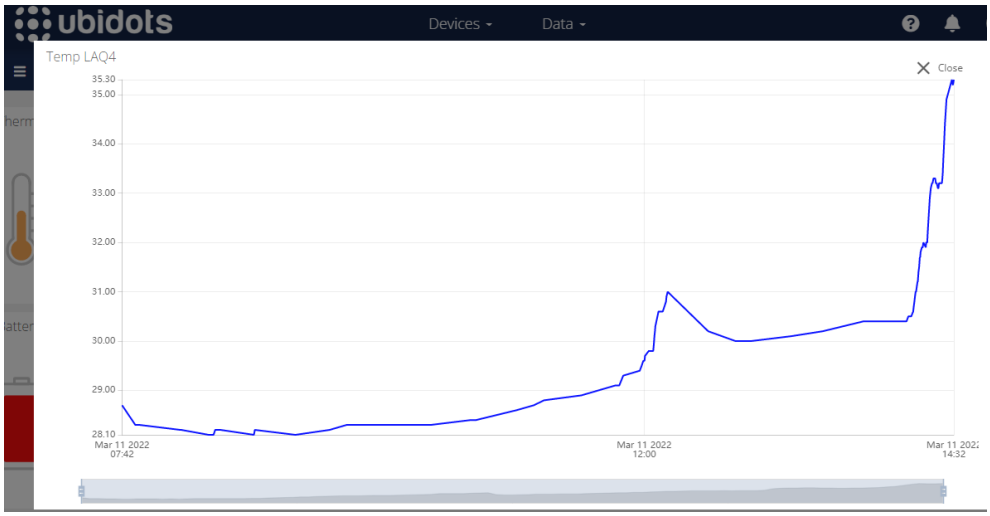
Gráfico 65: Parámetros para activar el evento de temperatura alta en LAQ4



Se puede recurrir a realizar la prueba otra vez, y en esta ocasión debe llegar un correo electrónico a la cuenta personal. En esta segunda prueba se activó el evento, y un mensaje de correo electrónico llegó, avisando del inconveniente.

Gráfico 66: Llegada del correo notificando un aumento de temperatura.

Gráfico 67: Visualización en Ubidots del aumento de temperatura, lo que generó el envío del mensaje de texto



Prueba de fallo en el equipo.

La prueba de fallo de equipo está diseñada para cuando el sensor deje de transmitir información, por ende, se decide crear una alarma para cuando no se reciba información de la batería por un tiempo de como máximo 2 minutos.

Gráfico 68: Creación de la alerta por falla en la batería.

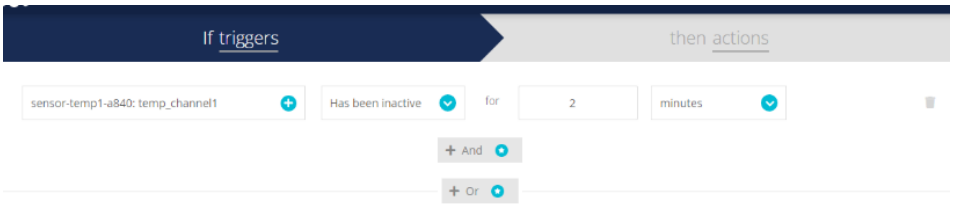


Gráfico 69: Creación del mensaje de alerta por fallo en el sensor

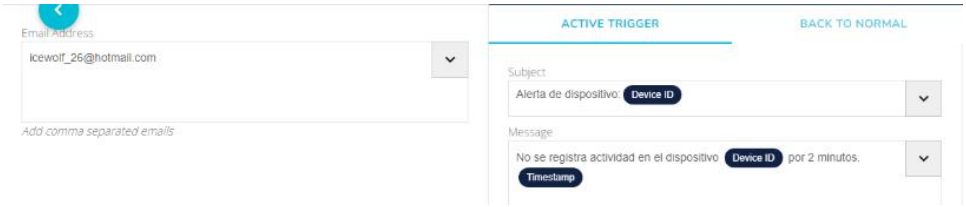
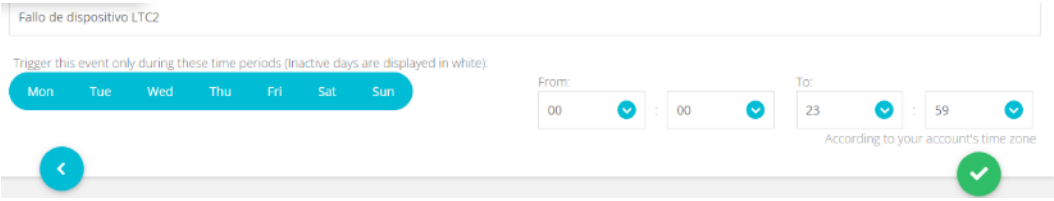
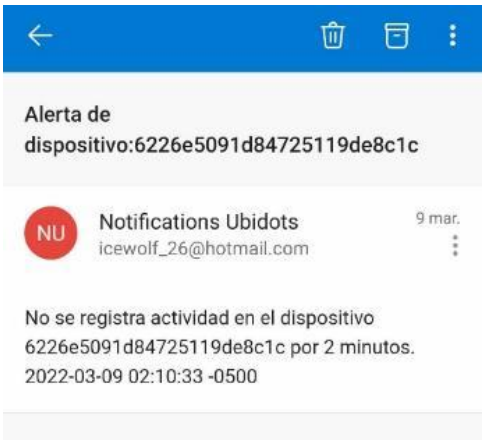


Gráfico 70: Asignación de nombre y horas activas del evento de fallo de sensor



Se procede a desconectar el jumper del sensor LTC2 y esperar a que pasen por lo menos dos minutos para que se reciba el correo de alerta.

Gráfico 71: Correo electrónico alertando el fallo del sensor LTC2



Criterios de Validación de la Propuesta

La recolección de datos del presente proyecto de titulación fue elaborado a través de una encuesta realizada a personal relacionado con la comunidad educativa, tales como estudiantes, docentes y coordinadores de diferentes instituciones educativas.

