

## UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL CARRERA DE INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

## TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN TELEINFORMÁTICA

## ÁREA TECNOLOGÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES

# TEMA "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE DETECTOR DE GAS COMUNITARIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PARA LA COOPERATIVA 4 DE MARZO"

### AUTOR BERECHEZ SAMANIEGO ANDRÉS EDUARDO

DIRECTORA DEL TRABAJO
ING. TELEC. TRUJILLO BORJA XIMENA FABIOLA, MG.

**GUAYAQUIL, ABRIL 2022** 



## ANEXO XI.- FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN



#### FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA					
FICHA DE REGISTRO DE	FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN				
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	1 1	etector de gas comunitario en			
	la ciudad de Guayaquil para	la ciudad de Guayaquil para la Cooperativa 4 de marzo.			
AUTOR(ES)	Berechez Samaniego Andrés Eduardo				
(apellidos/nombres):	-				
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Veintimilla Andrade Jairo Geovanny, MG. / Ing. Trujillo				
(apellidos/nombres):	Borja Ximena Fabiola , MG.				
INSTITUCIÓN:	Universidad de Guayaquil				
UNIDAD/FACULTAD:	Facultad de Ingeniería Industrial				
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:					
GRADO OBTENIDO:	Ingeniero en Teleinformática				
FECHA DE PUBLICACIÓN:	22 de abril del 2022 No. DE 91 PÁGINAS:				
ÁREAS TEMÁTICAS:	Tecnología de las telecomunicaciones.				
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	GLP, nodo sensor, nodo coordinador, red, Zigbee.				

#### RESUMEN

En Ecuador el gas licuado de petróleo o GLP es usado por una gran cantidad de familias en las cocinas de sus hogares, por lo que deben existir capacitaciones para su manipulación y colocar los tanques en lugares seguros conociendo los riesgos que conlleva, siempre se tiene la posibilidad de que exista alguna fuga por diversos factores y puedan ocurrir eventos peligrosos o se queden en solo un susto. Por esto se realiza un diseño de un sistema detector de gas usando la tecnología Zigbee que trabaja en conjunto con el estándar IEEE 802.15.4. enfocado en la creación de múltiples nodos para redes de sensores inalámbricos, costo reducido, baja velocidad de transmisión y teniendo mayor autonomía. El sistema contiene un nodo sensor ubicado en las cocinas de las viviendas que cuando reciba valores en ppm mayores al establecido, enviará una señal a un nodo coordinador ubicado en una zona central del vecindario para activar una alarma comunitaria, mostrar el lugar de fuga en un LCD y notificar por llamada y SMS al dueño de la casa afectada. En las pruebas realizadas se evidencia el rendimiento de la red a pesar de los obstáculos.

#### **ABSTRACT**

In Ecuador the liquefied petroleum gas or LPG is used by a large number of families in the kitchens of their homes, so there must be training for handling and placing the tanks in safe places knowing the risks involved, there is always the possibility that there is a leak by various factors and dangerous events can occur or remain just a scare. For this reason, a gas detector system is designed using Zigbee technology that works in conjunction with the IEEE 802.15.4

standard, focused on the creation of multiple nodes for wireless sensor networks, reduced cost, low transmission speed and having greater autonomy. The system contains a sensor node located in the kitchens of the houses that when it receives values in ppm higher than the established, will send a signal to a coordinator node located in a central area of the neighborhood to activate a community alarm, display the location of leakage on an LCD and notify by call and SMS to the owner of the affected house. In the tests conducted, the performance of the network is observed in spite of the obstacles.

ADJUNTO PDF:	SI (X)	NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0979622507	E-mail: andres.berechezs@ug.edu.ec
CONTACTO CON LA	Nombre: Ing. Ramón Maqu	iilón Nicola
INSTITUCIÓN:	Teléfono: 593-2658128	
	E-mail: direccionTi@ug.edu.ec	

## ANEXO XII.- DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO



## NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS



## FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS

"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE DETECTOR DE GAS COMUNITARIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PARA LA COOPERATIVA 4 DE MARZO"

Yo, BERECHEZ SAMANIEGO ANDRES EDUARDO, con C.C. No. 0952907384, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE DETECTOR DE GAS COMUNITARIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PARA LA COOPERATIVA 4 DE MARZO" son de mi absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN\*, autorizo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

Andres Benechez S.

BERECHEZ SAMANIEGO ANDRES EDUARDO

BERECHEZ SAMANIEGO ANDRES EDUARDO C.C. No. 0952907384

#### ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

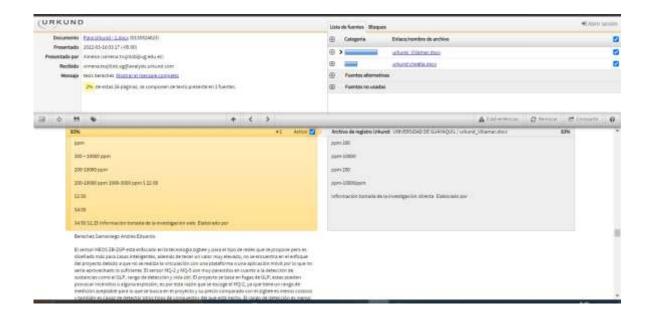


#### FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



Habiendo sido nombrado TRUJILLO BORJA XIMENA FABIOLA, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por BERECHEZ SAMANIEGO ANDRES EDUARDO, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO EN TELEINFORMÁTICA.

Se informa que el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE DETECTOR DE GAS COMUNITARIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PARA LA COOPERATIVA 4 DE MARZO, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa Antiplagio URKUND quedando el 1% de coincidencia.



Link: https://secure.urkund.com/view/124705178-640056-116134



Ing.Trujillo Borja Ximena Fabiola, Mg DOCENTE TUTOR

C.C. 0603375395 FECHA: 20/03/2022



#### ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE-TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



Guayaquil, 24 de marzo del 2022

Sra.

Ing. Annabelle Lizarzaburu Mora, MG.
Directora de Carrera Ingeniería en Teleinformática / Telemática
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE
GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación DISEÑO DE UNPROTOTIPO DE DETECTOR DE GAS COMUNITARIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PARA LACOOPERATIVA 4 DE MARZO del estudiante BERECHEZ SAMANIEGO ANDRES EDUARDO, indicando que ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo detitulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,



XIMENA FABIOLA
TRUJILLO BORJA

Ing.Trujillo Borja Ximena Fabiola, Mg TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN C.C. 0603375395

FECHA: 24 de marzo 2022



#### ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



Guayaquil, 1 de abril de 2022

Sr (a).

Ing. Annabelle Lizarzaburu Mora, MG.

Director (a) de Carrera Ingeniería en Teleinformática / Telemática

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

#### De mis consideraciones:

Envío a Ud. el informe correspondiente a la REVISIÓN FINAL del Trabajo de Titulación "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE DETECTOR DE GAS COMUNITARIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PARA LA COOPERATIVA 4 DE MARZO" del estudiante BERECHEZ SAMANIEGO ANDRES EDUARDO. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 20 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 5 años.

La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.

El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante está apto para continuar el procesode titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

#### Atentamente,



ING. VEINTIMILLA ANDRADE JAIRO GIOVANNY, MG

C.C:0922668025 FECHA: 1 de abril de 2022

#### **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado a mis padres Antonio Berechez y Sonia Samaniego quienes siempre me han apoyado en todo con su esfuerzo, trabajo y sacrificio para que pueda seguir adelante, gracias por inculcarme buenos valores y enseñarme a no rendirme nunca para lograr los objetivos que me proponga.

A mis hermanos Wily y Jhon por estar presentes en cada etapa de mi vida y por ser como mis segundos padres, aconsejandome y guiandome cada vez que lo necesitaba, también a mi cuñada Alice y mi novia Nury que me han mostrado su apoyo incondicional, todo esto no sería posible sin cada uno de ellos, gracias familia.

#### Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme salud y fuerza necesaria para poder seguir adelante ante cualquier adversidad. A mi familia que me apoyó en todo momento con lo que necesitaba tanto en lo moral como en lo material.

A mi tutora la Ing. Trujillo Ximena, quien me guió y apoyó con sus conocimientos para realizar un buen trabajo. También agradecer a mis compañeros y amigos que me han brindado su apoyo en los malos momentos.

## Índice general

$\mathbf{N}^{\circ}$	Descripción	Pág
	Introducción	1
	Capítulo I	
	El problema	
<b>N</b> °	Descripción	Pág
1.1.	Planteamiento del problema	2
1.1.1.	Formulación del problema	3
1.1.2.	Sistematización del problema	3
1.2.	Objetivos de la investigación	3
1.2.1.	Objetivo general	3
1.2.2.	Objetivos específicos	3
1.3.	Justificación	4
1.4.	Delimitación del problema	4
1.5.	Hipótesis de la investigación	5
1.5.1.	Operacionalización de las variables	5
1.6.	Alcance del proyecto	6
	Capítulo II	
	Marco teórico	
$\mathbf{N}^{\circ}$	Descripción	Pág
2.1.	Antecedentes del estudio	7
2.2.	Fundamentación teórica	8
2.2.1.	Redes inalámbricas	8
2.2.2.	Red de sensores inalámbricos (WSN – Wireless Sensor Netowork)	9
2.2.2.1.	Características	9
2.2.2.2.	Ventajas y desventajas	9
2.2.2.3.	Requerimientos	10
2.2.2.4.	Topología	11
2.2.2.5.	Arquitectura	13
2.2.2.6.	Nivel físico	13
2.2.2.6.1.	Sensores de gas	13
2.2.2.6.2.	Tipos de sensores de gas	14
2.2.2.6.3.	Sensores electro-químicos	15

2.2.2.6.4.	Funcionamiento del sensor MQ-2	15
2.2.2.7.	Nivel de enlace	15
2.2.2.7.1.	Xbee S2C	16
2.2.2.7.2.	Modo de funcionamiento del Xbee	16
2.2.2.7.3.	Xbee Explorer USB	16
2.2.2.7.4.	Shield Pro Xbee	17
2.2.2.7.5.	Microcontroladores	17
2.2.2.7.6.	Arduino uno	17
2.2.2.7.7.	Estándar IEEE 802.15.4	18
2.2.2.8.	Nivel de Aplicación	18
2.2.2.8.1.	Buzzer pasivo	19
2.2.2.8.2.	LCD 16X2	19
2.2.2.8.3.	Módulo I2C	19
2.2.2.8.4.	Módulo GSM/GPRS SIM800L V2	20
2.2.2.	XCTU	20
2.2.3.	IDE de Arduino	21
2.2.4.	El gas licuado de petróleo GLP	22
2.2.5.	Límites de exposición a Gas Licuado de Petróleo	22
2.2.6. industrial (	Norma para instalación de gases combustible en uso residencial, com (NTE INEN 2260)	nercial e 23
2.3.	Marco legal	24
	Capítulo III	
	Metodología	
<b>N</b> °	Descripción	Pág
3.1.	Metodología	25
3.1.1.	Método bibliográfico	25
3.1.2.	Método de campo	25
3.1.3.	Método deductivo	25
3.1.4.	Método experimental	26
3.1.5.	Población y muestra	26
3.1.5.1.	Población	26
3.1.5.2.	Muestra	26
3.1.6.	Análisis de la encuesta	27
3.1.7.	Requerimientos del prototipo	31
3.1.8.	Requerimientos de usuario	31

