



**Desarrollo e implementación de un sistema prototipo de alerta contra conato de incendios
domésticos utilizando tecnología SigFox**

Granda Robalino, Andrea Elizabeth y Rosas Arteaga, Jonathan Roberto

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

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

Ing. Lara Cueva, Román Alcides PhD.

01 de Febrero de 2022



Tesis_Granda_Rosas_Final (1).pdf

Scanned on: 14:54 February 1, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text



Escaneado electrónicamente por:
**ROMAN
ALCIDES LARA**

Identical Words	406
Words with Minor Changes	92
Paraphrased Words	588
Ommited Words	4247



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Desarrollo e implementación de un sistema prototipo de alerta contra conato de incendios domésticos utilizando tecnología SigFox**” fue realizado por la señorita **Granda Robalino, Andrea Elizabeth** y el señor **Rosas Arteaga, Jonathan Roberto**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 01 de febrero 2022



Firmado y controlado digitalmente por:
**ROMAN
ALCIDES LARA**

Ing. Román Alcides Lara Cueva PhD.

C.C 1713988218



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Granda Robalino, Andrea Elizabeth** y **Rosas Arteaga, Jonathan Roberto**, con cédulas de ciudadanía n°1718421868 y 1724606833, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Desarrollo e implementación de un sistema prototipo de alerta contra conato de incendios domésticos utilizando tecnología SigFox”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 01 de febrero de 2022

Firma

.....
Granda Robalino Andrea Elizabeth

C.C 1718421868

.....
Rosas Arteaga Jonathan Roberto

C.C 1724606833



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Granda Robalino, Andrea Elizabeth y Rosas Arteaga, Jonathan Roberto**, con cédulas de ciudadanía n°1718421868 y 1724606833, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Desarrollo e implementación de un sistema prototipo de alerta contra conato de incendios domésticos utilizando tecnología SigFox”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 01 de febrero de 2022

Firma

.....
Granda Robalino, Andrea Elizabeth

C.C.: 1718421868

.....
Rosas Arteaga, Jonathan Roberto

C.C.: 1724606833

DEDICATORIAS

Dedico este proyecto de investigación a mi madre Martha y a mi padre Walter cuyo cariño, tolerancia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy una meta más en mi vida, agradezco sus enseñanzas de esmero, perseverancia y autonomía ante cualquier contratiempo. A mi hermana Fernanda por su empatía, amor y respaldo absoluto, a lo largo de este tiempo, por ser mi confidente en todo momento. A ese ser especial que iluminó mi vida y que ahora me cuida desde donde esté.

Andrea Elizabeth Granda Robalino

Dedico fielmente este proyecto de investigación a mi madre Gloria quien siempre se mantuvo apoyándome y dándome ánimos para culminar con todas mis metas propuestas con éxito, un ejemplo a seguir indudablemente con su amor y cariño incondicional. A mi padre por apoyarme económicamente con mis estudios y mi proyecto ya que sin estos recursos se me hubiera dificultado el poder culminar de la manera deseada. A mi hermano Mauricio quien a pesar de la distancia siempre estuvo pendiente tanto de mis estudios como de mi superación personal y sentimental, contar con su apoyo ha sido de vital importancia para poder continuar con mis sueños. A la familia Arteaga Córdoba, Arteaga Arrollo y Arteaga Romo quienes siempre me brindan ese apoyo y amor infinito, unas personas maravillosas en todo el sentido de la palabra. A mi cuñada y mi sobrina quienes han jugado un papel importante en la vida de las personas que más quiero como lo es mi madre y abuela.

Jonathan Roberto Rosas Arteaga

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional, a mi madre Martha quien es mi pilar y soporte principal, por estar siempre en las buenas, pero sobre todo por estar en las dificultades a lo largo de mi formación académica, a mi padre Walter por ser el guardián de mis sueños y guiarme con su conocimiento.

A mi hermana Fernanda por su lealtad, tiempo, paciencia y compañera de locuras, pero sobre todo por ser mi mejor amiga en los momentos donde más lo he necesitado.

A mi mejor amigo y compañero de tesis Jonathan con quien he compartido diferentes momentos y etapas.

Finalmente, agradezco al Dr. Román Lara por su conocimiento, enseñanza y colaboración como director del proyecto de investigación que permitió el desarrollo de este proyecto.

Andrea Elizabeth Granda Robalino

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por permitirme ser parte de su institución y por permitirme cumplir uno de mis metas que es poder graduarme como ingeniero en electrónica y telecomunicaciones de una prestigiosa universidad.

Al Ph.D Román Lara por brindarnos su apoyo incondicional durante todo el proceso de desarrollo del proyecto de investigación.

Al Master Julio Larco por ayudarnos con muchas recomendaciones en el proceso de desarrollo del proyecto para implementar utilidades novedosas y óptimas para mejorar nuestro sistema prototipo.

A todas las personas que residen en el conjunto habitacional Ibiza por permitirnos llevar a cabo la encuesta realizada a los usuarios principales de cada hogar.

A mi amiga y compañera de tesis Andrea Granda por estar siempre firme al momento de llevar a cabo el proyecto de investigación y por mantenerme centrado en mis prioridades a todo momento.

Jonathan Roberto Rosas Arteaga

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS	6
AGRADECIMIENTOS	7
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS	15
ÍNDICE DE FIGURAS	18
ABSTRACT.....	25
Capítulo I.....	26
Introducción.....	26
Antecedentes	26
Justificación e Importancia.....	29
Alcance del Proyecto	31
Objetivos	32
General.....	32
Específicos.....	33
Trabajos Relacionados.....	33
Capítulo II.....	36
Marco Teórico	36
Incendios.....	36
Triángulo del Fuego.....	36
Comburente	37

	10
Combustible	37
Energía de Activación	38
Tetraedro de Fuego	39
Reacción en Cadena	39
Factores que Producen Fuego	40
Punto de Inflamación	40
Temperatura de Ignición	41
Límites de Inflamabilidad	42
Fuentes de Ignición	44
Clasificación de Tipos de Fuego	46
Internet de las Cosas	47
Arquitectura IoT	49
Características de IoT	50
Aplicaciones IoT	51
Redes de Sensores Inalámbricos	53
Ventajas y Desventajas de los Sistemas WSN.....	55
Componentes de las WSNs	56
Redes LPWAN.....	58
Tecnología Zigbee.....	58
Tecnología LoRa	60

	11
Cobertura LoRa	61
NB-IoT	61
SigFox	62
Mensajes de SigFox	64
Arquitectura de SigFox	64
Ultra Narrow Band	64
Sistemas de Alarmas y Detección de Incendios.....	65
Sensores Disponibles en el Mercado	66
Sensor de Temperatura.....	66
Sensores de Humo	67
Alimentación a Través de Ethernet	69
Ventajas de Usar Tecnología PoE	70
Capítulo III	72
Materiales y Métodos	72
Módulo Dev Xkit Thinxtra de SigFox.....	72
Arduino Uno R3.....	74
Sensores para Monitorizar un Conato de Incendios.....	75
Sensor de Gas.....	76
Sensor de Alcohol.....	77
Sensor de Humo	78

	12
Sensor de Temperatura.....	79
Sistema de Alimentación.....	80
Banco de Baterías.....	81
Convertidor Step – Down	82
Empaquetamiento de los Componentes	83
Sistema de Cableado UTP.....	83
Capítulo IV.....	85
Desarrollo e Implementación.....	85
Arquitectura del Sistema.....	85
Etapa de la Red.....	86
Etapa del Servidor	86
Etapa del Usuario	86
Registro del Módulo Xkit Thinextra de SigFox	86
Librerías.....	90
Programación IDE Arduino	92
Sensor de Temperatura (DHT11).....	93
Sensores MQ.....	94
Comunicación SigFox.....	95
Tabla de Datos	98
Configuración de la Base de Datos	100

Configuración de los Callbacks	101
Aplicación Móvil	104
Implementación del Diseño.....	106
Escenarios de Pruebas.....	107
Análisis de las Encuestas	108
Ubicación Geográfica	111
Ubicación de los Sensores en el Domicilio	112
Diseño del Circuito Impreso	116
Presupuesto del Prototipo	125
CAPITULO V	127
Análisis de resultados.....	127
Escenarios de prueba para los diferentes sensores.....	127
Conversión de decimal a PPM del sensor MQ2	127
Conversión de decimal a mg/L del sensor MQ3	130
Conversión de decimal a PPM de sensor MQ7	133
Resultados obtenidos en el escenario 1	136
Resultados obtenidos en el escenario 2	141
Resultados obtenidos en el escenario 3	144
Análisis de QoS	147
Análisis del RSSI de los nodos sensores	147

Análisis de cantidad de paquetes de datos	150
Análisis de retardos.....	151
Conclusiones y Recomendaciones.....	154
Conclusiones	154
Trabajos Futuros	157
Referencias	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Puntos de inflamación de los líquidos inflamables y combustibles.....	40
Tabla 2 Clases dde líquidos inflamables.....	41
Tabla 3 Temperatura de ignición.....	42
Tabla 4 Elementos combustibles y sus límites de inflamabilidad.....	43
Tabla 5 Áreas principales de las aplicaciones del IoT.....	53
Tabla 6 Análisis de características de WSN e IoT.....	54
Tabla 7 Ventajas y desventajas de las WSNs.....	56
Tabla 8 Estándares de la tecnología PoE.....	70
Tabla 9 Características del chip WISOL.....	73
Tabla 10 Especificaciones del Chip WISOL.....	73
Tabla 11 Características Arduino Uno R3.....	75
Tabla 12 Características del módulo MQ2.....	77
Tabla 13 Características del módulo MQ3.....	78
Tabla 14 Características del módulo MQ7.....	79
Tabla 15 Características del módulo DHT11.....	80
Tabla 16 Características técnicas del adaptador Ac-DC universal EVL.....	81
Tabla 17 Características de la batería LiPo TCB WORTH.....	81
Tabla 18 Características del convertidor de voltaje DC – DC LM2596.....	82
Tabla 19 Especificaciones técnicas del cable Categoría 6a UTP.....	84
Tabla 20 Paquetes de mensajes de suscripción SigFox.....	90
Tabla 21 Funciones de las librerías Isigfox.....	91
Tabla 22 Funciones de las librerías Tensors.....	91
Tabla 23 Funciones de la librería SimpleTimer.....	92

Tabla 24 Funciones de la librería DHT.....	92
Tabla 25 Características del Web Hosting gratuito 000webhost.....	98
Tabla 26 Datos recibidos decodificados.....	103
Tabla 27 Características de los objetos TextView.....	105
Tabla 28 Distribución de las entradas.....	115
Tabla 29 Presupuesto del sistema de alerta contra conato de incendios domésticos..	126
Tabla 30 Resultado de las muestras tomadas por los sensores del nodo sensor 1 en el escenario 1.....	137
Tabla 31 Resultado de las muestras tomadas por los sensores del nodo sensor 2 en el escenario 1.....	137
Tabla 32 Valores promedio y valor real de las mediciones en el nodo sensor 1 en el escenario 1.....	140
Tabla 33 Valor promedio y valor real del sensor de temperatura del nodo sensor 1 en el escenario 1.....	140
Tabla 34 Valores promedio y valor real de las mediciones en el nodo sensor 2 en el escenario 1.....	141
Tabla 35 Valor promedio y valor real del sensor de temperatura en el nodo sensor 2 en el escenario 1.....	141
Tabla 36 Resultado de valores medidos por el nodo sensor 1 en el escenario 2.....	142
Tabla 37 Valor promedio del sensor de temperatura en el nodo sensor 1 en el escenario 2.....	142
Tabla 38 Resultado de valores medidos por el nodo sensor 1 en el escenario 2.....	143
Tabla 39 Valor promedio del sensor de temperatura en el nodo sensor 2 en el escenario 2.....	143

Tabla 40 Resultado obtenido en mediciones del nodo sensor 1 y 2 en el escenario 3.	145
Tabla 41 Resultados de los paquetes enviados, recibidos y perdidos en el nodo sensor 1.....	150
Tabla 42 Resultados de los paquetes enviados, recibidos y perdidos en el nodo sensor 2.....	151
Tabla 43 Retardo promedio de los nodos sensores 1 y 2.....	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Triángulo del fuego.....	36
Figura 2 Estados de los productos o materiales combustibles.....	38
Figura 3 Tetraedro de fuego.....	39
Figura 4 Límites de inflamabilidad.....	44
Figura 5 Esquema de una ignición dirigida.....	45
Figura 6 Simbología y ejemplos de la clasificación del fuego.....	47
Figura 7 Modelo de referencia de IoT.....	49
Figura 8 Aplicaciones de IoT.....	52
Figura 9 Total, de conexiones IoT en América Latina 2010 – 2025.....	55
Figura 10 Elementos de un sistema WSN.....	57
Figura 11 Módulos Xbee.....	59
Figura 12 Cobertura de proveedores LoRa.....	61
Figura 13 Cobertura de proveedores SigFox.....	63
Figura 14 SDR Dongle.....	64
Figura 15 Comparación de la señal Ultra Narrow Band.....	65
Figura 16 Sensor MQ2 gas, metano, butano, LPG y humo.....	68
Figura 17 Sensor de monóxido de carbono MQ3.....	68
Figura 18 Sensor de monóxido de carbono MQ7.....	69
Figura 19 Componentes del Módulo Dev Xkit Thinextra.....	72
Figura 20 Configuración de los pines de entrada y salida del módulo Xkit Thinextra.....	74
Figura 21 Sensores típicos de un Sistema de Detección de Incendios.....	75
Figura 22 Módulo MQ2 para Arduino: a) Sensor de gas MQ2 y b) Componentes y pines.....	76

Figura 23 Módulo MQ3 para Arduino: a) Sensor de gas MQ3 y b) Componentes y pines.....	77
Figura 24 Módulo MQ7 para Arduino: a) Sensor de gas MQ7 y b) Componentes y pines.....	78
Figura 25 Pines del Sensor de Temperatura DHT11.....	79
Figura 26 Adaptador Universal EVL.....	80
Figura 27 Bateria LiPo TCB WORTH.....	81
Figura 28 Covertidor de voltaje DC – DC LM2596.....	82
Figura 29 Caja plástica para nodos sensores.....	83
Figura 30 Cable de Categoría 6a.....	83
Figura 31 Arquitectura del envío de mensajes.....	85
Figura 32 Despliegue de la red en el país.....	87
Figura 33 Ingreso de datos para el registro.....	88
Figura 34 Registro de datos personales.....	88
Figura 35 Verificación de suscripción.....	89
Figura 36 Detalles del plan de suscripción SigFox.....	89
Figura 37 Conexión del sensor DHT11.....	93
Figura 38 Inicialización del sensor DHT11.....	94
Figura 39 Conexión del sensor MQ2.....	94
Figura 40 Asignación de variables con respecto a las librerías SigFox.....	95
Figura 41 Configuración del payload de SigFox.....	95
Figura 42 Creación de arreglo de 6 bytes.....	96
Figura 43 Diagrama de flujo de código fuente.....	97
Figura 44 Tablas de la base de datos id17942987_sensores.....	98

Figura 45 Tablas de la base de datos: a) Variavles tabla NodoSensor y b) Variables tabla NodoSesnor2.....	99
Figura 46 Parámetros para la conexión.....	100
Figura 47 Conexión con la base de datos.....	100
Figura 48 Creación de variables.....	101
Figura 49 Inserción de datos.....	101
Figura 50 Mensajes codificados recibidos en el backend de SigFox.....	102
Figura 51 Configuración de Callback.....	103
Figura 52 Interfaz principal de la aplicación.....	104
Figura 53 Acceso y obtención de los datos.....	105
Figura 54 Gráfica obtenida en la simulación.....	106
Figura 55 Escenarios de pruebas: a) Primer escenario, b) Segundo escenario y c) Tercer escenario.....	107
Figura 56 Resultados de encuesta, pregunta 1.....	109
Figura 57 Resultados de encuesta, pregunta 3.....	109
Figura 58 Resultados de encuesta, pregunta 4.....	110
Figura 59 Resultados de encuesta, pregunta 6.....	110
Figura 60 Resultados de encuesta, pregunta 8.....	111
Figura 61 Ubicación geográfica del despliegue de la red de sensores.....	112
Figura 62 Ubicación de los sensores en la cocina.....	113
Figura 63 Ubicación de los sensores en la sala y comedor, y el primer Nodo Sensor....	113
Figura 64 Ubicación de los sensores en el primer dormitorio y el segundo Nodo Sensor.....	114
Figura 65 Ubicación del sensor en el segundo dormitorio.....	114

Figura 66 Distribución de las entradas: a) Nodo sensor 1 y b) Nodo sensor 2.....	116
Figura 67 Diseño de la placa del circuito final.....	117
Figura 68 Secciones principales del circuito final.....	117
Figura 69 Disposición de los elementos.....	118
Figura 70 Despliegue de los nodos sensores: a) Nodo sensor 1, b) Componentes y c) Nodo sensor 2.....	119
Figura 71 Instalación de los nodos sensores en la casa.....	120
Figura 72 Ubicación de los nodos sensores de la cocina.....	121
Figura 73 Ubicación de los sensores MQ3 y MQ7.....	122
Figura 74 Ubicación de los sensores MQ7 y DHT11.....	122
Figura 75 Pantalla inicial de la aplicación móvil.....	123
Figura 76 Pantalla de mediciones del sistema prototipo de alerta contra conato de incendios.....	123
Figura 77 Gráficas de cada uno de los botones del panel de mediciones.....	124
Figura 78 Tabla del botón alarmas.....	124
Figura 79 Notificaciones de alarma en el dispositivo Android.....	125
Figura 80 Curvas características del sensor MQ2.....	128
Figura 81 Curva característica del sensor MQ2 en escala logarítmica.....	128
Figura 82 Curva característica del sensor MQ2 en escala exponencial.....	129
Figura 83 Gráfica de RS/RO vs el valor decimal leído.....	129
Figura 84 Ecuación característica del valro medido vs valor real en ppm del sensor MQ2.....	130
Figura 85 Curvas características del sensor MQ3.....	131
Figura 86 Curva característica del sensor MQ3 en escala logarítmica.....	131

Figura 87 Curva característica del sensor MQ3 en escala exponencial.....	132
Figura 88 Gráfica del RS/RO vs el valor decimal leído del sensor MQ3.....	132
Figura 89 Ecuación característica del valor medido vs valor real en ppm del sensor MQ3.....	133
Figura 90 Curvas características del sensor MQ7.....	134
Figura 91 Curva características del sensor MQ7 en escala logarítmica.....	134
Figura 92 Curva característica del sensor MQ7 en escala exponencial.....	135
Figura 93 Gráfica del RS/RO vs el valor decimal leído del sensor MQ3.....	135
Figura 94 Ecuación característica del valor medido vs valor real en ppm del sensor MQ7.....	136
Figura 95 Gráfica de los resultados de mediciones en el nodo sensor 1 en el escenario 1.....	138
Figura 96 Gráfica de los resultados de mediciones en el nodo sensor 2 en el escenario 1.....	138
Figura 97 Gráfico de resultados obtenidos por el nodo sensor 1 en el escenario 2.....	143
Figura 98 Gráfico de resultados obtendios por el nodo sensor 2 en el escenario 2.....	144
Figura 99 Gráfico comparativo de los valores en el escenario 1 vs el escenario 2.....	145
Figura 100 Mensaje de alerta al backend de SigFox en el escenario 3.....	146
Figura 101 Callback de alerta al momento de generar un incremento en la lectura de sensores.....	147
Figura 102 Gráfica del RSSI en función del tiempo en el nodo sensore 1.....	148
Figura 103 Gráfica de RSSI en función del tiempo en el nodo sensor 2.....	149
Figura 104 Mediciones del RSSI durante muestreo constante de lectura de los datos durante 4 días.....	150

Figura 105 Gráfica de los retardos generados por el nodo sensor 1..... 152

Figura 106 Gráfico de retardos generados por el nodo sensor 2..... 153

RESUMEN

Los sistemas contra incendios de hoy en día han sido fundamentales para prevenir accidentes en el hogar. Básicamente, los sistemas contra incendios se basan en un nodo central, que es el que recibe y analiza toda la información obtenida de la lectura de los sensores para comparar los valores normales con los valores detectados, en caso de una variación drástica, se envía una señal de alerta para que se puedan tomar acciones al respecto. La tecnología SigFox proporciona una red independiente que además tiene un bajo consumo de energía, es posible implementar un banco de baterías con el que se puede alimentar cualquier sistema con un tiempo de autonomía considerable, como en caso de emergencia la pérdida total de conexión a Internet y a la red eléctrica doméstica. En el presente proyecto se propone un sistema prototipo contra conato de incendios para detectar cualquier anomalía, ya sea generada por gas, humo, alcohol o temperaturas excesivas en el interior de la vivienda, el mismo que dispone de una red de 10 sensores conectados en 2 nodos sensores ubicados de manera estratégica dentro del domicilio y para hacer de este proyecto un sistema parcialmente autónomo, se implementó un banco de baterías que le da al sistema una independencia que alerta en tiempo real al usuario para que pueda realizar una llamada al ECU 911, independientemente de que haya una falla en el sistema eléctrico del domicilio. Los datos recolectados por los diferentes sensores muestran que la casa tiene una temperatura promedio de (19.90 °C), el sensor de humo indica que hay variaciones entre (45 a 88 ppm), el sensor de alcohol obtuvo mediciones de (0.12 mg/L) y finalmente el sensor de gas (236 a 383 ppm).

PALABRAS CLAVE

- **TECNOLOGÍA SIGFOX**
- **NODO CENTRAL**
- **PPM**

ABSTRACT

Currently fire protection systems has been fundamental in preventing accidents in the home. Basically, fire systems are based on a central node, which is the one that receives and analyzes all the information obtained from the reading of the sensors to compare the normal values with the detected values, in case of a drastic variation, a warning signal is sent so that actions can be taken. The SigFox technology provides an independent network that also has a low power consumption, it is possible to implement a battery bank with which you can power any system with a considerable autonomy time, as in case of emergency the total loss of connection to the Internet and the home electrical network.

This project proposes a prototype system against fire outbreak to detect any anomaly, either generated by gas, smoke, alcohol or excessive temperatures inside the house, which has a network of 10 sensors connected in 2 sensor nodes strategically located inside the house and to make this project a partially autonomous system, a battery bank was implemented that gives the system an independence that alerts the user in real time so that the user can make a call to ECU 911, regardless of whether there is a failure in the electrical system of the house. The data collected by the different sensors show that the house has an average temperature of (19.90 °C), the smoke sensor indicates that there are variations between (45 to 88 ppm), the alcohol sensor obtained measurements of (0.12 mg/L) and finally the gas sensor (236 to 383 ppm).

KEYWORDS

- **SIGFOX TECHNOLOGY**
- **CENTRAL NODE**
- **PPM**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

El Internet de las Cosas (IoT, del inglés *Internet of Things*) ha alcanzado mayor importancia en este tiempo debido a que el usuario necesita interactuar, monitorizar, buscar y administrar todos los dispositivos que puedan conectarse a Internet. La población local, nacional, y mundial se ha dedicado a utilizar y desarrollar nuevas tecnologías con las que se pueda reunir, analizar, y distribuir datos que podemos convertir en información y conocimiento (Tenelanda Santillán & Coronel Silva, 2016).

Se han desarrollado varios sistemas electrónicos basados en IoT con la finalidad de prevenir accidentes como incendios, erupciones volcánicas, terremotos entre otras, que son provocados por el hombre o por la naturaleza, es por esta razón que es de vital importancia aportar al desarrollo tecnológico con nuevos dispositivos, sobre todo en los hogares que son los más afectados por este tipo de accidentes. Es necesario evitar incendios antes de que las consecuencias tengan daños irreparables (Chávez Robalino, 2017).

En (Bajaña Molina & Molina Sarco, 2020) se presenta el diseño de un prototipo de detección de gases inflamables, temperatura y alarmas contra incendios, donde se usó el Arduino uno como microcontrolador que procesa la información obtenida por los sensores de: temperatura DHT22, gas GLP (Gas Licuado de Petróleo) Flying Fish MQ2 y humo Hangroy DSW-928N, luego del procesamiento de las señales de adquisición se conecta al módulo Ethernet Shield, para tener conexión a la red, se envían los datos a la plataforma IoT Ubidots, la cual está configurada para enviar alertas mediante correos electrónicos en el caso de existir alguna notificación que enviar.

El IoT consiste en un mundo de dispositivos que se identifican en la Internet y, a su vez, crece a pasos agigantados. Las redes de sensores inalámbricos (WSN, del inglés *Wireless Sensor Network*), son importantes en la interconexión digital de objetos a la Internet, ya que incrementan la ubicuidad de las redes con dispositivos inteligentes de bajo costo y fácil implementación, estas usan el estándar IEEE 802.15.4 en la capa física, el estándar IPv6 sobre redes de área personal inalámbrica de baja potencia (6LoWPAN, del inglés *IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks*) en la capa de red y el protocolo de enrutamiento para redes con pérdidas y de baja potencia (RPL, del inglés *IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks*), estos estándares y el protocolo RPL integran el concepto de IoT en las actividades de vida cotidiana del ser humano, como por ejemplo: aplicaciones para el hogar, oficinas confortables, salud, vigilancia del medio ambiente y ciudades inteligentes (Cama, De la Hoz, & Cama, 2012).

Las redes de comunicación evolucionaron hacia el concepto de IoT, para lo cual han surgido varias redes que intentan satisfacer la demanda, entre ellas están las redes inalámbricas de baja potencia de área extendida (LPWAN, del inglés *Low Power Wide área Network*), estas aparecieron con el auge de las redes WSN. Además, son específicamente útiles para la monitorización de sensores sobre el estado de un entorno. Entre las tecnologías LPWAN más populares se encuentran: Zigbee, LoRa, NB-IoT, y SigFox (Guaca Girón & López Hurtado, 2020).

Según (Erazo P. & Hervas P., 2014) crean un sistema denominado *Natura Sys*, este consta de motas o nodos sensores, cabe recalcar que una mota es un diminuto dispositivo conformado por: un microprocesador con memoria, sensores, una radio de baja potencia y una batería. Estas motas receptan las variables ambientales, las cuales son: temperatura, humedad y presencia de humo. Además, tiene una base de datos central, en donde se almacenan los datos

de las variables medidas y esta información se visualiza en gráficas estadísticas en una página web, de esta manera se puede monitorizar el área forestal.

Con el tiempo, la tecnología SigFox ha experimentado un auge debido que tiene una amplia cobertura y un bajo consumo de energía, lo que la convierte en la solución más económica y óptima caracterizada por un alto nivel de precisión ya que todos los datos se envían en quasi tiempo real. Esta nueva herramienta desarrolla y crea nuevos dispositivos que miden las variables, como la temperatura, la humedad, las partículas de elementos químicos, el humo, entre otras, que con la ayuda de sensores es posible recopilar todo tipo de datos o variables para un fin específico (Flores Banchón & Maza Pacheco, 2018).

En base al problema de los continuos incendios en los hogares debido a cargadores que explotan, fugas de gas, colillas de cigarrillos, fallas de máquinas industriales, etc. Se llevaron a cabo varios proyectos relacionados para evitar este tipo de incidentes, en los que se utiliza tecnología SigFox, ya que es independiente de la Internet y puede alertar de manera inmediata al usuario final siempre que este dispositivo cuente con energía suficiente para el envío de datos (Robalino, 2017).

En (Cervantes Portero, Aplicación de comunicaciones inalámbricas LPWAN para detección de incendios forestales basados en sistemas IoT, 2018) se propone una solución para la detección de incendios forestales, donde el sistema desarrollado usa una red WSN que monitoriza la variable temperatura para detectar anomalías en el entorno. Los datos de la temperatura recolectados por los sensores son enviados a la nube de SigFox, luego de ser almacenada la información en los servidores, se visualiza y gestiona con una aplicación móvil por medio del servicio API REST. La información que se muestra en la aplicación móvil sirve para alertar a los usuarios de la presencia de fuego, también realiza un mapa con las zonas donde se encuentra el incendio, además se tiene un mayor control de la expansión y evolución del mismo.

Al final de este capítulo se presenta de forma detallada los trabajos relacionados con la detección de incendios con distintos tipos de tecnologías como: SigFox, Zigbee, NB-IoT y LoRa.

Justificación e Importancia

La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA, del inglés *National Fire Protection Association*), en su informe del 2014 al 2018 muestra que el 27% de los incendios a nivel mundial son generados en hogares, el 77% corresponden a víctimas mortales por incendio mientras que el 73% corresponde a heridos por incendios de estructuras domésticas (NFPA, Home structure fires, 2020).

Las estadísticas sobre las lesiones y mortalidad del Hospital de *Stanford Children's Health*, manifiestan que el 70% corresponden a las muertes en incendios por inhalación de gases tóxicos que se producen durante los incendios, mientras que el 30% pertenece a las muertes por quemaduras y lesiones generadas por incendios. De hecho, la mayoría de los incendios domésticos generalmente se inician por fuegos encendidos sin saberlo, como los cigarrillos encendidos (Stanford Children's Health, s.f.).

En Ecuador, el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil (BCBG) en su informe rendición de cuentas 2020 muestra que se han atendido 30.367 llamados de auxilio, de las cuales 18.794 corresponden a atención pre hospitalaria, seguidamente 2.997 pertenecen a incendios declarados de gran magnitud entre estructurales, forestales y vehículos, 959 y 299 corresponden a materiales peligrosos y rescate animal (BCBG, 2020).

Los registros de estadísticas monitorizadas por la Sala de Comando de Incidentes del Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito, durante el año 2019, atendió 28.244 emergencias, referente a siniestros, incendios, materiales peligrosos, entre otros. El personal operativo de la Dirección de Operaciones atendió un total de 13.004 siniestros, de los cuales 4.537 corresponde a incendios forestales, 4.669 auxilios, 1.637 rescates, 1.464 incendios

estructurales. El balance general establece que existe un decrecimiento de las emergencias del 9% respecto al año 2018; especialmente en emergencias pre hospitalarias, atención telefónica y coordinación inter institucional; mientras que en siniestros aumentó el 15%, respecto al año anterior, es decir, en el 2018 se tiene un total de atenciones de 49.509 y en el 2019 las atenciones fueron 45.166 (Quito Informa, 2020).

Los principales problemas que se presentan a la hora de usar sistemas ya existentes en el mercado sobre detección de conato de incendios son: los altos costos de los existentes detectores de humo y fuego, tipo de comunicación que utilizan dichos sistemas, así como también la eficiencia de los sistemas ya que sólo detectan, pero no alertan a los Cuerpos de Bomberos. Contrariamente los sistemas que se desarrollan en base a la investigación aplicada e ingeniería inversa pueden subsanar estos inconvenientes con costos muy reducidos y con garantía de una transferencia de tecnología real dentro de todos los procesos de implementación.

Por lo tanto, la detección y alerta de conato de incendios basado en la medición de variables y discriminación de posibles escenarios logra superar estas dificultades mediante el uso de la tecnología SigFox lo que a través de la investigación y desarrollo pueden ser solventados al dar como resultado mejores herramientas para evitar este tipo de calamidades que son muy comunes en el país.

Los sistemas de detección de conato de incendios se ven afectados por la cantidad de datos que se pueden enviar ya que se trabaja con dicha tecnología mediante el uso de una plataforma a la que únicamente se pueden enviar cierta cantidad de datos al día a menos que se pague un valor adicional para un envío de datos mucho más cercano a lo que se necesita para una detección óptima de incendios en tiempo real.

Esta investigación desarrolla el prototipo de un sistema para detectar y alertar un incendio domiciliar con la ayuda de sensores de humo, temperatura, llama y gases inflamables, además incluye una comunicación SigFox la cual permite un envío de datos a largas distancias sin necesidad de una red Wi-Fi para lograr mayor independencia de nuestro sistema contra conato de incendios se utilizó la tecnología SigFox, que funciona sin necesidad de acceso a Internet y mucho menos contar con una red Wi-Fi dentro de la casa, lo que hace que el sistema sea más óptimo al momento de detectar una anomalía, este prototipo puede también ser utilizado por el usuario final y por el Cuerpo de Bomberos de esta manera evitar que las llamas se propaguen ampliamente y causen daños graves en las instalaciones. Esta investigación se enfoca en el desarrollo de un prototipo de detección y alerta de conato de incendios que utiliza los diferentes sensores existentes en el mercado ya que tienen un costo accesible. Cabe destacar que el prototipo dispone de una aplicación móvil, desde la cual el usuario final pueda monitorizar su casa y así reducir el porcentaje de incendios en la ciudad.

Alcance del Proyecto

El proyecto desarrolla e implementa un sistema de alerta contra conato de incendios domésticos en un departamento promedio que consta de: tres habitaciones, sala, comedor, cocina, tres baños y garaje. Este sistema está equipado con sensores que monitorizan la temperatura, el humo y elementos químicos inflamables en tiempo real, estos sensores se encuentran conectados de manera alámbrica hacia la placa de desarrollo Thinxtra la cual dispone de soluciones IoT económicamente viables y operativamente escalables con alcance global, además, se conecta a la red de SigFox y envía los datos obtenidos de cada uno de los sensores a la nube asimismo permite a los usuarios generar una gran variedad de aplicaciones reales que contribuyen de gran manera al ser humano y a la tecnología como tal.

También comprende un diseño de banco de baterías, el cual almacena la energía de reserva que es utilizada por el sistema durante algún fallo en la red eléctrica del hogar, así mismo, se realiza un estudio de la ubicación de los sensores en base a los planos arquitectónicos que se elabora en AutoCAD para tener un mayor alcance de los sensores.

Para la adquisición de datos del sistema de alerta contra conato de incendios se desarrollan tres escenarios, que son: el primer escenario consta de un ambiente con una temperatura ambiente, libre de humo, sin llamas, fugas de gas o alcohol doméstico; el segundo escenario consta de una persona que utiliza elementos que manejan comúnmente gas doméstico como calefones, cocinas, chimeneas, etc. y el último escenario nadie está en el hogar y todos los elementos del hogar deben estar apagados, pero se detecta una fuga de gas o anomalías en la temperatura del domicilio.

Los datos enviados por los sensores son almacenados en la nube de SigFox para seguidamente realizar un *Callback* hacia la base de datos, con esto se logra almacenar la información y se la envía a la aplicación móvil, en la misma que se visualiza los datos de una manera gráfica y amigable para el usuario final, además si el sistema detecta alguna anomalía este envía mensajes de alerta.

Para cumplir con el alcance del proyecto de investigación se plantean los siguientes objetivos.

Objetivos

General

- Desarrollar e implementar un prototipo de un sistema de alerta contra conato de incendios domésticos utilizando tecnología SigFox.

Específicos

- Realizar un estudio del arte sobre sistemas de alerta y emergencias basados en SigFox.
- Analizar las características y prestaciones de los diferentes sensores de humo, temperatura, gas doméstico y alcohol existentes en el mercado.
- Realizar una encuesta a un conjunto residencial específico como muestra para determinar los lugares en los que comúnmente se coloca el alcohol desinfectante considerando que en tiempo de pandemia es un elemento químico primordial en todos los hogares.
- Tabular las mediciones de los diferentes sensores con los valores normales y anormales existentes en los distintos escenarios que se puedan presentar.
- Diseñar e implementar la red de sensores basándose en un departamento promedio utilizando tecnología SigFox para la comunicación.
- Diseñar una aplicación móvil a la cual se le puedan enviar mensajes de alarma contra incendios del hogar en tiempo real.
- Evaluar el desempeño y rendimiento del sistema de alarma en función del tiempo de reacción para el análisis de los parámetros asociados a la Calidad de Servicio (QoS).