Población y Muestra

La población a la que se involucró en la recolección de datos de la presente investigación es de tres tipos: estudiantes, personal docente, y autoridades de diversos planteles educativos; esto fue realizado con la finalidad de conocer y analizar el criterio de cada uno de ellos para poder obtener una conclusión para esta propuesta.

Tabla 12: Tabla de población

Población	**Cantidad**
Estudiantes	198
Docentes	62
Autoridades educativas	13
Total	273

Instrumentos para la recolección de datos

La técnica utilizada en esta investigación corresponde a una modalidad cualitativa de tipo muestreo no probabilístico, misma que nos permite obtener datos por medio de encuestas conformadas por preguntas específicas que permiten obtener información desde la perspectiva de la población involucrada y

directamente relacionada con la problemática analizada, la cual está siendo orientado al proyecto para poder medir la factibilidad de la propuesta expuesta.

La encuesta que se realizó para recopilar los datos está conformada por 5 preguntas con respuestas de selección múltiple, las cuales permitían obtener las opiniones de las personas que fueron seleccionadas en la población acorde al tema del proyecto.

Procesamiento y Análisis

Pregunta N°1:

¿Usted ha visualizado un sistema de detección de incendios en las aulas de su institución educativa?

Tabla 13: Resultados de la Pregunta No 1

Pregunta N°1	Encuestados	Porcentajes
Si	75	27.47
No	198	72.53
TOTAL	273	100%

Gráfico 72: Pregunta No 1

Análisis: De un total de 273 personas encuestadas, se confirma que un 27.43% si han visualizado el sistema de detección de incendios en las aulas de su institución educativa, mientras que un 72.53% no lo han visualizado, lo que pondría en gran riesgo a la comunidad educativa.

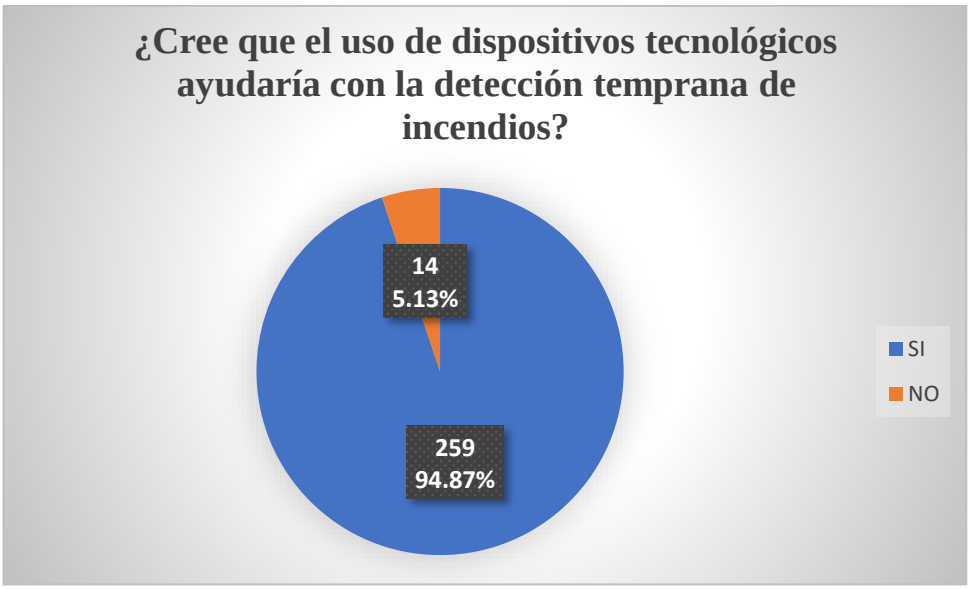
Pregunta N°2:

¿Cree que el uso de dispositivos tecnológicos ayudaría con la detección temprana de incendios?

Tabla 14: Resultados de la pregunta No 2

Pregunta N°2	Encuestados	Porcentajes
Si	259	94.87
No	14	5.13
TOTAL	273	100%

Gráfico 73: Pregunta No 2



Análisis: Al realizar esta pregunta se puede conocer que un 94.87% de personas encuestadas si creen que el uso de dispositivos tecnológicos ayudaría a la detección temprana de incendios, mientras que el 5.13% no cree que sea lo adecuado.

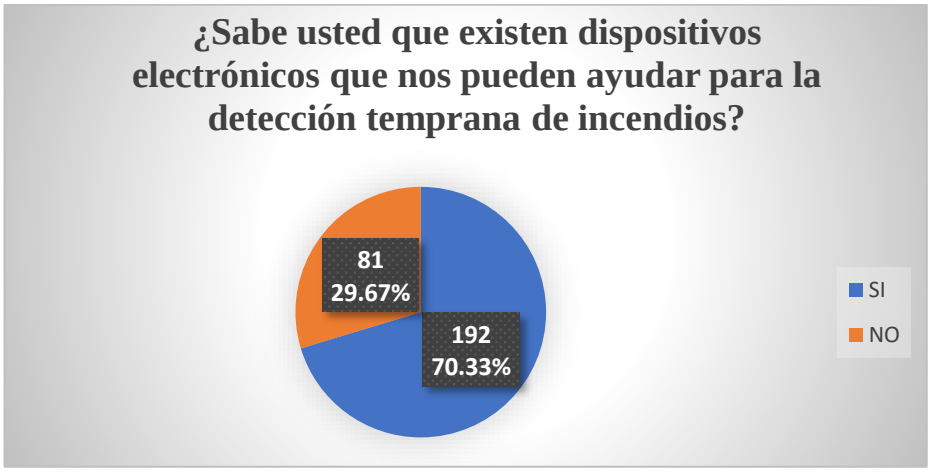
Pregunta N°3:

¿Sabe usted que existen dispositivos electrónicos que nos pueden ayudar para la detección temprana de incendios?

Tabla 15: Resultados de la pregunta No 3

Pregunta N°3	Encuestados	Porcentajes
Si	192	70.33
No	81	29.67
TOTAL	273	100%

Gráfico 74: Pregunta No 3



Análisis: Con esta pregunta se busca saber cuántas personas de las encuestadas tienen conocimiento que existen dispositivos electrónicos para lograr una detección temprana de un posible siniestro. De 273 encuestados un 70.33% si tiene conocimiento de la existencia de estos dispositivos, mientras que el 29.67% no tiene el conocimiento.