X11	

3.1.9.	Requerimientos del sistema	31
3.1.10.	Comparativa de tecnologías	32
3.1.11.	Comparativa de microcontroladores arduino	32
3.1.12.	Comparativa entre sensores de GLP	33
3.1.13.	Comparativa entre Xbee	34
3.1.14.	Esquema del sistema	35
3.1.15.	Diagrama de flujo de nodo sensor	35
3.1.16.	Diagrama de flujo de nodo coordinador	36
3.1.17.	Ubicación de la zona	37
3.1.18.	Elaboración del nodo sensor	38
3.1.18.1.	Configuración del xbee del nodo sensor	38
3.1.18.2.	Conexión del nodo sensor	40
3.1.18.3.	Desarrollo del firmware para el nodo sensor	42
3.1.19.	Elaboración del nodo coordinador	43
3.1.19.1.	Configuración del xbee del nodo coordinador	43
3.1.19.2.	Conexión del nodo coordinador	44
3.1.19.3.	Desarrollo del firmware para el nodo coordinador	46
3.1.20.	Diseño del prototipo	49
3.1.21.	Diseño de la red	50
3.1.22.	Elaboración de armazones del prototipo	51
3.1.22.1.	Elaboración de armazón del nodo sensor	51
3.1.22.2.	Elaboración de armazón del nodo coordinador	52
3.1.23.	Pruebas de conexión	52
3.1.24.	Análisis de la hipótesis	55
3.1.25.	Costo del prototipo	55
3.1.26.	Conclusiones	56
3.1.27.	Recomendaciones	57
	Anexos	58
	Bibliografía	580

## Índice de tablas

$\mathbf{N}^{\circ}$	Descripción	Pág.
1.	Operacionalización de las variables dependiente e independiente.	5
2.	Ventajas y desventajas de las redes WSN.	10
3.	Límites de exposición al GLP	22
4.	Características de las familias de gases.	23
5.	Comparación entre tecnologías inalámbricas.	32
6.	Características de microcontroladores Arduino.	32
7.	Comparación entre sensores de GLP.	33
8.	Comparación entre dispositivos Xbee.	34
9.	Resultados de conexión de interior a interior.	53
10.	Resultados de prueba de conexión interior a exterior.	54
11.	Resultados de prueba de conexión interior a exterior a mayor distancia.	55
12.	Costo de los componentes del prototipo.	55

## Índice de figuras

$\mathbf{N}^{\circ}$	Descripción	Pág.
1.	Topología estrella	12
2.	Topología malla.	12
3.	Topología árbol	13
4.	Sensores de gas.	14
5.	Tipos de sensores de gas. o.	14
6.	Módulo sensor de gas MQ.	15
7.	Xbee s2c.	16
8.	Xbee Explorer USB.	17
9.	Shield pro xbee v3.	17
10.	Parte frontal de Arduino uno.	18
11.	Buzzer pasivo.	19
12.	LCD 16x2.	19
13.	Módulo I2C para LCD.	20
14.	Módulo GSM/GPRS SIM800L.	20
15.	XCTU Software.	21
16.	Partes del IDE Arduino.	22
17.	Composición del GLP.	22
18.	Sistemas más usado en las cocinas de los encuestados.	27
19.	Conocimiento de casos de fugas de gas.	28
20.	Conocimento de sistemas sensores de gas.	28
21.	Porcentaje de encuestados dispuestos a colocar un sistema detector de gas.	29
22.	Tipo de alimentación para el sistema detector de gas.	29
23. celular.	Escala de acuerdo y desacuerdo para tener un método de notificación 30	
24.	Porcentaje de acuerdo con la alarma comunitaria.	30
25.	Esquema del sistema.	35
26.	Diagrama del nodo sensorial.	36
27.	Diagrama del nodo coordinador.	37
28.	Ubicación del lugar de estudio.	37
29.	Xbee S2C del nodo sensor conectado al xbee explorer USB	38
30.	Detección del puerto COM conectado.	38
31.	Búsqueda del módulo xbee conectado al computador.	39
32.	Parámetros por defecto del xbee s2c.	39

33.	Materiales del nodo sensor.	40
34.	Xbee s2c montado en el shield pro y arduino.	41
35.	Parte trasera del sensor MQ-2.	41
36.	Módulo KY-006.	41
37.	Conexión realizada del nodo sensor.	42
38.	Firmware del nodo sensor.	42
39.	Prueba del firmware del nodo sensor en el monitor serie.	43
40.	Xbee S2C del nodo coordinador conectado al xbee explorer USB.	44
41.	Materiales del nodo coordinador.	45
42.	Montaje del display LCD 16x2 con protocolo I2C.	45
43.	Buzzer activo montado al arduino.	45
44.	Montaje del módulo GSM/GPRS 800L v2.	46
45.	Conexión realizada del nodo coordinador	46
46.	Código para verificar tramas.	47
47.	Tramas recibidas.	47
48.	Código de prueba para verificación de llamada.	48
49.	Función para llamar.	48
50.	Prueba de llamada en monitor serie y celular.	49
51.	Nodo sensor elaborado en fritzing.	49
52.	Nodo coordinador elaborado en fritzing.	49
53.	Nodo coordinador con sirena elaborado en fritzing.	50
54.	Distancia de nodos en la red	50
55.	Diseño de la red.	51
56.	Nodo sensor.	52
57.	Nodo coordinador.	52
58.	Prueba de comunicación en consola del XCTU.	53
59.	Test de cobertura interior a interior con 12 metros de distancia.	53
60.	Test de cobertura interior a exterior con 16 metros de distancia.	54
61.	Test de cobertura interior a exterior con 22 metros de distancia.	54
62.	Página oficial de Digi.	59
63.	Página oficial de descarga XCTU.	59
64.	Página oficial de arduino.	60
65.	Estructura de la trama API.	61
66.	Materiales para el sistema.	61
67.	Pruebas de los nodos.	62

		xvi
68.	Prueba de comunicación interior a interior.	62
69.	Prueba de comunicación interior a exterior	63
70.	Prueba de comunicación interior a exterior con mayor distancia.	63



### ANEXO XIII.- RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)



## FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

## "DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE DETECTOR DE GAS COMUNITARIO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL PARA LA COOPERATIVA 4 DE MARZO"

Autor: Berechez Samaniego Andrés Eduardo

Tutor: Ing. Telec. Trujillo Borja Ximena Fabiola, MG.

#### Resumen

En Ecuador el gas licuado de petróleo o GLP es usado por una gran cantidad de familias en las cocinas de sus hogares, por lo que deben existir capacitaciones para su manipulación y colocar los tanques en lugares seguros conociendo los riesgos que conlleva, siempre se tiene la posibilidad de que exista alguna fuga por diversos factores y puedan ocurrir eventos peligrosos o se queden en solo un susto. Por esto se realiza un diseño de un sistema detector de gas usando la tecnología Zigbee que trabaja en conjunto con el estándar IEEE 802.15.4. enfocado en la creación de múltiples nodos para redes de sensores inalámbricos, costo reducido, baja velocidad de transmisión y teniendo mayor autonomía. El sistema contiene un nodo sensor ubicado en las cocinas de las viviendas que cuando reciba valores en ppm mayores al establecido, enviará una señal a un nodo coordinador ubicado en una zona central del vecindario para activar una alarma comunitaria, mostrar el lugar de fuga en un LCD y notificar por llamada y SMS al dueño de la casa afectada. En las pruebas realizadas se evidencia el rendimiento de la red a pesar de los obstáculos.

Palabras Claves: GLP, nodo sensor, nodo coordinador, red, Zigbee.



## ANEXO XIV.- RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLÉS)



## FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

## "DESIGN OF A COMMUNITY GAS DETECTOR PROTOTYPE IN THE CITY OF GUAYAQUIL FOR THE COOPERATIVE 4 DE MARZO."

Author: Berechez Samaniego Andrés Eduardo

Advisor: Ing. Telec. Trujillo Borja Ximena Fabiola, MG.

#### Abstract

In Ecuador the liquefied petroleum gas or LPG is used by a large number of families in the kitchens of their homes, so there must be training for handling and placing the tanks in safe places knowing the risks involved, there is always the possibility that there is a leak by various factors and dangerous events can occur or remain just a scare. For this reason, a gas detector system is designed using Zigbee technology that works in conjunction with the IEEE 802.15.4 standard, focused on the creation of multiple nodes for wireless sensor networks, reduced cost, low transmission speed and having greater autonomy. The system contains a sensor node located in the kitchens of the houses that when it receives values in ppm higher than the established, will send a signal to a coordinator node located in a central area of the neighborhood to activate a community alarm, display the location of leakage on an LCD and notify by call and SMS to the owner of the affected house. In the tests conducted, the performance of the network is observed in spite of the obstacles.

**Keywords:** LPG, sensor node, coordinator node, network, Zigbee.

#### Introducción

En la actualidad los sistemas que consumen productos derivados del petróleo se los busca reemplazar con los de alimentación por corriente, así como es el caso de los sistemas de cocinas de inducción eléctrica por los convencionales de gas. Existen varios programas del estado para incitar a las personas a consumir este tipo de energía, pero gran parte de las familias en el Ecuador siguen prefieriendo el tradicional como producto principal debido a su bajo costo.

También existen capacitaciones por parte del cuerpo de bomberos que indican los riesgos que conlleva una mala manipulación o instalación de tanques de gas en el hogar, realizan programas de teleinspecciones para capacitar e indicar las zonas seguras y como se deben realizar los mantenimientos con sus precauciones. Sin embargo, un gran porcentaje de personas no realiza o participa en estos programas y cuando ejecutan de forma inadecuada una instalación puede que a largo plazo ocurran accidentes o simplemente por un descuido dejen abiertas las llaves de gas en la cocina provocando una fuga que no solo afecta un solo hogar sino que también a los que se encuentran a su alrededor.

