



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA REMOTO DE IDENTIFICACIÓN
DE GASES PARA EMERGENCIAS CON MATERIALES
PELIGROSOS.”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERÍA EN TELEMÁTICA

SORAYA LISSETTE VACACELA DE LA A

PABLO ISAIAS VARGAS BOCCANEDES

GUAYAQUIL-ECUADOR

AÑO: 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por tan maravillosa oportunidad de permitirme concluir una meta más, a mis padres Soraya y Raúl por su frase invaluable de “el que no espera vencer, está vencido”, gracias por ese apoyo incondicional, por ser siempre mi motivación y ejemplo. Y a mis hermanas Diana y Josseline, gracias por la paciencia y apoyo.

Soraya L. Vacacela D.

Agradezco al Creador por su bondad, a mi familia por su constante respaldo, y a todas aquellas personas que formaron parte de este proyecto que son mi motivación y apoyo en todo momento.

Pablo I. Vargas B.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Soraya L. Vacacela D.

Pablo I. Vargas B.

EVALUADORES

Ph.D. Rebeca Estrada Pico
PROFESOR EVALUADOR

MSc. Nestor Arreaga
PROFESOR EVALUADOR

RESUMEN

El cuerpo de bomberos mantiene una división especial denominada Materiales Peligrosos quienes acuden a controlar emergencias cuando se visualiza fuga de gas, o se involucran sustancias no identificables. Cuando ocurren emergencias, se emite la alarma nivel uno quienes acuden es una división de cuerpos de bomberos quienes verifican y analizan si depende o no de algún tipo de fuga de gas o material peligroso, de ser así se emite la alerta para la división MAT-PEL, para poder realizar la detección de gas o sustancia propagada y realizar el control de incidencia. El tiempo que toma desde la alerta hasta la llamada de la división especial y la detección del gas propagado suele ser alrededor de 14 o 15 minutos.

El proyecto tiene como objetivo disminuir el tiempo de detección de gas, adicional de informar al equipo del cuerpo de bomberos donde se encuentra la concentración del mismo para acudir a realizar la solvencia y reducir el tiempo de control.

Con este fin, se desarrolló R-GIS, un dispositivo provisto de sensores que detectan el gas y su concentración en el ambiente, dichos parámetros son visualizados a través de una interfaz gráfica ubicada en zona segura y a disposición del cuerpo de bomberos para su respectiva verificación.

ABSTRACT

The fire department has a division of special materials. Dangerous that come to control emergencies when gas leak is visualized, or non-identifiable substances are involved. When emergencies occur, the level one alarm is issued. Those who attend are a division of fire departments that verify and analyze if it depends on any type of gas or hazardous material letter, if so, the alert is issued for the MATPEL division, to be able to perform gas detection or propagation and perform incidence control. The time it takes from the alert to the call of the special division and the detection of the gas are spread around 14 or 15 minutes.

The objective of the project is to reduce the gas detection time, in addition to the data of the fire department team, where the concentration of the same is found in order to attend to the solvency and reduce the control time.

R-GIS is a device equipped with sensors that detect gas and its concentration in the environment, these parameters are visualized through a graphic interface located in a safe area and the fire department's disposition for its respective verification.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
1 MARCO GENERAL	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción del problema	2
1.3 Delimitación del problema	3
1.4 Posibles soluciones	3
1.5 Justificación	4
1.6 Objetivos	5
1.6.1 Objetivo general	5
1.6.2 Objetivos específicos	5
1.7 Resultados esperados	6
2 MARCO TEÓRICO	7
2.1 Waspnote	7
2.1.1 Hardware	7
2.1.2 Tarjeta de Gases	8
2.1.3 Módulos de comunicación	10
2.2 Influx DB	10
2.2.1 Programación GO	11
2.3 Node Red	11
2.3.1 NODE-RED DASHBOARD	11
2.4 Raspberry Pi 3.	12
2.5 Estado del arte de detección de gases	12

2.6	Metodología	16
3	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	17
3.1	Descripción general.....	17
3.2	Descripción del sistema de detección.....	17
3.3	Descripción del sistema de transmisión de datos.	20
3.4	Descripción de interfaz gráfica	22
3.4.1	Diseño de monitoreo de gases	22
3.4.2	Diseño y conexión con los servidores	24
4	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	25
4.1	Pruebas de la simulación del sistema.....	25
4.1.1	Prueba inicial y calibración de sensores	25
4.1.2	Pruebas de campo.....	26
4.2	Estadísticas de encuestas a usuarios	¡Error! Marcador no definido.
	CONCLUSIONES	34
	RECOMENDACIONES	35
	BIBLIOGRAFÍA	1
	ANEXOS.....	1

CAPÍTULO I

1 MARCO GENERAL

1.1 Antecedentes

Ante los diferentes tipos de emergencias que suelen suscitarse en el límite urbano y rural de Guayaquil, las instituciones que responden directa o indirectamente son: Comisión de Tránsito del Ecuador, Autoridad de Tránsito Municipal, Policía Nacional, Cruz Roja, Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, Fuerzas Armadas, Corporación para la Seguridad Ciudadana de Guayaquil y Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil, mediante sus brigadas o divisiones especializadas en cada tipo de incidente, asumiendo responsabilidad de la misma o siendo de apoyo según lo establece el Manual de Protocolos del Sistema de Comando de Incidentes en su Plan Cantonal de Emergencias y Contingencias. [1]

De acuerdo a las estadísticas del 85% al 90% de productos comercializados ingresan por puertos marítimos de la ciudad de Guayaquil, de los cuales algunos son materiales químicos utilizados en procesos de grandes industrias, y al encontrar en sus envases algún desperfecto, suelen ocasionar accidentes mayormente conocidos como siniestros con materiales peligrosos. [2] Estas incidencias deben ser controladas en el menor tiempo, debido a su gran impacto porque al propagarse las sustancias contenidas siendo estos gases o líquidos y de acuerdo a los factores ambientales suelen tener diversas reacciones y tiempos de propagación en su mayoría afectando el entorno y la población.

El Benemérito Cuerpo de Bomberos mediante la División Especializada de Materiales Peligrosos, responde activamente a las emergencias donde se presume presencia de este tipo de sustancias tipificadas como peligrosas, asumiendo la responsabilidad de éstas, como lo estipula el Protocolo MP -004, Incidentes con Materiales Peligrosos, del

Plan Cantonal de Emergencias y Contingencias. [3] Las estadísticas proporcionadas por el cuerpo de bomberos indican que desde el año 2005 al presente hay un incremento de este tipo de emergencias, según informe del año 2017, las incidencias con MATPEL (Materiales peligrosos) corresponden al 13% de los siniestros que atienden, siendo estos sesenta y siete casos de limpieza de combustible y veintidós por fuga de diferentes gases. [4]

La entidad reguladora se rige bajo la Guía de Respuesta en Caso de Emergencia, emitida por el Departamento de Transporte de Canadá, donde establece claramente los procedimientos de seguridad a seguirse al presumir la existencia de un material peligroso no identificado en una emergencia. En la página 170 de esta guía, se especifica que se aplica una distancia inicial mínima de 100 metros, protección de vías aéreas, uso de traje encapsulado y la evacuación de al menos 800 metros a la redonda. Realizar estos procedimientos son de vital importancia para evitar una contaminación de los bomberos, así como de la población cercana, sin embargo, toma varios minutos hasta poder ingresar a la zona del derrame e identificar el producto. [5]

1.2 Descripción del problema

Cuando se presentan incidencias con materiales peligrosos, las entidades reguladoras deben acatar procedimientos de precaución como establece la Guía de respuesta en caso de emergencia, por lo que se establece un perímetro, se realizan las primeras evaluaciones por parte del Cuerpo de Bombero sin embargo, se desconoce el material o sustancia inicial que se encuentra liberado en el ambiente y el rango promedio de afectación en la zona.

Una vez, emitida la alarma para la división de materiales peligroso es levantado el perímetro y evacuado la zona, el comando de rescate debe equiparse adecuadamente para atender el siniestro por lo que, en el tiempo de equipamiento o peritaje, la sustancia liberada puede propagarse exponencialmente amplificando la zona de

afectación, lo que conlleva a mayores pérdidas no solo materiales, si no a su vez pueden ser humanas.

1.3 Delimitación del problema

Dada las estadísticas del 2015 – 2017, por el Benemérito Cuerpo de Bomberos, el porcentaje de siniestros por materiales peligrosos en la ciudad de Guayaquil sobrepasa un 13%, siendo la fuga de gas y derramamiento de combustible los motivos más propensos a efectuarse, el tiempo para controlar el siniestro es variable, y más aún para fuga de gases debido a que la identificación del mismo no es inmediata, se tiene varios parámetros incontrolables como el medio de propagación, el tiempo, reacción del mismo ante factores ambientales y nivel de exposición.

Este por esto que se presentan las siguientes limitaciones al enfrentar este tipo de siniestros:

- i. Los dispositivos de identificación de gases requieren calibración y certificación, regulados a las normativas del país y/o generales.
- ii. Se requiere un ensamblaje modelado que no interfiera en la lectura del gas y permita conservar en perfecto estado el circuito.
- iii. La constitución del equipo de muestreo se limita a 5 tipos de gases, identificando solamente los que se encuentran con mayor frecuencia en las emergencias.

1.4 Posibles soluciones

Para la problemática expuesta se plantea desarrollar un sistema que consiste en un dispositivo de muestreo y un receptor en el puesto de comando de cada uno de los siniestros, desde donde se podrá observar en tiempo real las mediciones de los diferentes parámetros e identificar el gas peligroso.

Por lo cual se tiene dos posibles alternativas:

- i. Uso de dron que permita aproximar el dispositivo de muestreo que posee varios sensores, para medir diferentes parámetros y un módulo de comunicación de rango medio que permite enviar los valores medidos para ser visualizados mediante un computador.
- ii. Uso de tarjeta gas sensor pro y una waspmote en el equipo de división especializada de materiales peligrosos, para permitir lecturas en tiempo real del gas y su concentración en el ambiente en el servidor y poder enviar equipos de apoyo para control de situación.

Ambas soluciones mantienen comunicación de mediano alcance, implementando módulos zigbee permitiendo conexión inalámbrica de entre 500 y 1600 metros de distancia. [6]

En nuestro proyecto se escogió el uso del dispositivo aéreo que mantenga el sensor de identificación, para determinar el gas y la concentración y pueda enviar la información a un servidor expuesto en el comando incidente, con el fin de tener un tiempo de respuesta menor y poder controlar la incidencia, además de controlar la zona de afectación y precautelar la vida de los socorristas.