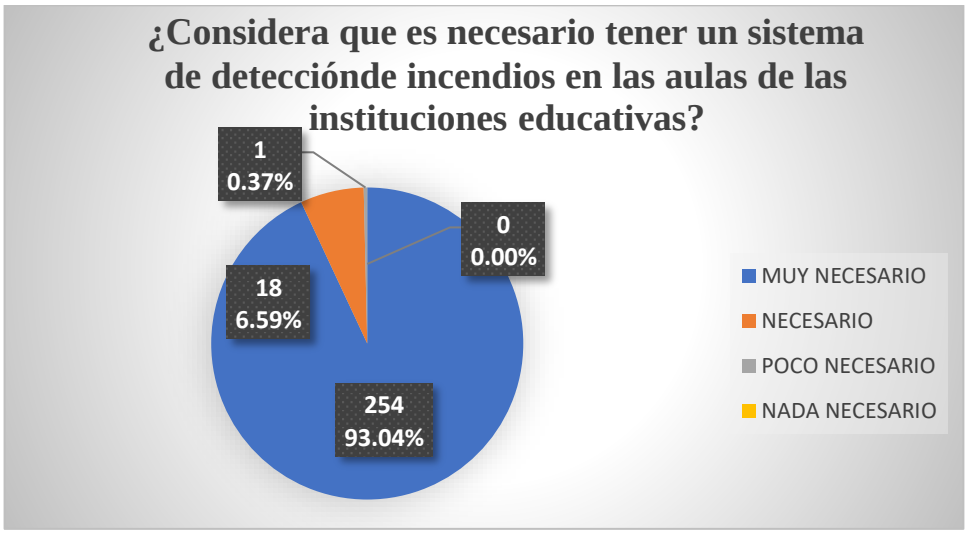
Pregunta N°4:

¿Considera que es necesario tener un sistema de detección de incendios en las aulas de las instituciones educativas?

Tabla 16: Resultados de la pregunta No 4

Pregunta N°4	Encuestados	Porcentajes
Muy Necesario	254	93.04
Necesario	18	6.59
Poco necesario	1	0.37
Nada necesario	0	0
TOTAL	273	100%

Gráfico 75: Pregunta No 4



Análisis: De acuerdo con el resultado de esta pregunta 93.04% de personas contestaron que es muy necesario, el 6.59% que es necesario, el 0.37% que es poco

necesario y ninguna persona contestó que es nada necesario implementar el sistema en las aulas.

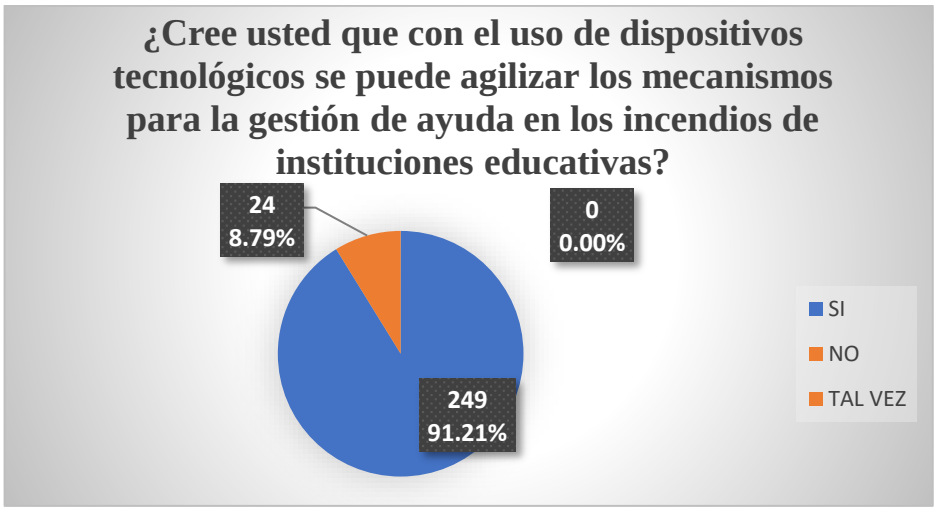
Pregunta N°5:

¿Cree que con el uso de dispositivos tecnológicos se puede agilizar los mecanismos para la gestión de ayuda en los incendios de instituciones educativas?

Tabla 17: Resultados de la pregunta No 5

Pregunta N°5	Encuestados	Porcentajes
Si	249	91.21
No	0	0
Tal vez	24	8.79
TOTAL	273	100%

Gráfico 76: Pregunta No 5



Análisis: La presente pregunta hace referencia a si los encuestados creen que con el uso de dispositivos tecnológicos se pueden agilizar los mecanismos para la gestión de ayuda en los incendios de instituciones educativas, siendo la mayoría con el 91.21% que piensa que si, un 8.79% piensa que tal vez y un 0% piensa que no.

Análisis general

Luego de haber realizado la encuesta a un total de 273 personas, la cual estaba conformada por diferentes preguntas relacionadas con el presente proyecto de titulación, se puede vislumbrar que la mayoría de los encuestados están de acuerdo con la implementación de un sistema de detección de incendios que incluyan dispositivos tecnológicos que puedan detectar posibilidades de incendio de manera prematura, especialmente en las aulas de clases de las instituciones educativas, donde según los resultados obtenidos, se centra la debilidad de los planteles, ya que son los lugares donde no se instala este sistema, lo que podría representar un gran riesgo para la comunidad educativa.

CAPÍTULO IV

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE DISPOSITIVO

La finalidad de los criterios es evaluar los objetivos establecidos en el presente proyecto y el alcance que se ha propuesto en el primer capítulo se cumplan. Analiza y evalúa el diseño e implementación de un sistema de detección de incendios usando la tecnología LoRaWAN en las instituciones educativas. Los resultados se presentan en la siguiente matriz:

Tabla 18: Resultados de las pruebas realizadas durante el proyecto.