Hoy en día existen diversos sistemas detectores de gas que se instalan fácilmente en las cocinas y pueden prevenir algún accidente por medio de notificaciones. No es común ver que este tipo tecnología pueda conectarse a una red y trabajar en conjunto con las lecturas recibida de otro mecanismo ubicado en otra zona o domicilio, por lo que sería óptimo un sistema que pueda alertar cuando existan concentraciones altas de GLP en el ambiente.

Teniendo en cuenta los riesgos que conlleva una fuga de gas se pretende realizar un diseño de red de sensores inalámbricos usando tecnología Zigbee para poder conectar en red a los nodos sensores con el nodo coordinador en la banda de 2.4 GHz para la comunicación. El nodo sensor recibirá lecturas del ambiente en la cocina y cuando reciba concentraciones altas de gas enviará una señal al nodo coordinador, cuando el aviso llegue al receptor activará una alarma en el barrio para que las familias de las casas cercanas también puedan evacuar la zona, el sistema también debe contar con display para presentar el lugar de donde proviene la fuga y tecnología GSM/GPRS para notificaciones personales al dueño de la vivienda.

El prototipo de los nodos sensores da como resultado un buen funcionamiento bajo las condiciones programadas en la que cada nodo cumple su respectiva función como lo esperado, para el diseño de la red se realizaron las pruebas de funcionamiento dejando como resultado que a una distancia 20 m del nodo coordinador se deben ubicar nodos router para abarcar una mayor cobertura en todas las casas del sector.

#### Capítulo I

#### El problema

#### 1.1. Planteamiento del problema

Según el MERNNR (Ministerio de Energía y Recursos Natrurales no Renovables) y a cargo del proyecto (Sierra & Alexandra, 2021) detalla que hasta abril del 2019 cerca del 91% de los hogares siguen haciendo uso del GLP (Gas Licuado de Petróleo). El proyecto "K016 MEER, Programa de Cocción Eficiente" para obtención de cocinas de inducción con periodo de 10 años se encuentra en estado congelado, por lo que los ciudadanos siguen optando por el uso de este combustible, así como también en el sector industrial.

Muchos hogares aún dependen de este combustible esencial, gran parte de las personas no conocen o tienen las precausiones adecuadas para su manipulación o almacenamiento, pudiendo representar un gran peligro, no solo para la vivienda sino hacia la comunidad. Estas eventualidades están presentes en el hogar y pueden ocurrir en cualquier momento, no obstante, es responsabilidad de los habitantes del domicilio evitar que estas situaciones ocurran y se extienda a mayores.

Según el autor Amézquita (2020), detalla que los desastres causados por gases domésticos en los hogares se deben en gran parte por el descuido de los moradores que lo manejan sin sus debidas precauciones, siendo el instante de consumo donde exista mayor riesgo. En Ecuador se tiene un índice elevado de desastres provenientes por la fuga de gas GLP en empresas, industrias y se ha incrementado en domicilios. En muchas ocasiones se observa por los medios de comunicación las pérdidas materiales, lesiones e incluso de vidas que se tiene por una explosión causada por la fuga de gas.

Las causas por las que se producen este tipo de accidentes son debido a la falta de inspección periódica de las mangueras y válvulas conectadas al tanque, ya que los acoples se conectan y desconectan durante cada recambio de cilindros, ocasionando que estos se desgasten. Las mangueras de menor costo tienen una vida útil alrededor de 5 años, mientras que los de los reguladores de gas tienen 10 años. En ocasiones se puede observar que cuando las válvulas de presión tienen un desgaste, tienden a usar objetos que hacen presión sobre ella, tales como; ladrillos, piedras, siendo estos los indicadores para su debido cambio. Un ambiente grasoso también es perjudicial para los equipos que usan GLP, así como también la exposición directa al sol o la mala ubicación en la que se encuentren (horizontal, inclinados, sobre superficies irregulares).

Por otra parte, hay factores que no se tienen en cuenta al momento de su instalación como: al retirar el sello del tanque dañan el anillo de goma de la válvula, no cierran la llave del cabezal para que al momento del ensamble sea mínima la liberación de gas. Así mismo, los equipos que hacen uso de este comnbustible, tienen hornillas y conductos en mal estado, incrementado la probabilidad de que un accidente ocurra.

Las precausiones por parte de los habitantes no es la apropiada, en caso de darse alguno de los factores antes mencionados puede ocasionar una catástrofe que afecte a más de una familia. El tipo de estructura de construcción no es la misma en las casas, pudiendo ser algunas más propensas a extender un incendio, o incluso otras que no resistan una explosión generada por la fuga de GLP.

#### 1.1.1. Formulación del problema

¿Cuáles son las causas de fugas de gas que han provocado accidentes en los últimos años?

#### 1.1.2. Sistematización del problema

- ¿Cuál es el porcentaje de uso de GLP que se tiene en los hogares de Guayaquil?
- ¿Los accidentes que se reportan por fugas de gas se deben a la falta de mantenimiento y capacitación?

#### 1.2. Objetivos de la investigación

#### 1.2.1. Objetivo general

Diseñar un prototipo detector de gas comunitario en la ciudad de Guayaquil en la cooperativa 4 de marzo.

#### 1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio sobre el estándar IEEE 802.15.4.
- Definir las características de los materiales indispensables para la elaboración del proyecto.
- Efectuar pruebas de comunicación con los dispositivos terminales del prototipo planteado.
- Diseñar una red para la transmisión de datos del sensor detector de gas GLP hacia el nodo coordinador.

#### 1.3. Justificación

(MARIELLA, 2021) detalla que: En pleno año de la crisis mundial por el "Covid-19" se tuvo cerca de 55 accidentes por fugas de gas, en cinco meses se atendieron veintisietes deflagraciones por causa del GLP. Mientras que para 2019, este tipo de eventos se reportaban en su mayoría a los negocios y otros tipos de establecimientos abarcando el 30% de los casos, en la actualidad la mayoría de deflagraciones ocurren en los hogares.

Según la OMS, en la mayoría de casos reportados de muertes por quemdaruras tiene como afectado principal a las mujeres. Por otro lado, en los casos que se reportan como lesiones o niveles de quemaduras (primer, segundo y tercer grado), ocurren en hombres. En los registros por edad se tienen como principal afectados los adultos mayores y niños. Siendo las quemaduras en infantes, la quinta causa más reportada por lesiones no fatales en la infancia.

Debido a los casos antes mencionados, se debe de tomar con más responsabilidad el manejo de este combustible y realizar su mantenimiento periódicos a los sistemas de GLP. Una exposición prolongada a este gas puede causar: dolores de cabeza, desorientación, náuseas, vómito, tos y dificultad al respirar. En casos más graves se ha logrado evidenciar convulsiones, inconsciencia e incluso la muerte por asfixia. (Repsol, 2016)

La importancia que tiene el buen manejo del gas GLP es esencial. En pleno apogeo de la pandemia era más complicado realizar capacitaciones o campañas de prevención, es por esto que en 2020 se implementó el sistema de teleinspección por parte del cuerpo de bomberos de Quito, pudiendo realizar más de 25.000 intervenciones.

#### 1.4. Delimitación del problema

Debido a los aconticimientos de fugas de gas, incendios e intoxicaciones causados por el GLP que se han presentado en la ciudad de Guayaquil en los últimos años y de la mala manipulación de los habitantes sobre este gas doméstico, son unos de los factores fundamentales para el desarrollo de un prototipo de sensores detectores de GLP de bajo consumo conectados en una red de area personal.

El sistema hará la lectura de los datos críticos que le lleguen a manera de trama y posterior mostrará que la casa donde esté ubicado el nodo terminal emisor se encuentra en peligro emitiendo una alarma en el barrio, además de alertar al propietario. Esto no quiere decir que lo salvará con toda seguridad del peligro que este tipo de eventualidades conlleva.

La utilización de los módulos Xbee-s2c son los principales elementros que ayudarán a la coordinación y comunicación entre los sensores en la red ubicados en cada punto específico.

#### 1.5. Hipótesis de la investigación

El desarrollo del prototipo detector de gas de bajo consumo conectado en una zona estratégica dentro de la cooperativa 4 de marzo, alertará en el caso de presencia de gas a partir de un nivel de 300 ppm al dueño del domicilio y rondando los 1000 ppm emitirá la alarma comunitaria.

#### 1.5.1. Operacionalización de las variables

**Tabla 1.** Operacionalización de las variables dependiente e independiente.

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de
			medida
Prototipo de sensores	Cobertura.	-Alcance de señal	-Metros
conectados a una red de		inalámbrica.	
área personal con	Fuente de alimentación.	-Duración de	-Horas/minutos
alarma comunitaria.		baterías.	
		-Consumo por	-KW/hora
		cargador alámbrico	
	Comunicación.	-Serie y tramas en	-Bytes
		modo API	
Nivel de concentración	Sistema de lectura.	-Concentración de	Partes por millón
de GLP en el ambiente.		gas.	(ppm)
		-Concentración de	-Partes por millón
		humo.	(ppm)
	Comunicación de la	Serial (11500	-Bits/segundo
	alerta.	baudios)	

Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 1.6. Alcance del proyecto

La presenta propuesta se basa en la recolección de datos de los sensores conectados a los nodos esclavos, posterior a esto ir dirigidos hacia un nodo coordinador que active una alarma barrial e indique por medio de una pantalla lcd 16x2 el domicilio del cual proviene la fuga de gas y el valor medido.

Este proyecto no pretende reemplazar a los sistemas profesionales de seguridad, sino se basa en un prototipo de bajo costo que tampoco aborda notificaciones por medio de software, aplicaciones celulares o de página web.

El modo de transmisión de los nodos esclavos o dispositivos terminales será simplex debido a que solo alertará al nodo principal sin que esta reciba una respuesta de respuesta por parte del receptor para la activación de otro componente.

#### Capítulo II

#### Marco teórico

#### 2.1. Antecedentes del estudio

Según el autor (Llerena Guamán, 2018), en relación a su análisis explicó que debido a los avances tecnológicos de nuevos componentes electrónicos, permiten un mayor rendimiento, soporte, confiabilidad y seguridad en el diseño de prototipos inteligentes, siendo más reducidos en cuanto a tamaño y más potentes, por lo que son más manejables; siendo estas características esenciales las que necesitan los sensores detectores de gases.