1.5 Justificación

Actualmente, cuando ocurre este tipo de incidencias el control de la misma se ve comprometida debido a que no se tiene una respuesta inmediata a la situación, como se expone anteriormente, los comandos de rescate toman precauciones referente a la distancia de acercamiento y se equipan en el sitio lo que mantiene un margen de tiempo por controlar. Con el desarrollo de sistema, resulta ser eficiente en acceder al sitio debido a que no se exponen vidas al momento de identificación, y se permite un conocimiento inmediato de la situación.

Los beneficios del proyecto se describen a continuación:

- I. Identificación del gas que se está propagando en menor tiempo.
- II. Establecimiento de medidas de seguridad y estrategias de combate más rápidamente.
- III. Llegar al punto de la fuga y empezar operaciones de contención en menor tiempo.
- IV. Evitar una mayor zona afectada por el contaminante, por lo tanto, reducir el impacto medioambiental.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar un dispositivo de identificación de gases dotado de un sistema inalámbrico de comunicación de medio alcance para minimizar la propagación de gases en el ambiente y controlar siniestros con materiales peligrosos.

1.6.2 Objetivos específicos

- Determinar el tiempo promedio de propagación y reacción de gases frente factores ambientales.
- Identificar nivel de toxicidad de gases comunes liberados.
- Verificar el sistema de comunicación inalámbrica en zonas abiertas y con presencia de ruido, minimizando el tiempo de respuesta ante la emergencia con materiales peligrosos e identificando el material propagado.
- Validar el prototipo de diseño con el cuerpo de Bomberos.

1.7 Resultados esperados

Utilizando este sistema se esperan los siguientes resultados:

- I. Reducir número de víctimas por contaminación por sustancias peligrosas.
- II. Disminuir impacto ambiental por liberación de materiales nocivos.
- III. Lograr una reparación medioambiental de menor costo.
- IV. Reducir el tiempo de operaciones de los equipos de trabajo.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

En esta sección se exponen los conceptos básicos de los elementos utilizados dentro del proyecto para mayor comprensión.

2.1 Waspote

Waspote es una plataforma opensource para la construcción de redes de sensores inalámbricos enfocados en la baja utilización de energía y de larga duración proporcionada por la empresa Libelium una de las líderes en proyecto de Internet de las Cosas (IOT).

Waspote está compuesta por dos secciones: hardware correspondiente a la tarjeta de comunicación, y tarjetas de gases con sus respectivos sensores, y software donde interviene las interfaces inalámbricas correspondiente a programación de protocolos y tecnología de comunicación. [7]

2.1.1 Hardware

Waspote se basa en una arquitectura modular, con el fin de integrar los módulos necesarios en cada dispositivo. Estos módulos se pueden cambiar y ampliar según las necesidades o proyectos realizables. Entre las características representativas de la tarjeta están:

- Microcontrolador: ATmega1281
- Frecuencia de operación de 14.7456 MHz
- Peso: 20g
- Dimensiones: 73.5 x 51x13mm

- Rango de temperatura: -30°C, +70°C
- Corriente máxima de 40 mA
- Corriente en sleep-mode: 30 uA
- Corriente de hibernación: 7 uA
- Corriente de uso: 17 mA
- Comunicación: zigbee
- Voltaje de batería: 3.3-4.2 V
- Carga USB: 5 V – 480Ma

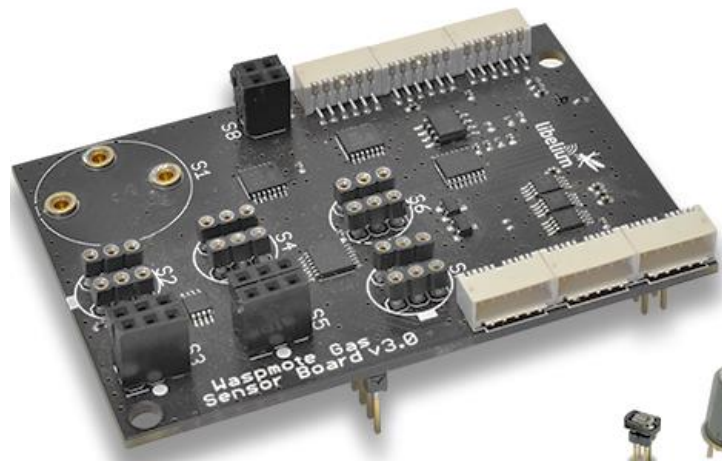


Figura 2.1: Tarjeta waspmote Libelium. [7]

2.1.2 Tarjeta de Gases

Waspnote gases es una tarjeta donde incorporamos sensores de detección de humedad, temperatura, gases como: amoníaco, dióxido de carbono, gas licuado de Petróleo (GLP), sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono, oxígeno, entre otros.

La tarjeta de gases se adapta electrónicamente al tablero de sensores de un microcontrolador, que es integrado pin a pin de dos conectores de 2x12 y 1x12.

- **Sensores de gas**

Los sensores de gas son dispositivos que permiten detectar la concentración de un gas emitido dentro de un espacio confinado, su funcionalidad es detectar la proporción (partes por millón) y evitar la exposición a gases combustibles o tóxicos. En la tabla 2.1 se observa la configuración de gases utilizados.

Tabla 2.1: Características de sensores

SENSORES	NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICAS	CONDICIONES DE OPERACIÓN
MONÓXIDO DE CARBONO	CO	Rango Nominal: 0 to 500 ppm Maximo: 2000 ppm Accuracy: ± 1 ppm* (ideal conditions)	Rango de Temperatura: -20 °C to 50 °C
COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES	VOC	Rango Nominal: 0 to 30 Vol.% Maximo: 90 Vol.% Accuracy: as good as $\pm 0.1\%$ (ideal conditions)	Rango de Temperatura: -20 °C to 50 °C Operating Humidity: 5 to 90% RH non-condensing
DIOXIDO DE AZUFRE	SO ₂	Nominal Range: 0 to 20 ppm Maximum Overload: 150 ppm Accuracy: as good as ± 0.2 ppm* (ideal conditions)	Temperature Range: -20 °C to 50 °C Operating Humidity: 15 to 90% RH non-condensing
SULFURO DE HIDROGENO	H ₂ S	Nominal Range: 0 to 100 ppm Maximum Overload: 50 ppm Accuracy: as good as ± 0.1 ppm* (ideal conditions)	Temperature Range: -20 °C to 50 °C Operating Humidity: 15 to 90% RH non-condensing
OXIGENO	O ₂	Nominal Range: 0 to 30 Vol.% Overload: 90 Vol.% Accuracy: as good as $\pm 0.1\%$ (ideal conditions)	Temperature Range: -20 °C to 50 °C Operating Humidity: 5 to 90% RH non-condensing
AMONIACO	NH ₃	Nominal Range: 0 to 100 ppm Accuracy: as good as ± 0.5 ppm* (ideal conditions)	Temperature Range: -20 °C to 50 °C Operating Humidity: 15 to 90% RH non-condensing
DIOXIDO DE NITROGENO	NO ₂	Nominal Range: 0 to 20 ppm Maximum Overload: 250 ppm Accuracy: as good as ± 0.2 ppm* (ideal conditions)	Temperature Range: -20 °C to 50 °C Operating Humidity: 15 to 90% RH non-condensing
DICLORO / GAS CLORO	Cl ₂	Nominal Range: 0 to 50 ppm Maximum Overload: 100 ppm Accuracy: as good as ± 0.1 ppm* (ideal conditions)	Temperature Range: -20 °C to 50 °C Operating Humidity: 15 to 90% RH non-condensing
CLORURO DE HIDROGENO	HCL	Nominal Range: 0 to 50 ppm Maximum Overload: 100 ppm Accuracy: as good as ± 1 ppm* (ideal conditions)	Temperature Range: -20 °C to 50 °C Operating Humidity: 15 to 90% RH non-condensing
CIANURO DE HIDROGENO	HCN	Nominal Range: 0 to 50 ppm Maximum Overload: 100 ppm Accuracy: as good as ± 0.2 ppm* (ideal conditions)	Temperature Range: -20 °C to 50 °C Operating Humidity: 15 to 90% RH non-condensing

2.1.3 Módulos de comunicación

Waspote integra diversos módulos de comunicación, para este proyecto se utiliza XBee de Digi para la comunicación en las bandas Industrial Scientific Medical (ISM) y se comunica usando UART0 o UART1 a 115200 bps.

- **Zigbee**

Zigbee es un protocolo de comunicación inalámbrica de alto nivel utilizada comúnmente para radiodifusión, debido a su bajo consumo de energía y fácil integración, basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN). Una característica fundamental del protocolo es la comunicación segura con una baja tasa de envíos de datos y maximización de vida útil en sus baterías. [10]



Figura 2.3: Módulo XBee pro S2 [8]

2.2 Influx DB

Es un servidor de base de datos en series de tiempo generados en tiempo real desarrollada por InfluxData, para la visualización de logs o datos para gráficas. Programación en go que permite la interacción vía API HTTPS, lenguaje similar a SQL,

es una base de datos programable, es decir, las columnas de las tablas pueden ser modificadas en tiempo real de acuerdo a la configuración de la aplicación.

2.2.1 Programación GO

Go es un nuevo lenguaje de programación compilado, desarrollado por Google, que reúne las características de los lenguajes más utilizados como C o C++ debido a la sintaxis, la facilidad de desarrollo como Python, se utiliza para programación de sistemas debido a la simplicidad de declaración, contrario a lenguajes C++ o Java que destacan por robustez y volumen. [11]

2.3 Node Red

Es una herramienta de programación visual, que conecta dispositivos de hardware, API y servicios. La programación en bloques y el editor facilita el cableado de flujos mediante el uso de nodos que contienen los componentes físicos del proyecto y son interconectados entre sí para su ejecución en tiempo real y extracción de los datos. [9]

Node Red permite el desarrollo de aplicaciones aplicadas a IOT de forma sencilla, creado a partir de NodeJS y JavaScript, que permite tratar con múltiples conexiones, adicional no necesita un entorno de desarrollo, se realiza la interconexión a través de una página web, en la que se crea flujo de datos para que realicen determinadas tareas.

2.3.1 NODE-RED DASHBOARD

Node Red Dashboard es un módulo de Node Red que contiene los nodos para crear tableros de forma rápida y fácil, es decir, el dashboard es la plataforma donde se

desarrolla la interfaz gráfica presentada al usuario final donde permite interactuar con los datos obtenidos en tiempo real. [9]

2.4 Raspberry Pi 3.

Es considerado una mini computadora, conformada por una placa base que aloja un chip, procesador ARM de 1 GHZ, memoria RAM de 512 bytes, mantiene como sistema operativo Raspbian basado en Debian distribución de Linux, utilizada en proyectos de fabricación digital.