Trabajos Relacionados

Las tecnologías inalámbricas actuales brindan muchas ventajas en cuanto a desarrollo de sistemas y aplicaciones en múltiples ámbitos que son de interés, para lo cual se ha trabajado en el desarrollo de prototipos que utilizan nuevas tecnologías como son: SigFox, LoraWAN y NB-

IoT. Donde un factor importante a considerar es la distancia que debe alcanzar el dispositivo para el envío de datos, al saber que SigFox es la que ofrece un mayor alcance y menor consumo de energía. Además, las redes LPWAN no necesitan de una infraestructura y pueden operar en bandas de frecuencia no licenciadas para lograr así sacar una gran ventaja en comparación con las redes de telefonía móvil.

Según (Flores Banchón & Maza Pacheco, 2018), se realizó un proyecto con el cual se miden variables físicas con el uso de sensores los mismos que están conectados a un dispositivo central que se encarga del envío de datos. Las variables medidas fueron CO₂ del ambiente, PH del suelo, Humedad del aire, Temperatura ambiente, Presión barométrica.

Todo esto para enfocarse en la agricultura y tener una idea clara del comportamiento de dichas variables físicas dentro de terrenos extensos, que para este caso específico se utilizó LoRa ya que no necesitan cubrir un área muy grande, sin embargo, al aplicar el mismo prototipo en una propiedad de mayor extensión se necesitaría trabajar directamente con SigFox ya que ofrece mayor alcance (Romero Vélez, 2020).

Uno de los objetivos en común de todos los trabajos realizados es que se necesita intercomunicar los sensores con un módulo central ya sea de forma unidireccional o bidireccional, es por esto que (Díaz Molano, 2019) diseñó una red de sensores que se intercomunican de forma bidireccional al hacer uso de esta nueva tecnología llamada SigFox. Toda la información recolectada con diferentes sensores es enviada a la nube de SigFox con el fin de posteriormente analizar los datos, así como también visualizar dichas variables en una plataforma de IoT. Debido a que es un área extensa se utilizaron tres nodos principales, uno de ellos es el principal que se encarga de enviar a la nube y se tiene como limitante el envío de datos ya que sólo se dispone de 140 mensajes de 12 bytes por día y de esta forma hace que el sistema no pueda tomar datos en tiempo real.

Ahora con el desarrollo de nuevas tecnologías es importante hacer un buen uso de las mismas es así como algunos proyectos se han enfocado en el cuidado y prevención de accidentes ya sean causados por el hombre o por la naturaleza. Una problemática a considerar son los incendios causados en hogares, bosques, etc. Un ejemplo de proyectos similares es el de David Portero que desarrolló un sistema para prevenir incendios forestales al hacer uso de la tecnología SigFox. En este proyecto se mide la temperatura en lugares estratégicos de los bosques para prevenir que en caso de existir un incendio este se extiendan las llamas y que causen graves daños irreparables en la naturaleza. Tiene como objetivo alertar al usuario que en este caso es el cuerpo de bomberos y presentar los datos mediante una aplicación móvil para posteriormente efectuar un esquema con los puntos de los incendios para controlar la extensión y evolución del mismo (Cervantes Portero, 2018).

Capítulo II

Marco Teórico

Incendios

Un incendio o fuego es una reacción química de oxidación y reducción fuertemente exotérmica, donde el oxígeno del aire oxida determinados compuestos que emiten una gran cantidad de energía en forma de calor y de esta manera libera partículas gaseosas a muy elevada temperatura lo que da lugar a la llama. En términos de incendios, el reductor se denomina combustible, el oxidante se conoce como comburente y la reacción entre ambos se denomina combustión (Loza Cevallos, 2009).

Para que se desarrolle la combustión se requiere una temperatura de inflamación definida, es decir, una temperatura mínima para que el combustible pueda liberar gases que ardan espontáneamente en contacto con un oxidante sin necesidad de energía de activación (CONAF, 2011).

Triángulo del Fuego

El comburente, combustible y la energía de activación o calor son los elementos del fuego y al mismo tiempo forman el triángulo del fuego, como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Triángulo del fuego.



Nota. Adaptado de Albornoz, Chereau y Araya (2016, p. 7).

Comburente

El primer factor del triángulo del fuego es el oxígeno, también conocido como comburente. Es uno de los elementos que conforma la atmósfera, en una proporción de un 21%, además este elemento no arde por sí solo necesita de un segundo elemento que es el combustible y al combinarse da lugar a la combustión.

El oxígeno es el gas más habitual de la atmósfera, aunque existen materiales que contienen oxígeno en su estructura molecular, mientras que otros no contienen oxígeno, pero a su vez pueden empezar o mantener la combustión como son los cloratos, boratos, permanganatos, principalmente (Albornoz G., Chereau M., & Araya S., 2016).

Los combustibles llegan a calentarse hasta lograr la temperatura de ignición, es decir, el oxígeno del entorno reacciona con ellos para producir fuego. Para romper el balance del triángulo del fuego, es suficiente con reducir el oxígeno al 14% o menos. Al disminuir la proporción de oxígeno, la combustión se retarda hasta llegar a desaparecer (Aguirre Briones, s.f.).

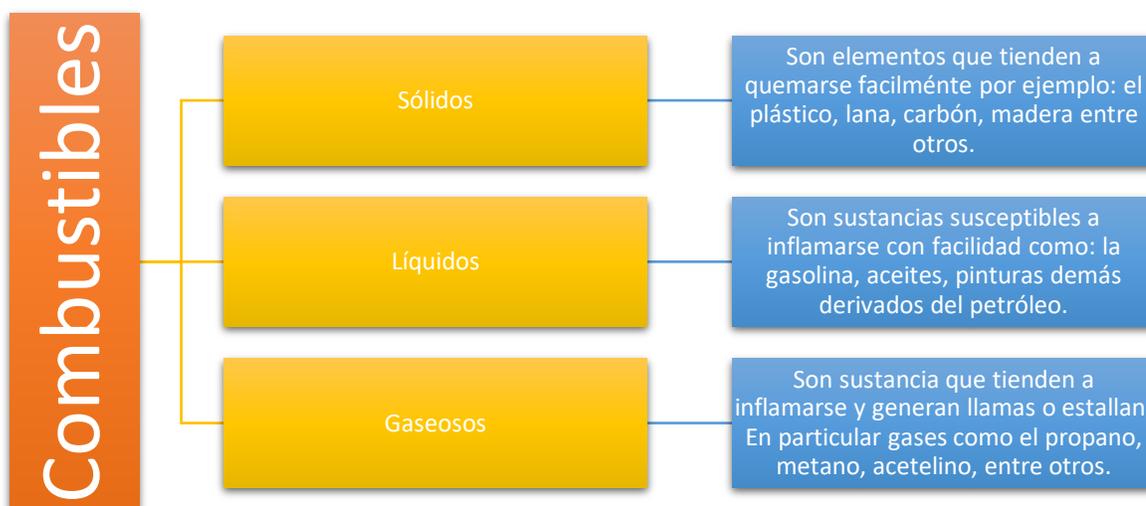
Combustible

El segundo factor del triángulo del fuego es el combustible. Es una sustancia capaz de experimentar una reacción de combustión. Estas sustancias pueden encontrarse en tres estados que son: líquido, sólido y gaseoso. Cuando se tiene presencia del comburente, este es susceptible de arder si se tiene la energía de activación necesaria, generalmente en forma de calor (AENA, s.f.).

En la Figura 2, se puede observar un mapa conceptual con los tres estados de los productos o materiales combustibles. Además, se tiene una definición y algunos ejemplos de cada uno de ellos.

Figura 2

Estados de los productos o materiales combustibles.



Nota. Adaptado de SENA (1990).

Energía de Activación

Es el último factor del triángulo del fuego, generalmente en forma de calor. El calor es una forma de energía, es decir, son moléculas en movimiento. La actividad molecular se mide por la temperatura, la cual se expresa en grados centígrados. Este elemento permite la reacción entre el oxidante y el carburante.

Esta energía es la encargada de romper el conjunto de los enlaces químicos de la estructura molecular del carburante en estado sólido, como resultado se produce la fusión, luego actúa sobre la tensión superficial del estado líquido hasta que cambia a estado gaseoso y se obtiene la vaporización (AENA, s.f.).

Se debe considerar que para cada estado de los materiales combustibles se tiene diferentes energías de activación. Por ejemplo: para iniciar la combustión de combustibles gaseosos el calor es mínimo, para los combustibles líquidos se requiere de mayor energía y para

los combustibles sólidos el calor se incrementa mucho más en comparación a los otros dos estados.

Tetraedro de Fuego

Existe un cuarto factor que se denomina reacción en cadena, este último factor más los tres anteriores generan el tetraedro de fuego, la Figura 3 muestra que, si un carburante y un oxidante se mezclan en la proporción adecuada y además reciben la energía de activación, esto da inicio a la combustión, al mismo tiempo genera suficiente calor para sostenerse, y las llamas de apertura provienen de una reacción en cadena.

Figura 3

Tetraedro de fuego.



Nota. Adaptado de Albornoz, Chereau y Araya (2016, p. 9).

Reacción en Cadena

La reacción en cadena es el paso de energía en forma de calor de una molécula a otra, para mantener y acelerar las reacciones de combustión hasta la destrucción parcial o total de la sustancia carburante (SENA, 1990). En otras palabras, es el calentamiento de las moléculas del aire hasta convertirlas en moléculas inestables o también se las denominan radicales libres.

Estos radicales son la aglomeración de los tres factores que conforman el triángulo del fuego en condiciones adecuadas para ocasionar el fuego.

Factores que Producen Fuego

Para que el fuego se mantenga existe una serie de factores físicos-químicos, entre los básicos están los líquidos inflamables y combustibles, estos se encuentran dentro de la clasificación de productos químicos y a su vez permiten establecer condiciones para la manipulación. Es de vital importancia ubicar los materiales que se tienen almacenados dentro de esta clasificación.

Punto de Inflamación

El punto de inflamación o *flash point* es la temperatura mínima a la que un líquido emite vapores que, combinados con el oxígeno del entorno se forma una mezcla inflamable en una concentración adecuada. Los líquidos se dividen en: inflamables y combustibles.

Tabla 1

Puntos de inflamación de los líquidos inflamables y combustibles.

Producto	Punto de inflamación	Producto	Punto de inflamación
ACPM	52°C	Gasolina	42°C
Aceites lubricantes	150°C	Metano	Cualquiera
Aceites minerales	190°C	Propano	Cualquiera
Acetonas	17°C	Petróleos	Desde 7°C hasta 80°C
Butano	Cualquiera	Polietileno	340°C
Combustoleo	93°C	Queroseno	42°C
Fuel oil	93°C		

Nota. ACPM (Aceite de combustible para motores). Adaptado de Trujillo (2014, p. 212).

Los líquidos inflamables generan vapores inflamables a temperaturas menores y hasta 38°C mientras que los combustibles necesitan temperaturas superiores a 38°C para producir

vapores que bajo las condiciones adecuadas se pueden prender. En la Tabla 1 se tiene algunos líquidos inflamables y combustibles con su temperatura mínima.

Según la NFPA (1996) se tiene como una guía diferencial la temperatura de 38°C ya que en el sistema de medición inglesa este valor es equivalente a 100°F. La NFPA en su código 30 define los líquidos inflamables y combustibles en clases como se puede observar en las Tabla 2.

Tabla 2

Clases de líquidos inflamables.

Clase	Punto de inflamación	Punto de ebullición
I A	Inferior a 23°C	Inferior a 38°C
I B	Inferior a 23°C	Superior a 38°C
I C	Superior a 23	Inferior a 38°C
II	Igual o superior a 38°C	Inferior a 60°C
III A	Igual o superior a 38°C	Inferior a 60°C
III B	Igual o superior a 93°C	

Nota. La tabla muestra los puntos de inflamación y de ebullición de las Clases I, II y III. Adaptado de Trujillo (2014, p. 213).

Temperatura de Ignición

Es la temperatura necesaria a la que un gas inflamable o su mezcla con el oxígeno del entorno emite suficiente vapor, si este a su vez está en presencia de una llama puede encenderse e incluso mantener la combustión sin necesidad de añadir calor externo. Las partículas de gas que emiten los productos o materiales son la causa de la combustión más no los productos, en la Tabla 3 se muestra algunos ejemplos con su respectiva temperatura de ignición.

En la Nota Técnica de Prevención (NTP) 379 sobre productos inflamables define que la temperatura de ignición es la temperatura mínima a la que la sustancia en contacto con el aire arde espontáneamente sin necesidad de una fuente de ignición (Turmo Sierra, s.f.).

Tabla 3*Temperatura de ignición.*

Producto	Temperatura de ignición	Producto	Temperatura de ignición
Algodón	230°C	Papeles	230°C
Aluminio en polvo	510°C	Petróleos	Desde 210°C
Cauchos	180°C	Pinturas	460°C
Fuel Oil	210 a 470°C	Propano	450°C
Gasolina	280 a 450°C	Queroseno	210°C
Maderas	200°C	Sedas	575°C
Metano	480°C		

Nota. Adaptado de Trujillo (2014, p. 214).

Límites de Inflamabilidad

La NTP 379 define los límites de inflamabilidad como las concentraciones mínimas y máximas de vapor o mezcla gaseosa con el ambiente, en el cual se inflama, también se le conoce como los límites de explosión porque provoca una explosión dependiendo de las condiciones de contención, la cantidad, la intensidad de la fuente de ignición en particular. Además, se suele intercambiar estos términos, es decir, para vapores y gases inflamables se usa límites de inflamabilidad y para polvos combustibles se denomina límites de explosividad (Turmo Sierra, s.f.).

De acuerdo a Trujillo Mejía (2014), los límites de inflamabilidad son la concentración de vapores inflamables bajo ciertas condiciones de la mezcla con el oxígeno y a la vez entre unos límites superior e inferior, que pueden mantener la combustión (p. 214).

En la Tabla 4 se observa los materiales combustibles con sus respectivos límites de inflamabilidad y valores típicos de la mezcla ideal de cada uno de ellos. El límite de inflamabilidad también indica el peligro de una sustancia, es decir, mientras más alto sea el valor entre el límite inferior y el límite superior el elemento es más dañino.

Tabla 4*Elementos combustibles y sus límites de inflamabilidad.*

Combustible	Límite Inferior	Mezcla ideal	Límite Superior
Acetato de etilo	2.2%	4.0%	11.4%
Acetileno	2.0%	7.4%	80.0%
Acetona	2.0%	4.8%	13.0%
Amoniaco	15.0%	21.0%	27.0%
Benceno	1.4%	2.6%	7.0%
Butano	1.8%	3.0%	9.0%
Etano	3.0%	5.4%	12.5%
Etanol	3.0%	6.0%	19.0%
Gasolina	0.7%	1.6%	7.0%
Hidrógeno	4.0%	28.8%	76.0%
Metano	5.0%	9.0%	15.0%
Metanol	6.0%	12.0%	37.0%
Monóxido de carbono	12.0%	28.8%	74.0%
Pentano	1.4%	2.4%	7.8%
Propano	2.0%	4.0%	10.0%
Tolueno	1.2%	2.2%	7.0%

Nota. Adaptado de Basset (s.f., p. 20).

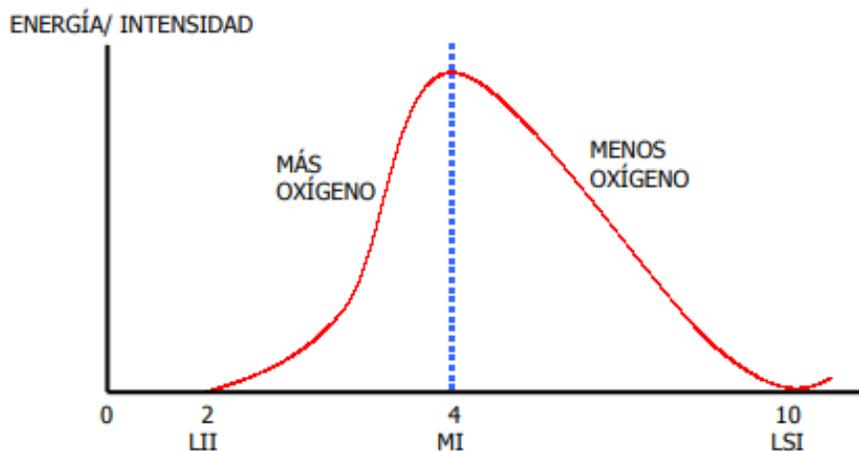
- Límite de inflamabilidad inferior: este es el porcentaje mínimo de concentración de gases carburantes, si el valor de concentración es menor al límite inferior, la mezcla combustible – comburente no es inflamable.
- Límite de inflamabilidad superior: este es el porcentaje máximo de concentración de carburantes en estado gaseoso o estado de evaporación en el ambiente, si excede este valor, la relación de comburente es escasa para producir la combustión.

En la Figura 4 se muestra una gráfica la cual representa la curva del efecto del incendio considerando los límites de inflamabilidad de las sustancias combustibles. Para la gráfica se usa

como ejemplo el combustible propano. Se puede observar que para generar la combustión el propano debe alcanzar la mezcla ideal, es decir, el 4% de concentración. Si la concentración es menor o mayor al 4% entonces el propano no es inflamable y el comburente es escaso.

Figura 4

Límites de inflamabilidad.



Nota. En el eje vertical se tiene los límites de inflamabilidad dado en porcentaje. LII es el límite de inflamabilidad inferior. MI es la mezcla ideal. LSI es el límite de inflamabilidad superior.

Tomado de Basset (s.f., p. 19).

Fuentes de Ignición

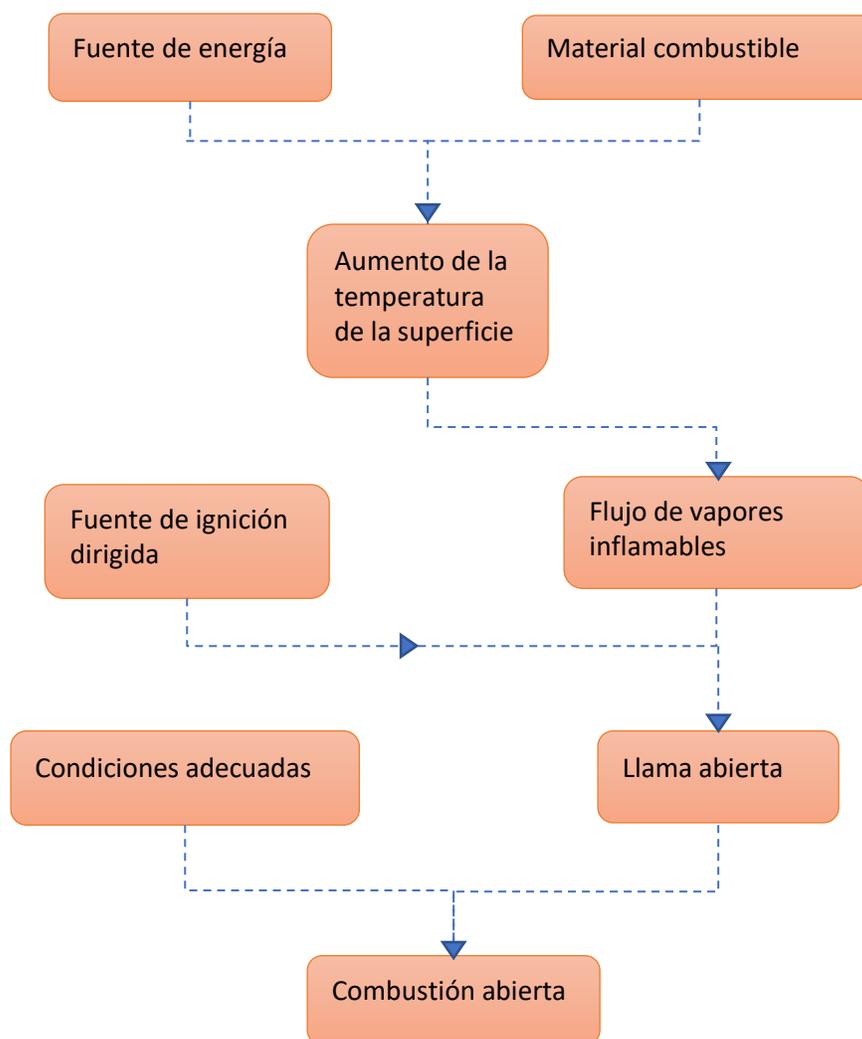
Las fuentes de ignición son idóneas para aportar el calor necesario a la proporción de concentración de una mezcla, por esta razón desempeñan un papel de vital importancia para el inicio de un incendio, es decir, se puede dimensionar la magnitud del incendio en función del tipo de fuente (Basset Blesa, s.f.).

En la Figura 5 se puede observar la estructura del proceso de ignición. Para que exista este, además que el punto de incendio sea idóneo para aumentar la temperatura hasta el punto de inflamación consigue que la combustión mediante los vapores generados. Un flujo de radiación desde una fuente remota provoca vapores con una temperatura superior al punto de ignición sin tener la necesidad de arder en llamas. Sin embargo, si los vapores están lo

suficientemente calientes, estos pueden entrar en combustión de forma espontánea al combinarse con el oxígeno del aire (Lanas & Bortolato, 2020).

Figura 5

Esquema de una ignición dirigida.



Nota. Adaptado de Lanas y Bortolato (2020, p. 60).

Para AENA (s.f.), las fuentes de inflamación se categorizan de acuerdo con su origen, A continuación, se encuentran las siguientes:

- Origen térmico: la energía de activación se obtiene por contacto directo con la llama.
- Origen químico: la energía de activación se genera mediante una reacción química exotérmica, por ejemplo: dilución, descomposición, en particular.

- Origen eléctrico: la energía de activación se obtiene a partir de fenómenos físicos de tipo eléctrico tales como: inducción, electricidad estática, etc.
- Origen mecánico: la energía de activación es generada por fenómenos físicos de naturaleza mecánica como: compresión, fricción, etc.
- Origen nuclear: la energía de activación se obtiene del proceso de escisión de los núcleos de los átomos radioactivos.

Clasificación de Tipos de Fuego

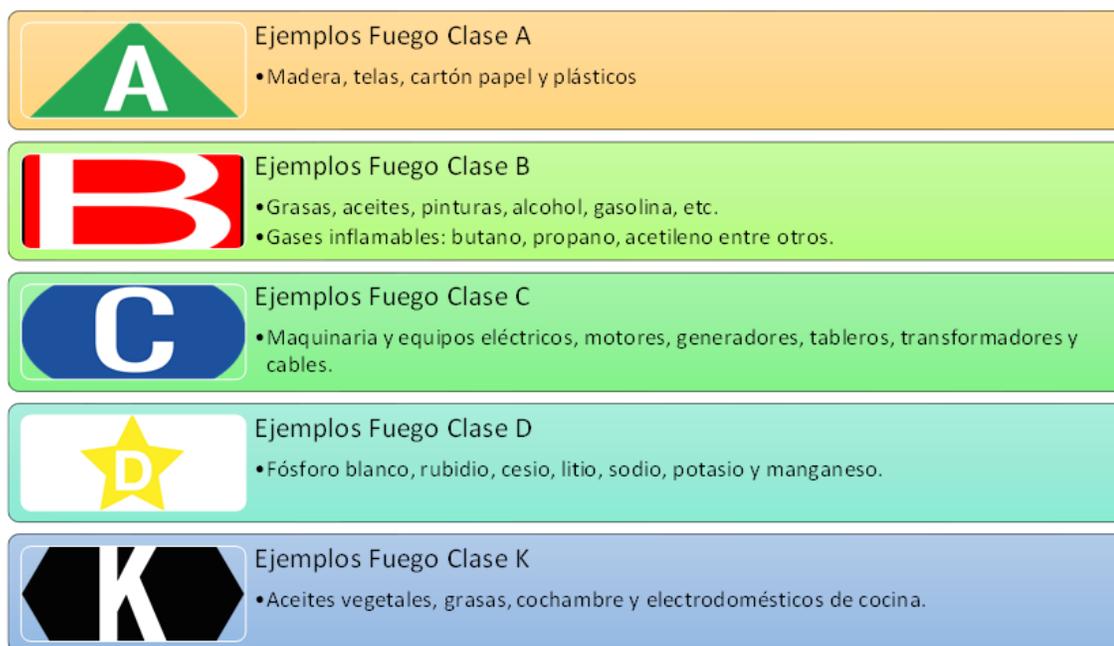
El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2017) de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) 802 titulada “Extintores portátiles. Selección y distribución en edificaciones” establece cinco clases de fuego según el tipo de combustión que lo produce, de la siguiente manera:

- Fuego de Clase A: en general son todos los materiales combustibles de tipo orgánico sólido que al arder dejan brasas o cenizas.
- Fuego de Clase B: en general, son todos los materiales combustibles en estado líquido o gaseoso que no generan brasas ni cenizas.
- Fuego de Clase C: este tipo de fuego involucra equipos electrónicos de bajo voltaje o combustibles de clase A, B o D.
- Fuego de Clase D: este tipo de fuego involucra metales combustibles, la mayoría de estos reacciona de manera violenta con el agua que causa la liberación de hidrógeno y este crea un riesgo de explosión.
- Fuego de Clase K: este tipo de fuego fue recientemente registrado por la NFPA, se generan por diversos medios de cocción.

En la Figura 6, se observa el símbolo con el cual se representa cada clase de fuego además se tiene algunos ejemplos de cada uno.

Figura 6

Simbología y ejemplos de la clasificación del fuego.



Nota. Adaptado de Escuela Nacional de Protección Civil (2015, p. 35-40).

Internet de las Cosas

Internet revolucionó la forma de comunicación e interrelación de la sociedad, cabe destacar que la Internet evolucionó a pasos agigantados hasta convertirse lo que es hoy por hoy un medio global de comunicación. Actualmente, existe un gran auge e interés por la tecnología móvil, sus nuevas aplicaciones y la relación estrecha con el término Internet de las Cosas o también denominada como la comunicación máquina a máquina (M2M, del inglés *Machine to Machine*).

Kevin Ashton pionero de la tecnología británica en 1999 fue el primero en utilizar el término Internet de las Cosas, en su investigación describía un sistema donde los objetos del mundo físico podrían conectarse a la Internet mediante sensores para automatizar la recopilación de datos. Ashton en su estudio relacionaba el IoT con la tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID, del inglés *Radio Frequency Identification*).

IoT se puede definir de diversas maneras, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, del inglés *International Telecommunication Union*) (ITU-T, 2015) en la Recomendación (UIT-T Y.4050) define al IoT como “una infraestructura global para la sociedad de la información que permite servicios avanzados mediante la interconexión de cosas tanto físicas como virtuales basadas en tecnología de información y comunicación interoperables existentes y en evolución”, la Organización Internacional de Normalización (ISO, del inglés *International Organization for Standardization*) (ISO/IEC JTC1, 2014) establece al IoT como “una infraestructura de objetos, personas, sistemas y recursos de información interconectados junto con servicios inteligentes que les permite procesar información del mundo físico y del mundo virtual y reaccionar”, y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, del inglés *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) (Minerva, Biru, & Rotondi, 2015) describe al IoT con la frase “Una red de objetos – cada uno de ellos con sensores – que están conectados a la Internet”.

En términos generales, el IoT es un concepto que conecta dos nociones: objetos aptos para interrelacionarse con el entorno y la capacidad de conectarse de forma remota, es decir, dotar de conectividad a los objetos físicos y virtuales, de esta manera ofrecer servicios avanzados como: obtención, procesamiento y ejecución de datos. Todo esto gracias a la interoperabilidad y comunicación entre tecnologías.

Por otra parte, existen diversas tecnologías de red usadas en IoT, a continuación, se describe algunas de ellas: SigFox es una red global enfocada en el concepto de IoT, proporciona servicios de red de cobertura amplia de bajo consumo, opera en las bandas de frecuencia ISM (868 MHz para Europa y 902 MHz en América), además usa la tecnología de transmisión de banda ultra estrecha (UNB, del inglés *Ultra Narrow Band*) para alcanzar grandes distancia con requerimiento de baja potencia y ofrece el servicio *Backend* para la recepción de datos en la

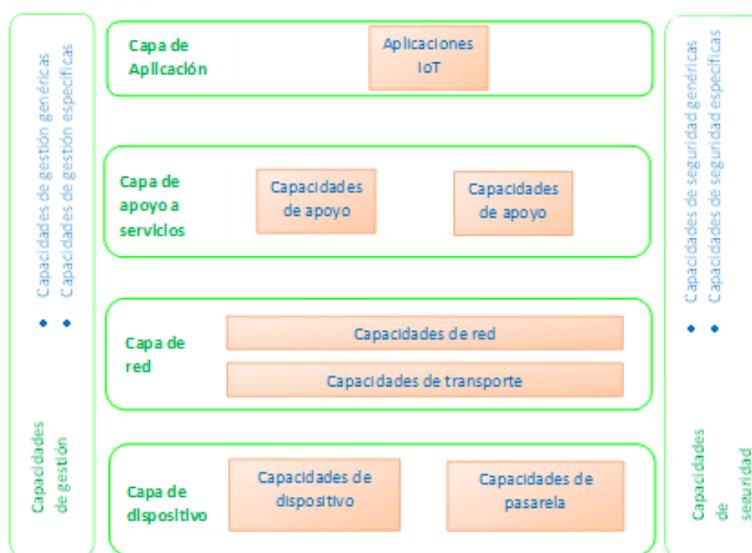
nube; LoRa igualmente que SigFox es una tecnología enfocada en IoT con la diferencia de que puede transmitir en diferentes frecuencias pertenecientes a las bandas de 109 MHz, 433 MHz, 866 MHz y 915 MHz, usa la técnica *Spread Spectrum* para transmitir la información a lo largo de una banda ancha de frecuencia y ofrece comunicación bidireccional, donde el enlace de bajada como de subida utilizan la misma velocidad de transmisión; ZigBee es una tecnología inalámbrica, utiliza una baja tasa de transferencia y bajo consumo de energía. Además, esta tecnología destaca una mayor seguridad en las comunicaciones, alta escalabilidad y la habilidad de tolerar grandes cantidades de dispositivos en la misma red (Munera Sánchez, 2018).

Arquitectura IoT

Existen varias propuestas de arquitecturas para IoT, actualmente no existe un modelo de capas generalizado. En la Figura 7 se observa un modelo de referencia de IoT establecido por la UIT-T, el cual consta de cuatro capas: la capa de aplicación, la capa de apoyo a servicios y aplicaciones, la capa de red y la capa de dispositivos, además tiene capacidad de administración y de seguridad.

Figura 7

Modelo de referencia de IoT.



Nota. Tomado de UIT-T (2012, p. 13).

A continuación, la UIT-T (2012) describe cada una de las capas del modelo de referencia IoT que se muestra en la Figura 7.

- Capa de aplicación: esta capa contiene las aplicaciones IoT.
- Capa de soporte de servicios y aplicaciones: tiene dos capacidades: Capacidades de soporte genérico: son capacidades comunes utilizadas por diferentes aplicaciones IoT, especialmente el procesamiento y almacenamiento de información; y Capacidades de soporte específicas: estas son capacidades que brindan varias funciones de soporte para diferentes aplicaciones de IoT.
- Capa de red: consta de dos capacidades que son: Capacidades de red: estas ofrecen funciones de control para la conectividad a la red, entre estas se tienen las funciones de control de acceso y de recurso de transporte, gestión de la movilidad y protocolo de autenticación, autorización y contabilidad (AAA, del inglés *Authentication, Authorization, Accounting*); y Capacidades de transporte: suministran la conectividad para el transporte de información y datos específicos tales como servicios y aplicaciones IoT, transporte de datos de control y administración.
- Capa de dispositivos: su clasificación es lógica y consta de dos tipos de capacidades: Capacidades de dispositivo: algunas de ellas son: interacción directa con la red de comunicaciones, interacción indirecta con la red de comunicación, redes ad-hoc y modo reposo y activo; Capacidades de pasarela: se tiene soporte de interfaces múltiples, conversión de protocolo entre otras (p. 13-15).

Características de IoT

IoT es un sistema complejo y actualmente en evolución por este motivo es muy temprano para definir completamente sus características. Sin embargo, Patel y Patel (2016) detallan las características principales del IoT. A continuación, se tienen las siguientes:

Interconectividad: todo puede estar interconectado con la infraestructura global de comunicaciones e información.

Servicios relacionados con objetos: IoT puede proporcionar servicios limitados relacionados con objetos, así como la protección de la privacidad y la coherencia entre los objetos físicos y los entornos virtuales correspondientes.

Heterogeneidad: los dispositivos IoT son diversificados debido a que utilizan diversas plataformas de hardware y red. También interactúan con otros dispositivos o plataformas de servicios en distintas redes.

Cambios dinámicos: el estado del dispositivo cambia dinámicamente, puede ser de encendido a apagado, conectado a desconectado, así como el contexto del dispositivo, la ubicación y la velocidad.

Gran escala: el número de dispositivos de intercomunicación se puede escalar y gestionar.

En cuanto a la gestión de los datos adquiridos y su interpretación con fines aplicativos, existe una estrecha relación con la semántica de los datos y el procedimiento eficiente, por lo que se deben observar las siguientes características:

Seguridad: los dispositivos IoT tanto transmisores como receptores deben diseñarse para implantar protocolos de seguridad. Esto abarca la seguridad de la información personal, salvaguardar los dispositivos finales, las redes y la protección de datos.

Conectividad: la conectividad proporciona accesibilidad y compatibilidad de red. Además, la compatibilidad ofrece capacidades comunes para el consumo y la generación de datos (p. 6123).

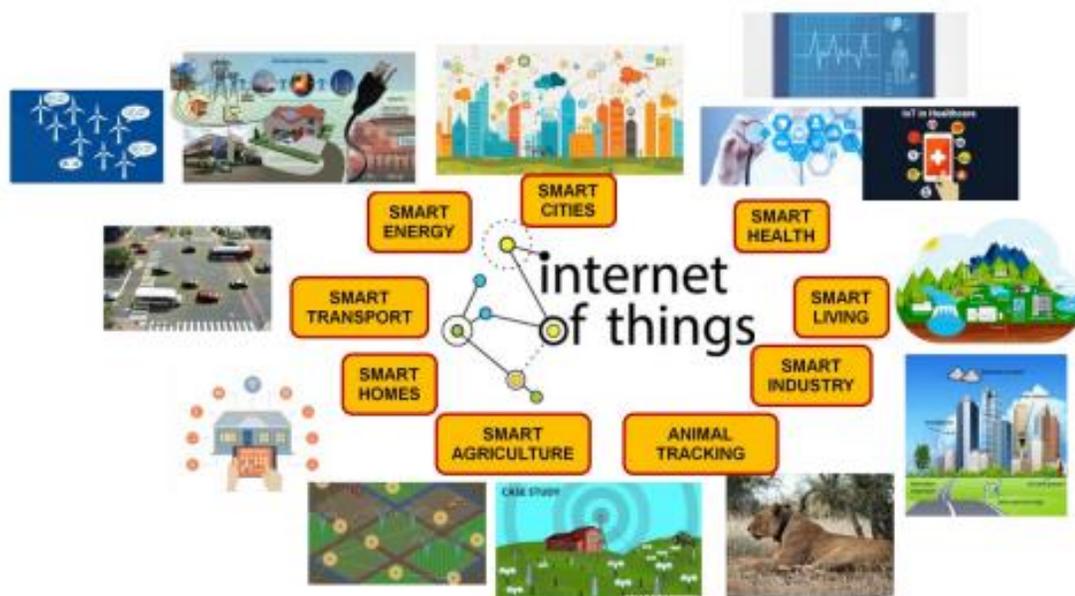
Aplicaciones IoT

Con el tiempo, IoT ha desarrollado un gran potencial en casi todos los ámbitos un claro ejemplo de ello es la evolución de los mercados y aplicaciones de igual manera su potencial económico y su impacto han cambiado radicalmente.