Ítem	Descripción	Cumple	No cumple
1	Diseño del sistema de detección de incendios con equipos de tecnología Lora	X	
2	Monitoreo de la calidad del aire en cuartos. (CO2 y componentes orgánicos volátiles). Sensor LAQ4	X	
3	Monitoreo de la temperatura en un ambiente (cada 90 segundos). Sensor LTC2	X	
4	Monitoreo y mensajes de alerta utilizando las plataformas TTN Y Ubidots	X	
5	Registro y visualización de parámetros de temperatura y calidad de aire en plataforma TTN y Ubidots.	X	
6	Monitoreo de la batería de los sensores	X	
7	Emisión de alerta cuando un sensor deja de funcionar.	X	
8	Batería de larga duración	X	
9	Bajo costo de instalación (ver anexo 6)	X	
10	Largo alcance	X	

Conclusiones

Las conclusiones del presente proyecto son las siguientes:

- Los dispositivos se conectaron de manera idónea habiéndolos configurado para transmitir la información en intervalos de 90 segundos. Se debe considerar que estos tiempos son modificables en base a las necesidades de cada usuario. Los sensores de medición VOC y el CO2 funcionaron exitosamente en las pruebas que permitieron demostrar la reacción ante la generación de componentes de humo, sin embargo, se debe resaltar que estos sensores podrían activarse y emitir falsas alertas si están expuestos en lugares donde se realicen experimentos con reacciones químicas como los laboratorios.
- Los dispositivos usados en las pruebas generan alarmas ante los cambios de temperatura y al detectar humo, pero adicionalmente pueden ser generadas alarmas en caso de fallo en dichos dispositivos o se llegasen a dejar de emitir señales lo que permite al usuario conocer en tiempo real la falla que se produce. Las pruebas de alerta realizadas funcionaron como se esperaba con envío de alertas a través de correo electrónico, además de demostrar su adaptabilidad en base a las temperaturas de día o de noche.
- Es relevante considerar que para las pruebas se usó la versión STEM de la plataforma UBIDOTS, la cual está direccionada hacia el uso personal o para pruebas de proyectos. Durante las pruebas realizadas se pudo constatar que cuando el sistema está conectado en su totalidad la monitorización y capacitación a usuarios finales se vuelve más sencilla. Esto se debe a que la

plataforma TTN permite decodificar y visualizar datos de forma técnica, pero al ser vinculada con la plataforma UBIDOTS se crean visualizadores gráficos de fácil comprensión, además de se pueden crear alertasen base a diferentes parámetros.

Recomendaciones

- Con respecto a la modificación del tiempo para el envío de datos se recomienda considerar el lapso que existe entre transmisión y transmisión, puesto que mientras menor sea el tiempo menor será la durabilidad de la batería.
- Es esencial considerar la temperatura ambiental del lugar donde serán instalados los dispositivos. Por ejemplo, pese a que en la ciudad de Guayaquil las temperaturas son altas durante el día por las noches podrían llegar a disminuir algunos grados por lo que se recomienda que las alarmas sean configuradas para horario diurno y nocturno en base a las necesidades y características de cada institución.
- A pesar de que la versión STEM de la plataforma UBIDOTS puede ser utilizada para uso personal con respecto a la recepción de alarmas a través de correo electrónico, sería necesario tener una cuenta de pago para recibir las alertas a través de mensajes de texto o mediante plataformas de mensajería instantánea como Telegram. Se recomienda que el monitoreo sea realizado por una persona que deberá recibir la capacitación ya que esta es sencilla, sin embargo, los mensajes de alerta deben ser recibidos por las

autoridades principales, la persona designada para el monitoreo y los guardias de la institución.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, J., & Córdova, L. (2020). *Diseño de red LPWAN (low power wide area network) y desarrollo del prototipo para monitoreo de dispositivos de control de sistemas de paneles solares y la integración con GATEWAY LORAWAN de MIKROTIK* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil). Recuperado de: http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48805

Arcotel. (2018). *Plan Nacional de Frecuencias. Quito: Registro Oficial*. Obtenido de https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/06/norma_eul_y_udbl_audiencias_p%c3%bablicas.pdf

Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitución de la república del Ecuador 2008*. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Bravo, C., y Asencio, J. (2020). *Diseño de un sistema eco amigable para la gestión y automatización de luminarias en Centros Educativos* (Tesis de grado, Universidad de Guayaquil). Recuperado de: http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/52243

Bruno, M. (16 de enero de 2017). *Linkedin*. Obtenido de: https://www.linkedin.com/pulse/el-origen-del-iot-bruno-cend%C3%B3n/?originalSubdomain=es.

Burbano, C. (2016). *Implementación de una red de sensores inalámbricos LPWAN mediante módulos LoRa para el monitoreo de la calidad del agua en 2 ríos.* (Tesis y disertaciones académicas, Universidad Francisco José de Caldas RIUD), Colombia. Recuperado de: http://hdl.handle.net/11349/6433

Bombero, B. C. (2009). *Reglamento de prevención, mitigación y protección contra incendios.* Obtenido de Registro Oficial:

http://www.bomberosguayaquil.gob.ec/index.php/es/ley-detransparencia/lt/doc_download/118-reglamento-de-mitigacion-prevencion-deincendios.