2.5 Estado del arte de detección de gases

En la actualidad, dentro del benemérito cuerpo de bomberos mantienen designaciones una de ellas es la división de materiales peligrosos quienes actúan ante incidencias de derrame de químicos, expulsión de gases, incendios en general. Actualmente se proveen de equipos mecánicos con vida útil alta pero de muy rápida saturación, adicional de que estos equipos deben llevarse con el personal y una vez alcanzada la saturación debe retirarse el equipo y por ende el personal. Por lo que nuestro proyecto sobre desarrollo de un sistema remoto de identificación de gases tiene beneficios sobre los equipos actuales de la división, sin embargo se debe mantener ciertos parámetros para su funcionamiento detalladas a continuación:

- I. Verificar que la tarjeta esté provista de los sensores de gases, a su vez la cubierta se encuentre limpia.
- II. Verificar la conexión entre el Gateway y la raspberry, revisar nivel de baterías de los equipos.
- III. Es necesario contar con un almacenamiento usb o tarjeta SD para el almacenamiento de datos y documentos acerca de sensores.
- IV. Revisar la calibración de los sensores en un período de 12 meses.

Dentro de los equipos de detección de gases que disponen del cuerpo de bomberos, se mantiene un dispositivo manual similar a la propuesta de proyecto, elaborado por la empresa MSA, se mantienen tres dispositivos:

- **Detector monogás ALTAIR 2X:** Elaborado por la empresa MSA, determina el valor de dos gases dependiendo de su composición, la medición la realiza a través de pulsos activando los sensores, puede medir: CO, CO-HC (alta concentración), CO-H₂ (resistente al hidrógeno), H₂S-LC, SO₂, NO₂, NH₃ y Cl₂
- **Detector Multigás ALTAIR 4XR:** En comparación al equipo Altair 2X, este equipo mide alrededor de 4 gases. El dispositivo monitorea la presencia de gases tóxicos y combustibles, así como la concentración de oxígeno, en el aire ambiental y en el lugar de trabajo. Todas las funciones del instrumento se controlan mediante tres botones
- **Detector multigás ALTAIR 5X:** La evolución de equipos MSA ALTAIR, de acuerdo a la composición mide alrededor de 5 gases además de incorporar sensores de LEL (porcentaje de inflamación de gases) y VOC (Compuestos orgánicos volátiles). En comparación del resto de dispositivos, la precisión de este equipo es mejor y estable, adicional de que con la incorporación de bluetooth se puede validar los datos en tiempo real.

Realizando el análisis de los equipos MSA ALTAIR y nuestro proyecto podemos evidenciar que ambos equipos pueden ser reestructurados en medición de gases, es decir el MX ALTAIR 5X es el que más se asemeja a nuestra propuesta y es el equipo utilizado por la división de materiales peligrosos:

- **MX ALTAIR 5X:** de acuerdo a la explicación anterior incorpora la medición de cinco gases a escoger, además mantiene opciones avanzadas de sensor de PID (fotoionización) establece la barra de detección de gas aún más para cumplir con las necesidades cambiantes y diversas para la detección de COV.

La durabilidad del ALTAIR 5X con tecnología XCell Sensor ahora se combina con PID para proporcionar una plataforma completa para usuarios de todo el mundo. Implementa tecnología inalámbrica bluetooth que se conecta con dispositivos móviles que mantengan la aplicación obtenida desde google play store.



Figura 2.4: MX ALTAIR 5X [9]

Una de las desventajas de este dispositivo es que su funcionamiento depende de pulsos, es decir hay que presionar los botones para mantener lecturas de los gases, adicional que su lectura a través de la aplicación solo está dada para equipos con sistemas operativos Android y su comunicación es mediante bluetooth, es decir el rango entre ambos dispositivos para actualización y vista de datos en tiempo real debe ser de corto alcance y si hay interrupciones de señal no se obtendrá resultados viables.

Al comparar los equipos provistos actualmente por el benemérito cuerpo de bomberos y nuestra propuesta se obtiene el siguiente cuadro comparativo (tabla 2.2):

Tabla 2.2: Cuadro Comparativo ALTAIR 5X vs. R-GIS

	<i>MX ALTAIR 5X</i>	<i>R-GIS</i>
<i>Sensores</i>	O ₂ , CO, H ₂ S, SO ₂ , NO ₂ , NH ₃ , Cl ₂ , VOCs	O ₂ , CO, H ₂ S, SO ₂ , NO ₂ , NH ₃ , Cl ₂ , VOCs, HCl, HCN, Temp. - Hum. - Pres.
<i>Comunicación</i>	Bluetooth	Zigbee
<i>Registro de datos</i>	1000	mayor a 1000
<i>Registro de eventos</i>	200 h	mayor a 200 h
<i>Intervalos</i>	1 min	30 segundos
<i>Calibración de sensores</i>	6 meses	1 año
<i>Visualización de datos</i>	Solo en dispositivos Android	Aplicación multiplataforma
<i>Costo</i>	\$ 4,149.00	\$ 4299.47*

En el presente cuadro solo se establece el costo de los equipos provistos de los sensores, de acuerdo a la propuesta del proyecto debe sumarse el valor del dron, de acuerdo a las características y peso del sensor se necesita el dron MATRICE 100 que mantiene un costo en el mercado alrededor de \$3309.54, manteniendo un costo final de \$7.593,72 para la implementación final del mismo.

2.6 Metodología

El proyecto se encuentra estructurado de tres secciones detalladas a continuación:

2.6.1 Sección I – Detección de gas:

Mediante el uso del dron se transporta la caja provista de los sensores de detección, adicional de sensores de humedad y temperatura que son indicadores esenciales dentro de la medición.

2.6.2 Sección II - Transmisión de datos:

El envío de datos se realizará mediante un módulo xbee que mantiene el protocolo zigbee para la comunicación entre los sensores y la interfaz final, dicho módulo va conectado a la tarjeta waspmote dentro de la caja de los sensores.

2.6.3 Sección III – Recepción y visualización de datos:

Para la recepción de datos de igual forma se hará uso de un módulo xbee configurado como coordinador que enviará los datos adquiridos a el servidor NODE-RED, que decodifica la información y almacena en una base de datos y a su vez presenta los gases identificados a través del dashboard, donde se presentan los gases detectados y las partes por millón encontradas.

Para verificar el tipo de peligro presentado dentro de la aplicación se establecen parámetros de los gases, es decir, cuenta con notificaciones que indican que gas mantiene un nivel alto de concentración para tomar medidas preventivas e inmediatas con respecto al control de la incidencia.

CAPÍTULO III

3 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

3.1 Descripción general

El sistema permite la detección y monitoreo de concentraciones de gas esparcidos en el ambiente durante incendios en zonas abiertas, con finalidad de poder controlar los daños causados por incendios o materiales peligrosos, a través de una aplicación funcional e interactiva para los usuarios.

Está diseñado con dispositivos de bajo consumo energético, provistos de sensores que serán transportados por un dron, el cual acerca los sensores a la zona de afectación y los datos proporcionados serán verificados a través de una interfaz que muestre cada parámetro de gases detectados.

Habrán casos en los cuales se mostrarán notificaciones sobre el excedente de los gases o cuando estos sobrepasen los rangos normales que puedan estar en el ambiente sin causar daño o mantener algún efecto nocivo.

3.2 Descripción del sistema de detección

En esta sección se detalla la programación de la tarjeta que permite la detección de los gases, la programación está basada en lenguaje C y C++. Waspnote mantiene su propio IDE donde se desarrollará el código. [12]

La tarjeta programable está constituida por sockets donde se insertan los gases que se usarían, las especificaciones de acuerdo a la imagen 3.1 y tabla 3.1, donde se verifica ubicación de sensores de gases utilizados.

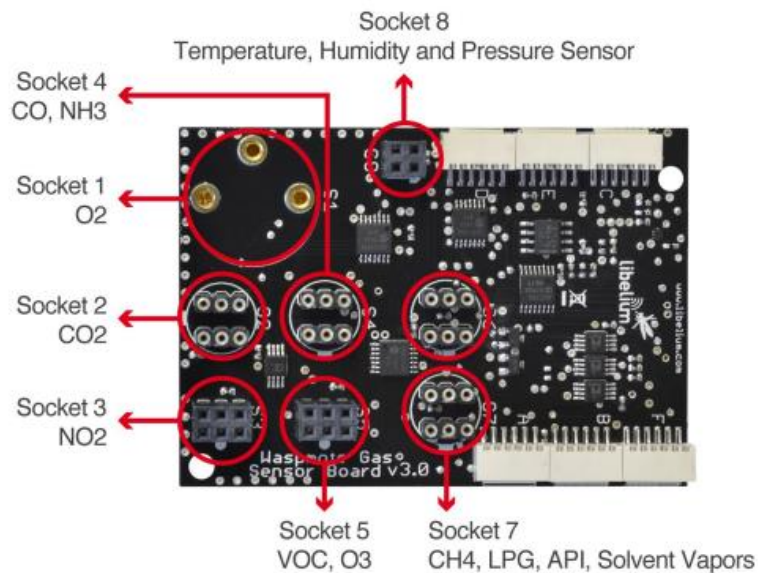
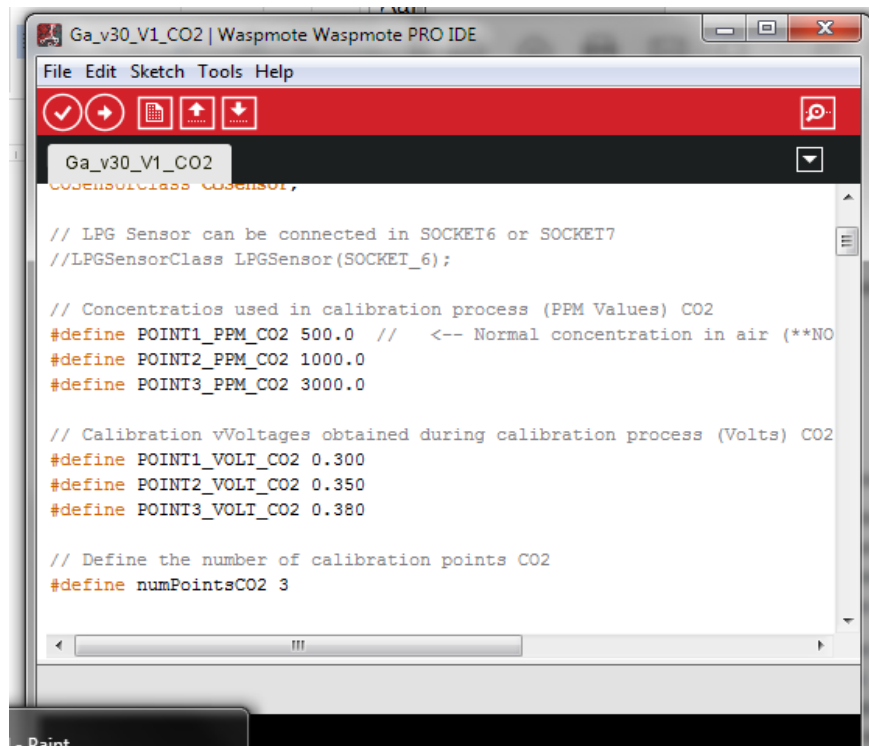