En la Figura 8, se visualiza los diferentes campos relacionados con el IoT de hecho se tiene aplicaciones referentes a ciudades, transporte, industria entre otras. Indistintamente del ámbito de aplicación, el propósito es mejorar la calidad de la vida cotidiana del ser humano, aunque el impacto en la economía será mucho más profundo (Patel & Patel, 2016).

Figura 8

Aplicaciones de IoT.



Nota. Tomado de Patel y Patel (2016, p. 6131).

Se tiene tres ámbitos principales con respecto a las aplicaciones IoT que son: Industria, ciudades y salud. Cada ámbito está solapado de manera parcial o totalmente pero no está aislado de los demás, porque algunas aplicaciones son comunes y comparten los mismos recursos.

En la Tabla 5, se puede observar las tres áreas fundamentales antes mencionadas con sus respectivas divisiones y ejemplos. Se debe considerar que no todas las aplicaciones de la Tabla 5 tiene el mismo nivel de desarrollo. Un porcentaje de estas aplicaciones están diseñadas especialmente para los usuarios ya que son más sencillas e intuitivas, y ya forman parte de la

vida cotidiana del ser humano. Sin embargo, algunas de estas todavía están en fase beta (Liu & Wang, 2017).

Tabla 5

Áreas principales de las aplicaciones del IoT.

Áreas Principales Aplicaciones	Divisiones	Ejemplos
Industria	Gestión, logística y ciclo de vida del producto	Gestión de inventarios, transporte de mercancías. Conservación de alimentos. Producción agrícola y ganadería.
	Agricultura y ganadería	Control de enfermedades animales. Diagnóstico de vehículos en tiempo real.
	Procesos industriales	Gestión de equipaje.
Ciudades Inteligentes	Casas/edificios inteligentes	Red de Área Doméstica (<i>HAN, del inglés Home Area Network</i>) Gestión de multimedia y energía. Monitorización del medio ambiente.
	Seguridad pública y vigilancia del medio ambiente	Dispositivos móviles inteligentes.
Salud	Diagnóstico y tratamiento de enfermedades	Consulta quirúrgica en tiempo real. Control de los signos vitales.
	Vida independiente	Asistencia a personas con discapacidad. Rescate de emergencia.

Nota. Adaptado de Liu y Wang (2016, p.3).

Redes de Sensores Inalámbricos

Según Gascón (2010) las redes de sensores inalámbricos o WSN constan de una gran cantidad de pequeños dispositivos electrónicos conocidos como nodos de baja potencia, bajo costo y pueden estar situados en cualquier lugar. La UIT-T en la recomendación Y.4105/Y.2221 especifica que una red de sensores consiste en nodos sensores interconectados que intercambian los datos detectados por comunicaciones alámbricas o inalámbricas, por otra

parte, se determina que el nodo sensor es un dispositivo compuesto por sensores y accionadores opcionales con habilidades de procesar e interconectar los datos identificados.

En la Tabla 6, se realiza un análisis de características de las redes de sensores inalámbricos y el IoT. Al comparar las definiciones de WSN e IoT, los nodos sensores dentro de un sistema WSN monitorizan e interactúan entre sí de la misma manera que lo hacen los objetos físicos y virtuales en IoT, excepto que los objetos deben integrar un nodo sensor que les da la capacidad de controlar, procesar y comunicar los datos obtenidos. De esta manera una aplicación IoT monitoriza las condiciones físicas o ambientales de la zona geográfica (Rueda R. & Talavera P., 2017).

Tabla 6

Análisis de características de WSN e IoT.

Características	WSN	IoT
Definición estandarizada	Sí	No
Infraestructura de red	Local	Global
Red autónoma	Sí	Sí
Objetos	Físicos	Físicos y virtuales
Análisis de los datos	No	Sí
Identificación objetos	Sin identificación	Identidad propia dentro de Internet, cada objeto es identificado.

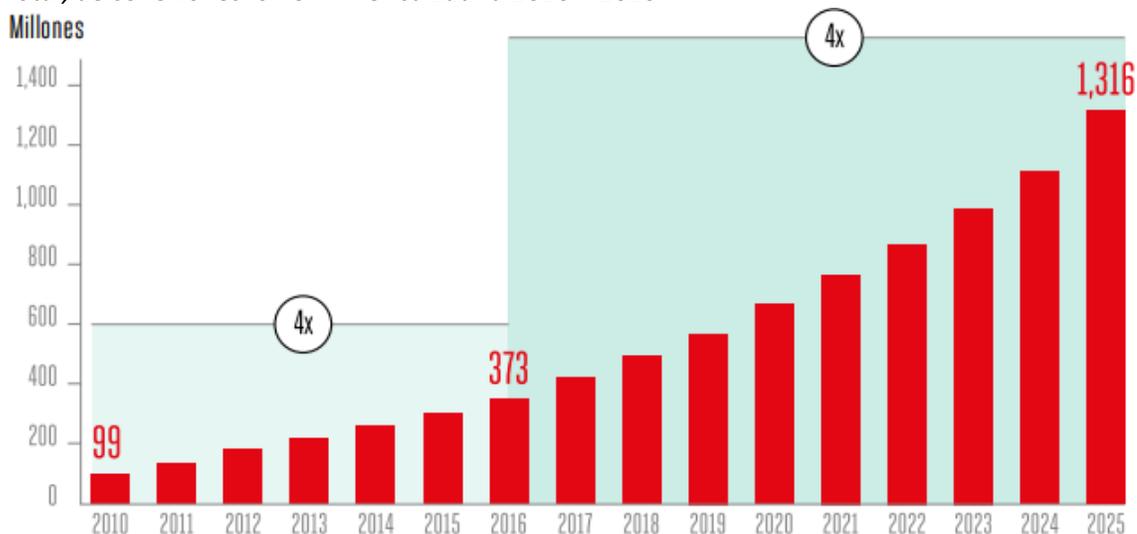
Nota. Adaptado de Rueda y Talavera (2017, p. 61).

En (Moura, 2018) se menciona que IoT con el paso de los años se lo considera cada vez más debido a que se analizan las posibilidades y beneficios que puede tener el mundo si se encuentra conectado de una mejor manera ya sea en vehículos conectados, industrias con procesos automatizados o incluso en el monitoreo en tiempo real o toma de decisiones en ciertos sectores de la industria. Esta tecnología podría incrementar de gran manera el crecimiento de la productividad por lo cual podría ser una herramienta clave en cuanto a la

revolución productiva de industria y servicios. Adicional en la Figura 9 logramos observar de manera gráfica el crecimiento que ha tenido IoT con el paso de los años, representado la cantidad de dispositivos conectados en millones hasta su pronóstico de cantidad de usuarios que van utilizar esta tecnología en el año 2025.

Figura 9

Total, de conexiones IoT en América Latina 2010 – 2025.



Nota. Tomado de (Moura, 2018).

Ventajas y Desventajas de los Sistemas WSN

A continuación, en la Tabla 7 se visualizan las ventajas y desventajas de los sistemas WSN. La facilidad de implementar una red de sensores sin la necesidad de una infraestructura física, cables de comunicación, entre otras cosas, son los principales motivos para que el usuario implemente el sistema WSN (Vela, 2016).

Tabla 7*Ventajas y desventajas de las WSNs.*

Ventajas	Desventajas
Confiabilidad: un nodo es propenso a pérdidas, daños físicos o de software, la red genera una tolerancia a fallos grandes, de esta manera se garantiza la robustez del sistema.	Tamaño de sensores: por el tamaño pequeño de los nodos sensores se tiene limitaciones de hardware, recursos de almacenamiento y potencia.
Flexibilidad: cuando un nodo tiene un problema, los nodos vecinos pueden procesar la información de la red y evitar caídas innecesarias.	Intervalos de transmisión: los nodos se pueden poner en operativos según la demanda de la red, aunque generalmente están fuera de línea para ahorrar energía.
Auto-organización: el sistema puede alcanzar las estructuras necesarias sin intervención humana.	Interfaces: las interfaces WSN están diseñadas para un ciclo de trabajo optimizado, con una complejidad del sistema reducida para operaciones de energía ultrabaja.
Instalación: pueden ser instaladas en territorios sin infraestructura o peligrosas.	Recursos energéticos: al tener limitaciones de hardware, es casi imposible implementar grandes fuentes de energía, es importante solucionar mediante software, es decir, aplicar algoritmos de ahorro de energía.
Movilidad: los sensores pueden ser desplegados de manera aleatoria, el nodo sensor puede arreglar su conectividad con otros nodos al igual que la energía de transmisión requerida para la comunicación.	Costo: actualmente existen varias opciones para implementar WSN, en algunos casos el costo limita la aplicación. El número de nodos estará directamente relacionado con la implementación de la red.
Cobertura extendida: los sistemas WSN pueden ser implementadas con una gran cantidad de sensores sin tener problemas de interferencia, de este modo la cobertura de red se amplía fácilmente.	Facilidad de falla: cuando un sistema WSN se instala en ubicaciones geográficas problemáticas, falla debido a la falta de infraestructura o por factores climáticos.

Nota. Adaptado de Vela (2016, p. 4).

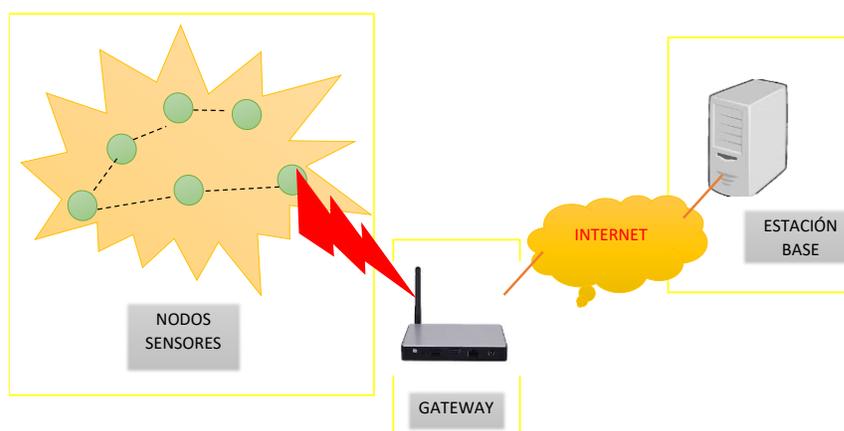
Componentes de las WSNs

Una WSN está conformada por múltiples nodos, que pueden ir desde unos pocos hasta varios cientos o incluso miles, cada nodo está conectado a uno o más nodos. Los nodos están destinados a una o más funciones como: medición, retransmisión de datos o intercambio de información con una red del exterior (Fuentes Espinoza, 2018).

Se podría destacar de Enríquez Burgos (2018) que una red de sensores inalámbricos se compone de tres elementos que le permiten establecer una comunicación entre los distintos nodos. En la Figura 10 se muestra los tres elementos que son: los nodos sensores, *Gateway* y la estación base. A continuación, se explica brevemente cada uno de los elementos:

Figura 10

Elementos de un sistema WSN.



Nota. Adaptado de Enríquez Burgos (2018, p. 14).

- **Nodos sensores:** estos dispositivos están compuestos por otros elementos que hacen posible la interacción del mismo. Un nodo puede componerse de: sensores, un circuito analógico, microcontrolador, un módulo inalámbrico y una fuente de energía que puede ser una batería o pilas y a su vez deben ser conectados a un panel solar o banco de baterías para que el nodo sea autónomo.
- **Gateway:** estos dispositivos también se denominan puerta de enlace, se encargan de la interconexión entre la red de sensores y el Internet.
- **Estación base:** se encarga de recolectar los datos y se puede visualizar la información de los datos censados (p. 15-17).

Redes LPWAN

Las redes LPWAN ofrecen un bajo consumo de energía en un área con cobertura de larga distancia. Estas redes surgieron por la necesidad de IoT, así como de una serie de soluciones tecnológicas de comunicación inalámbrica que han surgido recientemente. LPWAN es una clase de estándares de comunicación inalámbrica de IoT.

La tecnología LPWAN está desplegada globalmente y tiene un enorme potencial para un sin número de aplicaciones en IoT, especialmente para lugares de difícil acceso (Cava, 2020).

Valarezo Troya y Criollo Jaramillo (2017) citan las características principales de las redes LPWAN que son:

- **Baja potencia:** los dispositivos de la red pueden funcionar con pequeñas baterías y durar un buen tiempo con la misma.
- **Área amplia:** el rango de operación es mucho mayor que en otras redes inalámbricas, supera los 2 km especialmente en áreas urbanas.
- **Transmisiones densas:** específicamente en ciudades, iluminación inteligente en edificios, red inteligente y seguimiento de activos.
- **Monitoreo de largo plazo:** los dispositivos y sensores son instalados y monitoreados por grandes períodos de tiempo (p. 16).

Tecnología Zigbee

Esta tecnología es un estándar en el cual están especificadas un conjunto de protocolos para poder establecer una conexión inalámbrica con la característica principal de que tiene un alcance reducido en cuanto a distancia y una velocidad de envío y recepción de datos baja.

Esta tecnología está basada en el estándar IEEE 802.15.4. Tiene como objetivo principal crear aplicaciones en las cuales se necesite una alta fidelidad con baja tasa de datos, así como también una optimización en el consumo de la batería (Labiód, Afifi, & De Santis, 2007).

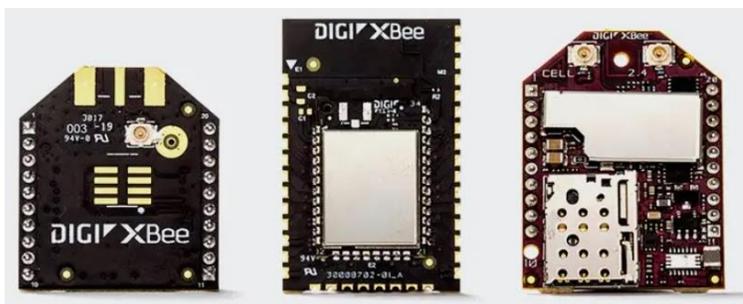
Como se ha detallado en el apartado anterior esta tecnología inalámbrica puede tener una gran variedad de aplicaciones muy útiles sobre todo para crear redes de área personal con un consumo de energía reducido y alta fidelidad al momento de enviar o recibir datos. Para este proyecto sería de gran ayuda utilizar esta tecnología en el caso que se requiera interconectar dos o más nodos centrales ubicados en las diferentes construcciones ya que podríamos expandir este sistema y aplicarlo a un conjunto residencial.

Esta tecnología es llamada de esa manera debido al zumbido que hacen las abejas para comunicarse entre ellas al momento de recoger polen, una característica importante de esta tecnología es que tienen un costo reducido y bajo consumo de potencia, característica que no satisfacían las tecnologías anteriores como Bluetooth y Wi-Fi.

Este nuevo estándar se ha vuelto global para las comunicaciones inalámbricas y lograr de esta manera aportar al desarrollo de proyectos domóticos para garantizar al cliente final seguridad, confort y fiabilidad.

Figura 11

Módulos Xbee.



Nota. Tomado de <https://xbee.cl>.

Existen varios módulos programables de Xbee como se observa en la Figura 11, los cuales son de tamaño reducido ideal para aplicaciones compactas. Es una tecnología escalable debido a su facilidad de conectividad y compatibilidad celular (Paredes, 2014).

Tecnología LoRa

(LoRa, del inglés *Long Range*) Como sus siglas lo dicen tiene un gran alcance, así como también un bajo consumo de potencia. Con dicha tecnología se puede cubrir áreas de varios kilómetros incluso se pueden realizar aplicaciones en entornos urbanos, y se alcanza una tasa de bits de hasta 250 kbps.

Una característica particular de esta tecnología es que usa diferentes tasas de transmisión de datos entre los dispositivos finales y el nodo central o estación base, y de esta manera tener diferentes canales virtuales para la comunicación y evitar las interferencias de cocanal (White, 2016).

Se definen 3 tipos de dispositivos los cuales pueden ser utilizados para diferentes aplicaciones.

Clase A. Tiene una comunicación bidireccional, pero tienen una limitante la cual no le permite recibir datos sin antes haber enviado un paquete de datos.

Clase B. Este tipo de dispositivos permite recibir paquetes sin necesidad de haber enviado datos antes, es decir envía datos de manera calendarizada.

Clase C. Permite escuchar continuamente el canal de comunicación de manera que los datos se reciban en cualquier momento.

Esta tecnología tiene las siguientes características:

- Tasa de envío y recepción de datos de 20 kbps hasta los 250 kbps.
- Esta tecnología usa topología como de estrella, punto a punto, malla y árbol.
- Brinda una latencia que está por debajo de los 15 ms.
- Dispone de 16 canales en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y 10 canales en la banda de frecuencia de 195 MHz, así como un canal en la banda de 868 MHz.

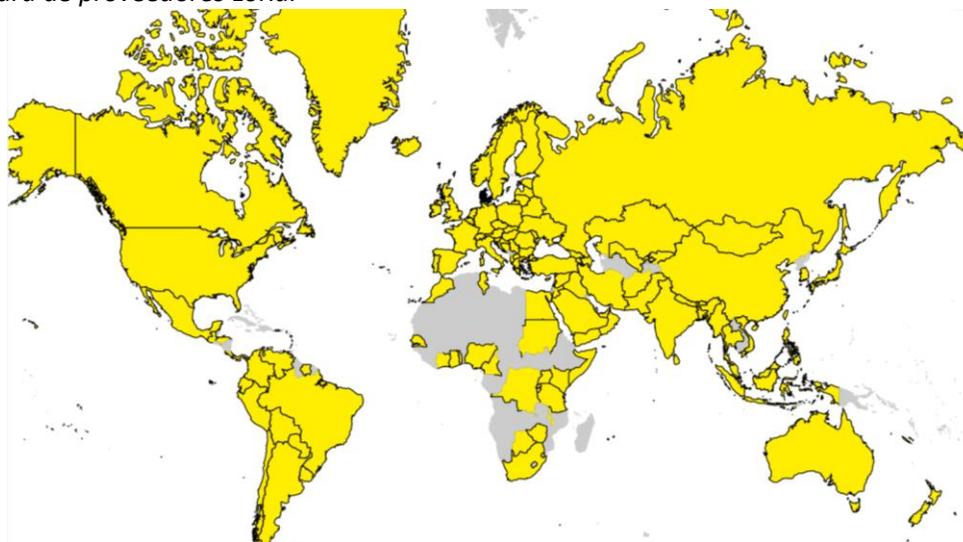
- Utiliza (CSMA/CA) para el acceso a las redes de bajo nivel y evitar colisiones.

Cobertura LoRa

Esta tecnología tiene una cobertura en 167 países, a continuación, se puede visualizar en la Figura 12 el mapa de la cobertura LoRa donde se muestra que esta tecnología se ha extendido de gran manera alrededor del mundo ya que únicamente 26 países no tienen cobertura LoRa actualmente entre ellos algunos países de África.

Figura 12

Cobertura de proveedores LoRa.



Nota. Tomado de <https://lora-alliance.org>.

NB-IoT

(NB-IoT, del inglés *Narrow Band Internet of Things*), esta tecnología está centrada en conectar objetos como su nombre lo indica con la característica que requiere poca cantidad de datos, pero durante largos periodos de tiempo. Es utilizada en las mismas bandas de frecuencia de LTE (del inglés *Long Term Evolution*) así como también se puede implementar en las diferentes opciones de ancho de banda disponibles en LTE excepto en la banda de 1.4 MHz (Ratasuk, 2016).

Con esta tecnología se logra minimizar la sobrecarga de la señal sobre todo en la interfaz de radio y lograr así mejorar considerablemente el consumo de batería, además permite el envío, recepción de datos IP y no IP sin embargo no es totalmente compatible con todas las funciones de LTE.

En la transmisión de datos se ha implementado SBS (del inglés, *Signaling Radio Bearer*) que se encarga de la señalización de portadora de radio, lo que permite enviar una pequeña cantidad de datos de control. Algo importante en esta tecnología es su sistema ya que suspende y reanuda el control de recursos y elimina la necesidad de establecer una nueva conexión para cada instancia.

NB-IoT tiene una debilidad en cuanto a movilidad ya que no soporta la comunicación cuando existe una movilidad alta por lo que se puede hacer aplicaciones donde los servicios sean estáticos. Se puede utilizar esta tecnología en aplicaciones de servicios públicos inteligentes mediante la medición de variables físicas como gas, agua, temperatura, entre otras, así como también puede tener aplicaciones en la agricultura inteligente (Chen, 2017).

SigFox

Esta tecnología fue desarrollada por una empresa francesa en 2010, actualmente dispone de cobertura en 70 países diferentes, a los cuales brinda servicio a más de 1000 millones de personas. Sus principales características son: (Veras, 2018)

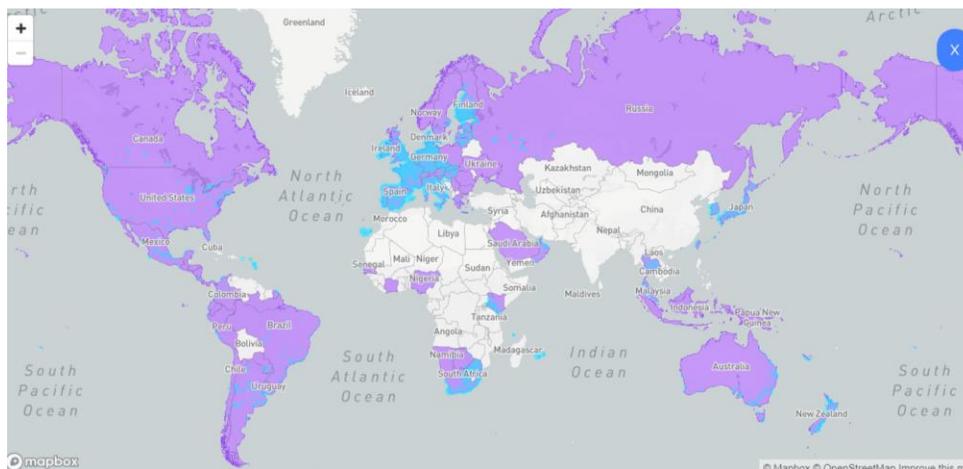
- Tiene un bajo consumo de energía.
- Su costo es muy accesible ya que mantienen precios bajos.
- Un alcance de intercomunicación a larga distancia.
- Permite enviar y recibir mensajes cortos.

La red SigFox despliega una infraestructura propietaria la cual consta de una red central basada en la nube que permite una conectividad global con impactos mínimos sobre el

dispositivo final, así como también en su red de acceso. En la Figura 13 **Figura 13** se muestra la cobertura actual de la red SigFox en el mundo.

Figura 13

Cobertura de proveedores SigFox.



Nota. Tomado de <https://www.sigfox.com/en/coverage>.

La función de zona de cobertura de SigFox se adapta a las necesidades del cliente y es por este motivo que se pueden dar las siguientes situaciones en el caso que un dispositivo se encuentre fuera de la cobertura de la red:

- Cuando un cliente se encuentra fuera de cobertura, pero si se ha desplegado la tecnología SigFox en esa localidad es posible alquilar una estación base para crear un punto de acceso propio y de esta manera conseguir extender la red a un bajo costo.
- Se puede dar el caso que no exista cobertura porque no existe una red SigFox en esa localidad por lo que se tiene un dispositivo llamado SRD Dongle que se visualiza en la Figura 14, el cual permite simular la nube para probar el funcionamiento de todos aquellos dispositivos que se conecten a dicha red.

Figura 14

SDR Dongle.



Nota. Tomado de <https://build.sigfox.com/sdr-dongle>.

Mensajes de SigFox

Ya que se tiene una transmisión de baja cantidad de datos SigFox ofrece 12 *bytes* como *payload*, 96 bits o 24 caracteres en hexadecimal los cuales pueden ser decodificados posteriormente para poder utilizar dichos datos en diferentes aplicaciones.

La desventaja de esta tecnología es que tiene un envío limitado de datos que se reduce a 140 mensajes por día lo cual causa que no se pueda hacer una aplicación en tiempo real (Castillo, 2018).

Arquitectura de SigFox

Esta red consta de dos capas que son: (Munera Sánchez, 2018)

- Equipamiento, dispositivos y antenas: Se encuentran todos los dispositivos encargados de transmitir mensajes, así como también la estación base que es la encargada de recibir los mensajes para enviarlos a la nube.
- Sistema de soporte: En esta parte se hace un proceso de procesamiento de datos para poder generar avisos al cliente final, así como también se dispone de funcionalidades APIs que permiten crear acciones en función de dichas variables.

Ultra Narrow Band

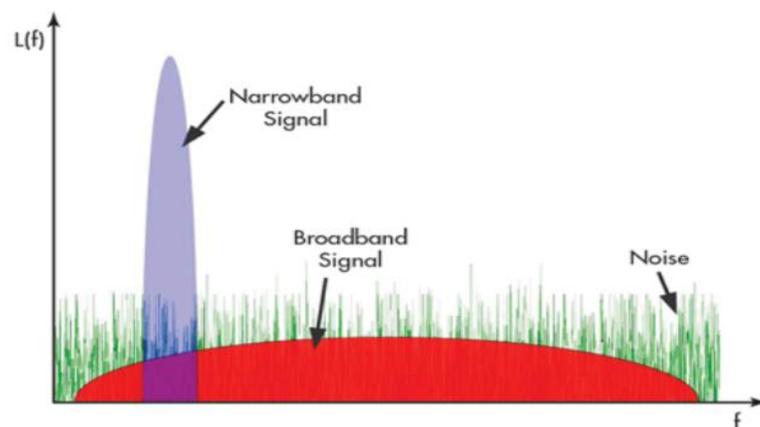
Esta tecnología utiliza canales muy estrechos del espectro electromagnético con una frecuencia menor a 1 KHz, transmitir en esta banda de frecuencia nos permite consumir poca

energía, así como también alcanzar largas distancias incluso logra superar los 30 km a comparación de Zigbee, Bluetooth, 3G, LTE y Wi-Fi que alcanzan distancias desde los 100 m hasta 10 km (Munera Sánchez, 2018).

Esta tecnología típicamente se suele utilizar en comunicaciones unidireccionales donde diferentes sensores del mercado envían datos sin esperar ninguna respuesta por otra parte una gran ventaja de esta tecnología es que no interfiere con las comunicaciones de banda ancha, es muy resistente ante el ruido y brinda una baja tasa de error en la comunicación, así como también una disminución en la pérdida de paquetes. En la Figura 15 se observa de manera gráfica la ventaja de *Ultra Narrow Band* ante el ruido.

Figura 15

Comparación de la señal Ultra Narrow Band.



Nota. Tomado de (Sigfox technical overview, s.f.).

Sistemas de Alarmas y Detección de Incendios

Existen varios sistemas de alarmas contra incendios los cuales utilizan sensores de diferentes tipos entre ellos tenemos los sensores de humo que se clasifican en los siguientes: (Carrasco, 2016).

- **Detector iónico:** Consta de dos cámaras ionizadas por un elemento radiactivo y cuando hay partículas de la combustión modifican la corriente de cada una de las cámaras que activan el sensor.
- **Detector Óptico:** Su funcionamiento está basado en la activación de células fotoeléctricas que detectan la luz dentro de las cámaras y de esta manera se activa la alarma en caso de existir presencia de humo, pero tienen la desventaja que únicamente detectan humo visible, son óptimos para zonas limpias y fuegos sin llamas.

Todos los sistemas contra incendios se basan en normas existentes entre las cuales tenemos: NFPA10, NFPA30, NFPA58, NFPA70, NFPA72, NFPA101 Y NFPA170. Las cuales establecen normas de diseño, instalación, mantenimiento de los dispositivos a ser instalados con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento de los mismos (Carrasco, 2016).

Los sistemas actuales de alarmas contra incendios utilizan un módulo IP (MIP) que básicamente es un dispositivo de comunicaciones que realiza dos tareas: (Lasluisa, 2008).

- Enviar las alarmas y datos de los sensores mediante una red IP hacia el panel de control.
- Comprobar la conectividad entre el nodo central y los sensores.

Los sistemas MIP están diseñados para tener una interoperabilidad entre el panel de control central y los sensores existentes en el mercado.

La gran desventaja de estos sistemas en comparación con la tecnología SigFox es que dependen directamente de la red de internet que hace que sea un sistema poco confiable porque depende de un proveedor de internet que comúnmente tiene fallas en su sistema.

Sensores Disponibles en el Mercado

Sensor de Temperatura

Existen de varios tipos, los que hacen contacto directo con algún material y aquellos que detectan la temperatura ambiente sin necesidad de hacer contacto con el material (García, s.f).

Entre estos tenemos la termocupla que existen de diferentes clases en función a las variables a ser medidas. Son muy utilizados para la industria. Básicamente son dos alambres unidos en un punto común que cuando existe una variación en la temperatura genera un pequeño voltaje en sus extremos en el orden de los milivoltios.

También existen los termistores que son mucho más sensibles, pero tienen la característica de no ser lineales y están compuestos por una mezcla de óxidos metálicos, este cumple con el funcionamiento de un resistor térmico y se lo encuentra en el mercado con el nombre de NTC (del inglés *Negative Temperature Coefficient*), la resistencia del termistor disminuye hasta en un 6% por cada grado centígrado que aumente en la temperatura ambiente.

En el mercado existen muchos sensores de temperatura, pero los más utilizados son los mencionados anteriormente y para este proyecto se ha propuesto utilizar un sensor de temperatura DHT22 el cual consta con un termistor interno para para medir el aire circundante y de esta manera conseguir los datos de temperatura de una forma digital y poder mandarlos a procesar dentro del sistema para generar las correspondientes alarmas.

Sensores de Humo

Existen muchos tipos de sensores de humo, sin embargo, ha surgido la necesidad de crear dispositivos que detecten más de un elemento o compuesto químico. Por lo que se crean los sensores *MQ*. Y se tiene los siguientes modelos: (Ortiz, 2017).

MQ2. Como se puede observar en la Figura 16, este sensor se caracteriza por el uso de una capa de óxido de estaño sensible a la presencia de gas y se coloca una malla metálica de acero inoxidable para proteger este elemento, dispone de dos salidas, una es digital la cual detecta la presencia de humo y una salida analógica que, en función de la cantidad de humo detectada es capaz de variar su voltaje de 0 a 5 V. Este sensor consta de una resistencia variable que va desde 3k a 30k Ω y esto da como resultado una medida de 300 a 1000 partes por millón

de humo en el aire. Finalmente, se destaca que este dispositivo trabaja bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad para su correcto funcionamiento y así garantiza una precisión mayor al 95%.

Figura 16

Sensor MQ2 gas, metano, butano, LPG y humo.



Nota. Tomado de (Naylamp Mechatronics , s.f.).

MQ3. Este sensor se caracteriza por ser más sensible ante la presencia de etanol antes que de cualquier otro compuesto químico que también detecta, pero no con tanta precisión. Entre los compuestos que puede detectar se encuentra: Benceno, hexano, metano, etc (Espinosa, 2015).

Su funcionamiento se basa en un calentador interno que proporciona las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento de los componentes sensibles y de esta manera detectar la presencia de etanol. Por lo general es recomendable dejar calentar el dispositivo antes de realizar cualquier medición.

Figura 17

Sensor de monóxido de carbono MQ3.



Nota. Tomado de (Naylamp Mechatronic , s.f.).

MQ7. Este sensor electroquímico al igual que la serie MQ tiene una capa de un compuesto químico que ayuda a detectar el monóxido de carbono o humo comúnmente llamado. Tiene una vida útil muy larga. Este dispositivo opera correctamente a temperatura de 20 grados centígrados y con una humedad menor al 65% (Castiblanco, 2019).

Figura 18

Sensor de monóxido de carbono MQ7.



Nota. Tomado de (Naylamp mechatronics, s.f.).

Alimentación a Través de Ethernet

La alimentación a través de Ethernet (PoE, del inglés *Power over Ethernet*) es el proceso de incorporar energía, es decir, envía energía y datos a dispositivos remotos mediante un cable de Categoría 3, 5, 5E o 6 a través de una red Ethernet sin modificar el cableado existente. PoE ha evolucionado con la creciente necesidad de las tecnologías *Wireless* y VoIP (del inglés, *Voice over IP*) (LANPRO, s.f.).

Dado que *Ethernet* crece en popularidad, puede conectar nuevos tipos de dispositivos a redes de cableado estructurado, tales como: cámaras de seguridad de alta definición, teléfonos IP, lectores RFID, puntos de acceso inalámbricos, sensores, controladores, iluminación LED, etc. Esta aplicación ha reducido significativamente los costos de instalación y ha cambiado radicalmente las redes de infraestructura de cableado (FURUKAWA ELECTRIC, 2019).

Tabla 8*Estándares de la tecnología PoE.*

Tipo	Estándares	Corriente Máxima	Número de pares energizados	Potencia de la fuente	Potencia del dispositivo	Velocidad máxima de datos
PoE	IEEE 802.3af (802.3at Tipo 1)	350 mA	2	15W	13 W	1 Gbps
PoE+	IEEE 802.3at Tipo 2	600 mA	2	30 W	25.5 W	1 Gbps
PoE++ (4PPoE)	IEEE 802.3bt Tipo 3 IEEE 802.3bt Tipo 4 (Cisco 90W UPOE+)	600 mA 960 mA	4	60 W 99 W	51 W 71 W	10 Gbps
	Cisco UPOE	600 mA	4	60 W	51 W	10 Gbps

Nota. Adaptado de Cisco (2020).

Los primeros estándares PoE, IEEE 802.3af y 802.3at, proporcionan datos a 1 Gbps con hasta 30 W de potencia. En 2011, Cisco fue pionera en la tecnología *Universal Power over Ethernet* (Cisco UPOE), que ofrece hasta aproximadamente 60 W y hasta 10 Gbps de datos al usar los puertos *multigigabit*. Finalmente, en 2018 se actualizó al estándar IEEE 802.3bt (4PPoE) (CISCO, 2020). En la Tabla 8 se tiene los tres estándares de la tecnología PoE con sus respectivos parámetros como: corriente máxima, potencia, número de pares energizados entre otros.

Ventajas de Usar Tecnología PoE

Además del beneficio principal que brinda la tecnología PoE de la reducción de costos para la implementación de infraestructura, (BLACK BOX, s.f.) cita algunos beneficios adicionales sobre el uso de esta:

- Suministro simultáneo de datos y alimentación a través de un cable CAT 5e/6 estándar, es decir, no se necesitan cables adicionales para proveer alimentación o conectividad de red.
- Simplifica el control del consumo de energía de los dispositivos remotos y mejora la gestión de la energía de la red.
- Permite la ubicación de equipos terminales en cualquier lugar donde no se tiene energía y reduce el desorden en las áreas de trabajo.
- Proporciona fiabilidad ya que dispone de protección contra los fallos eléctricos por un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS, del inglés *Uninterruptible Power Supply*).