Conforme a los autores (Falcón Barrionuevo & Florez Hende, 2019), de acuerdo a su investigación, determinaron que los sensores de la familia MQ son factibles para realizar prototipos de bajo costo, estos poseen mecanismos de calibración de sensibilidad a los gases ayudando a mejorar la lectura de concentración en el ambiente. El MQ-2 es ideal para sensar gas licuados de petróleo (GLP), mientras que el MQ-7 siendo un sensor de CO es un buen complemento para funcionar en conjunto.

De acuerdo con (Torres Rodríguez, 2020), según sus conjeturas expresó que el valor umbral límite (TLV) al que una persona puede estar expuesta a este gas es de 1000 ppm, sin que presente síntomas. En un rango de 5000 a 150000 ppm, este gas se vuelve potencialmente explosivo; mientras que, a partir de 500000 ppm el ambiente se vuelve asfixiante ocasinando efectos severos al cuerpo. Siendo ideal escoger valores menores de acuerdo al rango de detección del sensor a utilizar, antes que la exposición con este compuesto se vuelva peligroso.

Conforme al autor (Santana Sornoza & Vera Alarcón, 2020), explicó que en mayor parte el GLP está compuesto por propano y butano, independientemente cada uno tiene un rango mínimo de exposición; por lo que declara un valor de 300 ppm para empezar mediciones de este gas. Estos rango de mediciones van a depender del tipo de sensor que se esté utilizando, por lo que es recomendable el uso de módulos detectores de gas que se acerquen a esta medición o incluso menores para mayor fiabilidad en el sistema.

Según los autores (Estrella Vera & Jibaja Contreras Katiuska Joselyn, 2018), en base a sus deliberaciones expresaron que a pesar que el prototipo sea de larga duración, es necesario realizar mantenimientos preventivos por las condiciones climáticas y el polvo que existe en las zonas instaladas; así mismo, el sensor MQ-2 con vida útil de 5 años es recomendable cambiarlo o realizar un proceso de curado cada año como indica el fabricante. El estudio no cuenta con

otro sensor de CO o una alarma comunitaria en el caso de que no se encuentre una persona en el lugar del incidente.

Conforme al autor (Cárdenas Sánchez, 2020), en relación con su análisis explicó que en su red de sensores inalámbricos de un sistema de monitoreo, se optó por usar una topología tipo estrella debido a su sencillo despliegue, factibilidad y operabilidad al momento de transmitir información a un nodo coordinador o central para la activación de mecanismos como alarmas, mensajes de texto o llamadas celulares. Este tipo de redes cuentan con rutas únicas y directas sin algún intermediario, permitiendo un eficiente tráfico de información para WSN sencillas.

De acuerdo con el autor (Martínez Zárate & Durango Román, 2019), con respecto a su investigación, indicó que en el sistema de monitoreo de monóxido de carbono en tiempo real con tecnologia de internet de las cosas, está orientado para un solo hogar usando Wifi con conectividad IP para la comunicación con un servidor; por lo que debe tener conexión ininterrumpida al router y a internet para subir datos al servidor. Una desconexión o fallo del router supone que el sistema no se vea operativo, siendo dependientes del gateway. El sistema es de alto consumo por lo que no es factible el uso de baterías, siendo esta una de las desventajas.

Según el autor (Martínez Hernando, 2017), en su investigación indica que las motas o nodos sensoriales constan de un microcontrolador, sensores y dispositivo de transmisión/recepción. Una buena opción son los dispositivos Xbee que son usados en varios sistemas a nivel profesional por su fácil capacidad de crear redes de sensores con múltiples dispositivos basado en el protocolo Zigbee que sirve como alternativa tecnológica del wifi o bluetooth. Funcionan con la banda de 2.4 Ghz y con un alcance dependiendo de la condiciones ambientales o zonas concurridas, siendo una media de 30 a 50 metros de cobertura ideal para la comunicación en la red planteada.

#### 2.2. Fundamentación teórica

#### 2.2.1. Redes inalámbricas

Este tipo de redes permite la comunicación entre varios dispositivos de forma inalámbrica sin hacer uso de cables, cuya función principal es la conexión entre nodos, usando ondas electromagnéticas para su comunicación mediante estándares que sean compatibles con varios dispositivos. Usadas por su bajo costo de infraestructura en comparación a las redes de cableado, pero siendo más propensas a las interferencias.

Actualmente existen protocolos, funciones y sistemas de seguridad para brindar mayor protección a las redes inalámbricas, (Chuquitarco & Romero, 2018).

#### 2.2.2. Red de sensores inalámbricos (WSN – Wireless Sensor Netowork)

Las WSN comprenden un grupo de nodos sensores conectados entre sí en zonas determinadas, utilizados para el control y monitoreo de un entorno físico a controlar, y transmitir la información recogida de los dispositivos terminales permitiendo comunicar diversos canales hasta llegar a su destino. Se puede hacer uso de varias tecnologías y protocolos de comunicación inalámbrica establecidos por el creador del sistema. (Vera Briones, 2021)

Cada nodo dentro de la red funciona de manera independiente y los nodos sensores distribuyen la informacion leída en tiempo real; así mismo, el nodo coordinador es el que habilitará los actuadores adecuados en respuesta de la lectura recibida, para finalmente enviar los paquetes al gateway que los procesará y subirá a un host. (Durango Pantoja, 2018)

#### 2.2.2.1. Características

Las características principales de una red de sensores inalámbricas son las siguientes: (Mesías Basurto, 2016).

- Se integra bien con varias tecnologías y ciencias como agricultura, medicina, meteorología, etc.
- Se evita el uso excesivo de recursos debido a que no se usa un medio físico para la transmisión de información.
- Permite conectar un número ilimitado de sensores dependiendo de la zona y la función que tendrá la red.
- Utiliza comunicación broadcast, permitiendo que los sensores envíen información en simultáneo hacia los terminales receptores.
- Cuenta con un almacenamiento limitado.
- Las fuentes de alimentación de lo dispositivos terminales pueden durar meses o incluso el año sin necesitar un mantenimiento o cambio.
- Cuando presentan fallos en los dispositivos terminales, es más sencillo hacer una revisión técnica debido a que son indepenientes.

#### 2.2.2.2. Ventajas y desventajas

Como en todo conjunto de dispositivos conectados se tienen ciertas ventajas y desventajas cuando se transmite por un medio inalámbrico.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las redes WSN.

#### Variable Indicador

**Instalación:** No es necesario una infraestructura muy elaborada, no usa cables y siendo manejable para la instalación de algún nuevo nodo.

**Flexibilidad:** Si existe fallos en algún punto, la red puede continuar operando y enviando información hacia los demás nodos.

**Movilidad:** Se pueden agregar varios dispositivos siempre que se encuentre dentro de la cobertura de la red para realizar su instalación.

Cobertura: Se le pueden agregar más nodos sin tener alguna interferencia, además de ampliar la señal e instalar nuevas redes en conjunto.

Escalabilidad: El nodo coordinador debe soportar múltiples usuarios, permitiendo así una expansión con el uso de tarjetas inalámbricas.

Factibilidad de fallos: Al encontrarse ubicadas en zonas problemáticas o expuestas a condiciones climáticas no favorables, presentarán fallos en su transmisión.

**Tamaño de nodos sensores:** Debido a su tamaño, están limitados en cuanto a recursos de memoria, energía y hardware.

Rangos de medición: En las redes WSN para el ahorro de energía se suelen encontrar en modo dormido si se lo configura de esa manera.

**Ancho de banda:** Su ancho de banda es bajo, alcanza velocidades de 54 Mbps.

Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.3. Requerimientos

Para la elaboración de una red WSN se deben tener en cuenta algunos parámetros para su desarrollo, debido a que se puede prevenir o anticipar algún fallo a la hora de la implementación como pueden ser la distancia a la que se encuentra cada nodo sensorial,

zona en donde se ubicarán o la velocidad de transmisión que soporten estos dispositivos de comunicación inalámbrica.

**Distancia:** La distancia entre los nodos de una red es un factor importante a tener en cuenta, ya que esto involucra directamente el funcionamiento de la red por su monitoreo constante. El lapso de tiempo que se genera en el envío de información en estas redes, llegan a ocasionar latencia y por consiguiente pérdida de datos; debido a esto, es recomendable disminuir la distancia entre estos en toda la red para contar con una conexión más segura. (Zambrano Leones, 2019)

Velocidad de transmisión: En las redes de sensores inalámbricos se pueden usar varias tecnologías, por lo que la velocidad de transmisión dependerá de los módulos que se vayan a implementar en la red. Por eso al momento del diseño es ideal conocer la cantidad de bits que se pueden transmitir en un periodo de tiempo. Los más usados son Zigbee con una velocidad de 250 Kbps, mientras que Wifi con una velocidad de transmisión de 54 Mbps. (Zambrano Leones, 2019)

Consumo de energía de la red: Parte fundamental para nodos que se encuentren en la red, debido a sus constantes lecturas tendrán un mayor consumo de energía. En el caso de los dispositivos terminales se tiene la opción de programarlos como modo dormido para ahorrar energía, mientras que los nodos routers y el coordinador no cuentan con esta opción por lo que deben realizar tareas de enrutamiento y escuchando las lecturas para la activación de mecanismos. (Zambrano Leones, 2019)

#### 2.2.2.4. Topología

La topología de una red es cómo están distribuidos de manera física o lógica los dispositivos conectados para la comunicación entre sí mismos, donde se cuenta con un nodo principal o coordinador y nodos secundarios (routers o dispositivos finales), en el que se enlazan a un ruta para su transmisión, (Ortiz Sosa, 2020).

Se debe elegir la topología dependiendo del sistema que se quiera realizar, esto influenciará bastante a la hora de su operación ,debido a que se puede tener deficiencias en la red, pérdida de conexión, datos no enviados, etc.

**Topología estrella:** Como se observa en la figura 2 esta topología se tiene a los nodos sensores conectados de manera directa al nodo coordinador permitiendo una interacción individual con el gateway, esto genera una carga de red. El rendimiento de esta red depende del tamaño, debido a que si exise mayor cantidad de sensores se tendrá un mayor tráfico, (Ortiz Sosa, 2020).

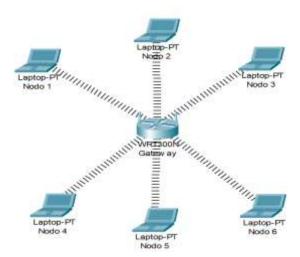


Figura 1. Topología estrella. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

**Topología malla:** Tambien llamada red Mesh, permite una conexión variada entre nodos haciendo posible la transmisión de datos de un nodo a otro como se observa en la figura3, eligiendo la ruta más óptima para su envío y recepción. Cuando algún nodo no esté en funcionamiento, la red encontrará un camino diferente para su comunicación sin que se vea afectada, (Ortiz Sosa, 2020).