Figura 3.1: Tarjeta waspmote pro gases v.3 y posición de gases. [12]

Tabla 3.1: Distribución de los sensores de acuerdo a los sockets [12]

UBICACIÓN	SENSORES
SOCKET 1	Oxígeno molecular
SOCKET 2	Dioxido de carbono
SOCKET 3	Dioxido de Nitrogeno
SOCKET 4	Amoniaco
SOCKET 5	Compuestos Volátiles
SOCKET 6 Y SOCKET 7	GLP, Etanol, Metano
SOCKET 8	Temperatura, humedad y presión

Dentro del IDE de waspmote se realiza la codificación de la medición, figura 3.2, donde se establecen los parámetros de cada gas de acuerdo a la variación de voltaje entregado por los sensores.



```
File Edit Sketch Tools Help
Ga_v30_V1_CO2
CO2SensorClass CO2Sensor,

// LPG Sensor can be connected in SOCKET6 or SOCKET7
//LPGSensorClass LPGSensor(SOCKET_6);

// Concentrations used in calibration process (PPM Values) CO2
#define POINT1_PPM_CO2 500.0 // <-- Normal concentration in air (**NO
#define POINT2_PPM_CO2 1000.0
#define POINT3_PPM_CO2 3000.0

// Calibration vVoltages obtained during calibration process (Volts) CO2
#define POINT1_VOLT_CO2 0.300
#define POINT2_VOLT_CO2 0.350
#define POINT3_VOLT_CO2 0.380

// Define the number of calibration points CO2
#define numPointsCO2 3
```

Figura 3.2: Codificación de gases a través de waspmote IDE.



```
RGIS | Waspnote Waspnote PRO IDE
File Edit Sketch Tools Help
RGIS $

/***** Lectura de Sensores *****/

//Sensor VOC en SOCKET_5
//float VOCVol = VOCSensor.readVoltage(); // Voltage value of the sensor
// float VOCRes = VOCSensor.readResistance(); // Resistance of the sensor
// float VOCPPM = VOCSensor.readConcentration(); // PPM value of VOC

concentrationCOMB = COMB.getConc();
concentrationCO = CO.getConc();
concentrationO2 = O2.getConc();
concentrationNO2 = NO2.getConc();
concentrationSO2 = SO2.getConc();
concentrationNH3 = NH3.getConc();
concentrationH2S = H2S.getConc();
concentrationHCL = HCL.getConc();
concentrationCL2 = CL2.getConc();
concentrationHCN = HCN.getConc();
//Variables atmosféricas
temperatura = COMB.getTemp();
humedad = COMB.getHumidity();

//Impresión USB
```

Figura 3.3: Bloque de código de sensores utilizados dentro del proyecto.

Los bloques de código (figura 3.3) mantienen información acerca de la calibración de sensores, adicional recogen datos de voltajes, resistencias que dentro de la programación nos determina el valor de concentración.

3.3 Descripción del sistema de transmisión de datos.

Para el envío de datos censados por la tarjeta de gases, se realiza la comunicación a través de módulos Zigbee, se necesita de dos tarjetas que serán: coordinador y nodo. El coordinador se establecerá dentro de la tarjeta raspberry debido a que presenta el control de la red, y administra la información acerca de los datos visualizados sobre la concentración de gases, el nodo se establecerá dentro de la tarjeta waspmote encargado de la adquisición de las muestras y envío de datos. Se utiliza la aplicación de Xctu que permite establecer el desempeño de cada tarjeta (coordinador o nodo), el canal y frecuencia a utilizar, se configura en modo API que permite la comunicación en doble vía entre las tarjetas.

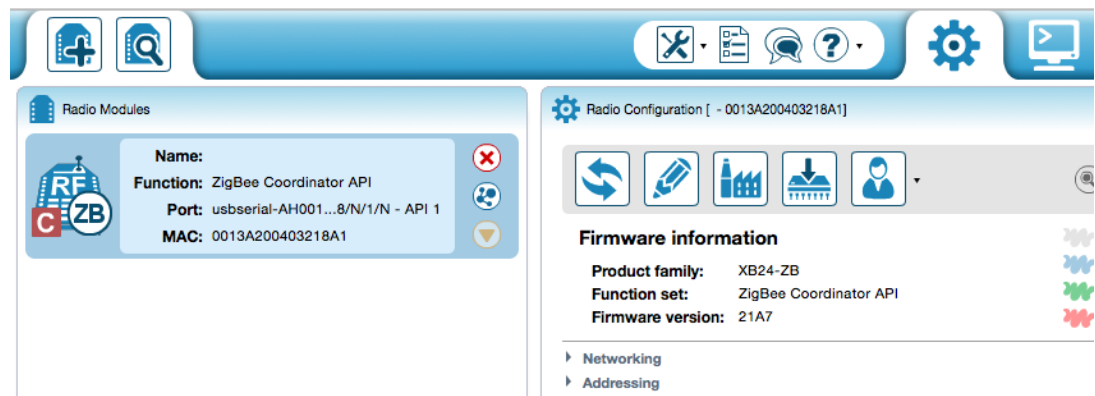


Figura 3.4: Visualización de configuración modo API de módulo xbee.

XCTU permite interrelacionar las tarjetas o módulos xbee, realizando las configuraciones o desempeños de las mismas tarjetas, es decir, se especifica el papel a desempeñar de cada módulo y su tipo de comunicación.

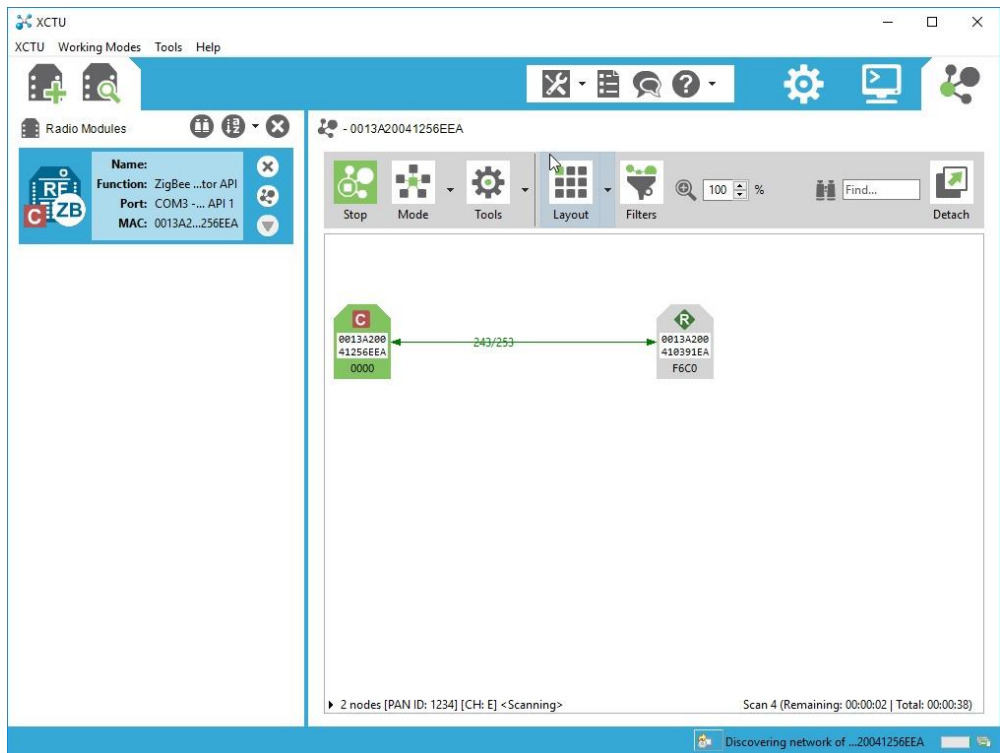


Figura 3.5: Representación de comunicación entre nodo y coordinador.

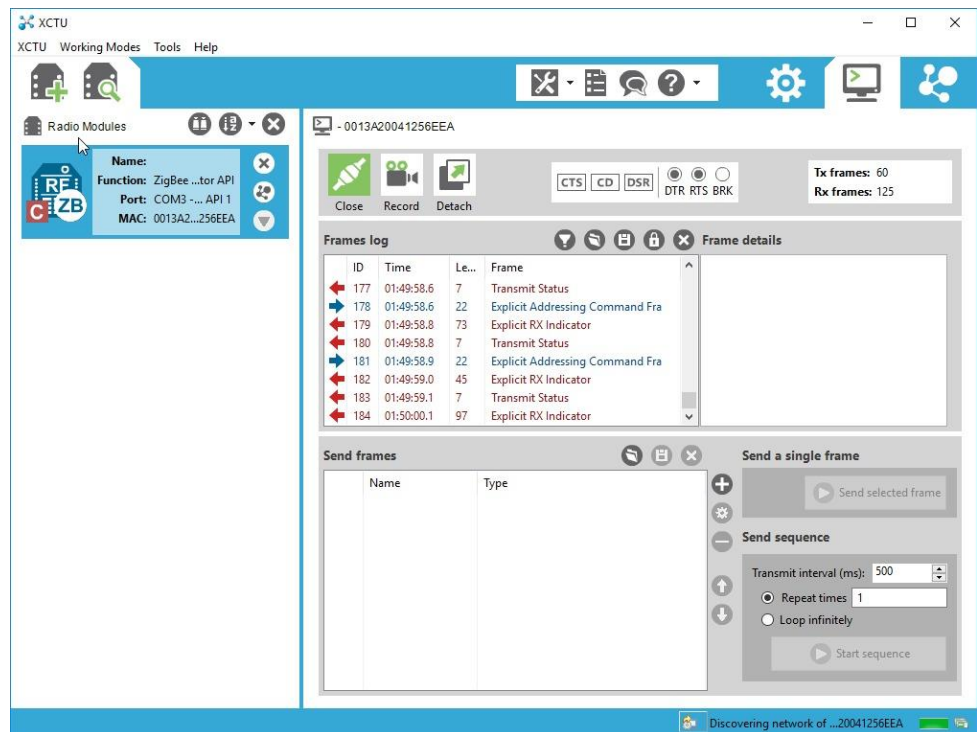


Figura 3.5: Configuración y envío de tramas a través de módulo coordinador.