Capítulo III

Materiales y Métodos

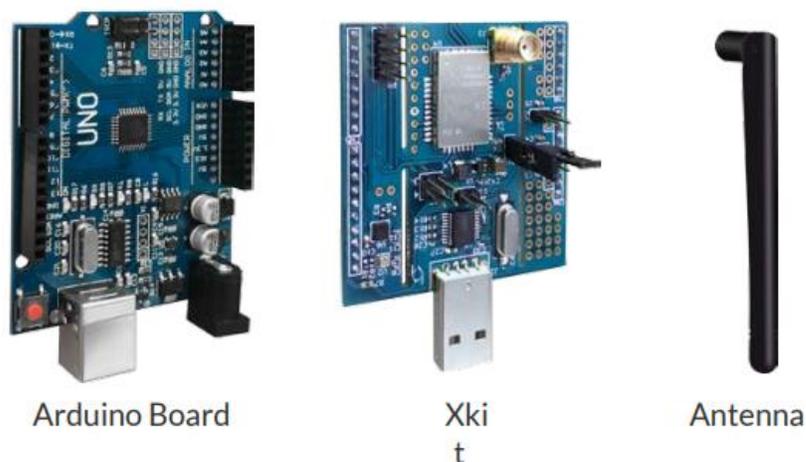
En este capítulo se describe el módulo Dev Xkit Thinxtra, los sensores seleccionados para medir temperatura y partículas de humo, gas y alcohol doméstico, el adaptador para alimentar tanto el módulo como los sensores, las baterías para el UPS y el empaquetamiento de los componentes, que se utilizan para el desarrollo de los nodos sensores que componen el prototipo de alerta contra conato de incendios.

Módulo Dev Xkit Thinxtra de SigFox

El módulo de desarrollo Thinxtra tiene un conjunto de características y accesorios, que lo convierten en una solución IoT. En la Figura 19 se observan los diferentes componentes del módulo Thinxtra, que son: un Arduino Uno R3, la tarjeta Thinxtra y la antena. Su principal característica es tener un SoC (del inglés, *System on a Chip*) además de sensores integrados como: luz ambiental, temperatura, presión, acelerómetro de tres ejes y botones para enviar mensajes manualmente al *backend* (Thinxtra, Xkit Instruction Installation Guide, 2018).

Figura 19

Componentes del Módulo Dev Xkit Thinxtra.



Nota. Tomado de Thinxtra (2018, pág. 2).

La tarjeta Xkit del módulo de desarrollo Thinxtra utiliza el SoC WISOL/WSSFM10R4AT, debido a que el proyecto ha sido desarrollado en Ecuador, por lo tanto, está dentro de la región RCZ4 que está conformada por: Latinoamérica, Australia y Nueva Zelanda. En la Tabla 9 se tiene las características de este chip.

Tabla 9

Características del Chip WISOL.

Características	Descripción
Voltaje de entrada	-0.5 a 5.5 V
Temperatura de operación	-30 a +85 °C
Temperatura de saturación	-40 a +125 °C
Corriente de Tx	200 mA
Corriente de Rx	32 mA
Corriente en modo <i>Sleep</i>	2.5µA

Nota. Adaptado de WIISOL CO., LTD. (2017).

El chip WISOL es un SoC ya que internamente dispone de algunos componentes como una unidad central de procesamiento, puertos de entrada y salidas, memoria interna, entre otros, es decir, ejecuta diversas funciones. En la Tabla 10 se visualizan las especificaciones de frecuencias de RF, tolerancia al error de frecuencia, sensibilidad y potencia de transmisión del chip WISOL.

Tabla 10

Especificaciones del Chip WISOL.

Especificaciones	Descripción
Frecuencia RF de Tx	920.8 MHz
Frecuencia RF de Tx	922.3 MHz
Tolerancia al error de frecuencia (+25°C)	±2.5 ppm
Sensibilidad de Rx	-129 dBm
Potencia de Tx	22.5 dBm

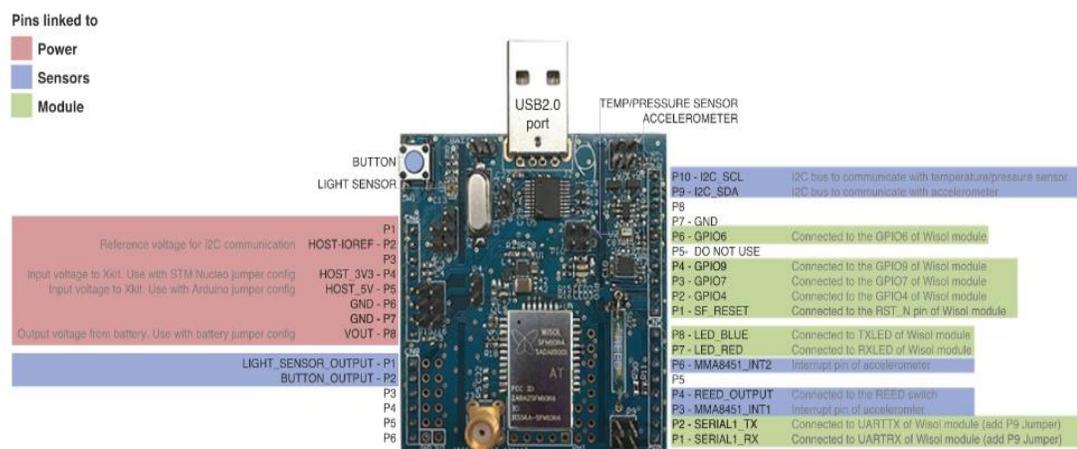
Nota. Adaptado de WIISOL CO., LTD. (2017).

Es importante destacar que el módulo de Thinxtra tiene una configuración preestablecida de pines tanto de entrada como de salida, en la Figura 20 se observa el uso y

distribución de cada uno de los pines del módulo, por lo tanto, se tienen libre los pines analógicos desde P3 hasta P6 y para los pines digitales P5 y P12.

Figura 20

Configuración de los pines de entrada y salida del módulo Xkit Thintra.



Nota. En la figura se tiene la distribución de los pines que se los identifica mediante tres colores. Los pines de alimentación son el bloque de color rojo, el bloque de color azul es para los pines de sensores embebidos y el bloque de color verde son los pines del módulo. Tomado de Thintra (s.f.).

Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 es una placa de microcontrolador basada en Atmega328P, dispone de 14 pines de entrada y salida de los cuales 6 son salidas PWN y 6 entradas analógicas, conexión USB, conector de alimentación de 12 V y un botón de reset. Para la programación de esta placa se usa la plataforma IDE Arduino ya que es un software de código abierto y está disponible para distintos sistemas operativos, las características de la placa Arduino Uno R3 se las visualiza en la Tabla 11 (Arduino, s.f.).

Tabla 11

Características Arduino Uno R3.

Características	Valor
Tensión de operación	5 V
Tensión de entrada	7-12 V
Corriente por pin E/S	40 mA
Memoria Flash	32 kB
Frecuencia de reloj	16 MHz

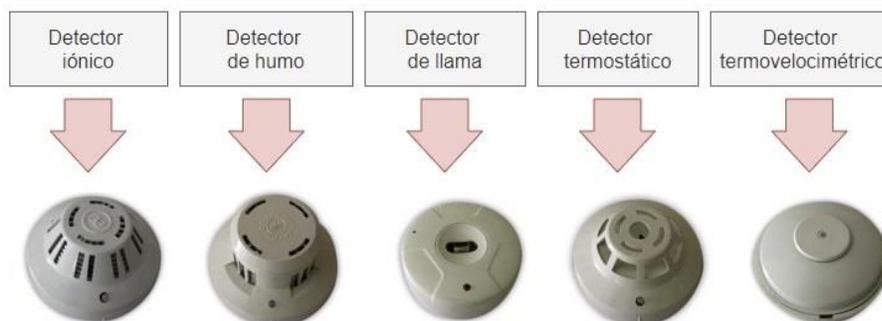
Nota. Adaptado de Patiño A. (2014, pág. 21).

Sensores para Monitorizar un Conato de Incendios

La Figura 21 muestra los diferentes sensores típicos de un sistema de detección de incendios, cabe destacar que el detector iónico solo detecta gases de combustión, el detector de humo solo detecta humo visible, el detector de llama solo detecta llamas y los detectores termostático y termovelocimétrico solo detectan calor. Por estas razones, es necesario seleccionar y analizar nuevos sensores que puedan detectar más sustancias en el ambiente de una casa o edificio. De hecho, los sensores MQ son dispositivos capaces para detectar la presencia de diferentes elementos químicos en el aire. Existe una amplia variedad de sensores MQ. Para este proyecto se utilizan específicamente los sensores MQ2, MQ3 y MQ7 que se detallan a continuación (Llamas, 2016).

Figura 21

Sensores típicos de un Sistema de Detección de Incendios.



Nota. Tomado de OVACEN (s.f.).

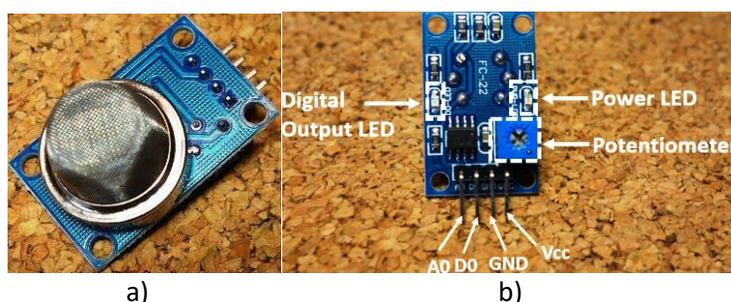
Los sensores tienen la capacidad de transmitir y enviar los datos obtenidos en la monitorización a la estación base. La implementación de sensores en el sector de ciudades inteligentes especialmente para una aplicación de conato de incendios es de gran importancia ya que permite mantener controlado el ambiente de una casa o edificio, así como también prevenir que un incendio dañe la infraestructura del bien inmueble y sobre todo salvaguardar la vida de cada persona que se encuentre dentro de la casa o edificio.

Sensor de Gas

El módulo MQ2 se emplea para detectar fugas de gas en equipos en los mercados industrial y de consumo. Este módulo detecta GLP, butano, propano, metano, alcohol e hidrógeno. En la Figura 22 se observa el módulo MQ2 que consta del sensor MQ2, LED de salida digital, LED de encendido y un potenciómetro. Además, dispone de 4 pines que son: salida analógica (A0), salida digital (D0), GND y Vcc. La alta sensibilidad, estabilidad, respuesta rápida y amplio rango de detección del sensor lo hacen extremadamente fácil de usar, especialmente para medir la concentración de GLP (Mukherjee, 2016).

Figura 22

Módulo MQ2 para Arduino: a) Sensor de gas MQ2 y b) Componentes y pines.



Nota. Tomado de Mukherjee (2016).

En la Tabla 12 se visualizan las características del módulo MQ2 como: voltaje de operación, rango de detección en partes por millón (ppm), humedad relativa, resistencia de carga entre otros.

Tabla 12

Características del módulo MQ2.

Parámetro	Valor
Voltaje de operación (Vc)	5 V
Resistencia de carga (RL)	Ajustable
Rango de detección	300 a 10000 ppm
Resistencia del calentador (RH)	≤ 10s
Temperatura de trabajo	-20 °C ~ +55°C
Humedad relativa	≤ 95% RH

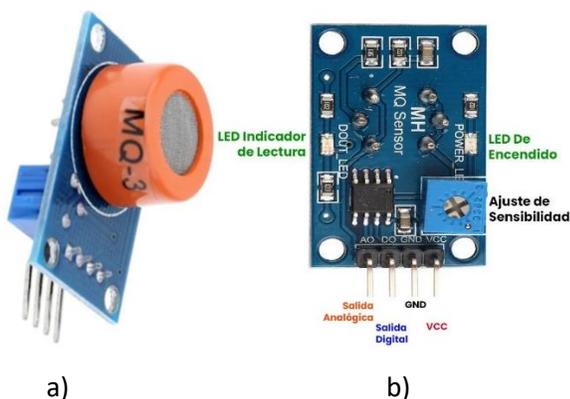
Nota. Adaptado de Zhengzhou Wisen Electronics Technology Co., Ltd (2015, pág. 3).

Sensor de Alcohol

El módulo MQ3 también conocido como sensor de gas MQ3 se usa para detectar partículas de alcohol en el aire debido a su alta sensibilidad a las partículas de alcohol, su alta resistencia es una ventaja ante las perturbaciones y el ruido de cosas como el humo y la gasolina. Este módulo detecta principalmente alcohol, etanol, propano, metanol, entre otros gases. En la Figura 23 se observa el módulo MQ3 que consta del sensor MQ3, LED de salida digital, LED de encendido y un potenciómetro. Además, dispone de 4 pines que son: salida analógica (A0), salida digital (D0), GND y Vcc (De sensores, s.f.).

Figura 23

Módulo MQ3 para Arduino: a) Sensor de gas MQ3 y b) Componentes y pines.



Nota. Tomado de UNIT Electronics (s.f.).

En la Tabla 13 se tienen las características del módulo MQ3 como: voltaje de operación, rango de detección expresado en mg/L, humedad relativa, resistencia de carga entre otros.

Tabla 13

Característica del módulo MQ3.

Parámetro	Valor
Voltaje de operación (Vc)	5 V \pm 0.1
Resistencia de carga (RL)	200 K Ω
Rango de detección	0.05 a 10 mg/L (Alcohol)
Resistencia del calentador (RH)	33 Ω \pm 5%
Temperatura de trabajo (Tao)	-10°C a 50°C
Humedad relativa	Menos del 95% de RH

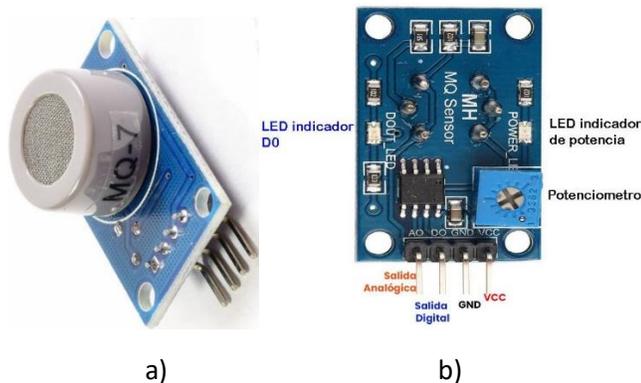
Nota. Adaptado de Zhengzhou Wisen Electronics Technology Co., Ltd (2014, pág. 3).

Sensor de Humo

El módulo MQ7 es óptimo para detectar concentraciones de monóxido de carbono (CO) en el aire. En la Figura 24 se observa el módulo MQ7 que consta del sensor MQ7, LED de salida digital, LED de encendido y un potenciómetro. Además, dispone de 4 pines que son: salida analógica (A0), salida digital (D0), GND y Vcc. La alta sensibilidad, respuesta rápida y amplio rango de detección del sensor lo hacen extremadamente fácil de usar (Tecnopura, s.f.).

Figura 24

Módulo MQ7 para Arduino: a) Sensor de gas MQ7 y b) Componentes y pines.



Nota. Tomado de UNIT Electronics (s.f.).

En la Tabla 14 se tienen las características del módulo MQ7 como: voltaje de operación, rango de detección expresado en partes por millón (ppm), humedad relativa, resistencia de carga entre otros.

Tabla 14

Característica del módulo MQ7.

Parámetro	Valor
Voltaje de operación (Vc)	5 V
Resistencia de carga (RL)	Ajustable
Rango de detección	10 a 10000 ppm CO
Resistencia del calentador (RH)	$31 \Omega \pm 3 \Omega$
Temperatura de trabajo (Tao)	-20°C a 50°C
Humedad relativa	$65\% \pm 5\% \text{ RH}$

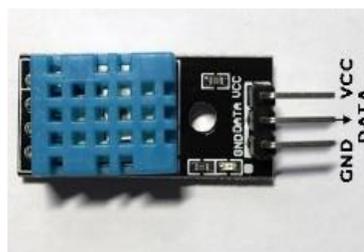
Nota. Adaptado de Henan Hanwei Electronics Co., Ltd (s.f., pág. 1).

Sensor de Temperatura

El módulo DHT11 es un sensor digital de bajo costo que permite detectar las variables temperatura y humedad. Las principales ventajas de este módulo son: su alta confiabilidad y estabilidad gracias a la calibración de la señal digital. Además, tiene un procesador interno que realiza la medición y entrega las mediciones a través de una señal digital. Esto facilita la obtención de las mediciones instantáneas desde un microcontrolador como Arduino (De sensores, s.f.). En la Figura 25 se visualiza el sensor de temperatura DHT11, dispone de 3 pines que son: GND, Vcc y datos.

Figura 25

Pines del Sensor de Temperatura DHT11.



Nota. Tomado de Del Valle Hernández (s.f.).

En la Tabla 15 se tiene las características del módulo DHT11 como: voltaje de operación, rango de funcionamiento expresado en grados Celsius (°C), corriente, resolución o sensibilidad entre otros.

Tabla 15

Características del módulo DHT11.

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	3.3 – 5.5 V
Rango de funcionamiento	Humedad 20 – 90% Temperatura 0 – 50 °C
Corriente de alimentación	0.5 – 2.5 mA
Resolución o sensibilidad	Humedad 1% Temperatura 1 °C
Precisión	Humedad \pm 5% Temperatura \pm 2 °C

Nota. Adapto de AOSONG (s.f.).

Sistema de Alimentación

Para la alimentación del módulo y los sensores, se utiliza un adaptador universal de AC-DC con dos convertidores *Buck* o *step – down*, del primer conversor se obtiene un voltaje de 6V para alimentar el módulo y del segundo se tiene 5V para la alimentación de los sensores. En la Figura 26 se observa el adaptador universal EVL.

Figura 26

Adaptador Universal EVL.



Nota. Tomado de Grupo Velasco (2015).

En la Tabla 16, se tienen las características técnicas del adaptador universal como son: voltaje de entrada, voltajes de salida y corriente máxima.

Tabla 16

Características técnicas del adaptador AC-DC universal EVL.

Parámetro	Valor
Voltaje de entrada	110V (AC)
Voltajes de salida	1.5-3.4, 5-6, 7.5-9-12V (DC)
Corriente máxima	1000mA

Nota. Adaptado de Grupo Velasco (2015).

Banco de Baterías

Se emplea una batería LiPo de 7.4V con una capacidad de 1500 mAh, debido a que el sistema requiere que se mantenga en constante funcionamiento, es decir, en caso de existir algún corte de energía se tiene un sistema de alimentación como reserva. En la se observa la batería LiPo a usarse.

Figura 27

Bateria LiPo TCB WORTH.



Nota. Tomado de Drones Xpress (s.f.).

En la Tabla 17, se presentan las características básicas como son: voltaje, capacidad, número de celdas entre otras.

Tabla 17

Características de la batería LiPo TCB WORTH.

Parámetro	Valor
Voltaje por celda	3.7 V
Número de celdas	2
Voltaje	7.4 V
Capacidad	1500 mAh
Tasa de carga continua	30C / 40C
Tasa de carga sugerida	1C

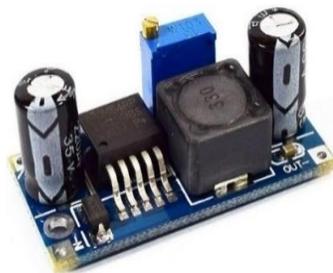
Nota. Adaptado de Drones Express (s.f.).

Convertidor Step – Down

Como se mencionó anteriormente, se necesita de estos conversores ya que el voltaje de salida del adaptador EVL es 7.5V y se requiere 6V como tensión de entrada para el módulo y 5V para el voltaje de operación de cada uno de los sensores como se especifica en la Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15. El convertidor de voltaje óptimo para este prototipo es el LM2596 por su alta eficiencia de conversión mayor al 80% y un voltaje de rizado bajo. En la Figura 28 se visualiza el convertidor de voltaje DC-DC LM2596.

Figura 28

Convertidor de voltaje DC-DC LM2596.



Nota. Tomado de Naylamp Mechatronics SAC (s.f.).

En la Tabla 18, se visualizan las características principales del convertidor LM2596 como: rango de voltaje de entrada, rango de voltaje de salida, corriente máxima de salida, eficiencia de conversión, potencia de salida, *ripple* de salida y frecuencia de trabajo.

Tabla 18

Características del convertidor de voltaje DC – DC LM2596.

Parámetro	Valor
Voltaje de entrada	4.5 a 40 V (DC)
Voltaje de salida	1.23 a 37 V (DC)
Corriente máxima de salida	3 A
Eficiencia de conversión	92%
Potencia de salida	25 W
Ripple de salida	30 mV
Frecuencia de trabajo	15 kHz

Nota. Adaptado de ON Semiconductor® (2008).

Empaquetamiento de los Componentes

La batería LiPo, el adaptador para cargar la batería, el módulo de Thinxtra y los conversores *step – down* estarán dentro de la caja que se observa en la Figura 29, esta servirá para ser posteriormente ubicada en una de las paredes de la casa. La caja es de un material plástico hermético y resistente a altas temperaturas.

Figura 29

Caja plástica para nodos sensores.



Nota. Tomado de TELECU (s.f.).

Sistema de Cableado UTP

Tellas (2016) afirma que en la recomendación ANSI/TIA-1179-A sobre el uso de cable indica que la categoría mínima es Categoría 6a. El cable de Categoría 6a mantiene la temperatura del cable precisa con una mejor disipación térmica y admite aplicaciones como WiFi de próxima generación, PoE de alta potencia y *HDBaset*.

Figura 30

Cable de Categoría 6a.



Nota. Tomado de FURUKAWA (2016, pág. 11).

En la Figura 30, se observa que el cable de Categoría 6a tiene un blindaje de cintas de aluminio por cada par, por esta razón ofrece un excelente nivel de inmunidad al ruido EMI y la diafonía.

En la Tabla 19 se tienen algunas características técnicas del cable CAT 6a UTP como temperatura nominal, impedancia, resistencia de aislamiento, entre otros.

Tabla 19

Especificaciones técnicas del cable Categoría 6a UTP.

Parámetro	Valor
Impedancia	1-100 MHz \pm 15 (Ω) 100-500 MHz \pm 25 (Ω)
Temperatura nominal	75°C
Resistencia de aislamiento	>5000 M Ω *km
Resistencia desequilibrada	Max. 2.5 (%)
Retardo Skew	1-250 MHz \leq 45
Velocidad nominal de propagación	69%
PoE	Tipo 1,2,3,4

Nota. Adaptado de SIEMON (s.f.).

Capítulo IV

Desarrollo e Implementación

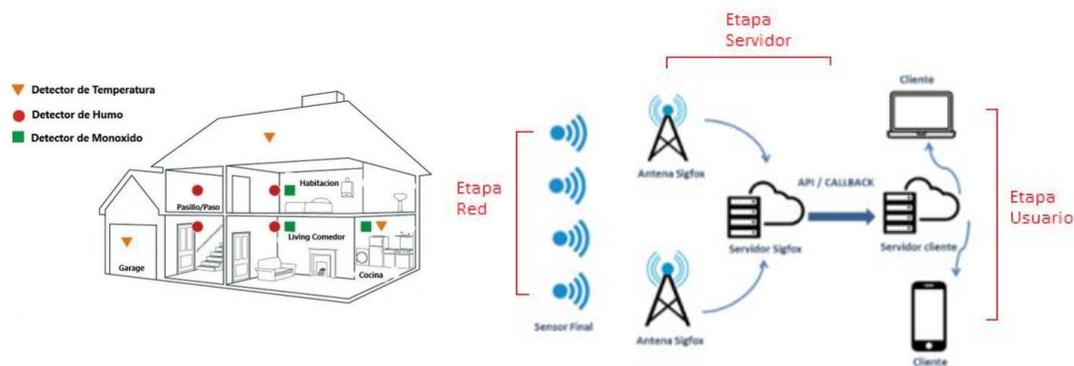
En este capítulo se presenta el diseño, desarrollo e implementación de la metodología escogida que se llevó a cabo para el prototipo de alerta contra conato de incendios, así como las especificaciones paso a paso del hardware y software utilizado para conseguir los objetivos planteados. Además del hardware se muestran las configuraciones y programación correspondiente al software.

Arquitectura del Sistema

En la Figura 31 se visualiza la arquitectura del sistema, que consta de tres etapas: red de sensores, servidor y usuario final. Además, se observa los sensores que monitorean el entorno del hogar, por lo que los valores obtenidos de los sensores se reciben respectivamente en los dos últimos nodos sensores y luego esta información se envía al servidor SigFox, es decir al *backend* y finalmente la información es decodifica y presentada de forma gráfica para una mejor comprensión por parte del usuario final. Cada etapa se describe a continuación.

Figura 31

Arquitectura del envío de mensajes.



Nota. Adaptado de YOREPARO (2020) & dSetEnergy (s.f.).

Etapa de la Red

En esta fase se instala la red de sensores que monitorizan el entorno del hogar y los dos nodos sensores, al tratarse de un sistema prototipo y en la práctica, la utilización de dos nodos sensores es suficiente, ya que se logra verificar que se puede cubrir gran parte de los principales lugares donde se puede generar un conato de incendios de esta manera se recopilan datos de las variables físicas como temperatura, humo, gas y partículas de alcohol, de modo que al conseguir los datos se envía el mensaje codificado.

Etapa del Servidor

En esta fase se decodifican los mensajes enviados por cada uno de los nodos sensores. Las estaciones base reciben el mensaje del nodo sensor y se encargan de enviar el payload o mensaje al backend de SigFox, cada uno de estos valores son hexadecimales por lo que se aplica el callback a cada uno de ellos para que pueda ser enviado a la base de datos y por último a la aplicación del usuario.

Etapa del Usuario

En esta etapa final la aplicación móvil muestra los valores de los parámetros a monitorizar del entorno del hogar en forma gráfica y de esta manera la interfaz sea amigable y fácil de usar por el usuario, además se puede visualizar el mensaje de alerta y conocer el lugar donde se generó el conato de incendios dentro del domicilio y en caso de existir algún mensaje de alerta informar inmediatamente al cuerpo de bomberos.

Registro del Módulo Xkit Thinxtra de SigFox

El módulo de desarrollo Xkit Thinxtra contiene datos únicos que deben proporcionarse al registrar el módulo en la red SigFox, también se requiere un correo electrónico para verificar la suscripción disponible del módulo para el cual se detalla a continuación el procedimiento específico para el registro de las tarjetas SigFox.

Primero, se debe ir al sitio web oficial del *backend* de SigFox, que contiene diferentes herramientas útiles para implementar varios sistemas de monitorización de variables. Este es el link para acceder al *backend*: <https://backend.sigfox.com/activate>, donde se elige el país para comprobar si consta con el despliegue de la red, en este caso es WND Ecuador.

Figura 32

Despliegue de la red en el país.

Where is your company based?

Choose the country of domiciliation of your company.

Q |

 Australia	Active
 Austria	Active
 Belgium	Active
 Botswana	Active

WND Ecuador
 Ecuador
 Decades of experience rolling out wireless networks

WND Ecuador main office
 Urdesa, Bálsamos 118 y Calle Única
 Guayaquil
<http://www.wndgroup.io>

Nota. En la Figura 32 se logra visualizar algunos países en donde ya se encuentra desplegada la red SigFox, se procede a seleccionar a Ecuador como el país de domicilio. También se puede observar la dirección de la sucursal de SigFox en el país. Tomado de Sigfox buy (2021).

Segundo, se procede a introducir los datos que vienen junto con el Xkit como el identificador de usuario o ID, así como el PAC para poder activar un año de suscripción en la plataforma oficial de SigFox.

Figura 33

Ingreso de datos para el registro.

Provide your DevKit's details for identification

Device ID *

ex: 123AB

Up to 8 numbers and letters (from A to F)

PAC *

ex: 1234567890ABCDEF

Exactly 16 numbers and letters (from A to F)

Tell us about your project

Purpose of your project *

Select...

Nota. En la Figura 33 se muestran los diferentes campos solicitados para el adecuado registro de las tarjetas de SigFox en el sistema, en la parte inferior aparte del ID y el PAC se solicita información sobre el proyecto que se llevará a cabo con los dispositivos. Tomado de Sigfox buy (2021).

Tercero, proporcionar los nombres del usuario y correo electrónico al que se vincularán las tarjetas.

Figura 34

Registro de datos personales.



The screenshot shows the 'Cuenta' (Account) page of the 'sigfox comprar' website. At the top, there is a navigation bar with 'Cuenta', 'Editar', and 'Mis ordenes' options. Below the navigation bar, the page title 'Cuenta' is displayed. The user's details are listed as follows: 'Nombre completo: Jonathan Rosas', 'Correo electrónico: jonathan_arteaga1@hotmail.com', and 'Número de teléfono:'. There is a blue 'Editar' button below the phone number field.

Nota. En la Figura 34 se verifica el registro del correo electrónico al cual se asoció o vinculó el módulo Xkit Thinextra.

Cuarto, se comprueba la suscripción de un año en el *backend* de SigFox que nos entregan al momento de adquirir el módulo Xkit.

Figura 35

Verificación de suscripción.

User 'Jonathan Rosas' - Information



Name: Jonathan Rosas
Email: jonathan_arteaga1@hotmail.com
Position:
Timezone: America/Guayaquil
Subscribed to get release emails:
Groups:
 Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE (DEVICE MANAGER [W])
Creation date: 2021-05-13 09:42:26
Created by: buy.sigfox.com
Last edition date: 2021-05-13 10:05:26
Last edited by: buy.sigfox.com

Nota. En la Figura 35 se puede ver la fecha de registro de la suscripción, ya que como se mencionó anteriormente se tiene un año gratis, pasado este tiempo se debe cancelar un valor adicional para poder utilizar el *backend* con normalidad.

Figura 36

Detalles del plan de suscripción SigFox.

Detalles del pedido

Operador Sigfox: WND Ecuador		
Duración de la suscripción	1 año	
Mensajes / día	140	
Atlas nativo	sí	
Precio unitario	Yaya	x 1 unidades
Subtotal :	1 x NaN	Yaya
Total del pedido:		Yaya

Nombre del pedido: 609d3ad2564b6d45e5d2b066
 Nivel de suscripción: **Platino (140 mensajes / día)** Duración de la suscripción: **1 año** Nativo de Atlas: **habilitado** Número de suscripciones: 1

Nota. Tomado de Sigfox buy (2021).

La Figura 36 muestra que el módulo tiene una suscripción de 12 meses, 140 mensajes UPLINK y 4 DOWNLINK, este paquete corresponde al Platinum con un máximo de 16800 bytes. También hay otros paquetes de suscripción, que se puede ver con más detalle en la Tabla 20.

Tabla 20

Paquetes de mensajes de suscripción SigFox.

Paquete	Número de mensaje	Número máximo de bytes
Platinum	101 – 140 + 4 downlinks	1680
Gold	51 – 100 + 2 downlinks	1200
Silver	3 – 50 + 1 downlink	600
One	1 o 2 + no downlink	24

Nota. La tabla muestra los diferentes paquetes de suscripción que se puede obtener, después de que el año de suscripción gratuito haya finalizado. El costo de las suscripciones anuales va a depender mucho del país, la cantidad de sensores y datos a enviar, sin embargo, SigFox es reservado con respecto a los costos, el único dato proporcionado por el sitio oficial de SigFox es el precio anual con respecto al paquete Platinum que es de \$15 por dispositivo, lo cual es un valor asequible para cualquier usuario. Adaptado de Sigfox (2017).

Librerías

Para recibir los valores obtenidos de la red de sensores es necesario descargar las librerías correspondientes a la tarjeta Dev Xkit Thinxtra. Estas están disponibles en el siguiente repositorio <https://github.com/Thinxtra/Xkit-Sample>. Las librerías que se deben agregar al sketch de IDE de Arduino son:

Isigfox: permite establecer la comunicación entre el módulo y el *backend* de SigFox. Para agregar esta librería al código IDE de Arduino, use el comando `#include<WISOL.H>`. Esta librería proporciona varias funciones que se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Funciones de las librerías Isigfox.

Función	Descripción
int initSigfox()	Establecer la zona para la comunicación de SigFox.
Int getZone()	Obtener la zona del módulo SigFox.
Int setZone()	Enviar la zona del módulo SigFox.
Int testComms()	Probar la comunicación entre la tarjeta Arduino y el módulo SigFox.
Void	Envía la trama al backend de SigFox.
Send_Pload(uint8_t*outData, const uint8_t len, int downlink)	OutData: es el primer byte de la trama en enviarse al backend, int len [0... 12] longitud de la trama, int downlink 0 no requiere mensaje o 1 se requiere mensaje.

Nota. Adaptado de Thinxtra Xkit Development Guide for Arduino Sigfox (2017, págs. 10-12).

Tsensors: esta librería proporciona las funciones para inicializar los sensores y recuperar las mediciones, tiene acceso al sensor digital de temperatura y presión, el acelerómetro de tres ejes, el sensor de luz y reed switch. Para agregar esta librería al código IDE de Arduino, use el comando `#include<Tsensor.h>`. Esta librería ofrece varias funciones, que se enumeran en la Tabla 22.

Tabla 22

Funciones de las librerías Tsensors.

Función	Descripción
int initSensors()	Inicializar los sensores
float getPressure()	Obtener la presión ambiente actual
float getTemp()	Obtener la temperatura ambiente actual
float getPhoto()	Obtener la luz ambiente actual
int getAccXYZ(acceleration_xyz*acc)	Obtener la aceleración en los tres ejes
Void setButton(void(*service(void)))	Enviar el callback al activar el botón

Nota. Adaptado de Thinxtra Xkit Development Guide for Arduino Sigfox (2017, págs. 15-18).

SimpleTimer: esta es una librería simple que se utiliza para acciones cronometradas que están definidas en ms (milisegundos), por lo que tiene una resolución de 1 ms. Para agregar esta librería al código IDE de Arduino, use el comando `#include<SimpleTimer.h>`. Al igual que las otras librerías, también incluye varias funciones que se describen en la Tabla 23.

Tabla 23

Funciones de la librería SimpleTimer.

Función	Descripción
<code>int setInterval(long d, timer_callback f)</code>	Llama a una función específica cada cierto tiempo en ms.
<code>int setTimeout(long d, timer_callback f)</code>	Llama a una función después de un cierto período de tiempo. Después de llamar a la función, el intervalo se elimina y el valor timer ya no es válido.
<code>int setTimer(long d, timer_callback f, int n)</code>	Llama a una función cada cierto tiempo por N veces. Luego de llamar la función el número de veces especificado, el intervalo se elimina y el valor timer ya no es válido.

Nota. Adaptado de Arduino Playground Romani (2018).

DHT: esta librería forma parte de la funcionalidad del sensor de temperatura DHT11, permite obtener los valores de temperatura y humedad ambiente, además la librería se agrega con el siguiente comando `#include<DHT.h>`. En la Tabla 24 se tienen las funciones para la medición de la temperatura.

Tabla 24

Funciones de la librería DHT.

Función	Descripción
<code>dht.begin();</code>	Inicializa el sensor y establece la configuración por defecto por defecto.
<code>dht.readhumidity()</code>	Obtiene la humedad relativa del ambiente, recupera un valor de 0 a 100.
<code>dht.readTemperature()</code>	Recupera la temperatura en un rango de -40° a 80° en grados Celsius.
<code>dht.readTemperature(true)</code>	Restablece la temperatura en grados Fahrenheit.

Nota. Adaptado de Código Electrónica Fernandez Alzate (2019).