Cervantes Portero, David (2018). *Aplicación de comunicaciones inalámbricas LPWAN para detección de incendios forestales basados en sistemas IoT*. (Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. y Sistemas de Telecomunicación, UPM), Madrid. Recuperado de: https://oa.upm.es/53120/

Fernández, M. (2015). *Redes de Sensores Inalambricas (WSN)*. Obtenido de: http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf

Gobierno del Ecuador. (2016). *Ley orgánica de telecomunicaciones. Telecomunicaciones. Quito: Registro Oficial*. Obtenido de https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Org%C3%A1nica-de-Telecomunicaciones.pdf

Guambuguete, M., y Soledispa, J. (2021). *Diseño e implementación de una red con sensores inalámbricos (WSN) utilizando protocolos open source basado en tecnología lorawan, para medir la contaminación del aire y los niveles de ruido en las extensiones de la Universidad de Guayaquil* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil). Recuperado de: http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/52277

Hervas, C. (2018). *Análisis de rendimiento de protocolos de Publicación/Subscripción en comunicación con una Red de Sensores Inalámbricos Zigbee* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/69435

Mero, K. y Hermenejildo, J. (2019). *Diseño de un sistema de detección temprana de incendios forestales utilizando redes de sensores inalámbricos (WSN), implementados con hardware y software libre* (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil). Recuperado de: http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48836

Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, MIDUVI (2019). *Norma Ecuatoriana de Construcción.* Obtenido de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2019/12/nec-hs-ci.pdf

National Fire Protection Association. (2022). Obtenido de https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=72

OECD (2019). *Medición y aplicaciones del IoT*, OECD, No. 271, Asociación Mexicana de Internet, Mexico City/OECD Publishing, Paris, obtenido de: https://doi.org/10.1787/656e87dd-es.

Paucar, C. (2015). *Propuesta de implementación del sistema de detección y alarmas de incendio para los edificios de la Ciudadela Universitaria y la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil* (Tesis de grado, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.). Recuperado de: http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17723

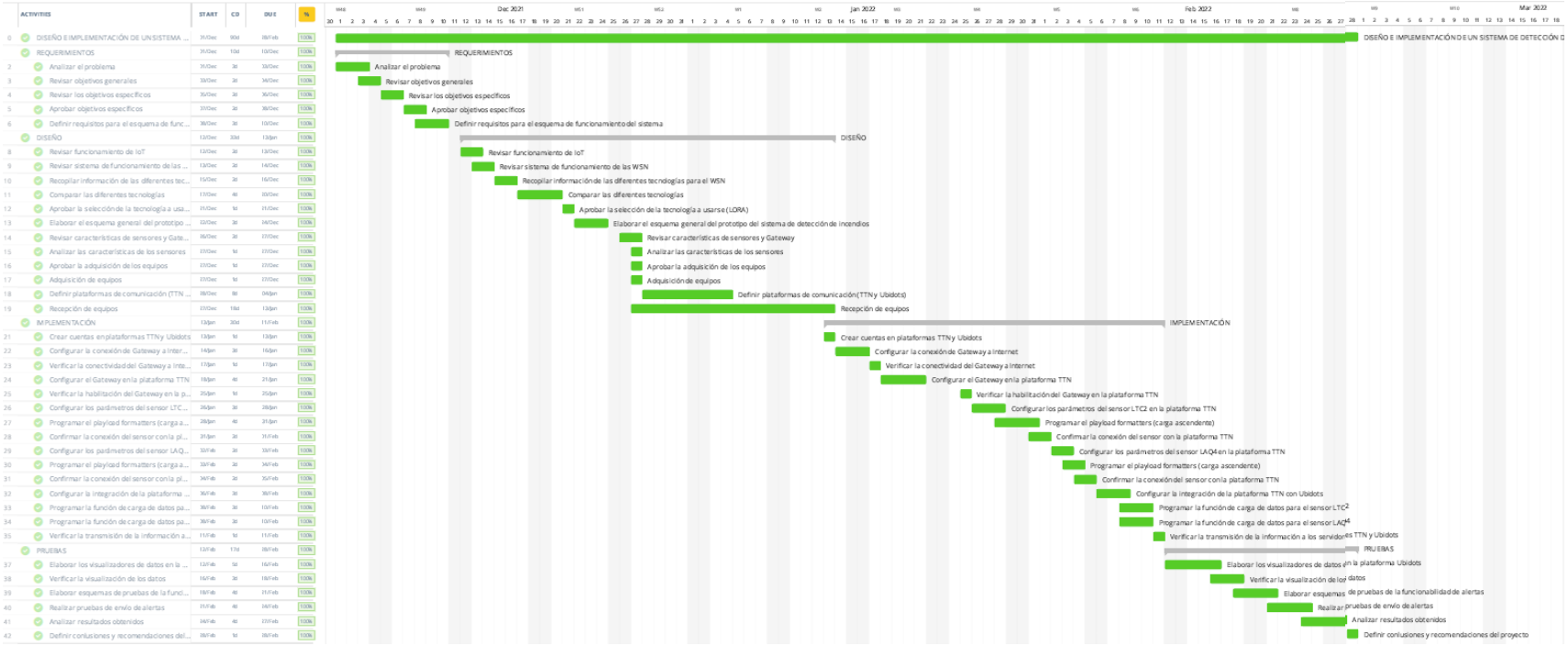
Placeres, J. (2018). *Diseño de sistemas de detección y alarma de incendio.* Obtenido de: http://www.rnds.com.ar/articulos/072/RNDS_144w.pdf

Román, A. (2019). Capítulo 2: *Ruta histórico-geográfica del pensamiento educativo ecuatoriano: actores, hechos y lugares que marcaron lo que hoy se consolida en el proyecto emblemático UNAE*. (Universidad Nacional de Educación del Ecuador) (p.102). Recuperado de: http://201.159.222.12:8080/handle/56000/513

Tello, L. y Satán, P. (2020) *Análisis del rendimiento del canal de acceso aleatorio en la tecnología narrowband IoT (NB-IoT) para la comunicación máquina a máquina (M2M)*. (Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo). Recuperado de http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7162

ANEXOS

Anexo 1: Cronograma de trabajo del proyecto de tesis



Anexo 2: Formato de encuesta

Gráfico 77: Formato de encuesta

Sistema de detección de Incendios en Instituciones Educativas

La presente encuesta tiene como finalidad determinar la importancia de un sistema de detección de incendios en las instituciones educativas.

*Obligatorio

1. ¿Usted ha visualizado un sistema de detección de incendios en las aulas de su Institución educativa? *

   Marca solo un óvalo.

   - Sí
   - No

2. ¿Cree que el uso de dispositivos tecnológicos ayudaría con la detección temprana de incendios? *

   Marca solo un óvalo.

   - Sí
   - No

3. ¿Sabe usted que existen dispositivos electrónicos que nos pueden ayudar para la detección temprana de incendios? *

   Marca solo un óvalo.