3.4 Descripción de interfaz gráfica

La interfaz fue diseñada con el fin de visualizar los gases detectados, adicional de mantener parámetros de partes por millón (concentración de gas), humedad y temperatura en el ambiente, de forma amigable e interactiva hacia los usuarios, por lo que se detalla a continuación los aspectos tomados en cuenta con respecto al diseño y portabilidad del programa:

3.4.1 Diseño de monitoreo de gases

Para la muestra de datos se utilizó el software NODE-RED, que permite obtener la cadena de datos enviada por el nodo y dividir los parámetros obtenidos, de acuerdo a la figura 3.6 se valida la reestructuración de los datos mediante programación en bloques, se realiza la separación de los datos y se los envía al dashboard de node-red para su graficar posteriormente, adicional se conecta automáticamente a la base de datos para guardar datos conforme vayan ingresando.

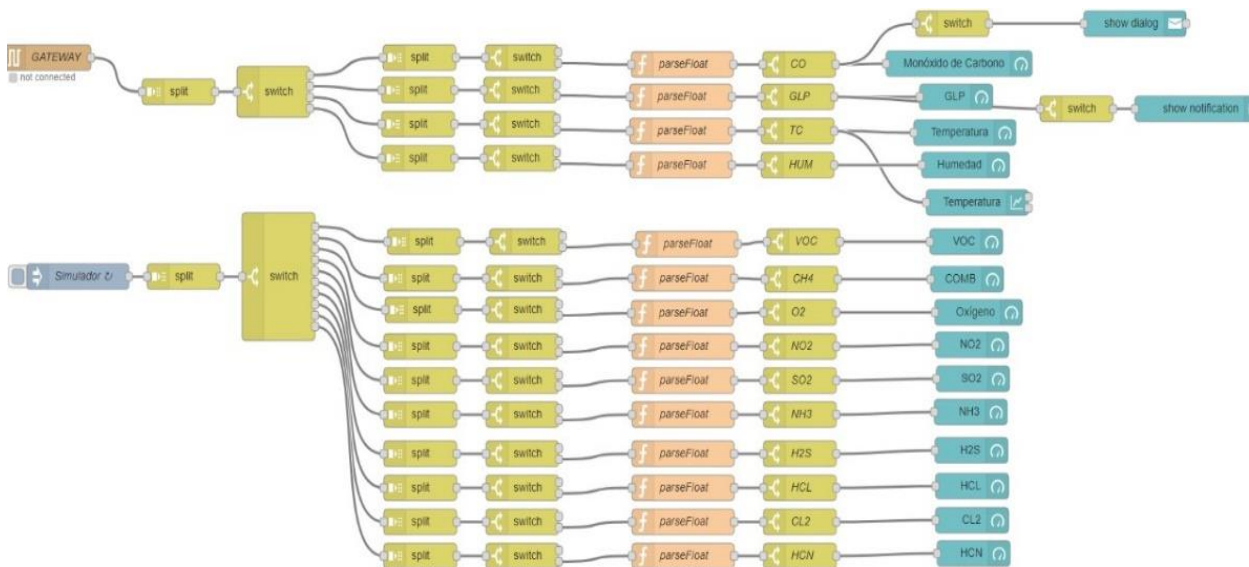


Figura 3.6: Programación en bloques realizada en NODE-RED.

Para la verificación de datos se establece en un dashboard con la implementación de los gases medidos como se presenta en la figura 3.7, se visualizan los parámetros como temperatura, humedad en el ambiente, con respecto a gases se crea de forma más dinámica su medición estableciendo un velocímetro para permitir visualizar el incremento o variaciones del gas conforme se movilice los dispositivos.

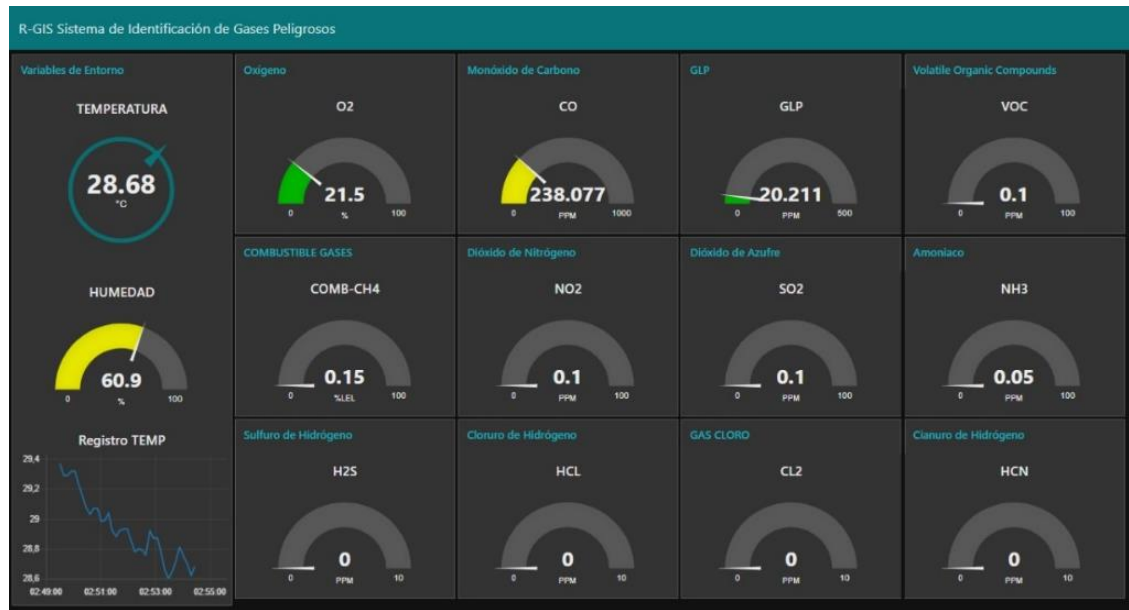


Figura 3.7: Diseño de pantalla de aplicación R-GIS.

Mediante la aplicación se muestra el valor de concentración de gas en la zona de medición, para establecer si las concentraciones no son tóxicas o presentan emergencia se programa el medidor como semáforo, es decir a medida que sube la concentración el color de los medidores variará de verde a amarillo y rojo (ver figura 3.8); siendo verde concentraciones normales y no tóxicas, amarillo se valida precaución o zona de contaminación cerca, y rojo exclusivamente detalla la zona de mayor exposición del gas donde se debe ingresar para controlar la emisión. La aplicación se adapta a cualquier tipo de pantalla por lo que también se crea mensajes de advertencia cuando un gas sobre pasa las concentraciones normales y se expone a grados de toxicidad.

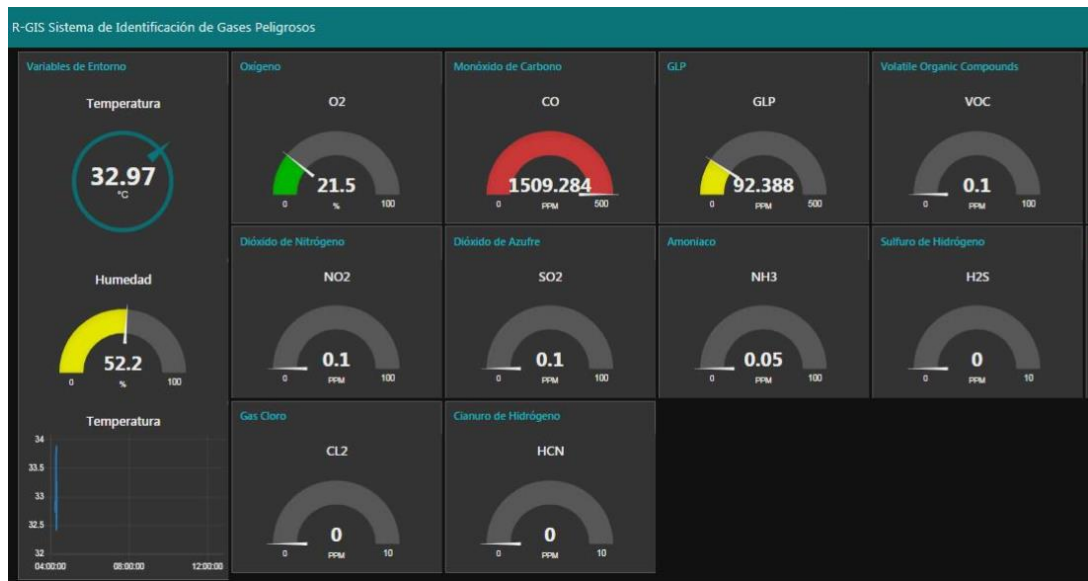


Figura 3.8: Verificación de alertas de gases.

3.4.2 Diseño y conexión con los servidores

Para el sistema de detección se creó un servidor en node-red y una base de datos en tiempo real influx-db, que se encuentran alojados en una raspberry pi 3, es decir, la tarjeta mantiene embebida la aplicación por lo que es portable y puede ser accedida en cualquier momento por los usuarios.

Al ser portable el servidor, facilita el acceso a los datos enviados desde el nodo zigbee hacia el Gateway conectado a la raspberry para ser graficados a través de un dashboard y alojando la información en la base de datos para posteriores consultas.