Programación IDE Arduino

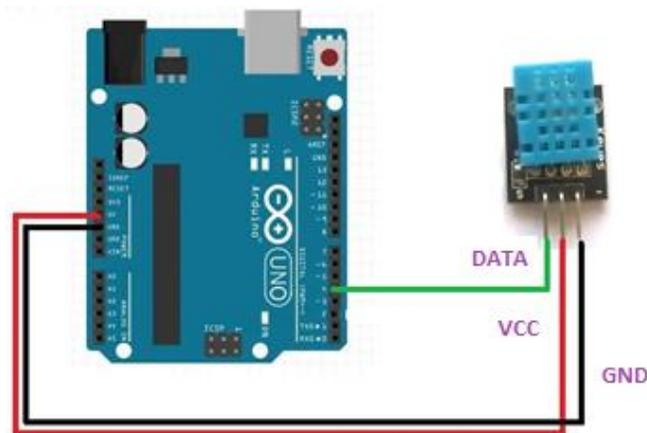
En cuanto a la programación, primero se debe agregar las librerías descritas anteriormente para inicializar los sensores y poder recolectar los datos para establecer el tiempo de muestreo de datos para cada variable.

Sensor de Temperatura (DHT11)

El sensor de temperatura se conecta en una entrada digital del Arduino, de modo que el microcontrolador procesa la señal digital recibida que consiste en el valor de temperatura, humedad y el *check sum*. De esta medición solo se extrae únicamente el dato de temperatura. La Figura 37 muestra las conexiones del sensor DHT11, requiere alimentación de 5 V, GND y envía la señal al pin 4 del Arduino.

Figura 37

Conexión del sensor DHT11.



Nota. Adaptado de HETPRO (2015).

Para el proceso de comunicación en el *sketch* de IDE Arduino, se debe agregar la librería apropiada con el comando `#include<DHT.h>`, es necesario definir el pin de entrada digital al que está conectado, así como el tipo de sensor DHT que es un DHT11 y finalmente ambos parámetros se inicializan en una variable *dht*, como se muestra en la Figura 38. Por último se inicializa la comunicación, se debe agregar la línea de código `dht.begin()` en el `void()` como se describe en la Tabla 24.

Figura 38

Inicialización del sensor DHT11.

```
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

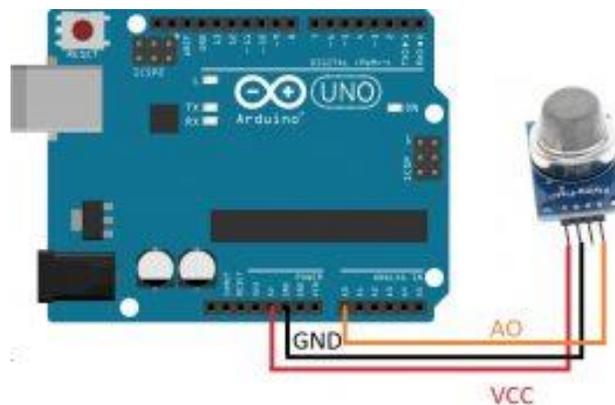
Nota. Adaptado de HETPRO (2015).

Sensores MQ

Los sensores de la familia MQ son sensores analógicos, de modo que su implementación en cualquier microcontrolador es sencilla, estos sensores son electroquímicos, internamente posee un calentador, el cual tiene la función de aumentar la temperatura interna para que el sensor reaccione con los gases de esta manera provoca variaciones en su resistencia.

Figura 39

Conexión del sensor MQ2.



Nota. Adaptado de PROMETEC (2021).

En la Figura 39 se observan las conexiones del sensor MQ2, cabe destacar que las conexiones son las mismas para todos los sensores de la serie MQ, por esta razón no es necesario mostrar las conexiones con los otros dos sensores MQ3 y MQ7, solo basta con alimentar el módulo para que empiece a leer los datos.

Comunicación SigFox

Primero se debe establecer la comunicación con el *backend* de SigFox, para esto se incluye las librerías *Isigfox.h*, *Wisol.h* y *SimpleTimer.h*, después se crea las variables con respecto a las librerías como se observa en la Figura 40.

Figura 40

Asignación de variables con respecto a las librerías Sigfox.

```
Isigfox *Isigfox = new WISOL();
Temporizador SimpleTimer;
```

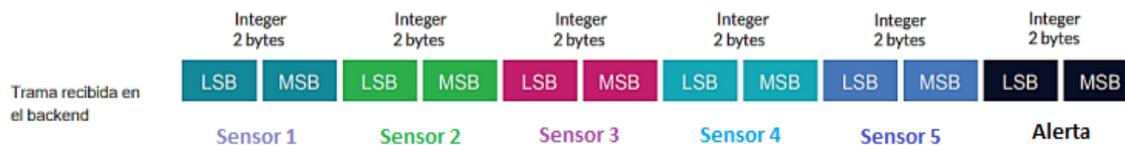
Nota. Adaptado del ejemplo DemoApp Sigfox (2018).

Luego se debe configurar la inicialización de las comunicaciones, es decir, establecer la zona para la comunicación y la UART (del inglés, *Universal Asynchronous Reception and Transmission*), con las funciones descritas en la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23, *initSigfox()* y *testComms()* de esta manera se consigue la comunicación entre la tarjeta Arduino y el módulo de SigFox. Lo más importante es determinar el intervalo de tiempo para el envío de mensajes, para esto se usa la función *setInterval()* descrita en la Tabla 23, la cual utiliza la variable creada en la Figura 40 y debe estar en milisegundos.

Después de recibir las mediciones de los sensores de cada una de las variables se procede a formar la trama de 12 bytes que será enviada al *backend*; la trama conformada se la observa en la Figura 41.

Figura 41

Configuración del payload de Sigfox.



Nota. Adaptado de Thinxtra (2018, pág. 7).

Como se puede ver en la Figura 42, la trama que recibe el *backend* consta de datos que son números enteros de 2 bytes. Los bytes se codifican desde el valor menos significativo hacia el valor más significativo.

Figura 42

Creación del arreglo de 6 bytes.

```
const uint8_t payloadSize = 6;
uint8_t buf_str[payloadSize];

buf_str[0] = sen1;
buf_str[1] = sen2;
buf_str[2] = sen3;
buf_str[3] = sen4;
buf_str[4] = sen5;
buf_str[5] = alerta;
```

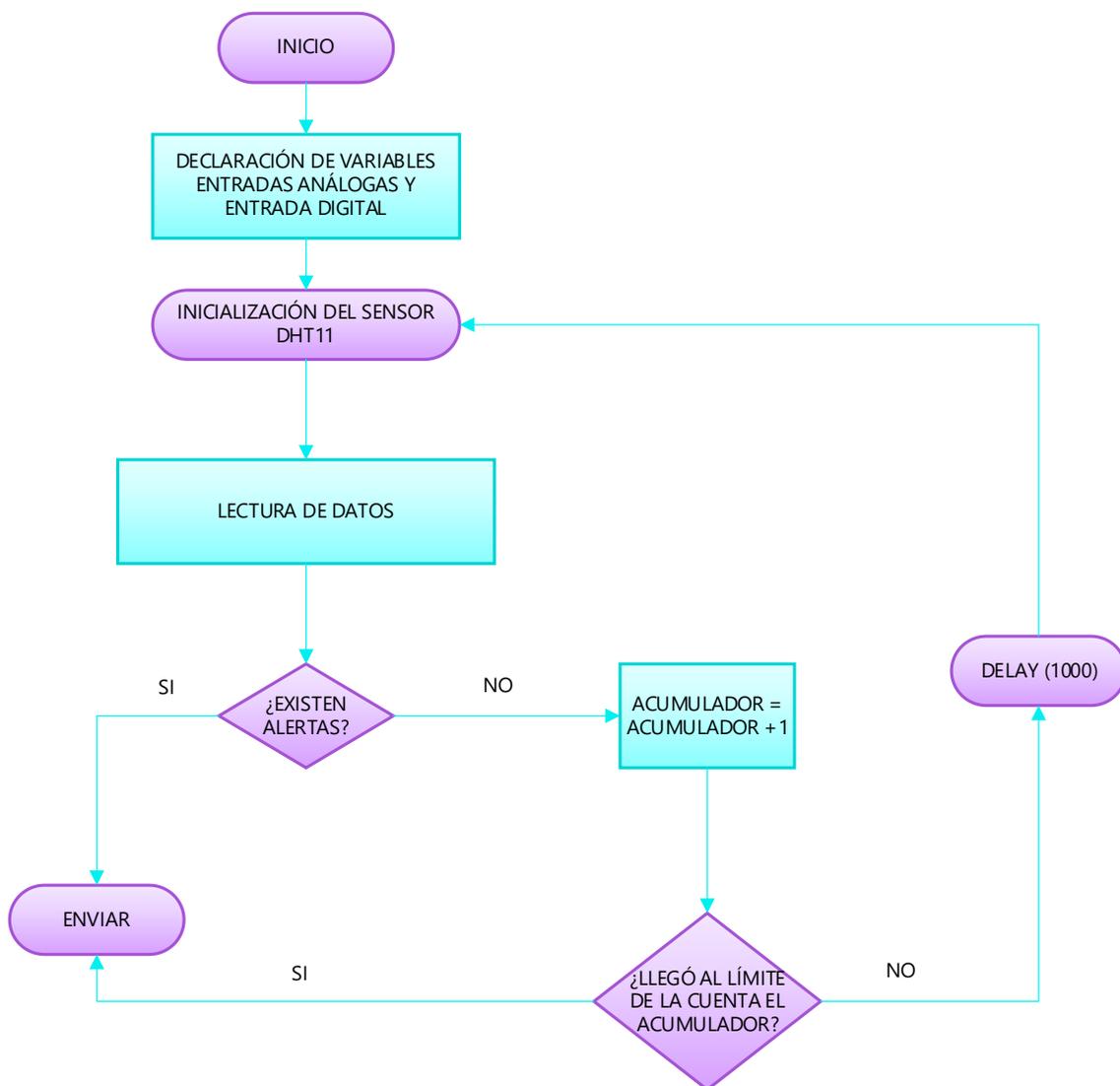
Nota. Adaptado del ejemplo DemoApp Sigfox (2018).

Antes de enviar el *payload* al *backend*, es necesario crear una matriz del tamaño de 6 bytes conformada por los valores medidos por los sensores. En la Figura 42 se observa el código respectivo para crear el arreglo. El envío de la trama se realiza a través de las funciones *Send_Pload(buf_str,payloadSize)* y *void Send_Pload(uint8_t*sendData, const uint8_t len)*, descritas en la Tabla 21, estas funciones tienen la tarea de conformar la trama y enviar el mensaje según la longitud de la matriz.

En la Figura 43 se observa el diagrama de flujo que describe el algoritmo de la programación para recopilar, procesar y enviar los datos medidos desde la red de sensores al *backend*.

Figura 43

Diagrama de flujo del código fuente.



Nota. La función principal de este programa es leer las variables medidas por los distintos sensores y actuar en base a los valores límites establecidos durante la etapa de calibración. Tan pronto como ocurra una alarma inesperada, los valores se enviarán dentro de un tiempo determinado, de lo contrario se genera una advertencia y los datos detectados en ese momento se envían inmediatamente con una señal de alerta para informar al usuario y al personal del Cuerpo de Bomberos que se ha generado un conato de incendio.

Almacenamiento de Datos

Los datos se guardan a través de una base de datos programada en PHP. Se utilizó este tipo de lenguaje de programación porque está orientado al desarrollo de aplicaciones web, además es de código abierto y una de sus ventajas es fácil de aprender y desarrollar aplicaciones web en cuanto a servidores e interfaces de usuario.

Para el alojamiento de la base de datos se usa el *Web Hosting* gratuito 000webhost, en la Tabla 25 se tienen las características que ofrece este *hosting* en su forma gratuita.

Tabla 25

Características del Web Hosting gratuito 000webhost.

Características	Valor
Almacenamiento	300 MB
Ancho de banda	10 GB
Número de hosting	2 sitios web
Soporta	PHP y MySQL
Bases de datos MySQL	2 bases por sitio

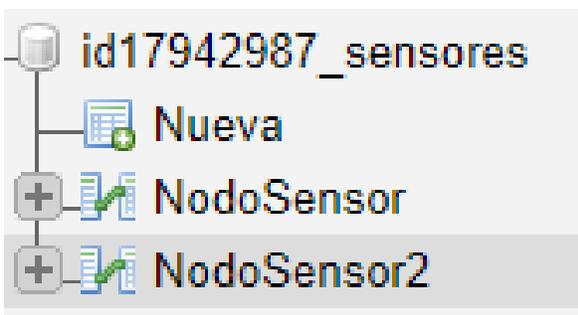
Nota. Adaptado de SMART FREE HOSTING (2020).

Tabla de Datos

La base de datos dispone de dos tablas denominadas: NodoSensor y NodoSensor2, el nombre de la base de datos es id17942987_sensores como se visualiza en la Figura 44.

Figura 44

Tablas de la base de datos id17942987_sensores.



Configuración de la Base de Datos

Primero se configura los parámetros para la conexión, en la Figura 46 se puede ver los parámetros: host, ID de usuario, contraseña e ID de la base de datos.

Figura 46

Parámetros para la conexión.

```
$dbhost = "localhost";  
$dbuser = "nombre de usuario";  
$dbpass = "contraseña";  
$dbname = "nombre base de datos";
```

Nota. La figura muestra el código PHP que indica los parámetros para conectarse a la base de datos. Adaptado de Conexiones PHP (2021).

Luego de proporcionar los parámetros, la conexión con la base de datos se define como se muestra en la Figura 47, donde indica la conexión con la base de datos, en caso contrario indica el error de código.

Figura 47

Conexión con la base de datos.

```
$conn = mysqli_connect($dbhost, $dbuser, $dbpass, $dbname);  
  
if (!$conn)  
{  
    die("Error al intentar conectar la Base de Datos: ".mysqli_connect_error());  
}  
echo('Se realizo exitosamente la conexion');
```

Nota. La figura contiene el código PHP para la conexión a la base de datos. Adaptado de Conexiones PHP (2021).

Después de verificar la conexión con la base de datos, se establecen las variables donde se reciben los valores decodificados, se utiliza el método POST que está establecido en el *Callback* de SigFox, tal como se observa en la Figura 48.

Figura 48

Creación de variables.

```
$S1MQ7 = $_POST['sensor1'];
$S2MQ2 = $_POST['sensor2'];
$S3DHT11 = $_POST['sensor3'];
$S4MQ7 = $_POST['sensor4'];
$S5MQ2 = $_POST['sensor5'];
$Alerta1 = $_POST['alerta1'];
$Fecha = $_POST['Fecha'];
```

Nota. La figura contiene el código PHP donde se almacenan las variables decodificadas del *Callback*. Adaptado de Conexiones PHP (2021).

En la Figura 49, se tiene la inserción de los datos de cada variable en la base de datos, se debe considerar que los nombres de la tabla y las variables sean los mismos para evitar errores al guardar la información. Finalmente, se finaliza la conexión establecida con la base de datos.

Figura 49

Inserción de datos.

```
$sql="INSERT INTO NodosSensor (S1MQ7, S2MQ2, S3DHT11, S4MQ7, S5MQ2, Alerta1, Fecha)
VALUES ('$S1MQ7', '$S2MQ2', '$S3DHT11', '$S4MQ7', '$S5MQ2', '$Alerta1', '$Fecha)";

if (mysqli_query($conn, $sql))
{
    echo "Almacenamiento exitoso";
}
else
{
    echo "Error: " . $sql . "<br>" . mysqli_error($conn);
}
```

Nota. La figura contiene el fragmento de código PHP que indica la inserción de las variables que almacena los valores decodificados del *Callback* en la base de datos. Adaptado de Conexiones PHP (2021).

Configuración de los Callbacks

Cuando los datos de la monitorización se envían desde la red de sensores a la red SigFox, van al *backend*, donde se visualiza el mensaje codificado en hexadecimal, además de

otros parámetros como fecha, número de secuencia, calidad del enlace, el estado del *callback* y ubicación. Toda esta información se muestra en la Figura 50.

Figura 50

Mensaje codificado recibido en el backend de Sigfox.

Time	Seq Num	Data /Decoding	LQI	Callbacks	Location
2021-11-12 22:48:56	719	253e13575900			

Annotations in the image:

- NÚMERO DE SECUENCIA (points to Seq Num)
- IDENTIFICADOR DE CALIDAD DEL ENLACE (points to LQI)
- MENSAJE CODIFICADO (points to Data /Decoding)
- ESTADO CALLBACK (points to Callbacks)

Nota. Adaptado del Backend de Sigfox.

Como se muestra en la Figura 50, el mensaje recibido está codificado por este motivo, es necesario decodificarlo para luego enviarlo al servidor web externo y finalmente a la aplicación. Por esta razón, se debe configurar el *callback*, dado que un *callback* es una petición http que contiene información del dispositivo, también puede contener variables del *backend* adicionales.

Para configurar el *callback*, se necesita una base de datos en un hosting, ya que el tipo de *callback* se elige entre DATA y UPLINK, el canal por donde será redirigido (URL) este contiene el archivo PHP para recibir y almacenar la información. El mensaje decodificado se extrae de la trama, datos como nombre de la variable, posición de los bytes en la trama y el tipo de dato, estos valores se almacenan en una nueva variable. Este procedimiento se sintetiza en la Tabla 26.

Tabla 26

Datos recibidos decodificados.

Dato	Decodificación	Almacenamiento Variable
Nodo Sensor 1		
S1MQ7	int1::uint:8	sensor1={customData#int1}
S2MQ2	int2::uint:8	sensor2={customData#int2}
S3DHT11	int3::uint:8	sensor3={customData#int3}
S4MQ7	int4::uint:8	sensor4={customData#int4}
S5MQ2	int5::uint:8	sensor5={customData#int5}
Alerta1	int1::uint:8	alerta1={customData#int6}
Nodo Sensor 2		
S6MQ7	int1::uint:8	sensor1={customData#int1}
S7MQ3	int2::uint:8	sensor2={customData#int2}
S8MQ7	int3::uint:8	sensor3={customData#int3}
S9MQ7	int4::uint:8	sensor4={customData#int4}
S10DHT11	int5::uint:8	sensor5={customData#int5}
Alerta2	int6::uint:8	alerta2={customData#int6}

Nota. La tabla muestra la decodificación de cada dato correspondiente a cada nodo sensor, también existe el tipo de dato y el código para almacenar el valor decodificado en una variable.

Figura 51

Configuración de Callback.



Nota. Adaptado de la configuración de Callbacks del Backend de Sigfox.

La Figura 51 muestra la configuración del *callback*, donde lo primero a elegir es el tipo DATA y UPLINK, luego el canal seleccionado en este caso es URL (del inglés, *Uniform Resource*

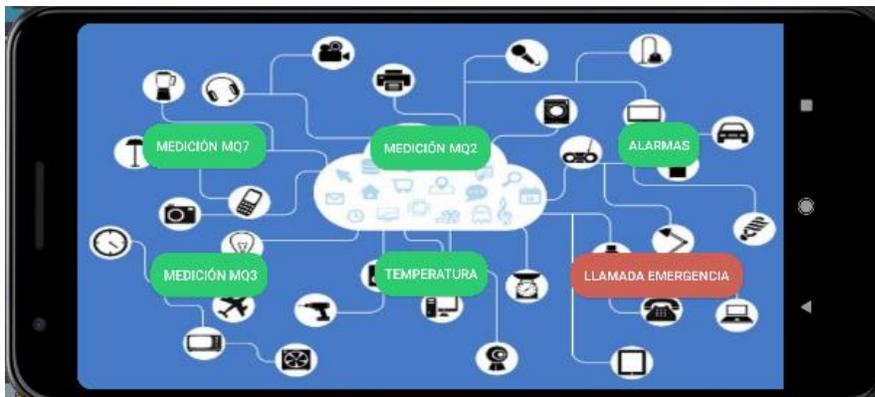
Locator), luego se configura el *custom payload*, como se muestra en la columna Decodificación en la Tabla 26, para el método HTTP se usa el método POST y finalmente se ingresa el almacenamiento en las variables. Como se puede observar en la Tabla 26, se tiene dos nodos sensores por lo que es necesario crear un *callback* para cada uno.

Aplicación Móvil

Para desarrollar el aplicativo móvil se utilizó la herramienta Android Studio, ya que es importante presentar al usuario final una interfaz gráfica que muestra las condiciones actuales del sistema de forma sencilla y amigable, todos los datos obtenidos de los sensores se almacenan en la base de datos y generar gráficos para analizar el rendimiento general del sistema contra conato de incendios.

Figura 52

Interfaz principal de la aplicación.



Nota. En la Figura 52 se observa la pantalla de inicio de la aplicación, en la cual se visualizan seis botones, cuatro de ellos contienen las mediciones respectivas para cada sensor mientras que en el botón alarma se muestran las anomalías en caso de que existan, indica la fecha, hora y la ubicación del sensor y el botón llamada de emergencia marca el número del cuerpo de bomberos si el caso lo amerita, es decir, que haya pasado de la etapa de ignición a *flashover* o incendio totalmente desarrollado.

Tabla 27

Características de los objetos *TextView*.

Características	Definición
android:id="@+id/textView"	Define el identificador único del objeto
android:layout_width="wrap_content"	Define el ancho del bloque, se define en función del contenido
android:layout_height="wrap_content"	Define el largo del bloque, se define en función del contenido
android:text="Mediciones Obtenidas MQ2"	Define texto dentro del objeto
android:backgroundTint="#FFAB40"	Define el color

Nota. La Tabla 27 describe brevemente las funciones que contiene el objeto denominado

TextView.

Figura 53

Acceso y obtención de los datos.