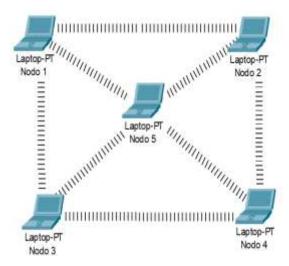


Figura 2. Topología malla. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

**Topología árbol:** En esta topología se hace uso de varias redes estrella, donde estarán enlazadas a un nodo troncal o coordinador. La comunicación comunicación se da desde los dispositivos terminales hacia los nodos de mayor jerarquía hasta llegar al nodo coordinador y posterior al gateway como se puede obervar en la figura 4. La caída de un nodo no afecta al funcionamiento de la red, (Ortiz Sosa, 2020).

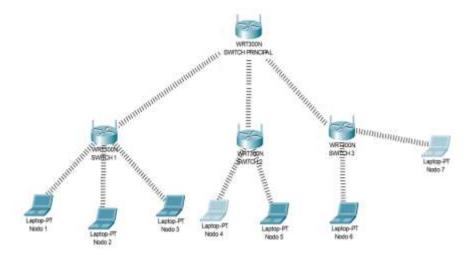


Figura 3. Topología árbol. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.5. Arquitectura

Las redes WSN están conformadas por un grupo de dispositivos que se encuentran ubicados de manera estratégica en una zona determinada para el control y monitoreo de un fenómeno físico. Se dividen en diferentes niveles dependiendo del propósito final de la red.

#### 2.2.2.6. Nivel físico

Son los elementos de la red encargados de la lectura de datos por medio de sensores que detectan eventos físicos y lo convierten en señales eléctricas. Constituidos por sensores, microcontrolador, módulos de transmisión inalámbrica y una fuente de alimentación independiente, (Parreño Sañicela & Solís Goyes, 2019).

#### 2.2.2.6.1. *Sensores de gas*

Los sensores de gas son dispositivos que pueden detectar uno o varios gases que se encuentren presentes en el ambiente. Existen diversos tipos de estos componentes, algunos son más sensibles a un cierto tipo de gas y otros cuyo funcionamiento es distinto, esto depende de la tecnología que esté usando y cumplen el mismo objetivo.

Estos dispositivos son configurables para poder ofrecer una mejor precisión en las mediciones. Es recomendable usarlos en zonas confinadas debido a que son más eficientes en este tipo de espacios, comunmente se utilizan para evitar explosiones de gases combustibles ocasionadas por fugas o algún tipo de avería en un sistema.



Figura 4. Sensores de gas. Información tomada de slideshare.net en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.6.2. Tipos de sensores de gas

En la variedad de sensores que existen, cada uno funciona de una manera diferente. Algunos sensores funcionan por absorción, que produce reacciones químicas dentro de un calentador que contiene cuando se pone en contacto con algún gas; mientras que otros funcionan por infrarrojo (Torres Rodríguez, 2020). Algunos de los tipos de sensores de gas se observan en la figura 5 y son los siguientes.

- Sensores infrarrojos.
- Sensores semiconductores.
- Sensores ultrasónicos.
- Sensores PID.
- Sensores catalíticos.
- Sensores electroquímicos.

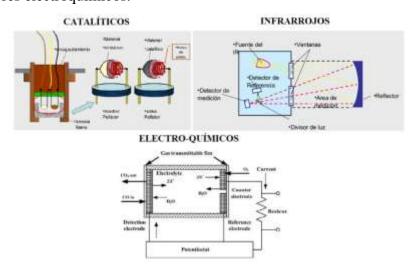


Figura 5. Tipos de sensores de gas. Información tomada de Siafa.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.6.3. Sensores electro-químicos

Estos sensores contienen dos electrodos que se encuentran sumergidos en un medio electrolítico en común y dividida por una membrana de electrolitos que es permeable al gas. Cuando el compononente está conectado y el gas entra al sensor a través de un capilar, se genera una reacción llamada redox (reducción-oxidación) que origina una corriente proporcional a la concentración de gas. (Morales Ortiz, 2020)

#### 2.2.2.6.4. Funcionamiento del sensor MQ-2

El sensor posee un sistema calentador que aumenta la temperatura interna del componente permitiendo reaccionar ante la presencia de gas y cambiar el valor de la resistencia. Los sensores sencillos necesitan una conexión a una resistencia de carga para cerrar el circuito y poder realizar la división de tensión para leer el dato por medio de un microcontrolador, por lo que la familia MQ facilitan estas conexiones.

Este componente es un sensor electroquímico que se encuentra en forma de módulo y tiene una alta sensibilidad en la detección de GLP. Antes de su uso es recomendable tenerlo en funcionamiento entre 12 y 48 horas para mediciones más precisas, además de alimentarlo con 5 voltios para evitar mediciones poco fiables.



Figura 6. Módulo sensor de gas MQ. Información tomada de Prometec.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.7. Nivel de enlace

Es el medio físico por donde se realiza la transmisión de información, en este caso es un medio no guiado ya que no se hace uso de cables. Es parte del espectro electromagnético y dependiendo el protocolo a usar se le determinará cierta frecuencia, entre los más comunes de 433 Mhz, 2.4 Ghz.

#### 2.2.2.7.1. Xbee S2C

Los xbee son modulos de bajo consumo usados como transmisor y receptor de radio comunicaciones basado en el estándar 802.15.4. La mayoría de los componentes de la familia xbee tienen un ancho de banda 5Mhz por cada canal, con una frecuencia de 2,4 Ghz y dependiendo el modelo cuentan una gran variedad de antenas.

Cuenta con una topología de red que puede ser punto-punto o punto-multipunto para conexión de varios sensores y puede trabajar en temperaturas desde -40 hasta 85 grados centígrados. Funciona con alimentación de 3.3 v y brinda 15 entradas y salidas digitales, además es actualizable al protocolo zigbee o digimesh con encriptación AES de 128 bits. (Digi, 2022)



Figura 7. Xbee s2c. Información tomada de Xbee.cl en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.7.2. Modo de funcionamiento del Xbee

Los módulos Xbee pueden funcionar en dos modos; modo transparente (AT) o modo API, que pueden configurarse por medio del software XCTU.

Modo transparente (AT): La información que se emite por el Tx del módulo se envía sin modificaciones al destino, por lo que si se desea cambiar este tipo de funcionamiento se debe configurar en el software XCTU. Una desventaja de este modo es que no permite identificar al emisor del mensaje, es más usado para comunicaciones punto a punto debido a su fácil manejo.

**Modo API:** Trabaja por medio de tramas, haciendo un poco más complicada la programación ya que se deben definir algunos parámetros como la dirección a la que llega, tamaño del mensaje y valores como un periodo. Es usado para transmitir datos a varios dispositivos, permite identificar la dirección de un paquete recibido, comprueba el estado de envío, ayuda a administrar un diagnóstico avanzado de la red.

#### 2.2.2.7.3. Xbee Explorer USB

Este componente es esencial para la configuración del xbee a utilizar, permitiendo una comunicación serial con la computadora por medio de los puertos USB de la misma y el

puerto mini USB del xbee. Cuenta con su propio software libre para su configuración llamado XCTU y su configuración se la realiza por medio del Xbee Explorer.



Figura 8. Xbee Explorer USB. Información tomada de Xbee.cl en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.7.4. Shield Pro Xbee

Los Shield Pro Xbee son una especie de placa que se montan en el arduino y a su vez sobre ella se instala el modulo Xbee, disminuye la cantidad de conexiones necesarias para comunicar estos dos componentes y permite programarlos mientras estén conectados en la misma placa, aunque no es conveniente por lo que se vuelve más complejo. (Chaglia Mejia, 2019)



Figura 9. Shield pro xbee v3. Información tomada de avelectronics.cc en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.7.5. Microcontroladores

Son como una mini computadora de bajo consumo y bajo costo encargada de procesar los datos de un sistema. Comunmente son usados con sensores y componentes de transmisión para monitorear algún fenómeno, se encarga de procesar la información recogida y tomar decisiones según como fueron programadas.

#### 2.2.2.7.6. Arduino uno

Es un dispositivo que contiene una placa microcontroladora y varios componentes electrónicos para su funcionamiento permitiendo conectar diversos módulos. Contiene pines para lecturas de valores analógicos y digitales que sirven de interacción con el microcontrolador, además de que se le pueden implementar tecnologías inalámbricas compatibles como Bluetooth, Zigbee, Ethernet y Wifi .

Para su configuración se debe conectar el microcontrolador a la computadora con la ayuda del cable USB con el que viene e instalar el IDE Arduino que es el entorno de desarrollo integrado propio de la franquicia. Con esto se pueden crear sistemas prácticos para el día a día que funcionen en base a una entrada o salida sea analógica o digital para la manipulación de diferentes equipos.



Figura 10. Parte frontal de Arduino uno. Información tomada de Pluselectric.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.7.7. Estándar IEEE 802.15.4

Se deriva de uno de los estándares más conocidos como el IEEE 802 creados para redes LAN y MAN hasta que se fue creando sub estándares y agregando nuevas características surgiendo la nomenclatura 802.xx. Los ingenieros que se especializaban en el estándar 802.15 se enfocaron en redes inalámbricas de área personal con un alcance corto y baja velocidad, integrando el Bluetooth en esta categoría debido a que eran diferentes a las redes WLAN. El estándar IEEE 802.15.4 define los niveles físicos y de enlace en las red, creadas para sistemas que necesitaban un bajo consumo de energía y aumentando su autonomía. (Cardador Bravo, 2017)

Algunas características que comprende este estándar es su velocidad de transmisión dependiendo la frecuencia en la que opere, en el caso de 868 Mhz con 20kps, mientras que a 915 Mhz con 40 Kps y en 2.4 Ghz con una velocidad de 250 Kps. Cubren distancias de 30 metros o más en línea de vista con una latencia de 30 ms y conectar aproximadamente 64000 nodos por cada máster que se tenga en la red.

#### 2.2.2.8. Nivel de Aplicación

En este punto se recibe la información que es emitida por los nodos sensores dentro de la red y redirigirla al equipo designado para su almacenamiento. Por lo general en este nivel se activan funciones o actuadores al recibir la orden del coordinador (Ortiz Sosa, 2020).