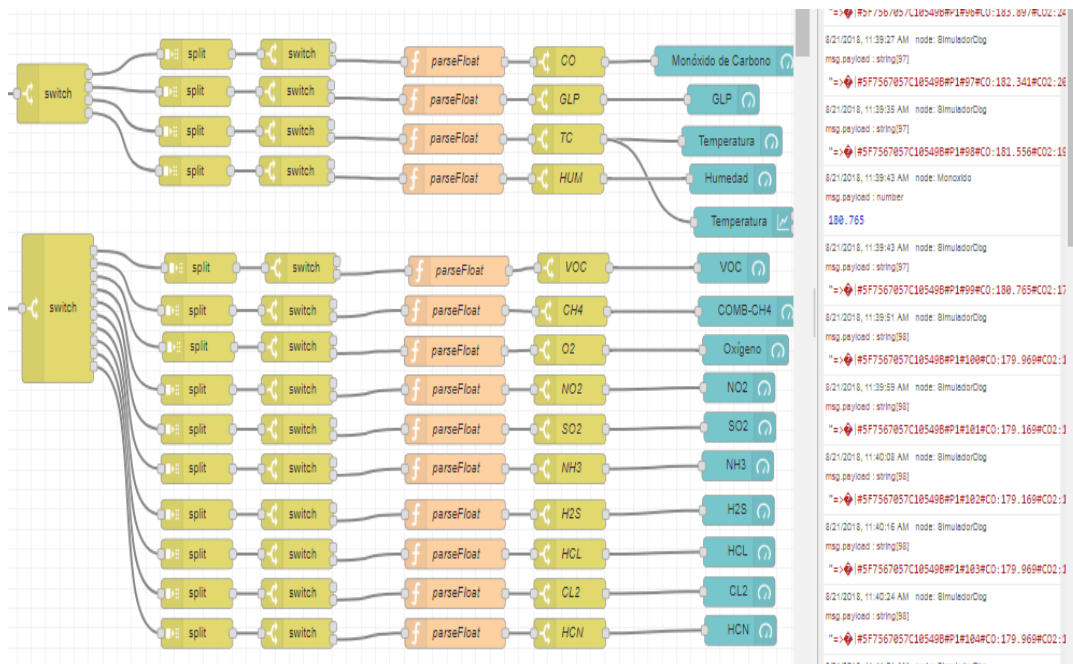


Figura 4.2: Recepción de datos visualizados en el Gateway.

Para la figura 4.2, los datos proporcionados por el nodo sensor y recibidos en el Gateway, se confirma la recepción de la trama para el servidor alojado en la tarjeta raspberry.

4.1.2 Pruebas de campo

- **Inicio de equipos**

En la figura 4.3 se puede visualizar el tiempo promedio que tarda el dispositivo en encenderse, siendo esta la interfaz del usuario, tarda alrededor de 1 minuto 41 segundos en reestablecer el sistema y mostrar los datos inicializados, y tarda alrededor de 20 segundos adicionales para presentar los gases ya medidos, debido a que la tarjeta waspmote se encuentra activada y envía lecturas de gases cada 30 milisegundos. Por lo que se establece alrededor de 2 minutos para la detección del gas.

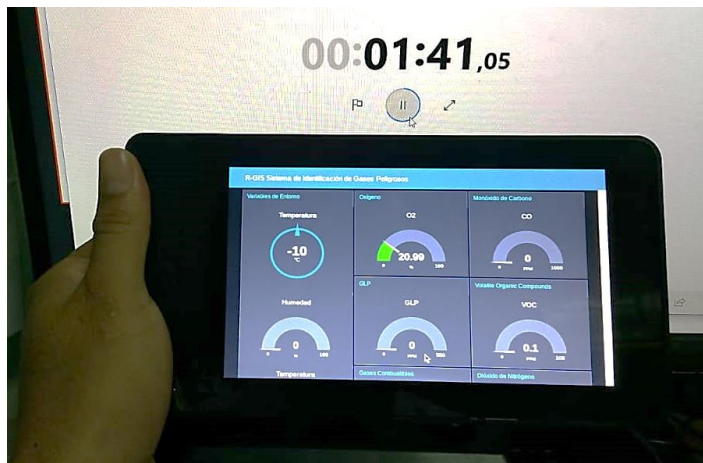


Figura 4.1: Tiempo de encendido de dispositivo.

- **Detección** de gas, distancia recorrida

Dentro de las pruebas de campo, se realizó diversos escenarios con comprobaciones de bombonas de gas dentro de la Academia del Benemérito cuerpo de bomberos. Por lo cual se estableció rangos de cobertura de 100 y 200 metros en línea de visión directa, dando como resultados datos propicios, debido al ser zonas abiertas.

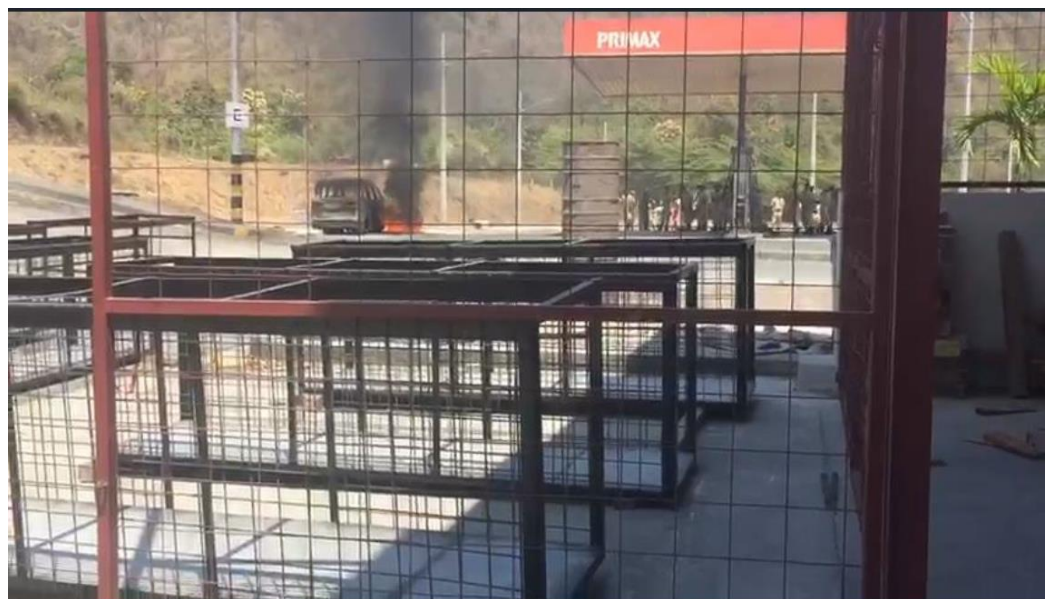


Figura 4.4: Escenario 1 Combustión de vehículo.

Como se observa en la figura 4.4 el primer escenario corresponde a un incendio, la medición del gas empieza desde el punto de partida ubicado a unos 200 metros del punto incidente.

En la figura 4.5 se observa el resultado de los gases en el ambiente en el punto establecido como zona segura, los sensores son sensibles y están en constante muestreo, envían datos cada 30 milisegundos por lo que al encender la aplicación ya nos otorga información.

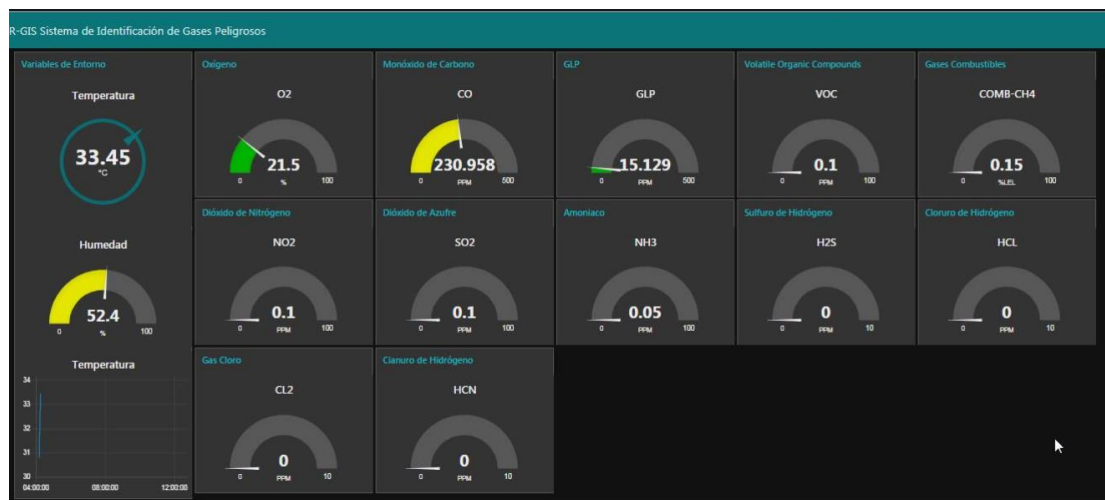


Figura 4.5: Visualización de datos desde zona segura.

Para las figuras 4.6 y 4.7 se verifica el cambio de detección de gases conforme el dispositivo se acerca al punto incidente, hasta llegar a una distancia aproximada de 90 metros, se determina por reacciones químicas un alto porcentaje de CO.



Figura 4.6: Movilización de R-GIS a 90 metros.

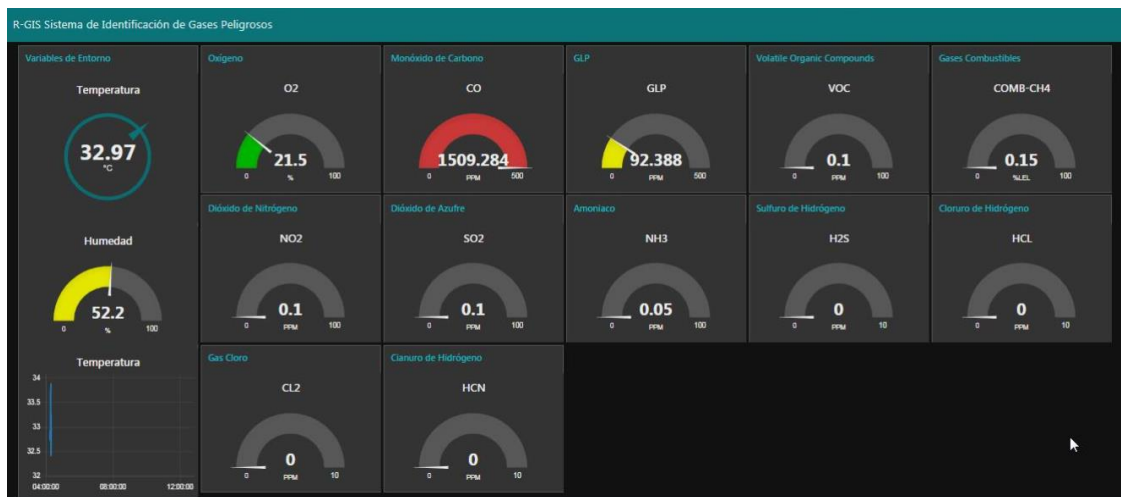


Figura 4.7: Datos obtenidos desde R-GIS en zona incidente.

Para el escenario 2 realizamos pruebas solo con liberación de GLP, se estableció el equipo en la bombona alta de la torre y nuestro punto o zona segura se instaló alrededor de los 250 metros, de acuerdo a figura 4.8 se puede verificar distancia propuesta, y figura 4.9 la confirmación de los gases presentados.



Figura 4.8: Escenario 2 Equipos en torre alta.