```

RequestQueue queue = Volley.newRequestQueue( context MainActivity.this);
String url = "https://conatoprojec.00webhostapp.com/notification.php";
final ListView lView = (ListView) findViewById(R.id.lvMain);
StringRequest stringRequest = new StringRequest(Request.Method.GET, url, new Response.Listener<String>() {
    public void onResponse(String response) {
        String result = response.toString();
        ArrayList<HashMap<String, String>> arrayList = new ArrayList<>();
        try {
            JSONArray jobject= new JSONArray(response);
            jobject = new JSONArray(response);
            List<String> list = new ArrayList<>();
            final ArrayList<String> xLabel = new ArrayList<>();
            for (int i = 0; i < jobject.length(); i++) {
                String aJsonString = jobject.getString(i);
                JSONObject oneObject = jobject.getJSONObject(i);
            }
        } catch (JSONException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
});

```

Nota. La Figura 53 muestra el *string URL* correspondiente a la dirección donde se encuentra alojado el *script*, la función *onResponse* permite que se establezca la conexión y se conozca su estado, también se visualiza el código de obtención de datos.

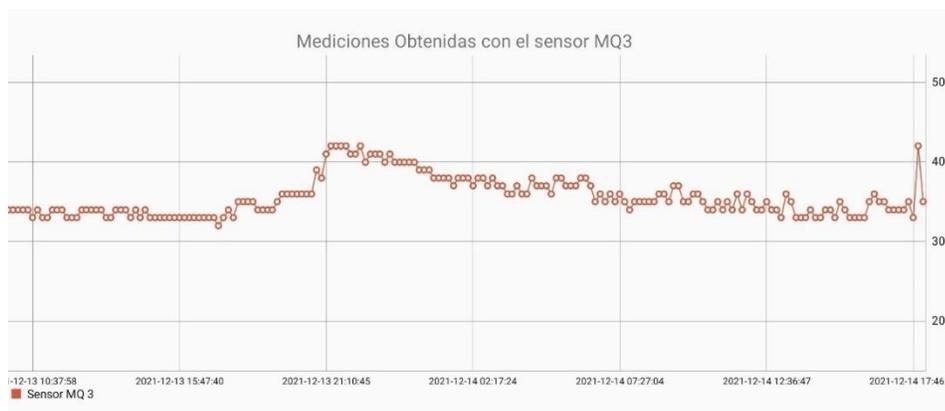
Para dirigir el objeto *TextView* a otro *screen* de la aplicación, se utiliza la función `android:onClick="onClick"` de forma que cada vez que se requiera ingresar a este se acceda mediante la invocación de la función. Luego de crear la interfaz gráfica, se procede a programar las funciones que generan las gráficas de cada sensor, así como las alarmas y llamadas de emergencia. Para esto se debe realizar una solicitud para permitir la extracción de información

de la base de datos, esto se realiza mediante un *script* en php dentro del *Webhosting*, donde se otorga el acceso, en la aplicación se traduce al método ejecutar().

Una vez establecida la conexión, se obtiene la información almacenada en la base de datos, para lo cual se crea el método consulta en el cual se declara el mismo *URL*, por lo que se realiza una petición con respecto a la obtención de los datos mediante el método *JsonObject.getString* que devuelve una cadena para lo cual se declaran 5 variables (bmq7, bmq2, bmq3, btemp, balam) en las cuales se almacenarán los datos recopilados, en la misma rutina se genera la excepción en el caso de error se manifiesta con un mensaje de alerta en la pantalla.

Figura 54

Gráfica obtenida en la simulación.



Nota. En la Figura 54 se muestra la gráfica de los datos medidos por el sensor de alcohol MQ3, de esta forma se verifica el funcionamiento de la aplicación desarrollada en Android Studio.

Implementación del Diseño

Una vez se tenga la configuración de la red de sensores y la base de datos y la visualización de la información, se proceden a realizar los distintos escenarios de pruebas al cual será sometido el sistema contra conato de incendios para verificar la exactitud y precisión de la red de sensores del sistema contra conato de incendios.

Escenarios de Pruebas

Los escenarios de pruebas planteados para el sistema prototipo de alerta contra conato de incendios domésticos son tres: el primer escenario consta de un ambiente que cuente con una temperatura ambiente, libre de humo, sin llamas, fugas de gas o alcohol doméstico, el segundo escenario es cuando una persona utiliza elementos que manejen comúnmente gas doméstico como calefones, cocinas, chimeneas, etc. y el último escenario es cuando nadie está en el hogar y todos los elementos del hogar deberían estar apagados, pero se detecta una fuga de gas o anomalías en la temperatura del domicilio.

Figura 55

Escenarios de pruebas: a) Primer escenario, b) Segundo escenario y c) Tercer escenario.



Como se muestra en la Figura 55, hay tres escenarios, la Figura a muestra el primer caso de prueba donde la monitorización de la red de sensores no muestra valores atípicos para el entorno doméstico, la Figura b muestra el segundo caso de prueba donde se identifica que una persona usa la estufa, horno y secadora, se detecta humo o gas y en la Figura c se muestra que la persona no está en casa, pero en su celular hay una notificación la cual indica anomalías en la temperatura de su domicilio.

Análisis de las Encuestas

Se diseñó una encuesta que consta de 10 preguntas, con el objetivo de conocer las variables físicas principales a medir dentro del domicilio que podría generar un conato de incendios, los lugares más frecuentes y las cantidades más comunes de dichos compuestos, y de esta manera determinar los lugares específicos donde se deben colocar los diferentes sensores, cabe destacar que para el análisis se consideran las preguntas más relevantes. Esta encuesta se aplicó al Conjunto Habitacional IBIZA de Caminos del Sur el cual consta de 38 departamentos por lo que se consideró una persona por domicilio. Cabe destacar que se encuesta a una sola persona por domicilio ya que las preguntas de las encuestas fueron planteadas de tal manera que cualquier integrante del domicilio brinde la misma información por lo que es irrelevante aplicar la misma encuesta a cada una de las personas que residen en el departamento.

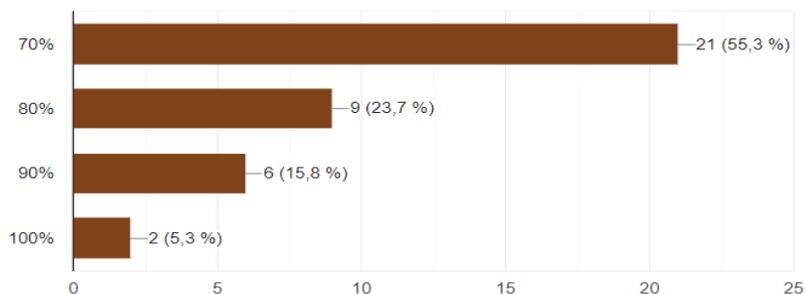
A partir de los resultados de las encuestas se determinó que la mayoría de las personas almacenan alrededor de 1 a 5 litros de alcohol en los baños y sala del departamento, además se observa en la Figura 56 que el 55.3 % utiliza el alcohol con una concentración del 70% de manera cotidiana para desinfectar las superficies y objetos personales dentro del domicilio. Seguidamente el 23.7% utiliza alcohol con una concentración del 80% para desinfectar superficies y objetos personales, mientras que el 15.8% y el 5.3% corresponden a concentraciones de alcohol del 90 % y 100 % respectivamente.

Figura 56

Resultados de encuesta, pregunta 1.

1.- ¿Qué porcentaje de alcohol es el que comúnmente utiliza para desinfectar superficies y elementos personales dentro de su domicilio?

38 respuestas



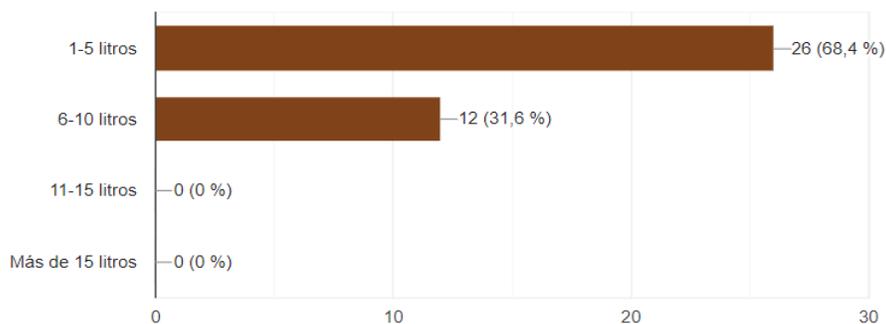
En la Figura 56 evidentemente hay una gran cantidad de personas que usan alcohol con una concentración del 70% para desinfectar cualquier objeto.

Figura 57

Resultados de encuesta, pregunta 3.

3.- ¿Qué cantidad de alcohol usted almacena dentro de su hogar en litros?

38 respuestas

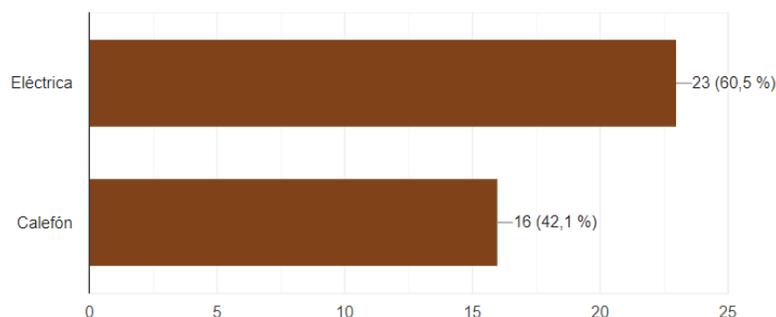


La Figura 57 muestra que el 68.4% de las personas almacenan de 1 a 5 litros de alcohol domestico en el hogar, mientras que el 31.6% de las personas almacenan de 6 a 10 litros de alcohol domestico en el hogar, en conclusión, la cantidad de alcohol más utilizada en el hogar varía entre 1 y 5 litros.

Figura 58*Resultados de encuesta, pregunta 4.*

4.- ¿En su domicilio qué tipo de ducha utilizan?

38 respuestas

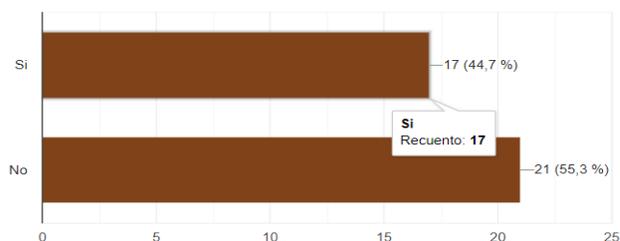


Para la ubicación de los sensores es importante considerar la cantidad de variables a medir y los lugares más estratégicos donde se puede generar un conato de incendio, y determinar que en los baños sería conveniente colocar únicamente sensores de humo, la Figura 58 muestra que el 60.5% de los encuestados usa duchas eléctricas mientras que solo el 42.1% conectan calefones o calentadores de agua.

Figura 59*Resultados de encuesta, pregunta 6.*

6.- ¿Suelen conectar equipos eléctricos o electrónicos en los baños de su domicilio?

38 respuestas

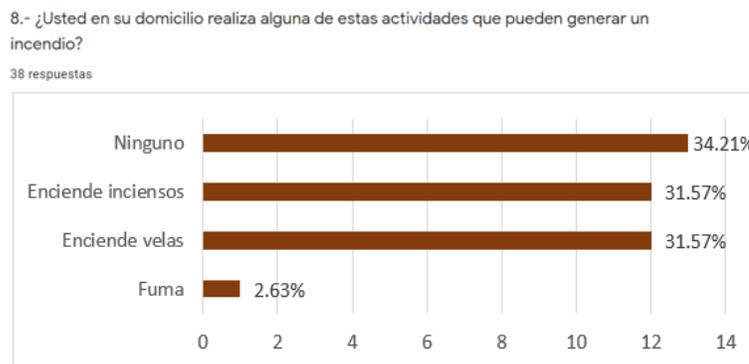


En la Figura 59, el 55.3% de los encuestados no enchufan aparatos eléctricos o electrónicos en el baño mientras que el 44.7% conectan aparatos eléctricos o electrónicos en el baño, sin embargo, se puede determinar que el uso de aparatos eléctricos o electrónicos en el

baño es a menudo como, por ejemplo: cargadores, lámparas, parlantes, secadora de cabello, etc.

Figura 60

Resultados de encuesta, pregunta 8.



La Figura 60 muestra que el 34.21% considera que ninguna de las actividades propuestas genera incendios, seguidamente el 31.57% de los encuestados consideran que los incendios son provocados por encender velas o incienso mientras que el 2.63% piensa que los incendios son provocados por fumar. En general las principales causas de que se inicie un incendio en el interior de la casa son el encendido de velas e incienso.

Ubicación Geográfica

Los escenarios de prueba y la implementación de la red de sensores se dieron en el domicilio de uno de los autores del presente trabajo de titulación, el domicilio está ubicado en el sector urbano de la parroquia Chillogallo Avenida Julian Estrella y Taisha, Quito. La Figura 61 muestra la visualización satelital del domicilio.

Figura 61

Ubicación geográfica del despliegue de la red de sensores.



Nota. La Figura 61 adaptada de Google Earth permite obtener las coordenadas geográficas del marcador que se visualiza en dicha figura (Lat=-0.2677902°; Long=-78.5526445°).

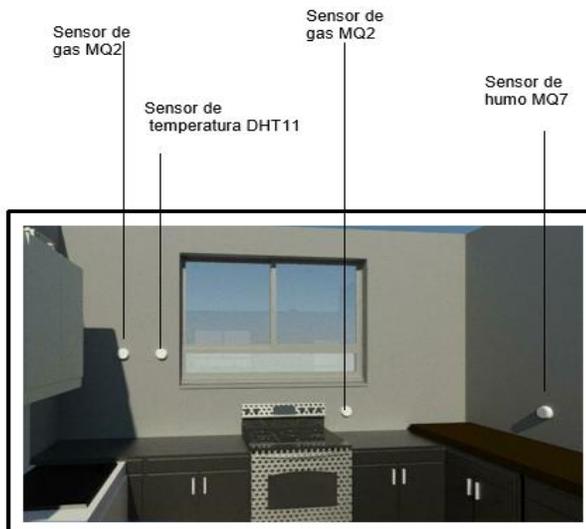
Ubicación de los Sensores en el Domicilio

En cuanto a la ubicación de los sensores se realiza un estudio técnico del diseño arquitectónico y de esta forma saber exactamente si el alcance del sensor cubre esa zona.

En la Figura 62, se puede visualizar que en la cocina se tiene cuatro sensores: dos sensores de gas, un sensor de humo y un sensor de temperatura. Además, la ubicación de cada uno de los sensores cubre toda el área de la cocina.

Figura 62

Ubicación de los sensores en la cocina.



Nota. La figura adaptada proviene del software Autodesk® Revit 2021.

Como se puede apreciar en la Figura 63, en la sala se tiene un sensor de humo y en el comedor se tiene el sensor de alcohol. Además, en la sala está instalado el primer nodo sensor, que recibe los datos de monitorización de la cocina y la sala.

Figura 63

Ubicación de los sensores en la sala y comedor, y el primer Nodo Sensor.

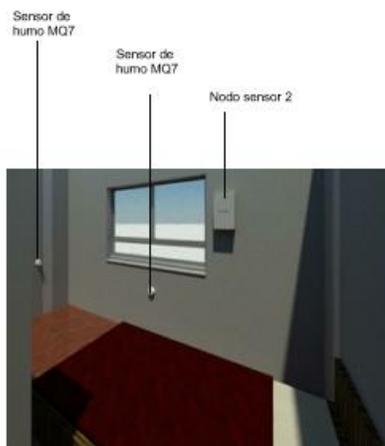


Nota. La figura adaptada proviene del software Autodesk® Revit 2021.

La Figura 64 muestra, que el dormitorio uno tiene dos sensores de humo y el segundo nodo sensor. Este nodo sensor se encarga de recibir la información de los sensores de los dormitorios uno y dos, también incluye el sensor de alcohol del comer.

Figura 64

Ubicación de los sensores en el primer dormitorio y el segundo Nodo Sensor.



Nota. La figura adaptada proviene del software Autodesk® Revit 2021.

Finalmente, se tiene el último sensor de humo colocado en el dormitorio dos, tal como se puede observar en la Figura 65.

Figura 65

Ubicación del sensor en el segundo dormitorio.



Nota. La figura adaptada proviene del software Autodesk® Revit 2021.

Se utilizan dos sensores de gas (MQ2), un sensor de alcohol (MQ3), dos sensores de temperatura (DHT11) y 5 sensores de humo (MQ7). El número de sensores de humo se basa en la norma NFPA 72 la cual dice que mínimo se debe tener instalado un sensor de humo por habitación. De acuerdo al número de entradas analógicas disponibles en el módulo que son 4 y dos digitales, se dividió cinco sensores en cada nodo sensor. En la Tabla 28 se especifica la distribución de las entradas y sensores.

Tabla 28

Distribución de las entradas.

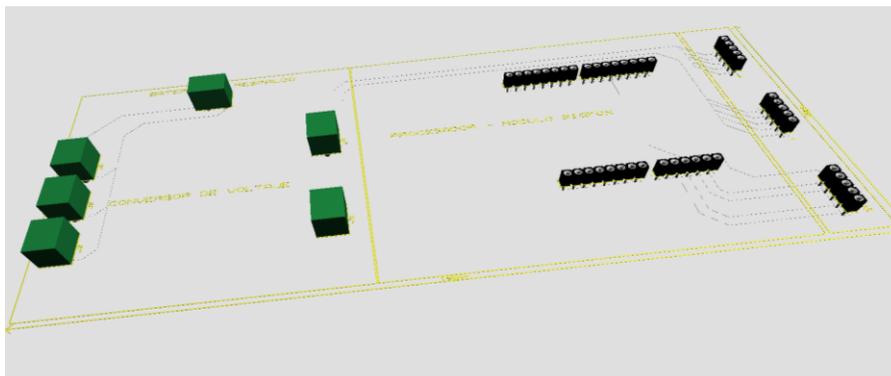
	Entrada	Sensores Análogos	Sensores Temperatura
Nodo Sensor 1	A2	MQ7	Entrada digital 4
	A3	MQ2	
	A4	MQ7	
	A5	MQ2	
Nodo Sensor 2	A2	MQ7	Entrada digital 4
	A3	MQ3	
	A4	MQ7	
	A5	MQ7	

Nota. La tabla muestra la distribución de los sensores en las entradas analógicas y digitales disponibles del módulo Dev Xkit Thinxtra, donde se conectarán los sensores para la recolección de datos.

En la Figura 66 se observa la distribución de las entradas analógicas y digitales para los sensores MQ y de temperatura en cada nodo sensor.

Figura 67

Diseño de la placa del circuito final.

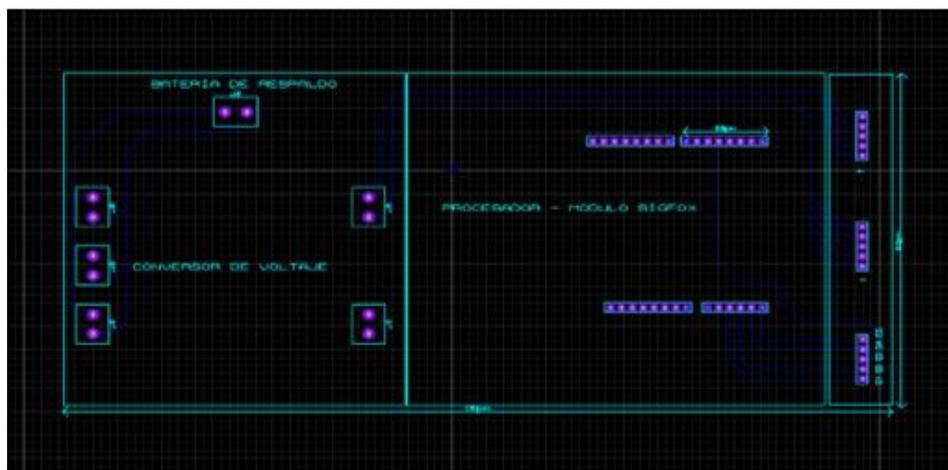


Nota. Se puede observar en la figura que existen varios pines y borneras en las cuales se conectarán todos los elementos necesarios, los cuales serán detallados más adelante.

En la Figura 68 se visualiza las tres partes principales del circuito donde se conecta la batería de litio en la sección de la batería de respaldo, la tarjeta Thinxtra SigFox como procesador y en los convertidores de voltaje se utilizan los *step-downs* para reducir el voltaje que entregan las fuentes de alimentación y de esta manera proveer de energía tanto a los sensores como a la tarjeta principal.

Figura 68

Secciones principales del circuito final.



El circuito implementado se lo observa en la Figura 69, el cual está compuesto por los siguientes componentes:

1. Cargador de la batería de litio
2. Batería de litio
3. Conversores *step-downs*
4. Módulo Thinxtra SigFox
5. Entradas para la red de sensores

Figura 69

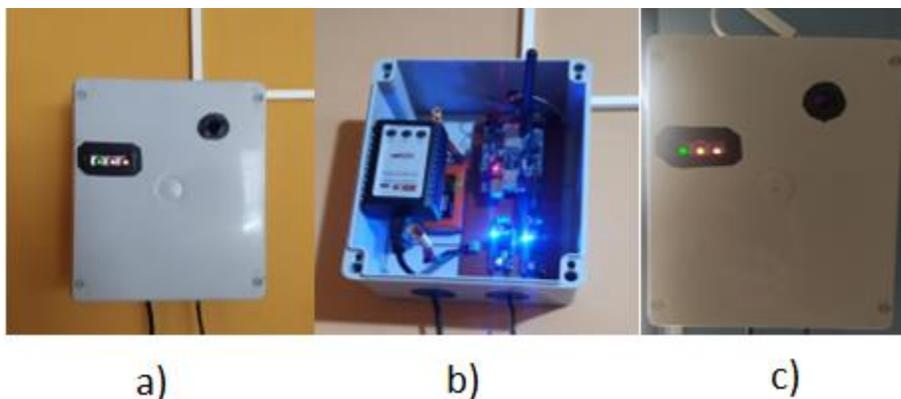
Disposición de los elementos.



Se observa en la Figura 70 los circuitos finales instalados y conectados respectivamente para el envío de datos de los diferentes sensores que están conectados a cada caja del nodo central, en cada nodo se conectan cinco sensores.

Figura 70

Despliegue de los nodos sensores: a) Nodo sensor 1, b) Componentes y c) Nodo sensor 2.



Nota. La Figura a muestra el nodo sensor 1 que se encarga de la monitorización de los sensores que corresponde a la sala y cocina, la Figura b muestra la placa impresa con los componentes mencionados anteriormente y la Figura c muestra el nodo sensor 2 que se encarga de la monitorización del comedor, dos dormitorios y el hall de los dormitorios.

Finalmente, para verificar el funcionamiento del sistema prototipo de alerta contra conato de incendios, se presentan las imágenes de la red de sensores instalada en la casa, así como los nodos sensores, mientras que para comprobar la funcionalidad de la aplicación móvil desarrollada en Android Studio, se muestran las capturas de pantallas realizadas desde el dispositivo móvil en el que está instalada.

En la Figura 71 se observa que el nodo sensor 1 está ubicado en la sala mientras que el nodo sensor 2 está en el dormitorio número 2, el nodo sensor 1 y el nodo sensor 2 están activos ya que se visualiza los leds encendidos de los conversores *step – down*, además se usa el adaptador anteriormente mencionado como fuente de alimentación. En cambio, el sistema de

energía de respaldo de energía está deshabilitado y cada nodo sensor dispone de su propio cargador para la batería LiPo.

Figura 71

Instalación de los nodos sensores en la casa.



En la Figura 72 se muestra la instalación de los sensores en la cocina. En esta área de la casa hay específicamente 4 sensores MQ, se tienen 2 sensores de gas (MQ2), 1 sensor de humo (MQ7) y 1 sensor de temperatura (DHT11). El primer sensor MQ2 está ubicado en la esquina derecha inferior de la ventana, el otro sensor MQ2 está en el lado izquierdo de la ventana, el sensor MQ7 está en el lado derecho ya que existe riesgo de incendio debido a que el tomacorriente se encuentra cerca del lavaplatos además su uso es frecuente mientras que el

sensor DHT11 está ubicado en el lado izquierdo cerca del sensor MQ2. Por otra parte, se visualiza que los sensores están encendidos y monitorizan el ambiente de la cocina.

Figura 72

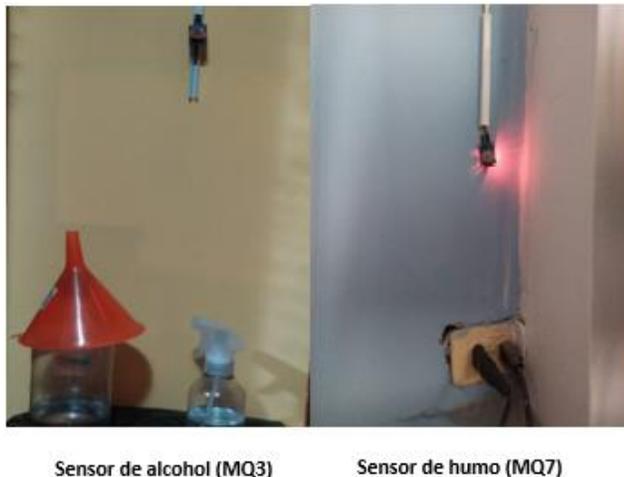
Ubicación de los sensores de la cocina.



La Figura 73 muestra la ubicación del sensor de alcohol (MQ3) y del sensor de humo (MQ7). El sensor MQ3 se ubica en un rincón del comedor ya que dispone de una mesa donde se tiene el alcohol doméstico para desinfectar superficies y objetos personales mientras que el sensor MQ7 se ubica en el dormitorio 1.

Figura 73

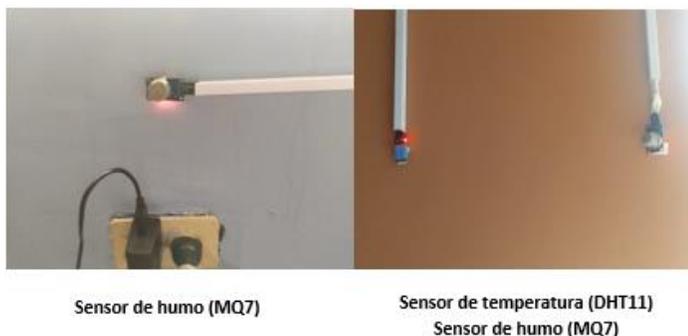
Ubicación de los sensores MQ3 y MQ7.



La Figura 74 muestra la ubicación respectiva de los sensores de humo y temperatura: el primer sensor MQ7 está ubicado en el dormitorio 2 mientras que el segundo sensor MQ7 y el sensor DHT11 están ubicados en el pasillo de las habitaciones.

Figura 74

Ubicación de los sensores MQ7 y DHT11.



En la Figura 75 se visualiza la pantalla inicial de la aplicación móvil donde se puede apreciar el logo de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, así como el logo de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones y el logotipo del Grupo de Investigación WiCOM-Energy. Además, se tiene el botón *SMART HOME* que ingresa a la siguiente que se muestra en la Figura 76.

Figura 75

Pantalla inicial de la aplicación móvil.



En la Figura 76 se muestra el panel de mediciones que dispone de 6 botones, al ingresar a cualquiera de los botones de las mediciones de los sensores MQ2, MQ7, MQ3 y temperatura se visualiza la gráfica de los datos, mientras que al ingresar al botón alarmas se observa una tabla con la ubicación, el sensor, la fecha y la hora en que se registró un valor anormal y finalmente el botón llamada de emergencia marca al 911 para dar aviso al cuerpo de bomberos.

Figura 76

Pantalla de mediciones del sistema prototipo de alerta contra conato de incendios.



En la Figura 77 se observa las diferentes gráficas de cada uno de los 4 botones de la Figura 76. La primera gráfica muestra las curvas de los sensores MQ7, la segunda gráfica

muestra las curvas de los sensores MQ2, la tercera gráfica muestra la curva del sensor MQ3 y la cuarta gráfica muestra la curva de los sensores de temperatura.

Figura 77

Gráficas de cada uno de los botones del panel de mediciones.



La Figura 78 muestra tabla que contiene el botón alarmas, la tabla indica el sensor que se activó, el valor anormal medido, la ubicación del sensor dentro de la casa, la fecha y la hora.

Figura 78

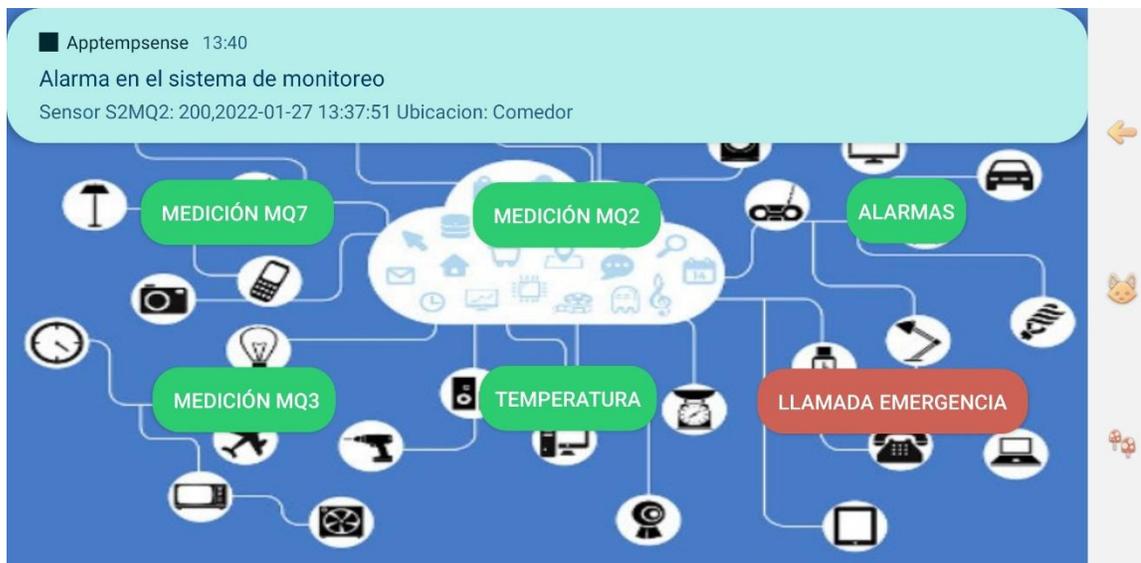
Tabla del botón alarmas.

Alarmas detectadas			
Sensor	Medicion	Fecha	Ubicacion
S1MQ7 Cocina	29	2021-11-30 07:14:45	
S1MQ7 Cocina	30	2021-12-13 22:36:26	
S1MQ7 Cocina	31	2021-12-13 22:57:05	
S1MQ7 Cocina	30	2021-12-13 23:07:24	
S1MQ7 Cocina	30	2021-12-13 23:17:44	

En la Figura 79 se muestra la notificación de alarma que se genera en el dispositivo Android cuando uno de los sensores de la red mide un valor anormal. Además, en la notificación se visualizan los mismos datos que se observa en la Figura 78.

Figura 79

Notificación de alarma en el dispositivo Android.



Como se puede apreciar en la Figura 79 al usuario le llega un mensaje de alerta cuando un valor medido por los diferentes sensores excede de su límite y de esta forma nos presenta que se ha generado un conato de incendio. Para estos casos el usuario tiene la opción de llamar al ECU 911 presionando en el botón de llamada de emergencia que se encuentra de color rojo.

Presupuesto del Prototipo

La Tabla 29 detalla el valor de cada componente que conforma el sistema prototipo de alerta contra conato de incendios domésticos, así como el costo de investigar, construir el sistema, diseñar y programar la aplicación móvil, estos rubros se encuentran englobados dentro de lo que es mano de obra.

Tabla 29*Presupuesto del sistema de alerta contra conato de incendios domésticos.*

Componente	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Sensor de humo MQ7	5	5.00	25.00
Sensor de gas MQ2	2	4.50	9.00
Sensor de alcohol MQ3	1	4.00	4.00
Sensor de temperatura DHT11	2	2.00	4.00
Adaptador de voltaje EVL	2	9.00	18.00
Batería LiPo TCB WORTH	2	20.00	40.00
Cargador de baterías LiPo 2s y 3s B6 Rc Pro Full	2	15.00	30.00
Step-down DC-DC LM2596	2	3.00	6.00
Caja plástica 145x89x40 mm	2	12.00	24.00
Cable UTP Categoría 6A	70(metros)	0.70	49.00
Módulo Xkit Thinextra SigFox	2	100.00	200.00
Canaleta plástica 20x10x2000 mm	20	1.25	25.00
Mano de obra			150.00
Suscripción anual al backend de SigFox	1	15.00	15.00
Diseño de red de sensores			45.00
Varios (tornillos, tacos, etc)			15.00
Total			659.00

CAPITULO V

Análisis de resultados

Este capítulo se explica la calibración experimental que se realizó para los sensores MQ, así como los resultados obtenidos en los tres escenarios diferentes propuestos anteriormente. Además, se analiza los parámetros de calidad de servicio como el retardo y el número de paquetes.

Escenarios de prueba para los diferentes sensores

Las pruebas se realizaron en tres escenarios diferentes, el primero en que no existe ninguna alerta, y no hay nadie en la casa que pueda generar algún tipo de alteración en los valores medidos por los sensores. El segundo escenario se presenta cuando existen personas en el domicilio y generan variaciones en los valores ya que manipulan el alcohol y también ocupan la cocina de esta manera se genera un ligero aumento sobre todo en los sensores de gas y humo. Finalmente, el tercer escenario es provocado para obtener un aumento brusco en las mediciones para identificar y obtener los valores máximos a los cuales debería detectar una alerta.

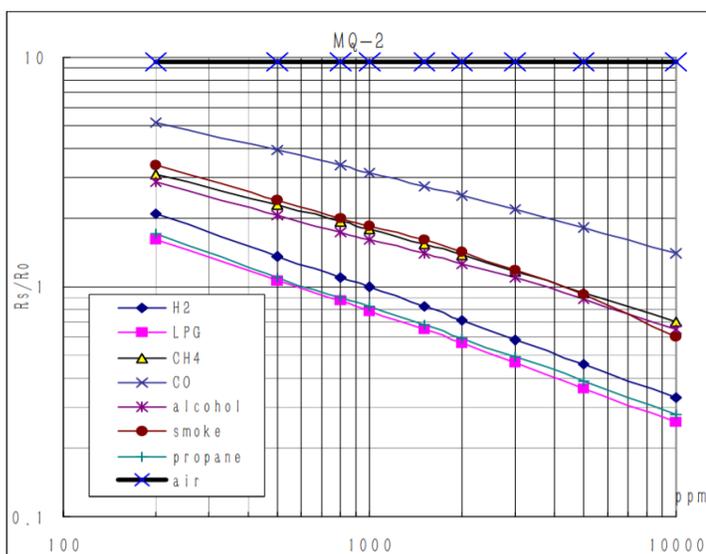
Para obtener los valores medidos por los sensores en sus unidades correspondientes es necesario hacer una conversión para cada sensor.

Conversión de decimal a PPM del sensor MQ2

Para realizar esta conversión es primordial conocer la curva característica del sensor de gas MQ2 por lo que se procedió a graficar en función a los datos obtenidos del datasheet.

Figura 80

Curvas características del sensor MQ2.



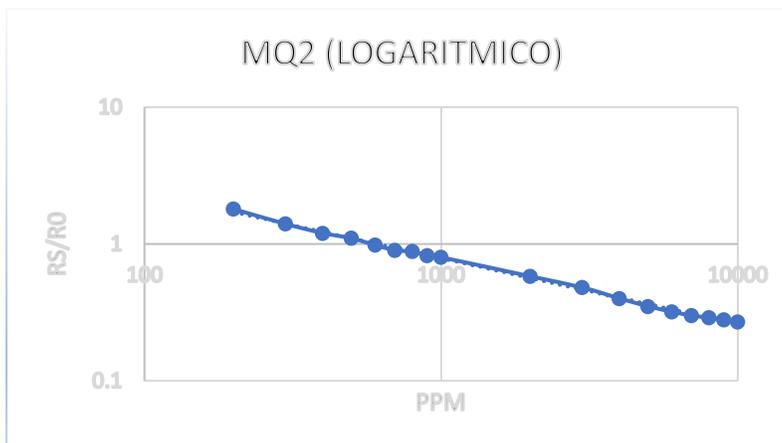
Nota. En la Figura 80 se visualiza la curva característica del sensor MQ2 para varios gases.

Tomado de (HANWEI ELECTRONICS CO., s.f.).

Para este caso es importante considerar la línea de color rosado ya que con este sensor se va a medir GLP o conocido comúnmente como gas doméstico. Al tomar los valores que se visualizan en la gráfica de la Figura 80 se obtiene la siguiente gráfica que se visualiza en la Figura 81.

Figura 81

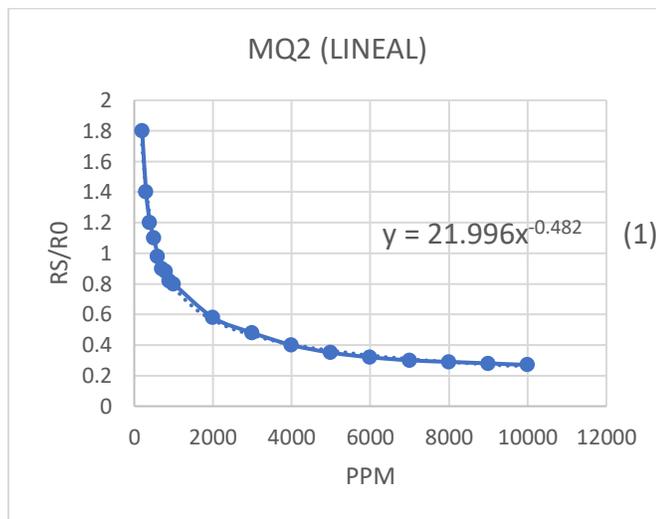
Curva característica del sensor MQ2 en escala logarítmica.



Ahora es importante pasar esta recta a una curva característica exponencial ya que la gráfica de la Figura 81 se encuentra en escala logarítmica por valores elevados en el eje x que es el que muestra la cantidad de PPM en función de RS/RO.

Figura 82

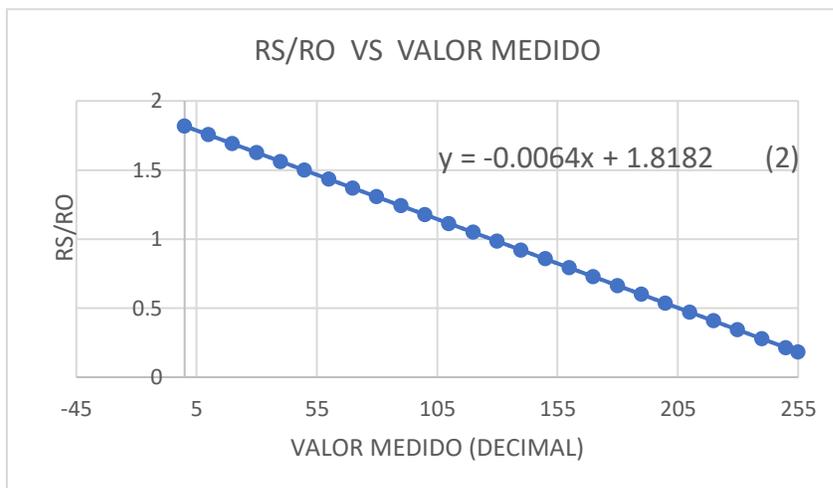
Curva característica del sensor MQ2 en escala exponencial.



En la Figura 82 se visualiza la gráfica de la curva característica del sensor MQ2, en función de la ecuación obtenida se realiza la conversión a PPM, esta es la ecuación (1).

Figura 83

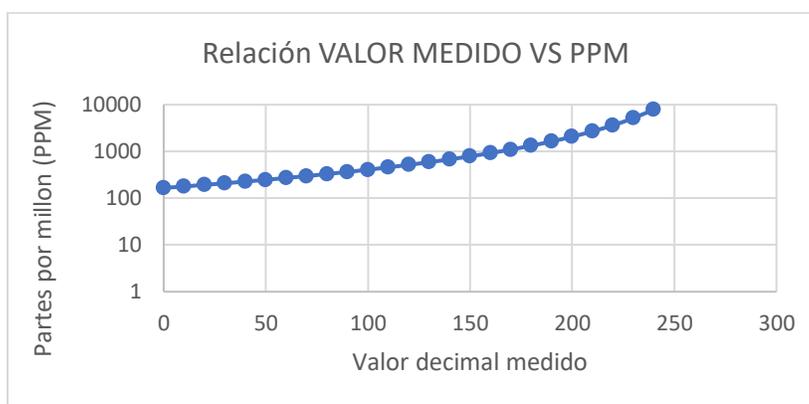
Gráfica de RS/RO vs el valor decimal leído.



En la Figura 83 se logra linealizar los valores entregados por el sensor MQ2 en función de Rs y los valores decimales medidos por el mismo. Posterior a esto se obtiene la ecuación característica para poder reemplazar estos valores en la ecuación de la curva del sensor en función de las partes por millón que está en escala logarítmica debido a los altos valores, esta será la ecuación (2).

Figura 84

Ecuación característica del valor medido vs valor real en ppm del sensor MQ2.



En la Figura 84 se muestra la gráfica donde se visualiza la curva de la ecuación característica obtenida al igualar la ecuación (1) y (2), al despejar se obtiene la siguiente expresión.

$$x_1 = \left(\frac{21.996}{-0.0064 x_0 + 1.8182} \right)^{\frac{1}{0.482}}, \quad (3)$$

Donde:

x_0 es el valor decimal (0-255)

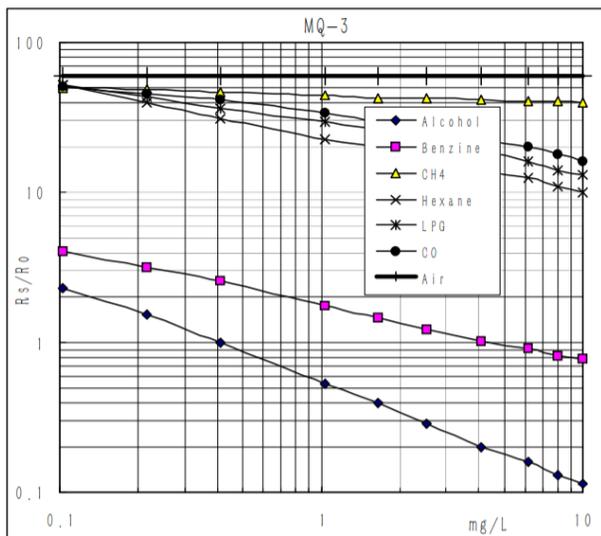
x_1 es el valor en ppm medido por el sensor MQ2

Conversión de decimal a mg/L del sensor MQ3

Para esta conversión se debe realizar un proceso similar al anterior donde la gráfica de la curva característica se observa en la Figura 85.