# 2.2.2.8.1. Buzzer pasivo

Es un componente electrónico que es capaz de generar un sonido continuo o periódico cuando recibe una señal, es usado para advertir un evento o recordatorio. Funciona con microcontroladores y cuenta con tres pines, tierra y alimentación de 3.3 a 5V y el del medio como entrada o salida.



Figura 11. Buzzer pasivo. Información tomada de Ideastronic.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.8.2. LCD 16X2

Es una pantalla que sirve para mostrar caracteres alfanuméricos, comunmente usado para presentar mensajes predeterminados o datos recibidos de un sensor. Tiene una dimensión de 16x2 debido a que posee dos filas y cada uno con 16 espacios para colocar caracteres, es compatible con algunos microcontroladores conocidos en el mercado como Arduino, Raspberry Pi, PIC's, NodeMCU, ESP32 y otros componentes electrónicos para hacer más fácil su conexión.



Figura 12. LCD 16x2. Información tomada de Eneka.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.8.3. Módulo I2C

Es un componente electrónico que es compatible con los módulos display LCD1602 y LCD2004, permite la comunicación entre estos y el microcontrolador. Brinda la facilidad en cuanto a conexión, debido a que se puede soldar a los pines del LCD y solo usar 4 pines de la interfaz I2C que son GND, VCC a 5V, SDA donde se envían los datos en forma bidireccional y SCL por donde el microcontrolador genera una señal de reloj para sincronizar el flujo de datos.



Figura 13. Módulo I2C para LCD. Información tomada de Geekbotelectronics.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 2.2.2.8.4. Módulo GSM/GPRS SIM800L V2

Este módulo permite agregar SMS, datos, voz y texto a cualquier prototipo con el que se trabaje usando un microcontrolador. Es Quad-band, por lo que trabaja en frecuencias GSM 850Mhz, EGSM 900Mhz, DCS 1800 Mhz y PCS 1900 Mhz. Con este módulo se puede realizar y recibir llamadas, así como también enviar mensajes de texto, comunmente usado para sistemas que requieren una advertencia hacia un usuario por medio de estas funciones.



Figura 14. Módulo GSM/GPRS SIM800L. Información tomada de Electronilab.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

### 2.2.2 XCTU

Es el software que se usa para la configuración de los módulos Xbee por medio de una interfaz gráfica sencilla, el Xbee s2c debe estar montado en el Xbee Explorer USB y conectado a la computadora para que el software pueda detectarlo. Permite realizar pruebas de envío y recepción de datos a otros dispositivos Xbee que se encuentren conectados en la misma red.

Por medio de este software se puede configurar los modos de operación que se quiera utilizar para la transmisión. Para que dos módulos Xbee se comuniquen de manera inalámbrica, es necesario configurar uno como coordinador y otro como dispositivo final,

deben compartir la misma PAN ID para que el nodo sensorial busque al dispositivo en la red que hace de receptor.



Figura 15. XCTU Software. Información tomada de Digi.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 2.2.3 IDE de Arduino

Es un software de código abierto basado en lenguaje C++, permite gestionar procesos de una manera más sencilla y rápida. El IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), contiene una sección en donde se puede escribir el código, cuenta con un compilador y un depurador como cualquier otro entorno de programación.

El IDE cuenta con una barra de acceso rápido donde se puede verificar el código y librerías, también permite cargar el código al microcontrolador de manera directa, abriro o crear diferentes archivos de ejecución y abrir un monitor serie en donde se podrán observar los datos procesados a una velocidad o baudios determinados.

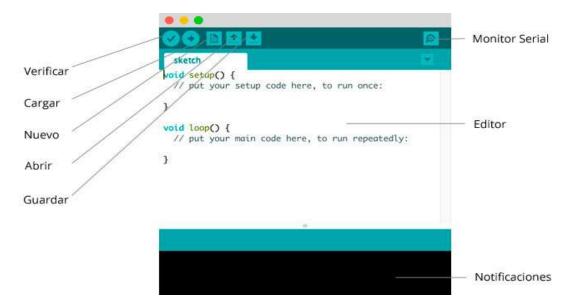


Figura 16. Partes del IDE Arduino. Información tomada de Aprendiendoarduino.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 2.2.4 El gas licuado de petróleo GLP

El gas licuado de petróleo o GLP está compuesto por un 95% propano y un 5% por butano y varios gases, la mezcla de estos gases resulta inflamable e incoloro. Se le agrega un odorante llamado etil mercaptano para detectar por medio de su olor alguna fuga de gas en la zona donde se encuentren ubicados los cilindros, siendo esto un estándar internacional para todas las importadoras.



Figura 17. Composición del GLP. Información tomada de Gasnova.co en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 2.2.5 Límites de exposición a Gas Licuado de Petróleo

Según la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) indica que la cantidad máxima a la que las personas pueden estar expuesta (PEL) al GLP es de 1000 ppm antes de que empiecen los efectos graves para el cuerpo, debido a que un hidrocarburo puede irritar los ojos y causar desorientación, náuseas o mareos. (Romero Rodríguez & Toloza Pinto, 2019)

El gas licuado de petróleo en contacto con el aire produce una reacción química llamada combustión completa que puede generar dióxido de carbono (CO2) y cuando esta combustión es incompleta por falta de aire se produce monóxido de carbono (CO), siendo ambas muy peligrosas para la salud.

**Tabla 3.** Límites de exposición al GLP

Ingredientes	Volumen	PEL-OSHA	TLV-ACGIH
Butano			
Formula: C4h10			
CAS: 106-98-9	5%	1000 ppm	Asfixiante simple
RTECS#: SE7545000			

Propano

Formula: C3H8 95% 1000 ppm Asfixiante simple

CAS: 74-98-6

RTCES#: SE7545000

Información tomada de la investigación web. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 2.2.6 Norma para instalación de gases combustible en uso residencial, comercial e industrial (NTE INEN 2260)

Siendo los gases combustibles potencialmente peligrosos a manos de personas no capacitadas o infraestrucutas de sistemas que no han sido previamente estudiados se crea esta norma, con el fin de informar las disposiciones técnicas y mínimos detalles de seguridad que se deben realizar al diseñar, construir, revisar y operar las zonas beneficiarias del GLP para uso residencial, comercial o industrial.

Así mismo, se especifican la ubicación de estos equipos y artefactos que hacen uso de este gas, por medio de pruebas, supervisión, comprobaciones técnicas de conexión hasta su funcionamiento. Esta norma clasifica a los gases del siguiente modo:

**Tabla 4.** Características de las familias de gases.

Familia	Nombre del	Componente	Observación	Densidad	Odorizante
	Gas	Principal			
1ra.	Gas	Metano+H2+CO	Tóxico en	< 1	
Familia	manufacturado		desuso		
2da.	Gas natural	Metano	No tóxico	< 1	Tetrahi-
Familia			Inodoro		Drotiofeno.
			Incoloro		
3era.	GLP	Propano	No tóxico	>1	Mercaptano
Familia		Butano	Inodoro		
			Incoloro		

Información tomada de la investigación web. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 2.3. Marco legal

Para el desarrollo de la presente investigación se detallan las bases legales que se toman como referencia para realizar el proyecto, establecidos por la Constitución de la República del Ecuador, Ley orgánica de Telecomunicaciones y Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios el Ministerio de Inclusión Económica y Social.

En el Artículo 30 de hábitad y vivienda de la Constitución de la República del Ecuador se indica que las personas tienen derecho al buen vivir independientemente de su situación social o económica, por lo tanto los hogares deben ser seguros y salvos para las familias.

En el artículo 16 de la constitución de la República promueve el uso y acceso universal a las tecnologías de la información y comunicación de manera individual o colectiva. Apoya el uso de las tics y su desarrollo en la creación de redes de comunicación, además del acceso y uso de toda forma de comunicación visual, auditiva, sensorial y la disposición en igual de condiciones de las frecuencias del espectro radioeléctrico públicas y privadas para el beneficio de las comunidades.

En el Artículo 9 de la Ley Orgánica de las Telecomunicaciones se expresa que las redes inlámabricas o por cables deben abarcar una zona determinada según el estudio realizado, y también que debe comprender su construcción, integración e intalación hasta que la red sea funcional como aporte al beneficio y seguridad de las familias de las distintas comunidades del Ecuador.

En el artículo 12 de la Ley Orgánica de las Telecomunicaciones indica que el estado impulsa el desarrollo de redes inalámbricas y prestación de servicios de telecomunicaciones que inciten la concurrencia de prestaciones y favorezcan el crecimiento tecnológico del país, mientras estas aporten el conocimiento a los ciudadanos.

En el Artículo 223 del Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios el Ministerio de Inclusión Económica y Social indica que los sistemas de detección y alarma de incendios deben tener la funcionalidad de activar un mecanismo de respuesta a las personas probablemente afectadas, activando señales acústicas u ópticas que llamen la atención en el área afectada. Por lo tanto estos sistemas deben contar con estas características para que brinden una mayor seguridad.

# Capítulo III

# Metodología

# 3.1. Metodología

# 3.1.1. Método bibliográfico

Según el autor Goris (2016) indica que el primer paso que se debe realizar ante un trabajo de investigación es la revisión bibliográfica, con esto se obtiene información preliminar de un tema y se aproxima al conocimiento del mismo, siendo clave para la identificación de lo que se conoce y lo que se debe conocer.

Con este método es posible obtener la información necesesaria para la elaboración del documento, por medio de búsquedas en artículos científicos, documentos, libros, tesis, páginas web, etc; así estructurar conceptos acorde al entendimiento, fuentes de donde proviene la extracción de información, así como también sus citas. Este método permite obtener información y tener un preámbulo de características y funcionalidades para la fabricación del prototipo.

# 3.1.2. Método de campo

Con la ayuda de este método que cuenta con una sucesión de procesos es posible el uso de herramientas para la creación de encuestas o elaboraciones de entrevistas que permitan obtener información sobre los tipos de sistemas que usan en las cocinas y el conocimiento que se tiene sobre los sensores de gas para la implementación del prototipo en barrios de la ciudad de Guayaquil.

#### 3.1.3. Método deductivo

El método deductivo ayuda a extraer información y está centrado en el razonamiento; la deducción que realizan las personas les facilita pasar de un plano general a hechos específicos mediante el análisis de un tema, sacar conclusiones lógicas y que validen la investigación que inicialmente parte como una agrupación de proposiciones.

Por medio de la recolección de datos se pueden interpretar diferentes criterios que ayuden en la investigación y serán de suma importancia en el proceso de elaboración de caracterísicas particulares para el prototipo, además de comprender por medio de la investigación las distintas particularidades y funcionalidades internas y externas de los componentes que se abarcan en el tema de estudio.