   - Sí
   - No

4. ¿Considera que es necesario tener un sistema de detección de incendios en las aulas de las Instituciones Educativas? *

   Marca solo un óvalo.

   - Muy Necesario
   - Necesario
   - Poco Necesario
   - Nada necesario

5. ¿Cree que con el uso de dispositivos tecnológicos se puede agilizar los mecanismos para la gestión de ayuda en los incendios de instituciones educativas?

   Marca solo un óvalo.

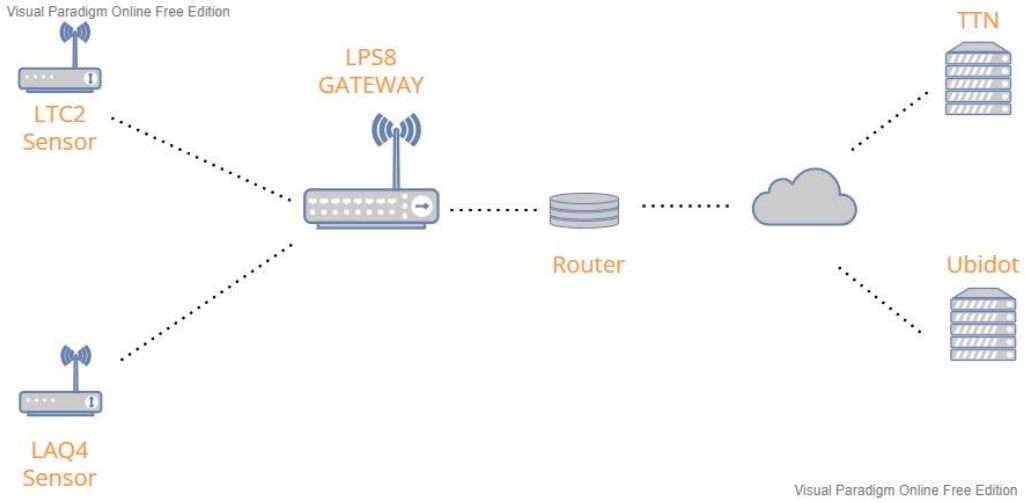
   - Sí
   - No
   - Tal vez

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

Anexo 3: Esquema del prototipo del sistema de detección basado en redes LPWAN

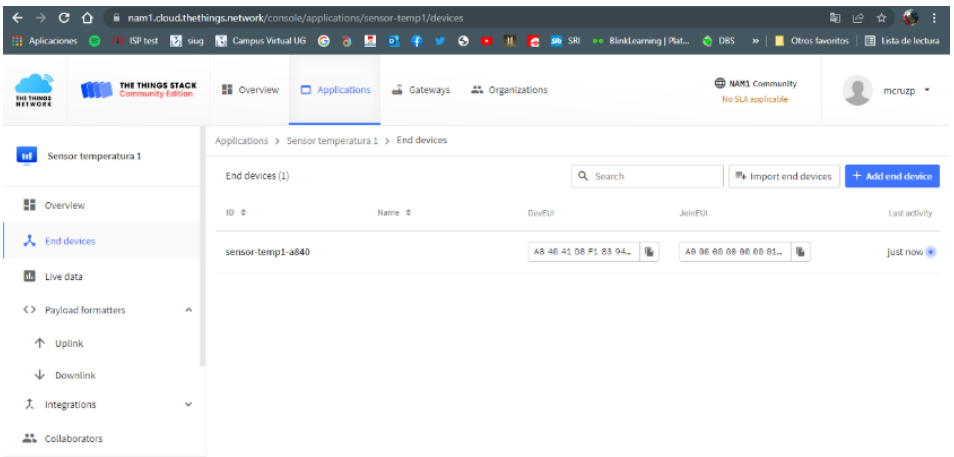
Gráfico 78: Esquema del prototipo de un sistema de detección de incendios



Anexo 4: Configuración sensor LAQ4

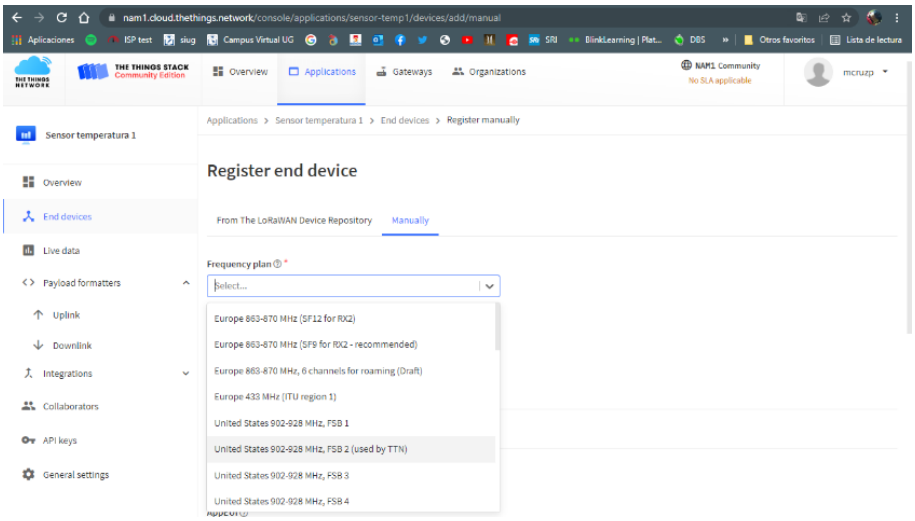
Se va a la parte de Aplicaciones (Aplications), dispositivo final (End Devices) y dar clic en Agregar nuevo dispositivo (+Add New Device)

Gráfico 79: Agregar nuevo dispositivo (LAQ4)