Figura 85

Curvas características del sensor MQ3.

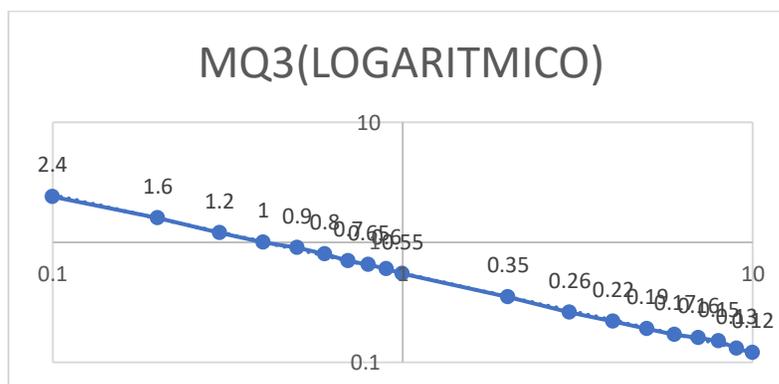


Nota: En la Figura 85 se muestra la curva de sensibilidad característica del sensor MQ3 para varios gases. Tomado del (HANWEI ELECTRONICS CO., s.f.).

Se toma los valores principales para poder separar únicamente la curva deseada que en este caso es la del alcohol.

Figura 86

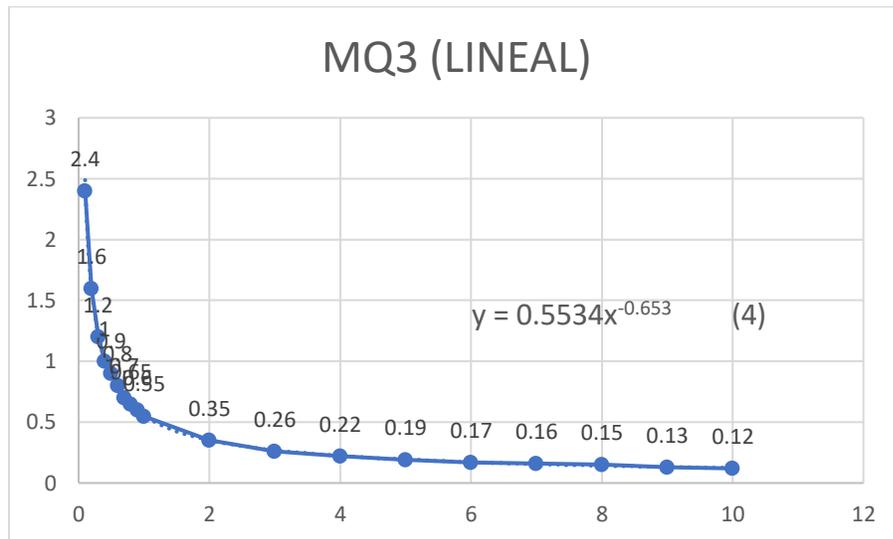
Curva característica del sensor MQ3 en escala logarítmica.



Se debe pasar esta recta a una curva característica exponencial ya que la gráfica que se muestra en la Figura 86 se encuentra en escala logarítmica por valores elevados en el eje x, ya que es el eje que muestra la cantidad de PPM en función de R_s/R_0 .

Figura 87

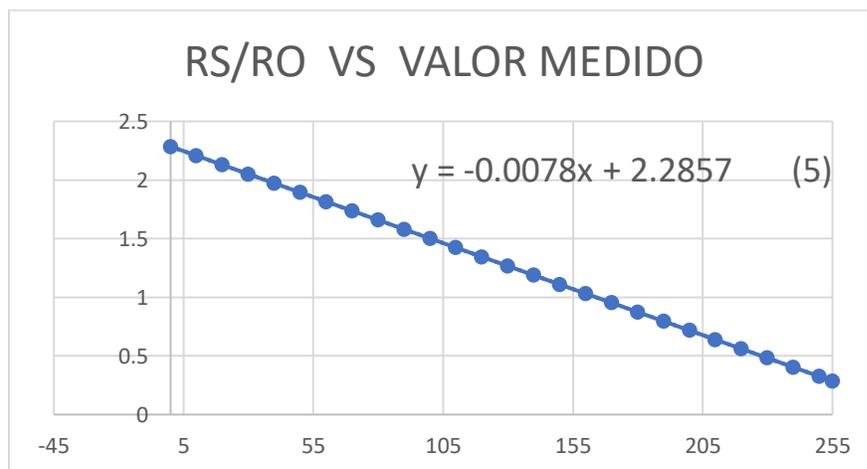
Curva característica del sensor MQ3 en escala exponencial.



En la Figura 87 se visualiza la gráfica de la curva característica de este sensor, en función de la ecuación obtenida se realiza la conversión que se necesita, esta será la ecuación (4).

Figura 88

Gráfica del RS/RO vs el valor decimal leído del sensor MQ3.

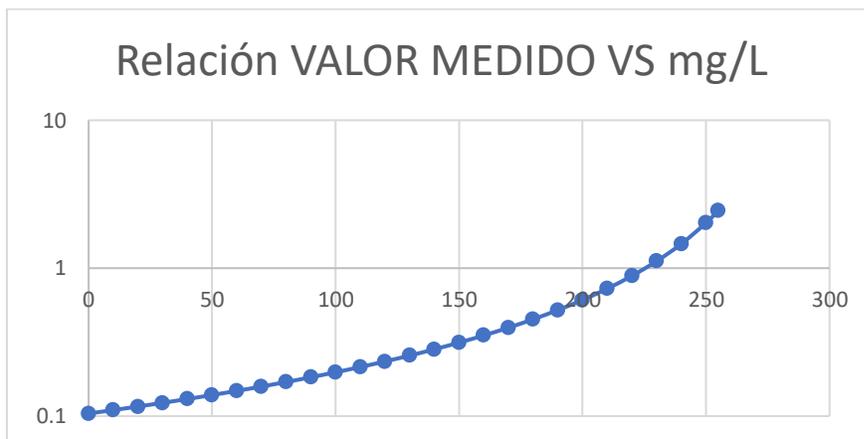


En la Figura 88 se logra linealizar los valores entregados por el sensor MQ3 en función de Rs y los valores decimales medidos por el mismo. Posterior a esto se obtiene la ecuación característica para reemplazar estos valores en la ecuación de la curva del sensor en función de

las partes por millón que está en escala logarítmica debido a los altos valores, esta será la ecuación (5).

Figura 89

Ecuación característica del valor medido vs valor real en ppm del sensor MQ3.



En la Figura 89 se visualiza la gráfica de la curva donde la ecuación característica se la obtiene al igual la ecuación (4) y (5), y al despejar da como resultado la siguiente expresión.

$$x_1 = \left(\frac{0.5534}{-0.0078 x_0 + 2.2857} \right)^{\frac{1}{0.653}}, \quad (6)$$

Donde:

x_0 es el valor decimal (0-255)

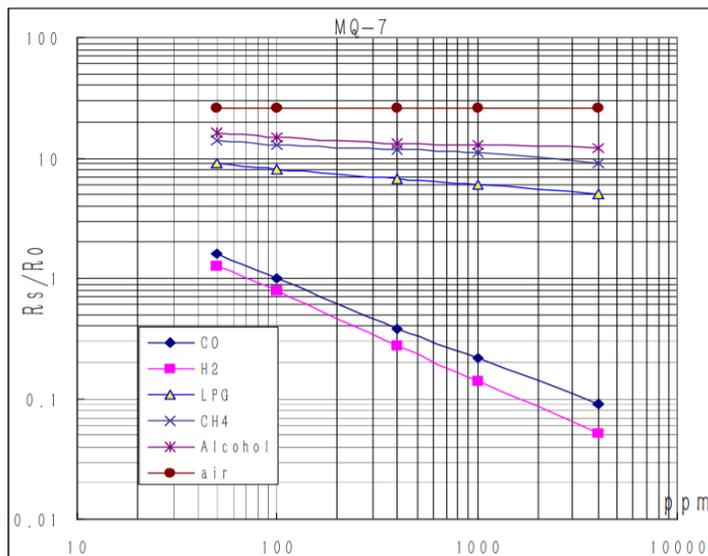
x_1 es el valor en mg/L medido por el sensor MQ3

Conversión de decimal a PPM de sensor MQ7

Para realizar esta conversión se debe realizar un proceso similar al anterior donde la gráfica de la curva característica se observa en la Figura 90.

Figura 90

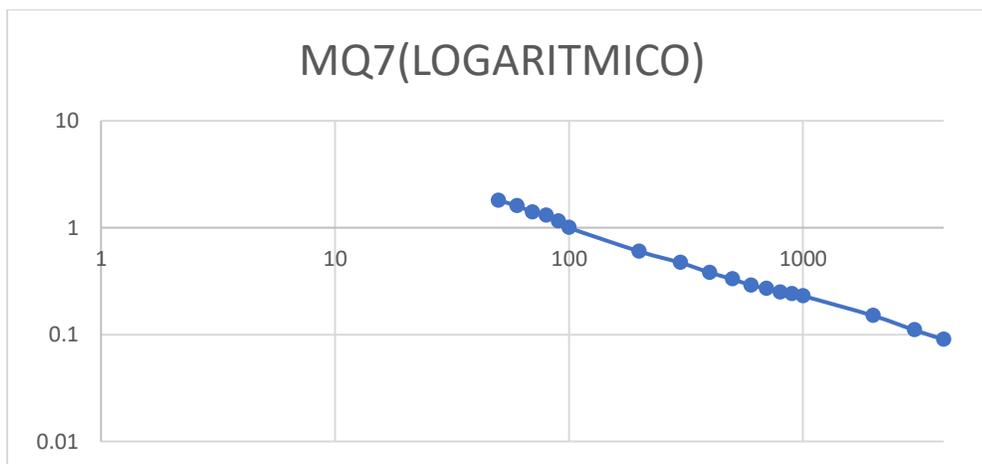
Curvas características del sensor MQ7.



Se debe considerar los valores principales de la línea de color azul que se muestra en la Figura 90 para obtener la curva característica del CO.

Figura 91

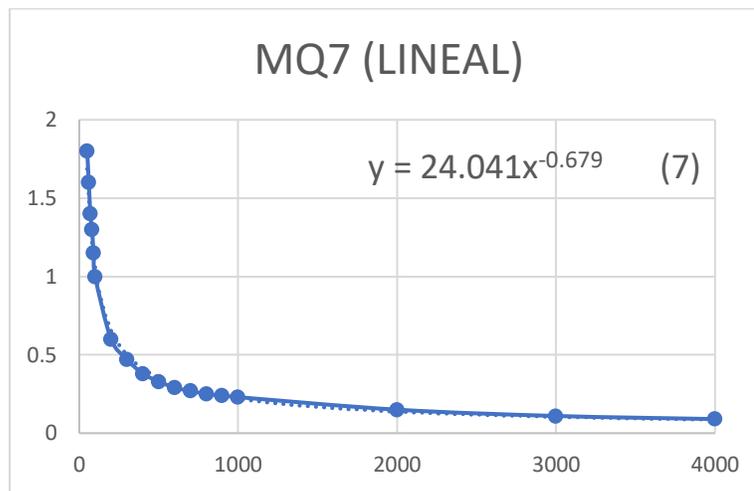
Curva característica del sensor MQ7 en escala logarítmica.



La gráfica que se visualiza en la Figura 91 se debe pasar a escala exponencial ya que esta gráfica se encuentra a escala logarítmica por valores elevados en el eje x que muestra la cantidad de PPM en función de R_s/R_0 .

Figura 92

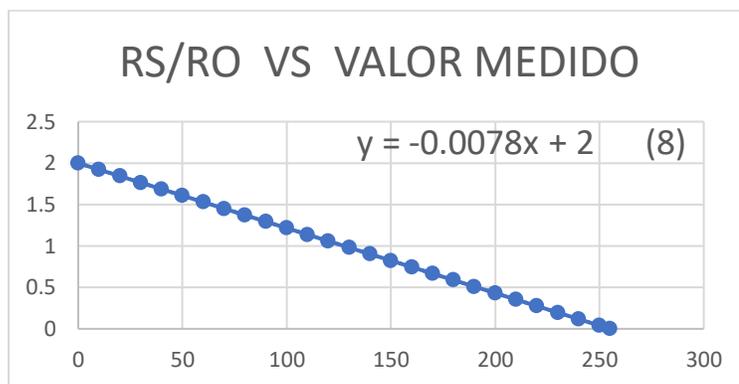
Curva característica del sensor MQ7 en escala exponencial.



En la Figura 92 se muestra la gráfica de la curva característica de este sensor, y en función de la ecuación se realiza la conversión, esta será la ecuación (7).

Figura 93

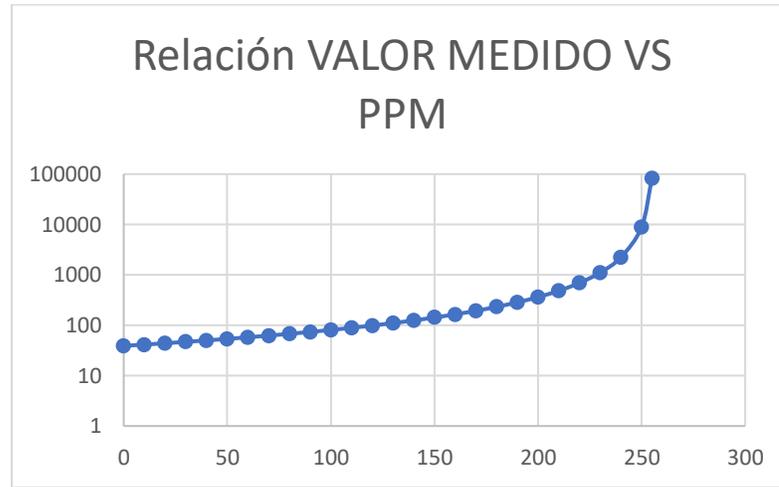
Gráfica del RS/RO vs el valor decimal leído del sensor MQ3.



En la Figura 93 se logra linealizar los valores entregados por el sensor MQ2 en función de R_s y los valores decimales medidos por el mismo. Posterior a esto se obtiene la ecuación característica para reemplazar los valores en la ecuación de la curva del sensor en función de las partes por millón que es la sección logarítmica debido a los altos valores, esta será la ecuación (8).

Figura 94

Ecuación característica del valor medido vs valor real en ppm del sensor MQ7.



La Figura 94 visualiza la gráfica de la relación entre el valor medido y las partes por millón donde la ecuación característica se la obtiene al igualar la ecuación (7) y (8) y al despejar da como resultado la siguiente expresión.

$$x_1 = \left(\frac{24.041}{-0.0078 x_0 + 2} \right)^{\frac{1}{0.679}}, \quad (9)$$

Donde:

x_0 es el valor decimal (0-255)

x_1 es el valor en ppm medido por el sensor MQ3

Resultados obtenidos en el escenario 1

En este escenario, la medición de los diferentes sensores se realiza cuando no hay nadie en casa, por lo que no pueden ser modificados por el ser humano, estos datos son recogidos durante una semana en la que todos se han ido de vacaciones.

En este caso se realizó la medición constante durante 5 días para los dos diferentes nodos sensores disponibles, de esta forma se pudo determinar el valor promedio en el cual el sensor opera normalmente cuando no existe ninguna notificación de alerta.

Para obtener un valor promedio en el que oscile dentro de los parámetros normales de dichos sensores se obtuvo un valor promedio de los 5 días en que se realizó el trabajo y el resultado de este primer escenario se observa en la Tabla 30.

Tabla 30

Resultado de las muestras tomadas por los sensores del nodo sensor 1 en el escenario 1.

	S1MQ7	S2MQ2	S3DHT11	S4MQ7	S5MQ2
Lunes	26.00	44.85	19.06	91.92	94.64
Martes	26.11	44.80	19.53	91.97	90.46
Miércoles	26.21	45.27	20.06	89.80	105.6
Jueves	26.09	44.86	20.30	90.91	108.0
Viernes	26.33	45.39	19.97	91.87	101.7
Promedio	26.03	44.90	91.95	94.76	26.03

Nota. En la Tabla 30 se obtuvo el promedio de las 700 muestras tomadas para obtener el valor FINAL que se muestra en la parte inferior de la tabla.

Se sigue el mismo procedimiento para obtener la gráfica con los resultados del nodo sensor 2 da como resultado lo siguiente.

Tabla 31

Resultado de las muestras tomadas por los sensores del nodo sensor 2 en el escenario 1.

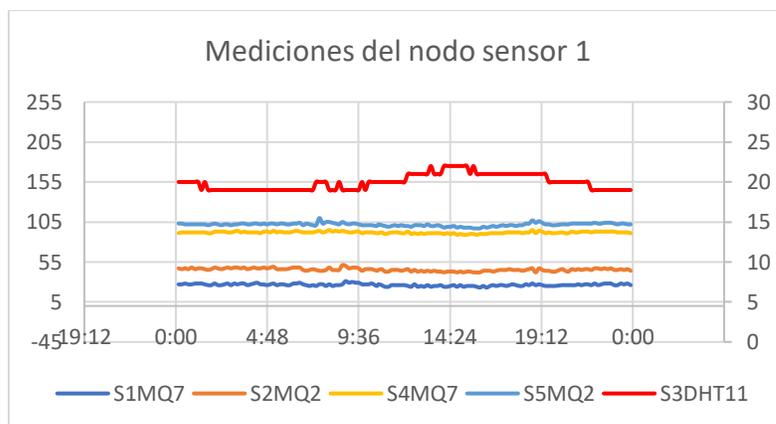
	S6MQ7	S7MQ3	S8DHT11	S9MQ7	S10MQ7
Lunes	46.68	31.16	19.48	113.00	107.24
Martes	43.11	31.61	19.93	112.18	104.18
Miércoles	35.25	31.18	20.00	106.64	95.79
Jueves	34.96	30.79	20.11	104.57	95.57
Viernes	38.59	31.56	19.96	110.74	98.07
Promedio	39.57	31.26	19.90	109.34	100.03

Nota. En la Tabla 31 se logra visualizar los valores promedios obtenidos de las diferentes mediciones leídas por el nodo sensor 2 durante el muestro realizado.

Posteriormente para poder observar de manera gráfica el comportamiento de los sensores durante el transcurso del día se toma las 140 muestras y obtenemos la gráfica que se muestra en Figura 95.

Figura 95

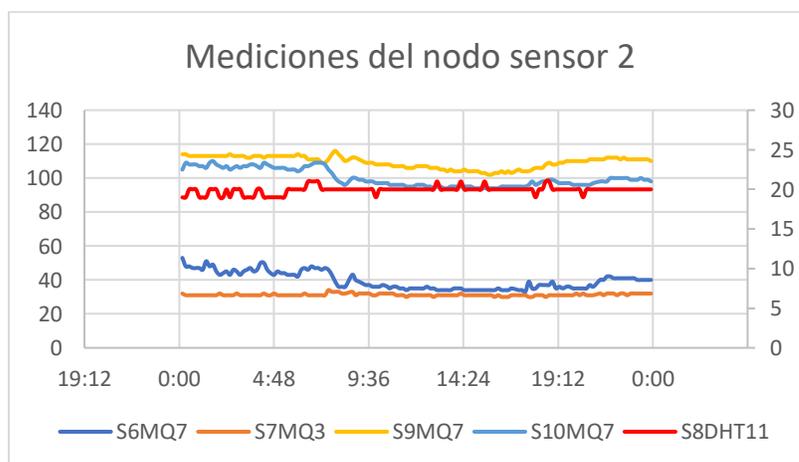
Gráfica de los resultados de mediciones en el nodo sensor 1 en el escenario 1.



En la Figura 95 podemos apreciar cómo los valores medidos por los diferentes sensores se mantienen estables, no se generan picos a ninguna hora del día por lo que estos datos son tomados al momento en el que no existe nadie en el domicilio o cuando si existen, pero no están realizando ninguna actividad que altere las lecturas de los sensores conectados al nodo 1.

Figura 96

Gráfica de los resultados de mediciones en el nodo sensor 2 en el escenario 1.



En la Figura 96 se observa de igual manera valores estables para el nodo sensor 2 permitiendo comprobar su correcto funcionamiento para el escenario 1. Cabe mencionar que estos valores únicamente son los medidos por el sensor y varían de 0-255 a excepción del sensor de temperatura DHT11 que su escala es únicamente en grados centígrados directamente y tiene un rango de 0- 50 grados.

Ahora es necesario realizar la conversión de estas mediciones para conocer los valores en sus unidades correspondientes, esto se logra al utilizar la ecuación de la curva obtenida anteriormente para cada sensor.

Las fórmulas obtenidas fueron las siguiente:

Sensor MQ2

$$x_1 = \left(\frac{21.996}{-0.0064 x_0 + 1.8182} \right)^{\frac{1}{0.482}}, \quad (3)$$

Donde:

X_0 es el valor decimal (0-255)

X_1 es el valor en mg/L medido por el sensor MQ2

Sensor MQ3

$$x_1 = \left(\frac{0.5534}{-0.0078 x_0 + 2.2857} \right)^{\frac{1}{0.653}}, \quad (6)$$

Donde:

X_0 es el valor decimal (0-255)

X_1 es el valor en ppm medido por el sensor MQ3

Sensor MQ7

$$x_1 = \left(\frac{24.041}{-0.0078 x_0 + 2} \right)^{\frac{1}{0.679}}, \quad (9)$$

Donde:

X_0 es el valor decimal (0-255)

X_1 es el valor en ppm medido por el sensor MQ3

Ya con estas fórmulas obtenidas únicamente aplicamos a cada valor promedio calculado para poder conocer el mismo en la unidad correspondiente a cada sensor.

Tabla 32

Valores promedio y valor real de las mediciones en el nodo sensor 1 en el escenario 1.

	S1MQ7	S2MQ2	S4MQ7	S5MQ2
Valor (0-255)	26.02	44.90	91.94	94.75
Valor Real	45.59	236.36	74.90	383.86
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm

Nota. La Tabla 32 muestra los valores medidos de 0 a 255 y a su vez el valor ya convertido a ppm del nodo sensor 1, adicional es importante mencionar que para el sensor de temperatura no es necesario realizar ninguna conversión por lo que el valor promedio de la temperatura es el siguiente.

Tabla 33

Valor promedio y valor real del sensor de temperatura del nodo sensor 1 en el escenario 1.

S3DHT11	
Valor Real	19.04
Unidad	°C

Nota. En la Tabla 33 podemos observar el valor de temperatura promedio obtenido por el nodo sensor 1.

Para el nodo sensor 2 se aplica el mismo concepto para obtener los valores promedio de cada sensor da como resultado lo siguiente.

Tabla 34

Valores promedio y valor real de las mediciones en el nodo sensor 2 en el escenario 1.

	S6MQ7	S7MQ3	S9MQ7	S10MQ7
Valor (0-255)	39.57	31.25	109.33	100.02
Valor Real	49.85	0.12	88.30	80.67
Unidad	ppm	mg/L	ppm	ppm

Nota. La Tabla 34 nos muestra los valores obtenidos en las diferentes mediciones del nodo sensor 2 así como también su valor real en la unidad correspondiente.

Para el sensor de temperatura del nodo sensor 2 se obtiene el siguiente valor promedio.

Tabla 35

Valor promedio y valor real del sensor de temperatura en el nodo sensor 2 en el escenario 1.

S8DHT11	
Valor Real	19.90
Unidad	°C

Nota. En la Tabla 35 podemos visualizar el valor promedio obtenido de las diferentes mediciones de temperatura del nodo sensor 2.

Se observa que los valores de los sensores MQ7 y MQ2 presentan una diferencia en las distintas mediciones, esto se debe a la calibración, es decir, se necesita de laboratorios especializados los cuales permitan configurar los sensores de tal manera que midan con un punto de referencia igual o punto normal para todos, pero en Quito no se dispone de estos laboratorios por lo que se optó a configurar los límites mínimos y máximos de manera experimental para poder generar las alertas de manera adecuada.

Resultados obtenidos en el escenario 2

En este caso se tomaron varias medidas en horarios donde la gente que se encuentra en el Domicio hace uso de la cocina a gas y de la secadora, por otro lado, también manipulan el

alcohol para desinfectar manos, artículos o cualquier superficie que se encuentre cerca de la zona donde se almacenan todos los recipientes de químicos.

Para este caso se obtuvieron los siguientes valores durante toda la semana en el horario de 6:30-8:00 que es la hora en la que se cocina y se lava la ropa, de 19:00-20:00 en el cual frecuentemente se calientan los alimentos.

Para el sensor de alcohol se analizaron en horarios diferenciados en los que se alteran los valores de los sensores ya que el uso de estos químicos es irregular durante toda la semana. Se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 36

Resultado de valores medidos por el nodo sensor 1 en escenario 2.

	S1MQ7	S2MQ2	S4MQ7	S5MQ2
Valor (0-255)	46.02	59.90	111.94	109.75
Valor Real	52.12	270.35	90.66	455.55
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm

Nota. En la Tabla 36 podemos observar los valores promedios obtenidos tanto en su número decimal de 0-255 como en su valor real ya convertido en su unidad respectiva del nodo 1.

Para el sensor de temperatura no es necesario realizar ninguna conversión por lo que el valor promedio de la temperatura es el siguiente.

Tabla 37

Valor promedio del sensor de temperatura en el nodo sensor 1 en el escenario 2.

S3DHT11	
Valor Real	22.04
Unidad	°C

Nota. En la Tabla 37 se logra visualizar el valor promedio obtenido por las diferentes lecturas recolectadas por el nodo sensor 1.

Para el nodo sensor 2 se aplica el mismo concepto para obtener los valores promedio de cada sensor da como resultado lo siguiente.

Tabla 38

Resultado de valores medidos por el nodo sensor 1 en el escenario 2.

	S6MQ7	S7MQ3	S9MQ7	S10MQ7
Valor (0-255)	39.57	41.25	109.33	100.02
Valor Real	49.85	0.13	88.30	80.67
Unidad	ppm	mg/L	ppm	ppm

Nota. En la Tabla 38 podemos observar los diferentes valores promedio de los sensores que se encuentran conectados al nodo 2.

Para el sensor de temperatura se obtiene el siguiente valor promedio.

Tabla 39

Valor promedio del sensor de temperatura en el nodo sensor 2 en el escenario 2.

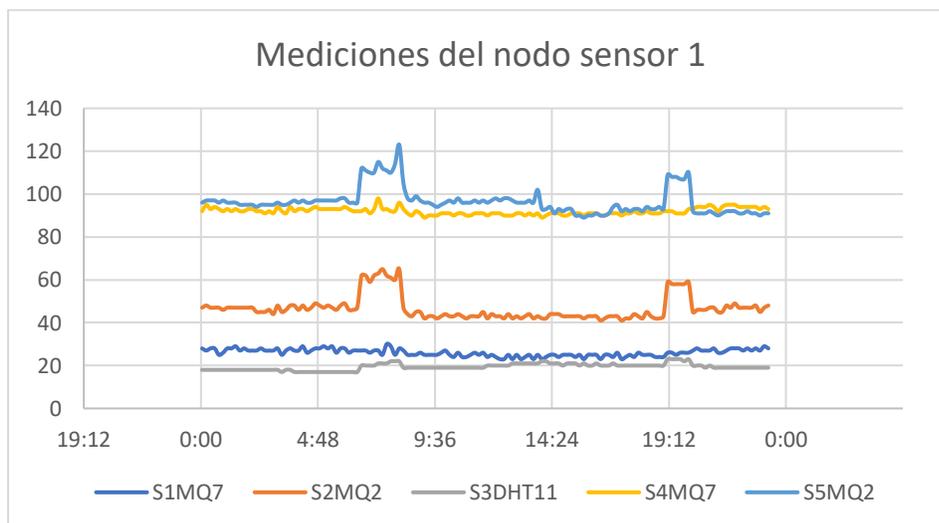
S8DHT11	
Valor Real	19.91
Unidad	°C

Nota. En la Tabla 39 se puede visualizar el valor promedio obtenido de la temperatura del sensor que se encuentra conectado al nodo 2.

De igual manera para poder observar de manera grafica las alteraciones que se generan en estas horas vamos a realizar el grafico correspondiente.

Figura 97

Gráfico de resultados obtenidos por el nodo sensor 1 en el escenario 2.

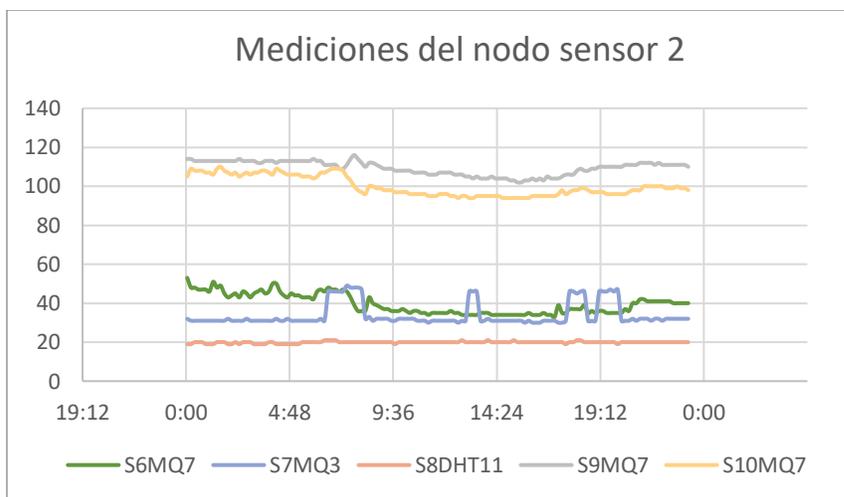


En la Figura 97 se puede observar cómo existe una pequeña variación ya que los sensores son afectados en sus valores al momento de cocinar y secar la ropa porque se utiliza constantemente el GLC o comúnmente conocido como gas doméstico, esto ocurre en dos horarios diferentes, de 5:00 – 7:00 y de 19:15 – 20:15 en el nodo sensor 1.

Así mismo graficamos para el nodo sensor 2 que se lo representa en la Figura 98.

Figura 98

Gráfico de resultados obtenidos por el nodo sensor 2 en el escenario 2.



En la Figura 98 podemos observar cómo varían los valores del sensor de alcohol de manera diferenciada ya que es irregular la hora de llegada y de salida de cada persona que vive en el domicilio por lo que se utiliza únicamente estos picos de valores para su respectivo análisis con respecto al nodo sensor 2.

Resultados obtenidos en el escenario 3

Para este caso fue necesario poner a prueba los sensores al generar cierto exceso de humo, gas y alcohol con mucho cuidado ya que necesitamos registrar los valores máximos en los que se podría considerar un conato de incendio. Se obtuvo como resultado los siguientes valores:

Tabla 40

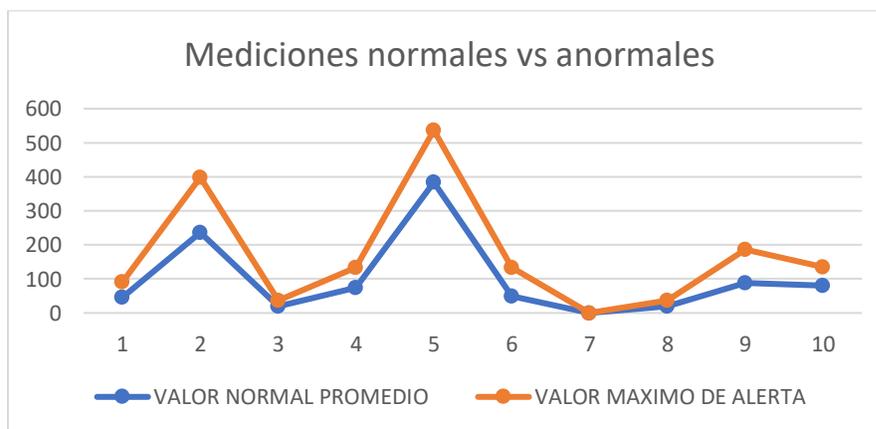
Resultado obtenido en mediciones del nodo sensor 1 y 2 en el escenario 3.

Sensor	Variable	Valor Normal Promedio	Valor Máximo	Unidad	Valor Max. Medido 0-255
S1MQ7	Humo	45.59	90.71	ppm	112
S2MQ2	Gas	236.36	397.86	ppm	98
S3DHT11	Temperatura	19.04	37.00	°C	37
S4MQ7	Humo	74.90	132.92	ppm	145
S5MQ2	Gas	383.86	536.69	ppm	123
S6MQ7	Humo	49.85	132.92	ppm	145
S7MQ3	Alcohol	0.12	0.21	mg/L	108
S8DHT11	Temperatura	19.90	37.00	°C	37
S9MQ7	Humo	88.30	186.85	ppm	168
S10MQ7	Humo	80.67	134.70	ppm	146

Nota. En la tabla 40 podemos observar un resumen de los valores promedio y máximos en función las mediciones realizadas de manera experimental. En vista de que no existe gran cantidad de laboratorios para calibrar este tipo de sensores se realizaron diferentes pruebas para poder definir límites propios a los cuales se genera la alerta contra conato de incendio, sobre todo para el caso del sensor de humo y de alcohol ya que el sensor de temperatura, mide un valor muy próximo al real sin necesidad de una calibración previa.

Figura 99

Gráfico comparativo de los valores en el escenario 1 vs el escenario 2.

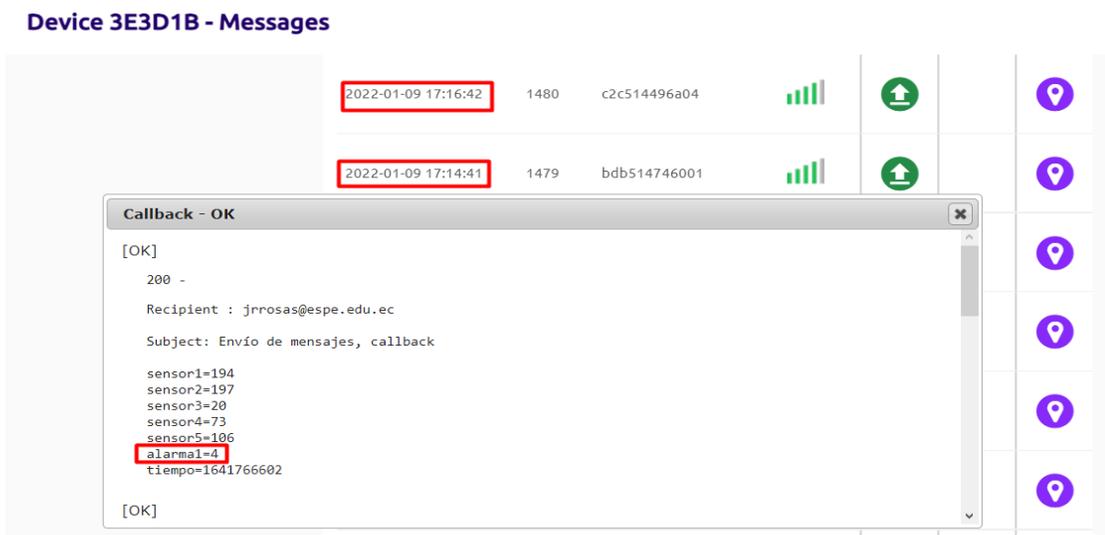


En la Figura 99 podemos observar cómo los valores máximos del escenario 1 se encuentran bastante alejados de la línea promedio en un escenario libre de alertas, se debe considerar estos valores de la línea color naranja para el envío de alertas al *backend* de SigFox.

Finalmente, para verificar el correcto funcionamiento de las alertas se generaron dos alertas para evidenciar que se interrumpa el proceso de espera de envío de datos y que se mande enseguida la señal de alerta hacia el *backend* de SigFox como se muestra a continuación.

Figura 100

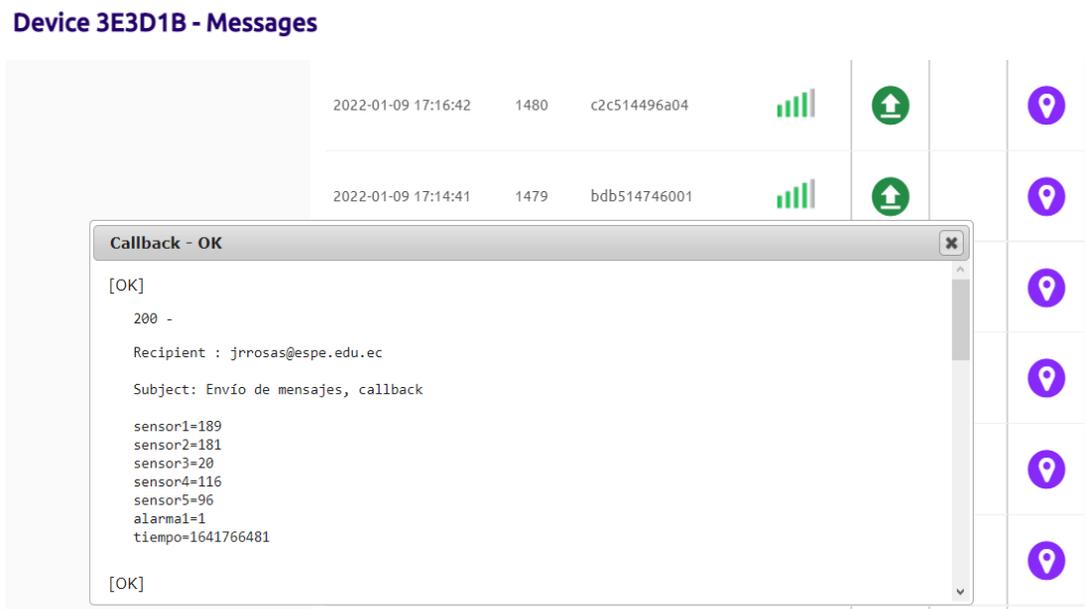
Mensajes de alerta al backend de SigFox en el escenario 3.



En la Figura 100 podemos observar claramente cómo se detiene el proceso de espera de 11 minutos que es el correspondiente para el envío continuo de datos en un escenario normal y sin perturbaciones, adicional en el *callback* recibimos el número correspondiente del sensor que se alteró y generó dicha alerta.

Figura 101

Callback de alerta al momento de generar un incremento en la lectura de sensores.



En la Figura 101 de igual manera que en ejemplo anterior procedemos a la activación de una señal alerta en un sensor diferente para visualizar las alertas que se generan de manera inmediata para lograr así obtener un muestreo continuo ya que es de vital importancia porque un conato de incendios se puede generar en cualquier instante de tiempo y si se espera un tiempo muy extenso podría generar un incendio el cual es más difícil de controlar con ayuda del cuerpo de bomberos.

Análisis de QoS

A continuación, se mostrará un breve análisis de las principales características a considerar en nuestro sistema prototipo para poder determinar la calidad del servicio que nos ofrece esta herramienta del *backend* de SigFox de una manera netamente experimental.

Análisis del RSSI de los nodos sensores

El envío de los datos se lo realizó desde el módulo X kit Thinxtra de SigFox, y para el respectivo análisis de la intensidad de señal recibida o conocida como RSSI fue necesario

solicitar estos datos a un personal de trabajo del *backend* de SigFox ya que estos datos no se los puede obtener directamente en el plan contratado. Una vez obtenidos los respectivos datos tanto del nodo sensor 1 como del nodo sensor 2 procedimos a realizar una gráfica para el análisis respectivo para obtener como resultado lo siguiente.

Figura 102

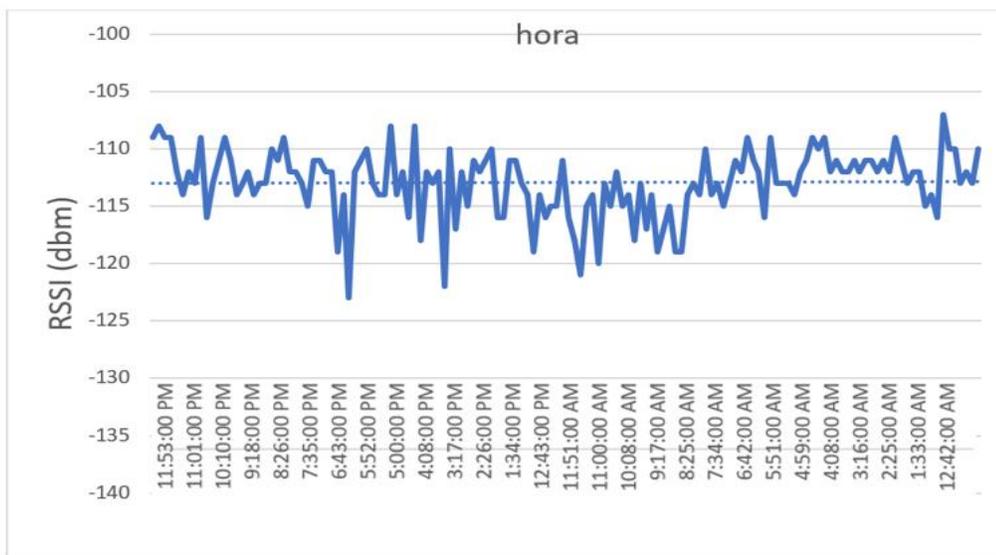
Gráfica del RSSI en función del tiempo en el nodo sensor 1.



En la Figura 102 se puede notar las diferentes variaciones existentes en la intensidad de señal recibida donde existe mayor pérdida de señal a las 10:20 AM y una menor pérdida a la 6:12 AM. Finalmente se determina que el valor promedio de RSSI es de -108.16 dBm el cual se considera un enlace bueno.

Figura 103

Gráfica de RSSI en función del tiempo en el nodo sensor 2.

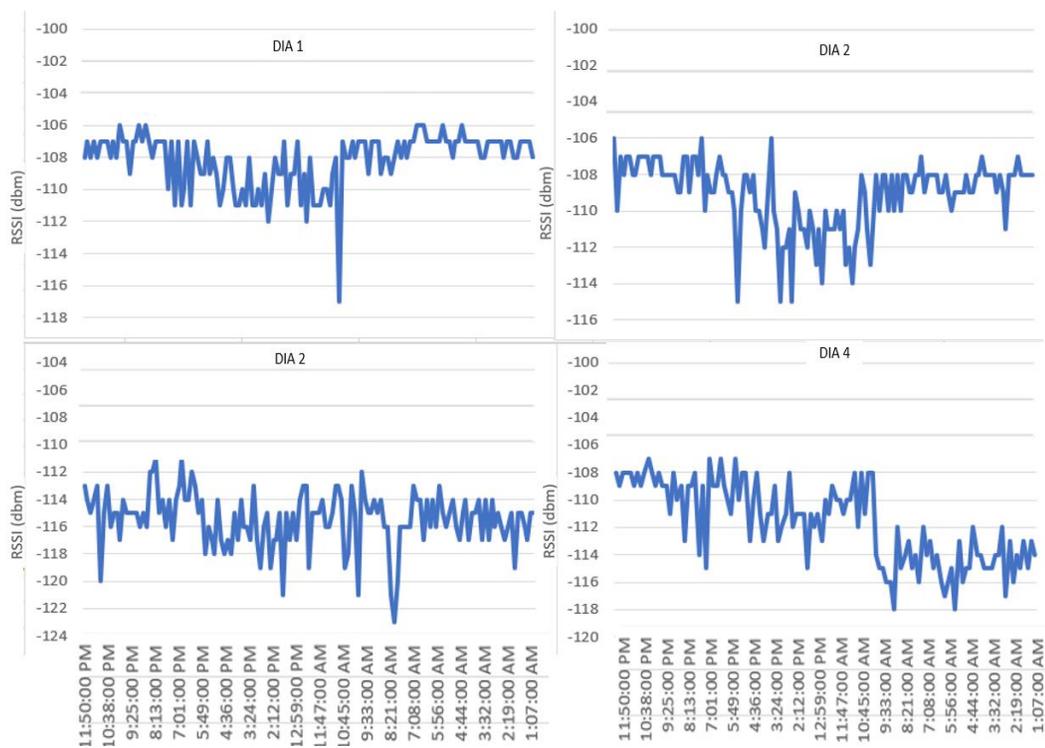


En la Figura 103 se puede notar las variaciones existentes en la intensidad de señal recibida donde existe mayor pérdida de señal a las 6:13 PM y una menor pérdida a la 1:02 AM. Así como también se determina que el valor promedio de RSSI es de -112.96 dBm el cual se considera un enlace bueno.

Finalmente realizamos una comparativa de las mediciones de varios días para ver si el patrón de pérdida se debe a la hora de envío de datos y lograr así determinar que la intensidad de señal recibida no depende directamente de este patrón como se puede observar en la Figura 104, ya que existe mayor y menor cantidad de pérdida de forma dispersa y no solamente a cierta hora del día. El valor medio de las lecturas realizadas durante los 4 días es de -110 dBm, -111 dBm, -116 dBm, -113 dBm respectivamente.

Figura 104

Mediciones del RSSI durante muestreo constante de lectura de los datos durante 4 días.



Análisis de cantidad de paquetes de datos

Es importante realizar un análisis de la cantidad de paquetes enviados y recibidos en la herramienta de *backend* de SigFox.

En la Tabla 41 se muestra los paquetes recibidos, enviados y perdidos de los 5 días del nodo sensor 1. Además, se tiene un promedio de paquetes perdidos de 4.24% mientras que la eficiencia llega a ser de 95.76%.

Tabla 41

Resultados de los paquetes enviados, recibidos y perdidos en el nodo sensor 1.

Paquetes Recibidos	Paquetes Enviados	Paquetes Perdidos	Día
408	420	12	Día 1
415	420	5	Día 2
406	420	14	Día 3
395	420	25	Día 4
387	420	33	Día 5

En la Tabla 42 se muestra los paquetes recibidos, enviados y perdidos de los 5 días del nodo sensor 2. Además, se tiene un promedio de paquetes perdidos de 6.43% mientras que la eficiencia llega a ser de 93.57%.

Tabla 42

Resultados de los paquetes enviados, recibidos y perdidos en el nodo sensor 2.

Paquetes Recibidos	Paquetes Enviados	Paquetes Perdidos	Día
393	420	27	Día 1
404	420	16	Día 2
394	420	26	Día 3
395	420	25	Día 4
379	420	41	Día 5

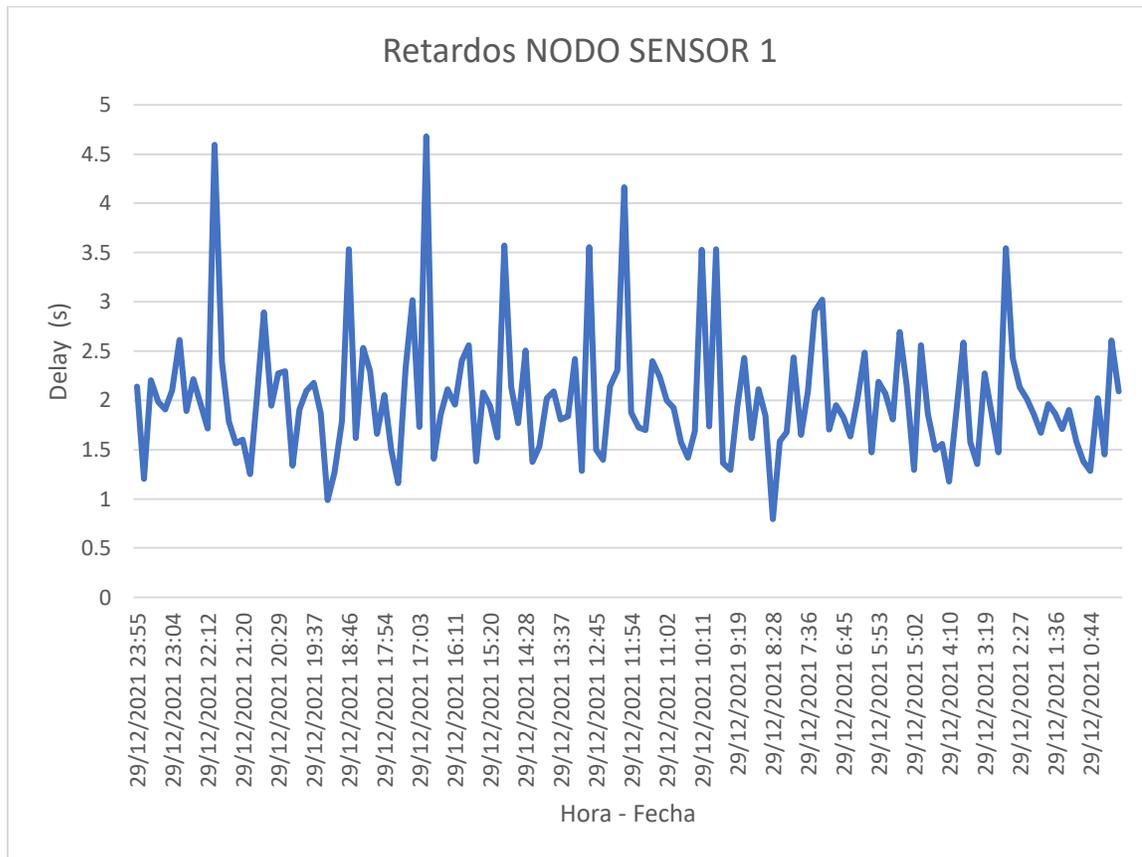
Se llega a la conclusión de que existe una pérdida de paquetes de 6.43% y 4.24% respectivamente del total de paquetes enviados. Este análisis se lo realizó por días y nos indica que la pérdida de paquetes no es representativa al momento de leer los datos ya que esta plataforma realiza un envío de tres paquetes idénticos y en ninguno de los casos se da una pérdida total de paquetes, únicamente se pierde 1 o 2 paquetes por envío.

Análisis de retardos.

Para este análisis fue necesario solicitar de igual manera los datos correspondientes de *delays* o retardos que se generan el momento de hacer el envío de datos desde la tarjeta hasta el *backend* de SigFox y obtener como resultado los siguientes retardos.

Figura 105

Gráfico de los retardos generados por el nodo sensor 1.

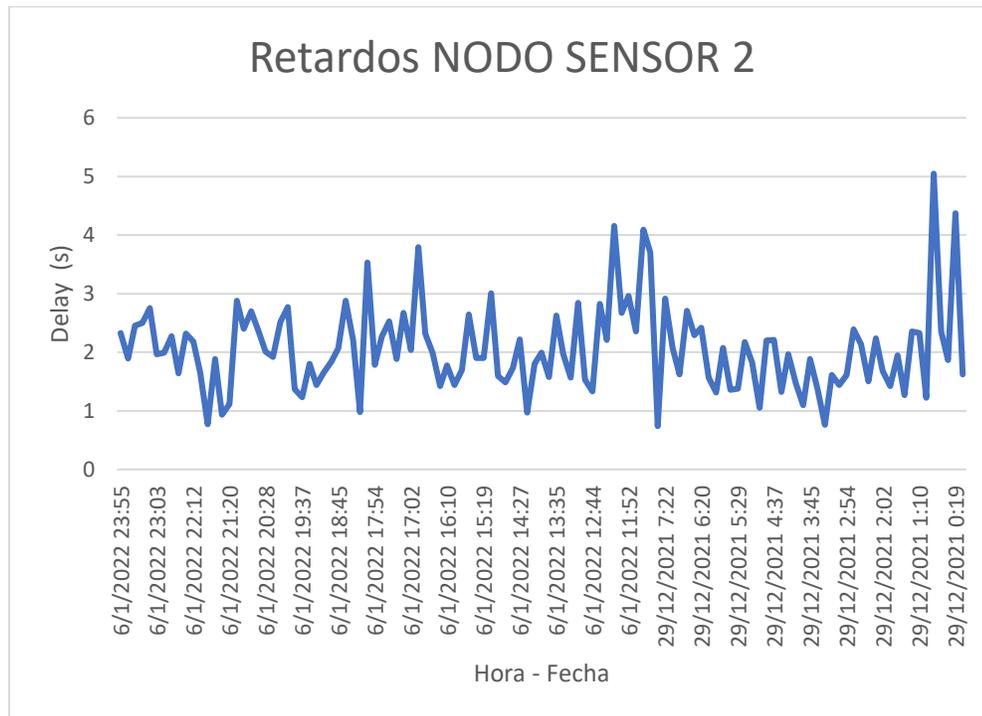


En la Figura 105 se muestra el *delay* máximo que es de 4.50 segundos, así mismo el *delay* mínimo obtenido es de 0.80 segundos de esta manera se tiene un promedio de los retrasos generados durante un día completo se puede concluir que el *delay* promedio de envío de datos es de 2.02 segundos en el nodo sensor 1.

Al igual que en el caso anterior podemos visualizar en la Figura 106 que para el nodo sensor 2 se tiene un *delay* máximo de 5.00 segundos y un *delay* mínimo de 0.80 segundos, mientras que el *delay* promedio es de 2.05 segundos.

Figura 106

Gráfico de retardos generados por el nodo sensor 2.



En la Tabla 43 se muestran los retardos promedio de los 4 días en cada uno de los nodos sensores, se obtuvo un retardo promedio de 2.01 para el nodo sensor 1 mientras que para el nodo sensor 2 el retardo promedio es 2.02. En conclusión, el valor promedio es aproximadamente de 2 segundos para ambos nodos sensores.

Tabla 43

Retardo promedio de los nodos sensores 1 y 2.

Retardo Promedio	Día
Nodo Sensor 1	
2.04	Día 1
1.99	Día 2
2.00	Día 3
2.00	Día 4
Nodo Sensor 2	
1.94	Día 1
2.07	Día 2
1.99	Día 3
2.08	Día 4

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Para la implementación de este sistema se realizó el respectivo estudio del arte sobre diferentes sistemas de alerta contra emergencias o incendios domiciliarios. El utilizar esta tecnología que dispone con diferentes tipos de sensores ya sea para medir, cantidad de CO₂ en el ambiente, temperatura, humedad, entre otros. Nos permite determinar un conato de incendios, siempre y cuando dichos sensores se encuentren correctamente calibrados y cuenten con la certificación correspondiente para su uso adecuado.

Gran parte de los sensores más utilizados en el mercado para la detección de humo y temperatura son muy grandes y consumen demasiada energía por lo que se optó por utilizar sensores mucho más pequeños y que consumen menor cantidad de recursos. Por otro lado, los sensores de gas y alcohol son los menos utilizados, pero actualmente son de gran importancia ya que con la llegada de la pandemia una considerable cantidad de personas se mantienen en su domicilio y por ende utilizan mayor cantidad de alcohol para desinfectar superficies o ambientes, así como también hacen mayor uso de secadoras a gas, duchas con calefón, estufas, entre otros que hacen uso del gas licuado de petróleo o bien conocido como gas doméstico por lo que es importante prevenir cualquier tipo de accidente.