La aplicación de este método se realiza una vez obtenida la recopilación de información por medio de formularios, se hace un análisis de las respuestas de cada pregunta

realizada a los encuestados para determinar por medio de los resultados una conclusión más objetiva del conocimiento y preferencias de las personas acerca de los sistemas detectores de gas que validen y apoyen la investigación.

# 3.1.4. Método experimental

En el método experimental el autor identifica sus variables de estudio para manipularlas y llevar un control del incremento o disminución de las mismas para poder observar el efecto que tienen, así poder describir algunas causas que produzcan una situación en particular en el estudio.

Este método facilita la elaboración del prototipo a desarrollar con todos los datos obtenidos de los procesos anteriores. Así mismo, permite efectuar pruebas en cada etapa de la elaboración del mecanismo pudiendo obtener diversos fallos que se pueden ir corrigiendo en pruebas posteriores hasta alcanzar el funcionamiento esperado.

# 3.1.5. Población y muestra

#### **3.1.5.1.** Población

La encuesta se elaboró en las viviendas de la Cooperativa 4 de marzo, iniciando desde la manzana 609 hasta la 618 y se conoce que cada manzana consta de alrededor de 16 casas por lo que la población estimada es de 144 viviendas.

#### 3.1.5.2. Muestra

La técnica adaptada a la investigación es la encuesta, que permitirá producir la información sobre la necesidad de elaborar la propuesta. La herramienta para la extracción de información se aplica a los moradores del sector y para establecer el tamaño de la muestra se hace uso de la siguiente ecuación para poblaciones finitas conforme a la Universidad de Libertador de Venezuela Cirterplan:

$$n = \frac{m}{e^2(m-1)+1}$$

#### Variables de la ecuación

 $m = Tamaño de la población \rightarrow 144$ 

 $e = Error de estimación \rightarrow 0.06$ 

n = Tamaño de la muestra

### Resolución de la ecuación

$$n = \frac{144}{(0.06)^2(144 - 1) + 1}$$

$$n = \frac{144}{(0.06)^2(144 - 1) + 1}$$

$$n = \frac{144}{(0.0036)(143) + 1}$$

$$n = \frac{144}{(0.5148) + 1}$$

$$n = \frac{144}{1.5148}$$

$$n = 95.06$$

$$n = 95$$

El número de viviendas a realizar la encuesta es de 95

#### 3.1.6. Análisis de la encuesta

# 1. ¿Qué tipo de sistema utiliza en la cocina de su hogar?

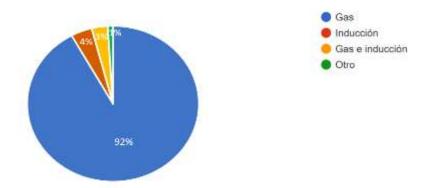


Figura 18. Sistemas más usado en las cocinas de los encuestados. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Se puede observar que el 91.6% de los encuestados usan cocinas que funcionan con gas, el 4% utilizan el sistema de inducción, el 3% hacen uso de ambos sistemas y el 1% usa otro. Los encuestados manifestaban que usar el gas es más económico en comparación a los sistemas de inducción y que esos representaría un cambio de set de cocina como también costo de instalación.

# 2. ¿Conoce algún caso de fuga de gas que haya sucedido en casa de algún familiar o ha experimentado alguno en su hogar ?

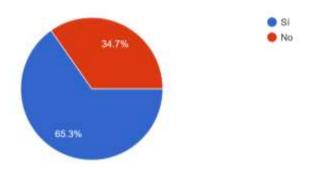


Figura 19. Conocimiento de casos de fugas de gas. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

El 65.3% respondieron que sí han escuchado casos de fugas de gas o lo han experimentado, mientras que un 34.7% indicaron que no. Algunos encuestados expresaron que en las cercanías de su domicilio no han presenciado un caso de fuga de gas, pero se han enterado por noticias, periódicos y redes sociales sobre casos en otras zonas y el riesgo que conlleva un evento como este.

# 3. ¿Conoce de algún sistema de detección de fugas de gas doméstico?

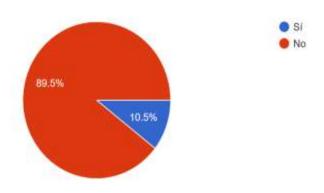


Figura 20. Conocimento de sistemas sensores de gas. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

El 89.5% de los encuestados respondieron que no conocen de un sistema detector de fugas de gas y un 10.5% indicaron que sí conocen. Algunos encuestados expresaron que conocen la existencia de estos sistemas, sin embargo no están informados de sus características o como se realiza el sensado.

# 4. ¿Colocaría en su hogar un sistema para detección de fuga de gas (GLP)?



Figura 21. Porcentaje de encuestados dispuestos a colocar un sistema detector de gas. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

El 96.8% indicaron que colocarían un sistema detector de fugas de gas en su hogar, mientras que el 3.2% eligieron que no. Algunas personas indicaban que implementarían un sistema así en su hogar por las consecuencias que pueden llegar a causar una fuga de gas, otros encuestados expresaron que no confían tanto en la tecnología para una implementación en su domicilio.

# 5. ¿Según su preferencia, cual de las siguientes opciones elegiría usted para alimentar el sistema de detección de gas de uso domestico?

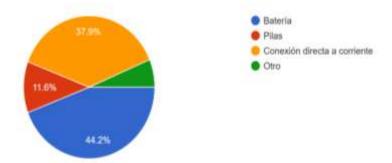


Figura 22. Tipo de alimentación para el sistema detector de gas. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

En esta pregunta el 44.2% de los encuestados escogieron la batería como fuente de alimentación del sistema, un 37.9% prefirió el uso de conexión directa a la corriente, el 11.6% el uso de pilas tradicional AA y AAA y el 6.3% eligió otro. Dado que depende de la persona el sistema que prefiera, algunos manifestaron que hacer una combinación entre batería o pilas y conexión directa a corriente sería mejor, comparándolo con parlantes bluetooth y radios con alimentación similar.

6. ¿Está usted de acuerdo con que el sistema cuente con la facultad de realizar llamadas y enviar mensajes de alerta a un celular a su elección en caso de detectarse una fuga de gas en su hogar o vecindario?

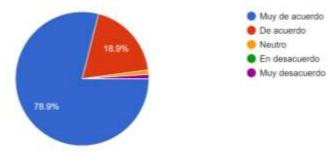


Figura 23. Escala de acuerdo y desacuerdo para tener un método de notificación celular. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Se observa que un 78.9% de los encuestados están muy de acuerdo y el 18.9% está de acuerdo, sumando un total de 97.8% en un nivel de acuerdo. Estos resultados muestran que la mayoría de los encuestados indicaron que es bueno que el sistema cuente con un sistema de notificación al propietario de la casa en caso de alguna fuga de gas.

7. ¿Está de acuerdo que el sistema active una alarma comunitaria en su sector en caso de que exista una fuga de gas potencialmente peligrosa en su hogar o cerca de su domicilio?

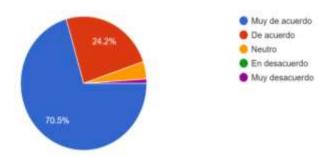


Figura 24. Porcentaje de acuerdo a la alarma comunitaria. GLP. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

El 70.5% de los encuestados respondieron muy de acuerdo, el 24.2% respondieron de acuerdo, el 4.2% neutro y 1.1% muy en desacuerdo. Algunas personas expresaron que tener una alarma comunitaria sería necesario si la mayoría implementara este tipo de sistemas en sus hogares y evitar accidentes que terminen en daño materiales e incluso perder la vida.

# 3.1.7. Requerimientos del prototipo

Para la realización del prototipo se busca usar una tecnología que permita crear una red inalámbrica y conectar varios sensores en distintas ubicaciones, que se cuente con un bajo consumo para operar con una larga duración sin que se vea excedido el consumo energético, debe adaptarse a redes que operen en interiores y exteriores, además de que no se requiere de mucha capacidad y velocidad de datos para la construcción del prototipo.

En el caso del módulo sensor que se empleará, se necesita que sea capaz de medir valores de concentraciones de gas en ppm en un rango de 100 - 10000 que permita determinar por medio de la programación los niveles mímos y máximos de exposición al GLP; se busca que sea capaz de trabajar con una larga duración de 5 años o más de vida útil.

Se requieren dispositivos que sean compatibles con la tecnología inalámbica que se adapte al proyecto, como en el caso sensores y microcontroladores capaces de trabajar en conjunto con una red; también se requiere conectar múltiples nodos en una sola red sin que se sature el nodo coordinador o gateway.

#### 3.1.8. Requerimientos de usuario

Para el usuario se necesita que el diseño de la red trabaje en las dimensiones de cada casa del sector que son de 96 m² y cada dispositivo terminal sea capaz de enviar la alerta al coordinador ubicado en medio de la cuadra. El diseño del sensor debe ser intuitivo y fácil de manejar, para que cualquier persona pueda instalarlo sin complicaciones en sus cocinas, el sistema coordinador debe contar con la capacidad de resistir el ambiente exterior.

# 3.1.9. Requerimientos del sistema

Para la creación del sistema se necesita una plataforma o entorno de desarrollo de código abierto capaz de crear firmwares para controlar los componentes electrónicos de la red; el código para el sistema se ejecuta de manera secuencial, por lo que debe ser sencillo para no ocupar mucho espacio en memoria y estar formado por dos partes: el firmware para el nodo sensor y otro para el nodo coordinador.

En el sistema se debe poder recibir los datos de manera inalámbrica y contar con funciones o métodos capaces de interpretar la información que llega en el firmware del coordinador y realizar sus respectivas validaciones, además de trabajar en conjunto con las diferentes línea de código de los otros componentes que se usarán.

# 3.1.10. Comparativa de tecnologías

Existen algunas opciones en tecnología inalámbrica dependiendo de las necesidades de la red, se toma como referencia para 802.11 b/g/n el nodenmou v2, para bluetooth el HC-5 y xbee s2c para zigbee en el parametro de voltajes y corriente. En la siguiente tabla se muestra una comparativa entre las tecnologías inalámbricas más usadas:

**Tabla 5.** Comparación entre tecnologías inalámbricas.

Tecnología	Autonomía Voltaje IN /		Rango	Velocidad de	Capacidad de
	con batería	Corriente OUT	( <b>m</b> )	transmisión	red (nodos)
Zigbee	365 días	3V a 3.4V / 30 mA	10-100 m	250 kbps	65000
Bluetooth	7 días	3.6V a 6V / 50 mA	10 m	3 Mbps	8
802.11 b/g/n	1 día	5V / 350 mA	100 m	54 Mbps	32

Información tomada de la investigación web. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Debido a la autonomía que ofrece la tecnología zigbee, el rango y capacidad de crear varios nodos, es la tecnología elegida para el desarrollo del proyecto. Permite larga duración de un nodo con el uso de baterías, tiene un rango aceptable en cuanto al promedio de las dimensiones de las casas de la zona donde se realiza el estudio y no se necesita gran cantidad de datos a la hora de transmitir a los demás dispositivos.