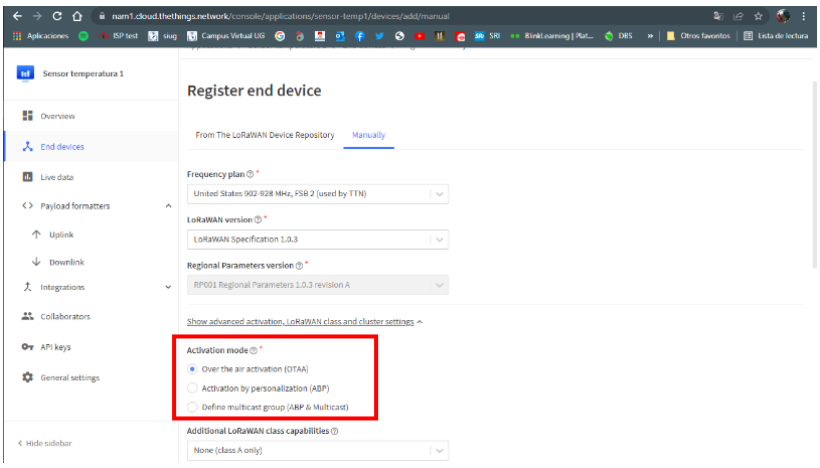
Se selecciona la pestaña Manual (Manually) y se escoge la frecuencia (United States 902-928 MHz, FSB2 (used by TTN))

Gráfico 80: Selección de frecuencia para sensor LAQ4



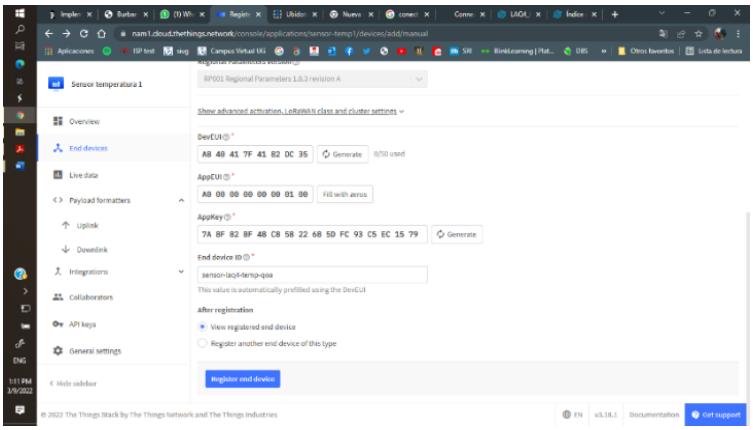
En LoRaWAN versión se escoge la opción LoRaWAN Specification 1.0.3, luego se verifica en la parte de Show advanced activation que este seleccionado el modo de activación en aire (OTAA)

Gráfico 81: Verificación de OTAA para sensor LAQ4



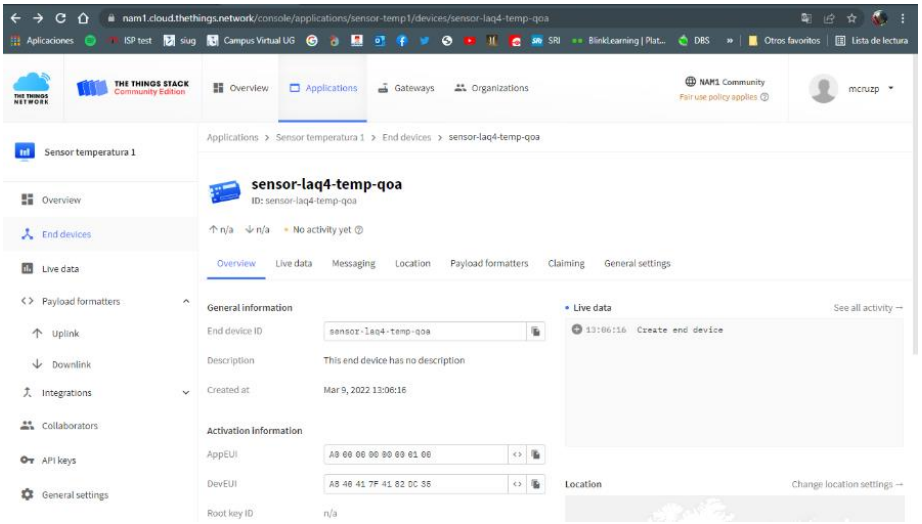
Se baja hasta las opciones de DevEUI, AppEUI, AppKey y se pone la información que viene en una etiqueta cuando se compra el dispositivo. Y como parte final, se le asigna un nombre para identificar el dispositivo (End Device ID)

Gráfico 82: Ingreso de DevEUI, AppEUI y AppKey para sensor LAQ4



Se guardan los cambios y el sensor queda registrado, pero todavía no está activo.

Gráfico 83: Verificación de dispositivo registrado (LAQ4)



Se dirige a la pestaña Payload Formatter y en el tipo de Formatter, se escoge Custom Javascrit Formatter. Luego se borra el código que sale por defecto y se cambia por el código que se muestra y se guardan los cambios.