Figura 4.9: Muestra de datos de gases detectados.

Para el escenario 3 establecimos un punto de zona segura en movimiento y el equipo de detección se encontró cerca de un tanque de gas, este escenario fue propuesto para verificar distancias máximas de lectura sin fallos en la medición. De acuerdo a la figura 4.10 se muestra nuestro punto de zona segura móvil.



Figura 4.10: Vista de zona segura móvil.

- **Visualización de datos y notificaciones de emergencia.**

De acuerdo a la figura 4.11, se visualiza dentro de la aplicación la representación de los gases determinados en el ambiente, dicha figura representa la toma de datos en el transcurso de 30 minutos. Dentro de la interfaz, permite observar la variación de temperatura, humedad y gases, para los gases se representan con graficas de velocímetros y dentro de las mismas contiene indicadores de color, mientras se mantenga en verde el indicador mantenemos una concentración permitida y no dañina para las personas expuestas, pero al tornarse amarillo o rojo indica aumenta el peligro, y necesita ser controlado a la brevedad.

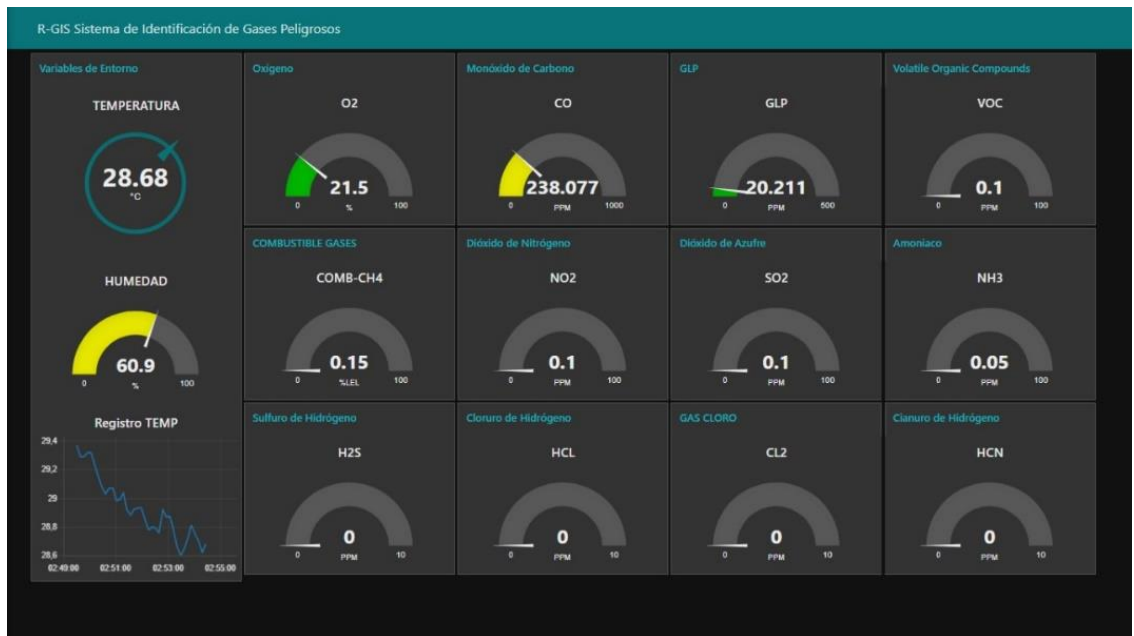


Figura 4.11: Visualización de parámetros de gases.

Como punto adicional, la interfaz está provista de notificaciones, envía una alerta con respecto al incremento de un gas que debe ser tomado en cuenta (ver figura 4.12), se crea alerta debido a que el programa está embebido en una tarjeta raspberry pi 3 y puede ser visualizada a través de pantallas de cualquier tamaño y se reajustará, enviando los gases provistos en la parte final y para mantener en cuenta sus lecturas, se envía notificaciones de concentración de los mismos.

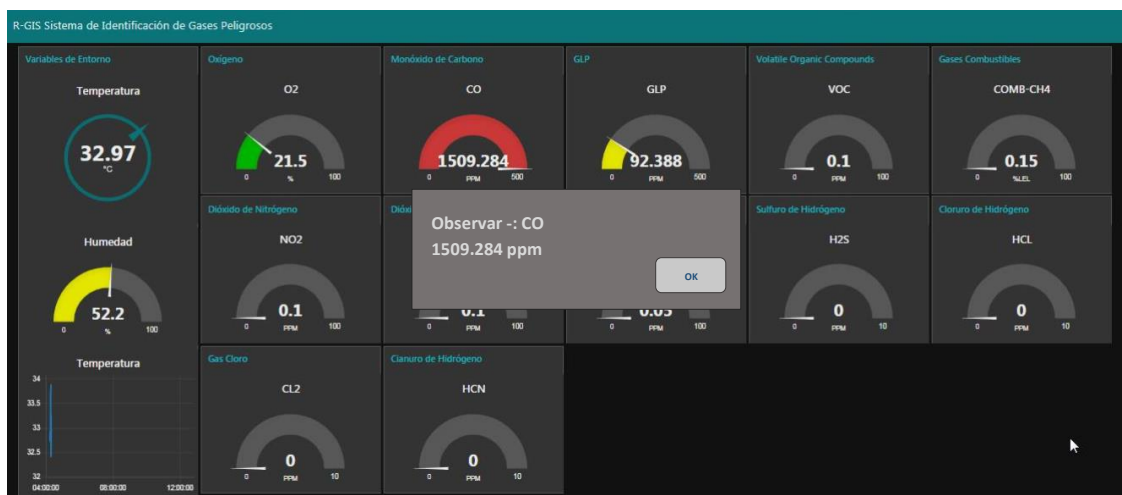


Figura 4.12: Notificaciones de concentración de gases elevados.

4.2 Validación de prototipo y producto final.

Se ha procedido a realizar una encuesta a una población de 15 bomberos, 3 de ellos pertenecen a la división de materiales peligrosos, quienes han participado en emergencias con materiales y sustancias desconocidas, se presentó el diseño de R-GIS y su funcionamiento.

La encuesta tiene como objetivo establecer los parámetros de aceptación y satisfacción con el usuario final, a continuación se detalla los objetivos de la misma:

Presentación del dispositivo final, y su funcionamiento como un sistema de control inmediato frente a emergencias.

Conocer la opinión acerca de quienes trabajan constantemente en emergencias MAT-PEL con respecto al uso del dispositivo R-GIS ventajas y desventajas.

Verificar si la aplicación final es interactiva y de fácil manejo con respecto a lo que se busca.

Comprobar si el dispositivo de detección mantiene acogida dentro del cuerpo de bomberos.

Los resultados se muestran a continuación:

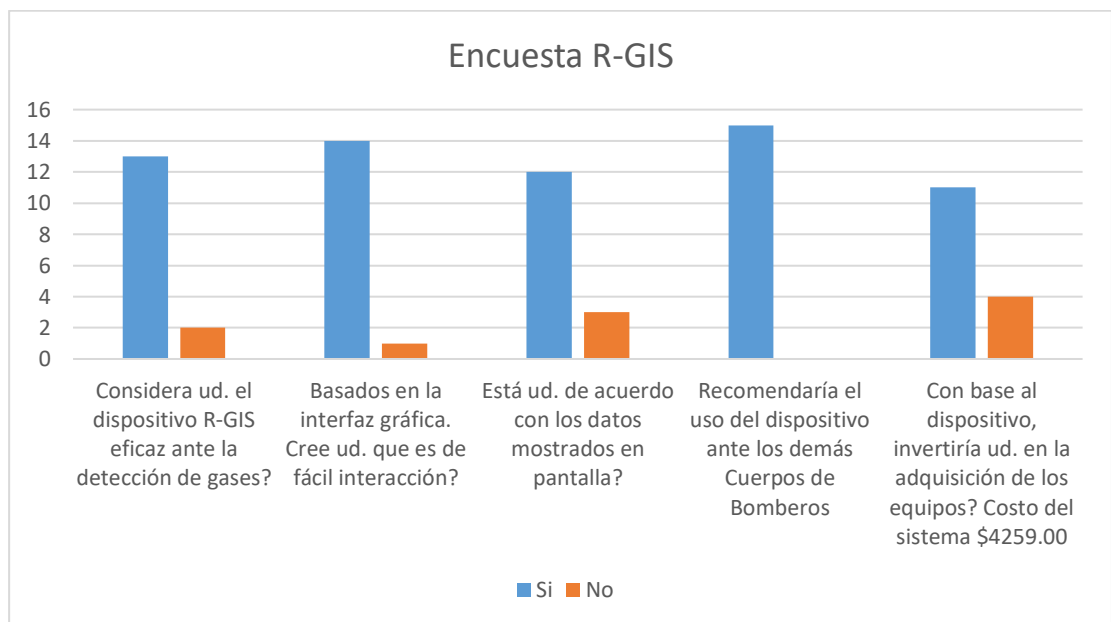


Figura 4.3: Encuesta realizada a división de cuerpo de bomberos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La implementación del sistema remoto de detección de gases, logró reducir el tiempo de detección alrededor del 60% debido a que dentro de las pruebas se valida que el tiempo provisto por el equipo MATPEL desde el inicio de las alarmas está alrededor de los 15 minutos, mientras que si se utiliza R-GIS el tiempo promedio de detección del gas es aproximadamente 6 minutos.

El uso del dron phantom 3 se logra la distancia requerida de 100 metros considerando el peso aproximado de los equipos alrededor de los 300 gramos y con una comunicación estable con respecto a la transmisión de datos.

El dispositivo R-GIS implementa tarjetas libelium que mantienen un costo energético mínimo, adicional de los sensores provistos se calibran al año o año y medio en comparación de otros sensores de diferentes marcas la calibración de los mismos van de tres a seis meses.

Con respecto a la comunicación entre los sensores y el Gateway el protocolo zigbee es el mejor optionado, debido al rango de alcance en transmisión, adicional con respecto a la modulación y envío de datos que mantiene el protocolo csma que evita las colisiones entre envío y recepción de datos.

RECOMENDACIONES

Dentro del proyecto un punto importante fue el presupuesto, libelium es una marca reconocida en el uso de internet de las cosas, y cada pieza fabricada en lo que sensores respecta mantiene costos elevados en comparación con sensores dentro del mercado, por ende, como recomendación sería una implementación híbrida entre sensores provistos en el mercado y tarjetas libelium, con el fin de disminuir costos en base al producto final.