Este proyecto está enfocado a futuro para poder implementar este sistema en un conjunto residencial por lo que se consideró como modelo y se les aplicó una encuesta para determinar las necesidades principales a las cuales nos debemos atar al momento de diseñar la red de sensores para cada domicilio diferente. Después de obtener los resultados, se concluyó que es necesario el uso de 5 sensores de humo, 2 sensores de temperatura, 1 sensor de alcohol y 2 sensores de gas para una casa promedio dentro de este conjunto residencial.

Al momento de establecer los límites mínimos, máximos y promedios de los sensores se lo realizó de manera experimental ya que en el país no dispone de muchos laboratorios especializados en la calibración de los mismo, por lo que se optó por presentar 3 escenarios diferentes en los cuales se pueda poner a prueba los diferentes sensores utilizados que para nuestro caso los sensores utilizados son: DTH11 para medir temperatura, MQ2 para medir partículas de gas en el ambiente, MQ3 para medir las partículas de Alcohol y finalmente el sensor MQ7 para medir la cantidad de CO, este último sensor es el más utilizado en nuestro sistema ya que uno de los causantes principales de incendios son las malas instalaciones eléctricas así que es de vital importancia detectar una anomalía de este tipo en primera instancia. Los datos recolectados por los diferentes sensores nos muestran que el hogar tiene una temperatura promedio de (19.9 °C), el sensor de humo nos indica que tenemos variaciones entre (45- 88 ppm), el sensor de alcohol obtuvo mediciones de (0.12 mg/L) y finalmente el sensor de gas (236-383 ppm).

El diseño del sistema contra conato de incendios consta de 10 sensores divididos en dos nodos principales que fueron ubicados de manera estratégica, mientras que los diferentes sensores que son utilizados para medir temperatura, gas, humo y alcohol fueron ubicados de acuerdo a la necesidad del domicilio. Estos datos son transmitidos gracias a la ayuda de la tecnología SigFox con de la tarjeta Xkit Thinxtra RCZ4 el cual se alimenta con la energía que nos proporciona la red eléctrica pública, pero a su vez tiene un banco de batería para que en caso de emergencia no dependa únicamente de esta energía domiciliar.

Las alertas se ven reflejadas de manera inmediata tanto en el aplicativo móvil como en la plataforma de SigFox y a su vez informa al pertinente personal del cuerpo de bomberos el cual recibe la señal de alerta para que pueda tomar acciones en el asunto y evitar que este conato de incendios no se convierta en un incendio el cual sea mucho más difícil de controlar. Para el

diseño de la aplicación móvil fue necesario el uso de la herramienta Android Studio, al llamar a los datos que se encuentran almacenados en nuestra base de datos que esta alojada en el Hosting 000webhost, esta es una herramienta gratuita la cual nos permite guardar gran cantidad de datos. Dentro de esta base de datos se tiene configurados los parámetros correspondientes para poder transformar los paquetes recibidos directamente desde el *backend* de SigFox ya que este utiliza una codificación UTF8. Dentro de esta aplicación se configuró una señal de alerta para cuando uno de nuestros sensores sobrepase el límite establecido, este nos muestra una notificación y vibra pero en caso de que no tenga buena cobertura el dispositivo móvil no se genera la alerta interna en el teléfono pero la señal de alerta si es enviada al personal del cuerpo de bomberos ya que se configuraron 2 *callbacks* diferentes para que trabaja en paralelo en caso de que el usuario no se pueda comunicar directamente al 911, el mensaje o llamada llegue al personal correspondiente de manera automática.

Gracias a la información brindada por el personal de trabajo del *backend* de SigFox fue posible realizar un análisis de los parámetros principales en cuanto a calidad del servicio, tales como cantidad de paquetes perdidos, delay e intensidad de señal recibida. Al finalizar las diferentes pruebas en todos los escenarios planteados se llegó a la conclusión de que se tiene una buena cobertura en cuanto al envío de datos, el tiempo de reacción tanto de los sensores como de las tarjetas de SigFox y el muestreo de cada sensor es continuo aunque el envío de datos se lo realiza cada determinado tiempo por el límite de mensajes que nos permite la plataforma pero en caso de existir una anomalía, se interrumpe el proceso y se envían todas las señales de alerta necesarias hasta tener una respuesta por parte del cuerpo de bomberos. En la recepción de los datos se tiene un retardo máximo de 5 segundos, la pérdida de paquetes es nula, y el RSSI máximo es de -112.96 dBm.

Finalmente se concluye que se implementó de manera satisfactoria el sistema contra conato de incendios en un departamento promedio, gracias a la ayuda de la tecnología SigFox y los sensores más utilizados con un bajo consumo de energía. Además, se logró hacer de este sistema parcialmente independiente ya que en caso de existir una falla eléctrica este dispone de su propio banco de batería y los mensajes de alerta son enviados de manera inmediata al interrumpir cualquier proceso que se lleva a cabo, lo que hace de nuestro sistema un detector óptimo de anomalías contra conato de incendios.

En función a la cantidad de habitaciones con las que cuente el domicilio será importante considerar el número de sensores a utilizar y de igual manera la ubicación del mismo ya que los nodos sensores deben ser implementador en un lugar con una buena cobertura para evitar cualquier tipo de pérdida de información.

Trabajos Futuros

El grupo de trabajo está interesado en desarrollar e implementar un sistema prototipo de alerta contra conato de incendios para edificios con tecnología Sigfox para la comunicación y tecnología ZigBee para monitorizar el ambiente, con el objetivo de obtener un prototipo adecuado a la edificación.

Se desea buscar laboratorios específicos para la calibración de los sensores de temperatura, de humo, de gas, y de alcohol. Con el objetivo de obtener datos verídicos y de esta manera prever con antelación y exactitud un incendio.

Con la finalidad de continuar con la línea de investigación se plantea desarrollar un prototipo que permita al Cuerpo de Bomberos identificar las causas que generó el incendio. Con la finalidad de disminuir el tiempo de las investigaciones y por ende mejorar la precisión del trabajo del Cuerpo de Bomberos.

También, se desea verificar el funcionamiento del prototipo con expertos del Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito, para determinar la exactitud y el tiempo de respuesta de los sensores.

Por último, se pretende desarrollar una página web que permita al usuario la monitorización del ambiente del hogar desde cualquier dispositivo móvil ya que se realizó una aplicación móvil específicamente para dispositivos Android.

Referencias

- AENA. (s.f.). *Tecnología del fuego*. Obtenido de https://empleo.aena.es/ocupaciones/Lists/Ocupaciones/Attachments/40/IC10_01_Tecnolog%C3%ADa%20del%20Fuego.pdf
- Aguirre Briones, F. (s.f.). *Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas*. Gobierno de Aragón. Obtenido de https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MANUAL_INCENDIOS_CUADRILLAS.pdf/7a477952-318e-3110-a2df-94692725ab98
- Albornoz G., S., Chereau M., J.-P., & Araya S., S. (2016). *El fuego y los incendios*. Academia Nacional de Bomberos de Chile. Obtenido de http://www.anb.cl/documentos_sitio/81229_4_Guia_Fuego.pdf
- AOSONG. (s.f.). *Digital relative humidity & temperature sensor DHT11*. Recuperado el 07 de agosto de 2021, de https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/DHT11_Aosong.pdf
- Arduino. (s.f.). *Arduino Uno REV3*. Recuperado el 29 de julio de 2021, de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Bajaña Molina, H. J., & Molina Sarco, J. C. (2020). Diseño e implementación de un prototipo escalable de detección de gases inflamables, temperatura y alarmas contra incendios basado en tecnología IoT de bajo costo para cocinas en viviendas de Guayaquil. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. c, Guayaquil.
- Basset Blesa, J. (s.f.). *Flashover: Desarrollo y control*.
- BCBG. (2020). *Rendición de cuentas 2020*. Guayaquil.
- BLACK BOX. (s.f.). *Soluciones PoE (Alimentación a través de Ethernet)*. Recuperado el 7 de agosto de 2021, de https://bbnscdn.azureedge.net/cms/docs/brochures/es_blackbox_brochure_poe_solutions.pdf
- Cama, A., De la Hoz, E., & Cama, D. (2012). Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas. *INGE CUC*, 8(1), 163-172.
- Carrasco, M. (2016). *Sistemas de detección y alarma* . Barcelona - España .
- Castiblanco, C. (2019). *PROTOTIPO DE BAJO COSTO PARA MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN AMBIENTES INTERIORES* . Bogotá - Colombia.
- Castillo, P. (2018). *Monitorización de parámetros medioambientales mediante sensores y la red sigfox* . Linares - España.
- Cava, M. (2020). *Sistema de monitorización para elementos móviles IoT mediante redes LPWAN*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena].

- Cervantes Portero, D. (2018). Aplicación de comunicaciones inalámbricas LPWAN para detección de incendios forestales basados en sistemas IoT. [Tesis de pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicaciones].
- Cervantes Portero, D. (2018). Aplicación de comunicaciones inalámbricas LPWAN para detección de incendios forestales basados en sistemas IoT. [Tesis de pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.
- Chávez Robalino, L. E. (2017). Sistema electrónico de alerta temprana para la detección de incendios en la empresa ACERTEM de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Chen, M. (2017). *Narrow Band Internet of Things*.
- CISCO. (11 de september de 2020). Recuperado el 7 de august de 2021, de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-9000/white-paper-c11-744057.html>
- CONAF. (2011). *Manual con medidas para la prevención de incendios forestales*. Obtenido de https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1367248086manual_RMbaja.pdf
- De sensores. (s.f.). *Módulo sensor de temperatura y humedad DHT11*. Recuperado el 07 de agosto de 2021, de <https://desensores.com/sensores-arduino/proyectos-basicos-con-arduino-para-principiantes/modulo-sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11/>
- De sensores. (s.f.). *Módulo sensor de temperatura y humedad DHT11*. Recuperado el 07 de agosto de 2021, de <https://desensores.com/sensores-arduino/proyectos-basicos-con-arduino-para-principiantes/modulo-sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11/>
- Del Valle Hernández, L. (s.f.). *Cómo utilizar el sensor DHT11 para medir la temperatura y humedad con Arduino*. Recuperado el 07 de agosto de 2021, de <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/>
- Díaz Molano, A. (2019). Red de sensores intercomunicados bidireccionalmente usando tecnología SigFox . [Trabajo de pregrado, Universidad Politécnica del estado de Morelos].
- Drones Express. (s.f.). *TCBWORTH 7.4V 2S LiPo Battery 1500mAh 30C/40C*. Recuperado el 15 de agosto de 2021, de <https://drones-xpress.com/products/tcbworth-7-4v-2s-lipo-battery-1500mah-30c-40c-batteries>
- dSetEnergy. (s.f.). Recuperado el 18 de noviembre de 2021, de <http://productos-iot.com/sigfox-3/>
- Enríquez Burgos, V. (2018). *Diseño de una red inalámbrica para una WSN de un sistema de alerta temprana de incendios para el "Bosque Protector Guayabillas"*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].

- Erazo P., J. K., & Hervas P., C. A. (2014). Sistemas de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas (Zigbee). *MASKANA*, 5, 1-11.
- Espinosa, M. A. (2015). *Diseño de un alcoholímetro digital acoplado a un LDR que permite analizar los parametros de frecuencia cardiaca utilizando un arduino MEGA* . Guayaquil - Ecuador .
- Fernandez Alzate, O. (20 de octubre de 2019). *Código Electrónica*. Recuperado el 19 de noviembre de 2021, de <http://www.codigoelectronica.com/blog/libreria-dht-arduino>
- Flores Banchón, C. Y., & Maza Pacheco, J. C. (2018). Diseño de una red inalámbrica de monitoreo CO2 basado en la tecnología Sigfox. [Tesis pregrado, *Escuela Superior Politécnica del Litoral*]. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Fuentes Espinoza, P. (2018). *Estudio de una red de sensores inalámbricos con tecnología Wi-Fi y radiofrecuencia, aplicado a un sistema de control doméstico inteligente distribuido*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].
- FURUKAWA. (2016). *Cableado Estructurado para Ambientes Industriales*. Obtenido de <https://www.telalca.com/wp-content/uploads/2016/05/industrial.pdf>
- FURUKAWA ELECTRIC. (2019). *PoE (Power over Ethernet)*.
- García, C. (s.f). *SENSORES DE TEMPERATURA* .
- Gascón, D. (2010). Redes de Sensores Inalámbricos, la tecnología invisible. *tecnología y Sociedad*, 53-55.
- Grupo Velasco. (2015). *Adaptador AC/DC Universal 1000MA*. Obtenido de <http://www.velasco.com.ec/velasco/producto.php?id=1108>
- Guaca Girón, N. A., & López Hurtado, M. A. (2020). Selección de tecnologías LPWAN para la implementación de un sistema IoT aplicado a la lombricultura. *EXPOTECH 2020 Ciencia, Ingeniería y Sociedad*.
- HANWEI ELECTRONICS CO., L. (s.f.). *HW SENSOR*. Obtenido de Mouser Datasheet MQ7: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- Henan Hanwei Electronics Co., Ltd. (s.f.). *MQ-7 Semiconductor Sensor for Carbon Monoxide*. Recuperado el 06 de agosto de 2021, de <https://www.pololu.com/file/0J313/mq7.pdf%0A%0A>
- HETPRO. (2015). Recuperado el 19 de noviembre de 2021, de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-dht11/>
- INEN. (2017). Extintores portátiles. Selección y distribución en edificaciones.
- ISO/IEC JTC1. (2014). *Internet of Things (IoT) Preliminary Report*. Geneva.
- ITU-T. (2015). *Series Y: Global information infrastructure, internet protocol aspects and next-generation networks, Internet of Things and smart cities*. Geneva.

- Labioud, H., Afifi, H., & De Santis, C. (2007). *Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee and WiMax*. Springer.
- Lanas, H., & Bortolato, M. (2020). Conceptos básicos acerca de los incendios en entornos naturales. Una necesidad para conocer, comprender, planificar y actuar. *AGROMENSAJES*, 58(1), 56-63.
- LANPRO. (s.f.). *Power over Ethernet (PoE)*. Recuperado el 28 de agosto de 2021, de http://www.lanpro.com/documents/sp/active/M720POEBASICS_PRES_SPB01W.pdf
- Lasluisa, F. G. (2008). *Diseño de un sistema de alarma inalámbrica IP para la brigada de caballería Blindada No. 11 Galápagos en la ciudad de Riobamba* . Ambato - Ecuador .
- Liu, R., & Wang, J. (2017). *Internet of Things: Application and Prospect*. Conferencia Web MATEC. doi:10.1051/mateconf/201710002034
- Llamas, L. (octubre de 2016). Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>
- Loza Cevallos, V. (2009). Plan de emergencia contra incendios del Hospital Pediátrico "Baca Ortiz". [*Tesis de maestría no publicada*]. Universidad San Francisco de Quito.
- Minerva, R., Biru, A., & Rotondi, D. (2015). *Towards a definition of the Internet of Things (IoT)*.
- Moura, P. (2018). *GSMA*. Obtenido de GSMA LATINOAMERICA: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2018/11/IoTGuide-ESP-NOV-DIG.pdf>
- Mukherjee, A. (2016). *Detección de humo mediante el sensor de gas MQ-2 @ LGPL*. Obtenido de <https://create.arduino.cc/projecthub/Aritro/smoke-detection-using-mq-2-gas-sensor-79c54a>
- Munera Sánchez, A. (2018). *Modelado y evaluación de la tecnología Sigfox para NS3*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Valencia].
- Naylamp Mechatronic* . (s.f.). Obtenido de Sensor MQ3 Gas alcohol: <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/72-sensor-mq-3-gas-alcohol.html>
- Naylamp mechatronics*. (s.f.). Obtenido de Sensor MQ7 gas monóxido de carbono CO : <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/74-sensor-mq-7-gas-monoxido-de-carbono-co.html>
- Naylamp Mechatronics* . (s.f.). Obtenido de Sensor MQ2 Gas natural y GLP: <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/71-sensor-mq-2-gas-natural-y-glp.html>
- Naylamp Mechatronics SAC. (s.f.). *Convertidor Voltaje DC - DC Step - Down 3A LM2596*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>
- NFPA. (1996). *Código de líquidos inflamables y combustibles*.
- NFPA. (2020). *Home structure fires*. Obtenido de <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/oshomes.pdf>

- ON Semiconductor®. (2008). *LM2596 3.0 A, Step – Down Switching Regulator*. Obtenido de <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/lm2596-d.pdf>
- Ortiz, J. L. (2017). *“BENCHMARK DE SELECCIÓN DE SENSORES PARA UNA WSN DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES*. Ibarra - Ecuador .
- OVACEN. (s.f.). Recuperado el 22 de enero de 2022, de <https://ovacen.com/alarma-detector-incendios/>
- Paredes, I. W. (2014). *APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA ZIGBEE EN INMUEBLES*. Amabato-Ecuador.
- Patel, K., & Patel, S. (2016). Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. *IJESC*, 6(5), 6122-6131. doi:10.4010/2016
- Patiño, A. (2014). *Diseño y Elaboración de la Guía para Sistemas Digitales con Arduino Uno R3*. [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira].
- PHP. (2021). Obtenido de <https://www.php.net/manual/es/mysqli.quickstart.connections.php>
- PROMETEC. (2021). Obtenido de <https://www.prometec.net/sensores-de-gas-serie-mq/>
- Quito Informa. (09 de enero de 2020). Obtenido de <http://www.quitoinforma.gob.ec/2020/01/09/balance-de-emergencias-atendidas-por-el-cuerpo-de-bomberos-de-quito-durante-el-2019/>
- Ratasuk, R. (2016). *Overview of narrowband IoT in LTE Rel-13*.
- Robalino, L. E. (2017). *Sistema electrónico de alerta temprana para la detección de incendios en la empresa ACETERM de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas*. Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Romani, M. (diciembre de 2018). *Arduino Playground*. Recuperado el 19 de noviembre de 2021, de https://playground.arduino.cc/Code/SimpleTimer/#F_SimpleTimer
- Romero Vélez, N. (2020). Desarrollo de prototipo de sistema de medición de variables ambientales para agricultura de precisión en áreas amplias utilizando modulación Lora. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja].
- Rueda R., J., & Talavera P., J. (2017). Similitudes y diferencias entre Redes de Sensores Inalámbricas e Internet de las Cosas: Hacia una postura clarificadora. *Colombiana de Computación*, 18(2), 58-74. doi:10.29375/25392115.3218
- SENA. (1990). *Teoría del fuego, el extintor y su manejo*.
- SIEMON. (s.f.). *Category 6A UTP Cable – US*. Obtenido de http://files.siemon.com/int-download-product-specsheets/siemon-category-6a-utp-cable-us_spec-sheet.pdf

- Sigfox*. (mayo de 2017). Obtenido de <https://www.disk91.com/wp-content/uploads/2017/05/4967675830228422064.pdf>
- Sigfox*. (abril de 2017). Obtenido de <https://thinextra.com/iot-connectivity/xkit/>
- Sigfox*. (17 de abril de 2018). Obtenido de <https://thinextra.com/iot-connectivity/xkit/>
- Sigfox technical overview*. (s.f.). Obtenido de Tecnología Sigfox: <https://www.disk91.com/wpcontent/uploads/2017/05/4967675830228422064.pdf>
- Sigfoxbuy*. (13 de mayo de 2021). Obtenido de <https://buy.sigfox.com/activate>
- SMART FREE HOSTING*. (20 de agosto de 2020). Recuperado el 19 de noviembre de 2021, de <https://smartfreehosting.com/hosting-gratuito-con-000webhost/>
- Stanford Children's Health. (s.f.). Recuperado el 20 de abril de 2021, de Stanford Children's Health: <https://www.stanfordchildrens.org/en/topic/default?id=fire-safety-and-burnsinjury-statistics-and-incidence-rates-90-P02978>
- Tecnopura. (s.f.). *Sensor de gas MQ-7 / Módulo para medir monóxido de carbono*. Recuperado el 06 de agosto de 2021, de <https://www.tecnopura.com/producto/sensor-de-gas-mq-7-modulo-para-medir-monoxido-de-carbono/>
- TELECU. (s.f.). *Cajas paso plásticas 30x20x15*. Obtenido de <https://telecu.net/producto/cajas-paso-plasticas-30x20x15/>
- Tellas, R. (2016). *Cómo ANSI/TIA-1179-A es compatible con la iluminación PoE LED en la atención médica*. Obtenido de <https://cpvmicro.com/como-ansi-tia-1179-a-es-compatible-con-la-iluminacion-poe-led-en-la-atencion-medica/>
- Tenelanda Santillán, D. M., & Coronel Silva, V. E. (2016). *Análisis de interoperabilidad de plataformas IoT aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de polución de aire para la ESPOCH*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Riobamba.
- Thinextra. (2018). *Xkit Instruction Installation Guide*.
- Thinextra. (s.f.). *Thinextra Xkit pin-out configuration*.
- Trujillo Mejía, R. F. (2014). *Seguridad Ocupacional*.
- Turmo Sierra, E. (s.f.). Recuperado el 19 de junio de 2021, de https://www.cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20379%20-%20Productos%20inflamables%20variacion%20de%20los%20parametros%20de%20peligrosidad.pdf
- UIT-T. (2012). *Serie Y: Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo internet y redes de la próxima generación*. Ginebra.

- UNIT ELECTRONICS. (s.f.). *Detector de Monóxido de carbono Módulo MQ-7*. Recuperado el 07 de agosto de 2021, de <https://uelectronics.com/producto/modulo-detector-de-monoxido-de-carbono-mq-7/>
- UNIT ELECTRONICS. (s.f.). *Detector de Monóxido de carbono Módulo MQ-7*. Recuperado el 06 de agosto de 2021, de <https://uelectronics.com/producto/modulo-detector-de-monoxido-de-carbono-mq-7/>
- Valarezo Troya, W., & Criollo Jaramillo, A. (2017). *Diseño y estudio del uso de una red LPWAN (Low Power Wide Área Network) para la optimización de la medición, comunicación y corrección de errores, en el consumo de agua potable: Caso de estudio en urbanizaciones ubicadas en la periferia de la ciudad de Gu.* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
- Vela, A. (2016). Estudio de la Agricultura de Precisión Enfocado en la Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el Monitoreo de Humedad y Temperatura en Cultivos – Caso de Estudio Hacienda Cabalinus Ubicada en la Provincia de Los Ríos. *Politécnica*, 38(1), 1-17.
- Veras, J. C. (2018). *Estudio de las prestaciones energéticas de SigFox y NB-IoT*. Cataluña-España.
- White, S. (Noviembre de 2016). *SEMTECH*. Obtenido de Industrial ethernet book: <https://iebmedia.com/smart-cities-transformed-using-lora-technology/>
- WIISOL CO., LTD. (2017). *WISOL / WSSF10R4AT DATASHEET Rev.02*. Korea.
- YOUREPARO. (2020). Recuperado el 18 de noviembre de 2021, de <https://www.yoreparo.com/es/electricidad/preguntas/6416491/instalacion-de-alarmas-contraincendios>
- Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. (2014). *Flammable Gas Sensor Manual*. Obtenido de [https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ-2%20\(Ver1.4\)%20-%20Manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ-2%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf)
- Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. (2015). *Alcohol Gas Sensor Manual*. Obtenido de <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-3%20ver1.3%20-%20Manual.pdf>