Gráfico 84: Ingreso al Payloader Formatter del sensor LAQ4

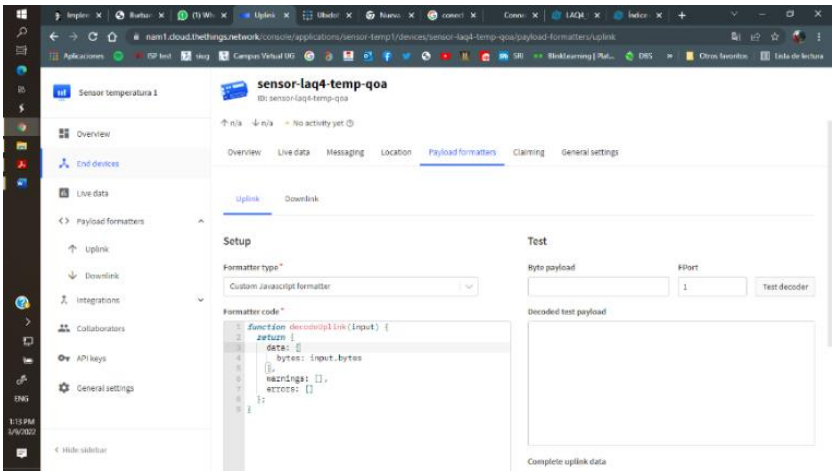


Gráfico 85: Código para el payloader formatter del sensor LAQ4

```
function Decoder(bytes, port) {
  var mode=(bytes[2] & 0x7C)>>2;
  var decode = {};
  decode.Bat_V=(bytes[0]<<8 | bytes[1])/1000;
  if(mode==1)
  {
    decode.Work_mode="CO2";
    decode.Alarm_status=(bytes[2] & 0x01)? "TRUE":"FALSE";
    decode.TVOC_ppb= bytes[3]<<8 | bytes[4];
    decode.CO2_ppm= bytes[5]<<8 | bytes[6];
    decode.TempC_SHT=parseFloat(((bytes[7]<<24>>16 | bytes[8])/10).toFixed(2));
    decode.Hum_SHT=parseFloat(((bytes[9]<<8 | bytes[10])/10).toFixed(1));
  }
  else if(mode==31)
  {
    decode.Work_mode="ALARM";
    decode.SHTEMPMIN= bytes[3]<<24>>24;
    decode.SHTEMPMAX= bytes[4]<<24>>24;
    decode.SHTHUMMIN= bytes[5];
    decode.SHTHUMMAX= bytes[6];
    decode.CO2MIN= bytes[7]<<8 | bytes[8];
    decode.CO2MAX= bytes[9]<<8 | bytes[10];
  }

  if(bytes.length==11)
  {
    return decode;
  }
}
```

Luego hay que dirigirse al dispositivo, se confirma que el jumper esté conectado de forma correcta y en el lado derecho del sensor hay un botón (botón de activación), se debe mantener presionado por 3 segundos, se visualizará una luz verde en el led hasta que se suelte el botón y luego el led va a parpadear 5 veces.

El dispositivo se va a conectar de forma automática y transmitir los datos.

Anexo 5: Evidencia de instalación de dispositivos para pruebas

Gráfico 86: Instalación del dispositivo LAQ4 en la pared

Gráfico 87: Instalación del dispositivo LTC2 en el techo

Gráfico 88: Ubicación del dispositivo LTC2 para las pruebas

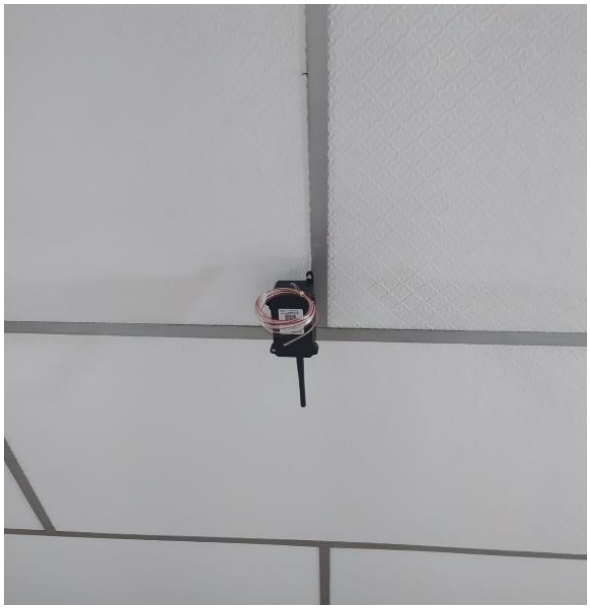
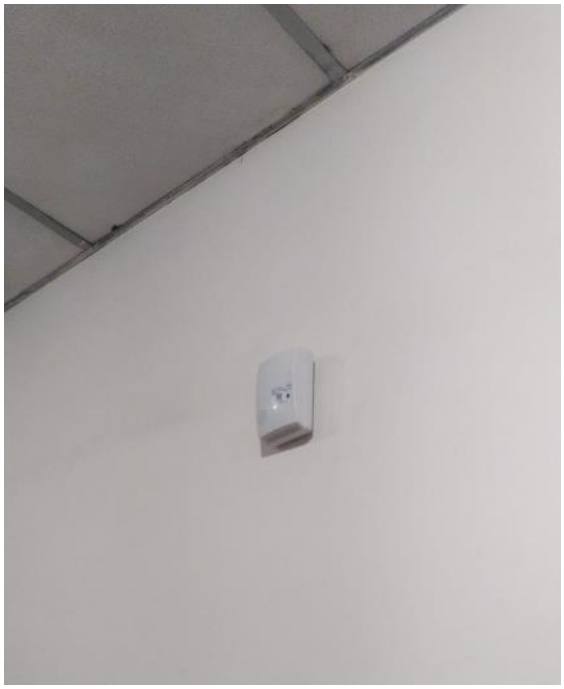


Gráfico 89: Ubicación del dispositivo LAQ4 para las pruebas



Anexo 6: Comparativa de costos.

Se compara el costo del prototipo del sistema de detección de incendios con un sistema convencional.

Sistema de detección de incendios basado en redes LPWAN		**Sistema de detección de incendios convencional Honeywell**		**Sistema de detección de incendios direccionable Bosch**	
Gateway Dragino LPS8	$159	Cable 2x18 awg antiflama (14 m)	$9,20	Cable 2x18 awg antiflama (14 m)	$9,20
Sensor de temperatura Dragino LTC2 con sensor PT100	$58	Manguera corrugada ½” (10 m)	$2,50	Manguera corrugada ½” (10 m)	$2,50
Sensor de temperatura, humedad y calidad de aire Dragino LAQ4	$68	Gabinete sencillo (incluye central DSC 585, teclado 585, Batería 12V, transformador alarma, luz estroboscópica)	$90	Central Bosch 7024 convencional 4 zonas y direccionable 2 lazos	$365
Patch cord UTP cat 6A (1 m)	$4,50	2 detectores de humo convencional	$24	2 Detectore de humo Bosch direccionable con base	$101
		1 detectores de temperatura convencional	$12		
TOTAL	$289,50	**TOTAL**	$137,70	**TOTAL**	$477,70

En los sistemas convencionales hay un factor adicional que es la posibilidad de tener que dañar paredes y cielo raso, lo que representa un valor adicional ya que se necesita resanar las partes dañada