Con el fin de mejorar transmisión y abarcar cobertura podría mudarse de protocolo de comunicación zigbee a lorawan, adicional de que esta mejora debe incluir el dron, se sugiere utilizar un matrice 100 que mantiene una cobertura alrededor de 5 km, el cuál puede ser utilizado en incidencias mayores o que la zona expuesta sea mayor.

La mezcla entre tecnología libelium y comunicación zigbee hace que el proyecto sea escalable, debido a que no solo puede ser utilizado como un detector de gases, puede desarrollarse una red de sensores de detección y monitoreo y podría utilizarse como medio de precaución en industrias, puertos marítimos, hasta en hogares con el fin de prevenir algún tipo de afectación o por control de gases emitidos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] LEX, «MATERIALES PELIGROSOS,» 14 Septiembre 2011. [En línea]. Available: <http://materialepeligrososfyl.blogspot.com/2011/09/emergencias-relacionadas-matpel.html>.
- [2] D. E. Comercio, «Diario El Comercio,» 14 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.pressreader.com/ecuador/diario-expreso/20170414/281801398829983>.
- [3] M. Peligrosos, «MAT-PEL,» 2007. [En línea]. Available: [http://www.guayaquil.gob.ec/Documentos SCI/Protocolos SCI/Protocolo 4 Mat Pel version final PN.docx](http://www.guayaquil.gob.ec/Documentos%20SCI/Protocolos%20SCI/Protocolo%204%20Mat%20Pel%20version%20final%20PN.docx).
- [4] B. C. d. B. d. Guayaquil, «Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil,» 7 junio 2012. [En línea]. Available: <https://www.bomberosguayaquil.gob.ec/index.php/entorno-bomberil/divisiones/division-de-materiales-peligrosos.html>.
- [5] U. D. o. Transportation, «Guía de respuesta en caso de emergencia,» Canada, 2016.
- [6] Z. Allience, «ZigBee Allience,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.zigbee.org/>.
- [7] G. M. Libelium, «Capítulo 4 - Wasmote 886 MHz.,» [En línea]. Available: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12046/fichero/4_Capitulo4.pdf.
- [8] «Cooking Hats,» Libellium, [En línea]. Available: <https://www.cooking-hacks.com/wasmote-gas-sensors-kit>.
- [9] Libelium, «Libelium,» [En línea]. Available: <http://www.libelium.com/products/wasmote/sensors/>.

- [10] D. R. F. Javier Martín Moreno, «Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4),» Junio 2007. [En línea]. Available:
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe_ZigBee.pdf.
- [11] O. CAMPOS, «GENBETA,» JULIO 2011. [En línea]. Available:
<https://www.genbeta.com/desarrollo/introduccion-al-lenguaje-de-programacion-go>.
- [12] NODE-RED, «NODE RED DOCUMENTATION,» Fundación JS ., [En línea]. Available: <https://nodered.org/docs/>.
- [13] N. -. RED, «node-red-dashboard 2.9.7,» Fundación JS ., [En línea]. Available: <https://flows.nodered.org/node/node-red-dashboard>.
- [14] MSA, «MSA,» [En línea]. Available: <http://mx.msasafety.com/Portable-Gas-Detection/Multi-Gas/ALTAIR%C2%AE-5X-Multigas-Detector/p/000080001600001023>.
- [15] c. h. Libelium, «Waspote IDE user guide,» [En línea]. Available: [file:///C:/Users/pc/Downloads/waspote_ide_user_guide%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/waspote_ide_user_guide%20(4).pdf).
- [16] Libelium, «Gases sensor board 3.0,» [En línea]. Available: http://www.libelium.com/downloads/documentation/gases_sensor_board_3.0.pdf.
- [17] Lex, «Materiales Peligrosos,» 14 Septiembre 2011. [En línea]. Available: <http://materialepeligrososfyl.blogspot.com/2011/09/emergencias-relacionadas-matpel.html>.
- [18] L. C. D. S.L, *Waspote Technical Guide*, 2016.

ANEXOS

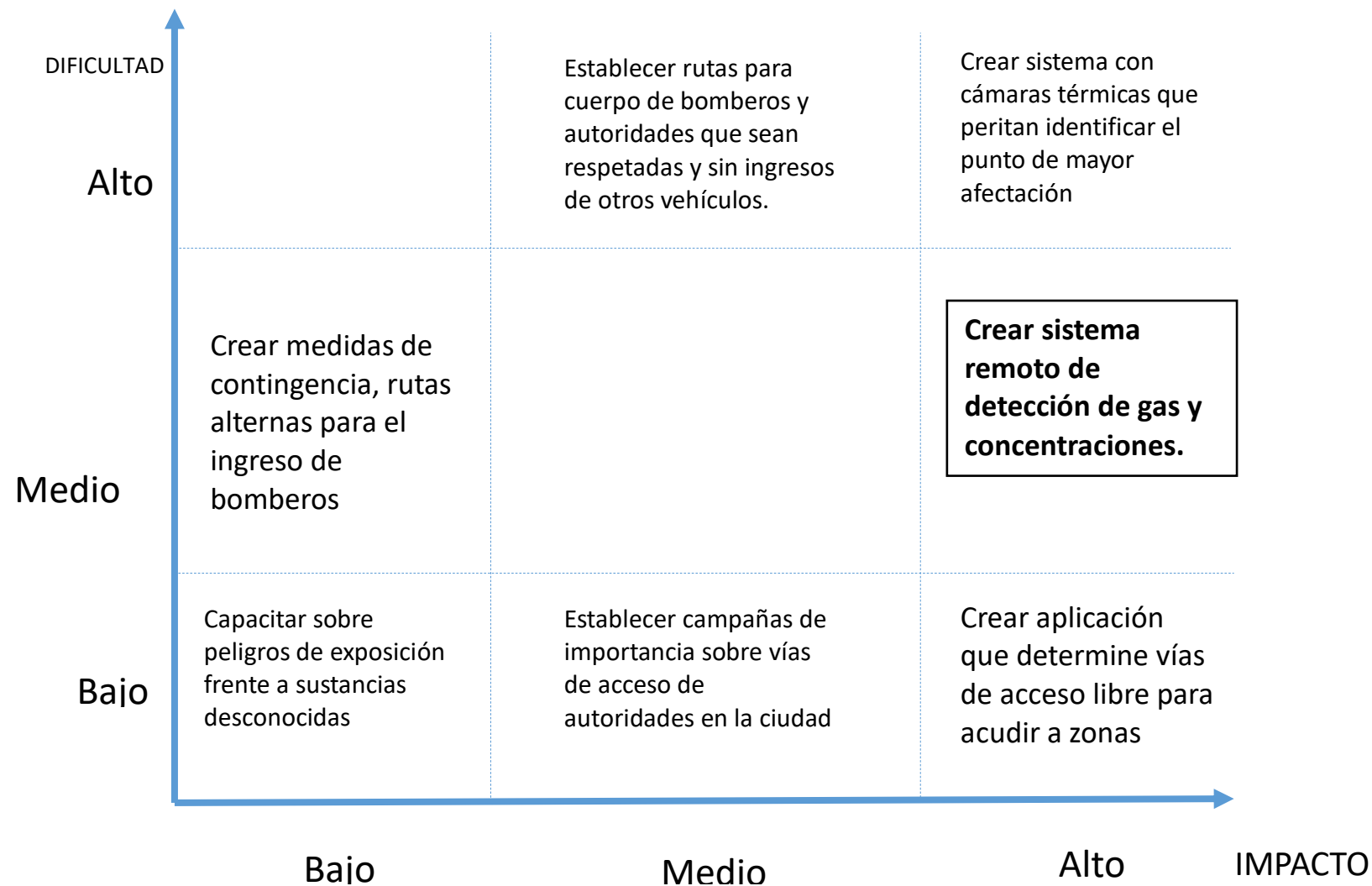
Anexo A

Mapa de actores



Anexo B

Ideas de proyecto



Anexo C

Encuesta realizada por satisfacción del producto

R-GIS

Sistema remoto de detección de gases

*Obligatorio

Considera ud. el dispositivo R-GIS eficaz ante la detección de gases? *

- Sí
- No
- Tal vez

En escala del 1 al 5, siendo 5 completamente de acuerdo. Cree ud. que R-GIS es una buena implementación en el Cuerpo de Bomberos? *

- Opción 1
- Opción 2
- Opción 3
- Opción 4
- Opción 5

Basados en la interfaz gráfica. Cree ud. que es de fácil interacción? *

- Sí
- No

Está ud. de acuerdo con los datos mostrados en pantalla?

- Sí
- No

Que cree ud. que sería la opción de mejora con respecto al dispositivo R-GIS *

- Implementación de más gases
- Colores de interfaz
- Notificaciones y alertas
- Equipos más robustos
- No agregaría nada.

Recomendaría el uso del dispositivo ante los demás Cuerpos de Bomberos *

- Sí
- No
- Tal vez

Con base al dispositivo, invertiría ud. en la adquisición de los equipos? Costo del sistema \$4259.00 *

- Sí
- No
- Tal vez

ENVIAR

Anexo D

Código de programación de tarjeta gases pro. Adjunto en cd.

VALIDACIÓN DE PROTOTIPO Alto nivel

Aplicación final Aprobada



Se realiza mejora en presentación, se involucran todos los parámetros medidos, adicional de guardar datos para futuras estadísticas y es redimensionable para ser visualizada en diferentes pantallas o dispositivos.

Dispositivos finales Aprobados



Se toma en consideración el peso de equipos aproximadamente 300 gr.

Validaciones con sensores calibrados y verificación y funcionamiento a cabalidad del sistema.

SISTEMA REMOTO DE IDENTIFICACIÓN DE GASES PARA EMERGENCIAS CON MATERIALES PELIGROSOS	
ACTA DE REUNIÓN: PRESENTACIÓN DE PROYECTO	
FECHA: Lunes, 6 de agosto	HORA INICIO: 10:00 AM HORA CIERRE: 11:15 AM
ASISTENTES	
1	Tnt.(B) Mario Ordeñana <i>Mario Ordeñana b.</i>
2	Tnt. (B) Cristhian Bautista <i>Cristhian Bautista</i>
3	Pablo Vargas <i>Pablo Vargas</i>
4	Soraya Vacacela <i>Soraya Vacacela</i>

TEMAS TRATADOS

1	Modificación de Interfaz Gráfica
2	Implementación de mensajes de alerta

COMPROMISOS DE ESTA REUNIÓN

ITEM	ASUNTO	RESPONSABLE	FECHA DE CUMPLIMIENTO	CUMPLIDO
1	Mostrar todos los parámetros en una sola vista	Pablo Vargas	20/8/2018	SI
2	Desarrollar mensajes de alarma	Pablo Vargas	20/8/2018	SI