Destaca su uso sencillo y facilidad de incorporar más nodos a la red. Además, la capacidad que tiene de conectar varios dispositivos sin saturar la red final es excelente para la elaboración del diseño del prototipo.

#### 3.1.11. Comparativa de microcontroladores arduino

Para la elección del microcontrolador a usar en el prototipo, se buscaron las opciones más económicas, de uso sencillo, de amplia variedad de información en la web y que brinde compatibilidad en cuanto a conexiones con distintos módulos.

**Tabla 6.** Características de microcontroladores Arduino.

Modelo	Procesador	EEPROM	Entradas/salidas	Vin	Precio
Arduino		/ SRAM	Analógicas/digitales	8	
Nano	ATmega328	1 KB / 2 KB	8/0 – 14/6	7 – 12 V	\$ 9.00
Uno	ATmega328p	1 KB / 2KB	6/0 - 14/6	7-12~V	\$ 12.00
Leonardo	ATmega32u4	1 KB / 2.5 KB	12/0 - 20/7	7-12~V	\$ 15.00
Mega	ATmega2560	4 KB / 8 KB	16/0 - 54/15	7-12~V	\$ 19.00

Información tomada de la investigación web. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

El microcontrolador escogido para la realización del prototipo fue el arduino uno, debido al fácil manejo con los pines y mejor procesador en cuanto al arduino nano. Además de ser uno de los más usados para proyectos con sensores en laboratorios y tener compatibilidad con los dispositivos Xbee por medio de módulos Shield a diferencia del leonardo ya que requiere de ciertas modificaciones para funcionar. Por otro lado el precio es más reducido en comparación al arduino leonardo y mega, siendo esto suficiente para empezar y aprovechar los recursos que brinda el fabricante en cuanto a software, tarjetas y librerías disponibles en su página oficial.

# 3.1.12. Comparativa entre sensores de GLP

En el mercado existen diversos tipos de sensores como se ve en la figura 5. Siendo los electroquímicos los más comunes, en cuanto a compatibilidad con arduino se pueden encontrar algunos módelos ya sea en forma de módulo o únicamente el sensor.

**Tabla 7.** Comparación entre sensores de GLP.

Modelo	Voltaje	Sustancia	Vida útil	Rango de	Precio
				detección	
MEOS ZB	220 V	GLP, CH4	10 años	100-10000 ppm	\$ 22.00
-ZGP					
MQ-2	5 V	GLP, butano, humo,	5 años	300 – 10000 ppm	\$2.50
		alcohol, metano.			
MQ-5	5 V	GLP, Gas natural,	5 años	200-10000 ppm	\$4.00
		isobutano, propano			
MQ-6	5 V	GLP, butano	5 años	200-10000 ppm	\$4.50
MQ-306A	0.9 V	GLP, butano	5 años	1000-3000 ppm	\$1.25

Información tomada de la investigación web. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

El sensor MEOS ZB-ZGP está enfocado en la tecnología zigbee y para el tipo de redes que se propone pero es diseñado más para casas inteligentes, además de tener un valor muy elevado; no se encuentra en el enfoque del proyecto debido a que no se realiza la vinculación con una plataforma o una aplicación móvil por lo que no sería aprovechado lo suficiente.

El sensor MQ-2 y MQ-5 son muy parecidos en cuanto a la detección de sustancias como el GLP, rango de detección y vida útil. El proyecto se basa en fugas de GLP, estas pueden provocar incendios o alguna explosión, es por esta razón que se escoge el MQ-2, ya que tiene un rango de medición aceptable para lo que se busca en el proyecto y su precio comparado con el zigbee es menos costoso y también es capaz de detectar otros tipos de compuestos del que está hecho. El rango de detección es menor, en la práctica se puede calibrar este sensor regulando la sensibilidad del potenciometro que posee en la parte posterior y dejarlo que realice mediciones antes de su uso por un periodo de entre 24 a 48 horas como lo indica el fabricante.

#### 3.1.13. Comparativa entre Xbee

Los módulos más conocidos que usan tecnología zigbee son los xbee fabricados por la empresa Digi, son compatibles con los microcontroladores arduino y para facilitar las conexiones usan shields para su funcionamiento, algunos módulos xbee cuentan con diferentes características a pesar de usar la misma tecnología como se muestra en la tabla 6.

Tabla 8.	Comparación	entre dis	positivos	Xbee.
----------	-------------	-----------	-----------	-------

Modelo	Rango	Rango	Sensibilidad del	Frecuencia	Precio
	interior	exterior	receptor		
Xbee S2C	60 m	1.2 km	-100 dBm/-102 (boost)	ISM 2.4 GHz	\$ 37.00
Xbee 3	60 m	1.2 km	-103 dBm	ISM 2.4 GHz	\$ 45.00
Xbee S2C Pro	90 m	3.2 km	-101 dBm	ISM 2.4 GHz	\$ 55.00
Xbee S3B Pro	600 m	24 km	-110 dBm	ISM 900 MHz	\$ 70.00

Información tomada de la investigación web. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Debido a la escacez de dispositivos xbee no se cuentan con muchos modelos para elegir, se tienen los modelos más populares en pocas tiendas de electrónica de Guayaquil. El modelo escogido para realizar el prototipo es el xbee S2C debido a su bajo costo y sus especificaciones similares con los otros dispositivos, por lo que no se necesita mucho rango o sensibilidad y puede cumplir satisfactoriamente la propuesta del proyecto.

En comparación con los otros modelos como en el caso de los Pro cuentan con una mejoría en cuanto a hardware y con un mayor alcance pudiendo llegar hasta kilómetros en línea de vista; a costo de ello se tiene un mayor consumo en potencia y la red inalámbrica planteada no requiere de tanta cobertura, además de que estos modelos son más caros.

Debido a la popularidad de los modelos mostrados en la tabla 6, existe mayor documentación en la web sobre como usar estos módulos; además cuentan con actualizaciones disponibles por medio del software XCTU, también se debe tener en cuenta que algunos modelos no son compatibles entre sí a pesar de ser de la misma familia. La interfaz de datos en serie del xbee S2C es UART y SPI, siendo este último incorporada en este modelo para proveer una alta velocidad en la transmisión de datos y mejorar la conexión con algunos microcontroladores; cuando se requiere trabajar con estos procesadores y xbee, para facilitar su conexión se debe buscar un shield compatible con estos.

# 3.1.14. Esquema del sistema

Los sensores son los encargados de realizar las lecturas correspondiente del ambiente para enviarlas hacia el microcontrolador en donde se almacenarán las lecturas y se validará si cumplen o no con la condición y ejecutar una acción en base a la decisión programada como se muestra en la figura 25.

Cuando el nodo sensor valida la condición programada, enviará una señal inalámbrica hacia el nodo coordinador que también realizará su comprobación y determinará si descarta los datos recibidos o habilita los actuadores que se encuentran en la capa de aplicación.

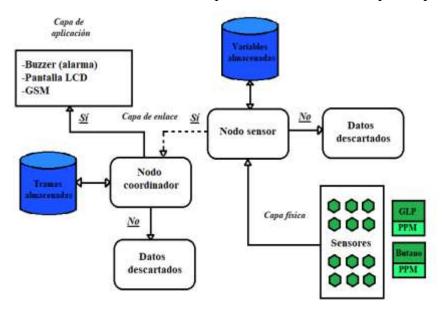


Figura 25. Esquema del sistema. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 3.1.15. Diagrama de flujo de nodo sensor

Como se observa en la figura 26 el nodo sensorial inicia con una velocidad de transmisión de 9600 baudios, la alarma configurada como salida (OUTPUT), el pin del Xbee

también como salida en LOW y un tono de encendido para verificar que el sistema se inició correctamente.

El sensor MQ-2 inicia la lectura de algún evento físico en el ambiente y los datos se van almacenando en la variable GLP, en el microcontrolador se configura la condición y valida si el dato recibido es mayor a 300 ppm activará la alarma del nodo sensorial, el pin del Xbee como HIGH indicando el cambio de estado en la transmisión hasta que se interrumpa con un botón de apagado. En el caso de que las lecturas sean menor a 300 ppm no activará nada y continuará realizando más mediciones.

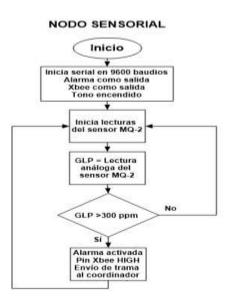


Figura 26. Diagrama del nodo sensorial. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 3.1.16. Diagrama de flujo de nodo coordinador

Como se muestra en la figura 27 el nodo coordinador también inicia con una velocidad de transmisión de 9600 baudios, la alarma configurada como OUTPUT e iniciando el LCD para presentar en pantalla algún mensaje de un evento. El nodo coordinador se encarga de recibir la trama bytes y realizar las debidas validaciones.

En las lecturas seriales que se reciben, se almacenan los 20 primeros datos en un arreglo llamado trama. Se realiza la condición verificando que los datos de la trama sean correctos, en donde el primer byte es el de inicio 0x7E, el segundo es la longitud mínima 0x00, el tercero es la longitud máxima 0x16, el cuarto indica que es un muestreo de un Xbee 0x92, el Byte 16 indica que es un Xbee el emisor 0x01 y el Byte 20 es el de estado, cuando no recibe el cambio de estado se encuentra en 0x02 y cuando cambia se vuelve 0x03.

Para ejecutar la alarma comunitaria, el mensaje presentado en el LCD y que el nodo realice una llamada celular al propietario del domicilio de donde ocurre el accidente, se deben cumplir con los datos de la trama explicada anteriormente. En caso de no cumplirse la condición el nodo seguirá recibiendo las señales que le envía el emisor y comparándolo con la trama programada.

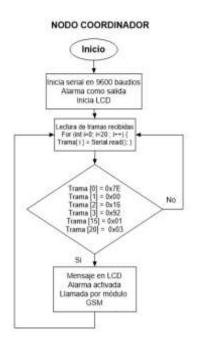


Figura 27. Diagrama del nodo coordinador. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 3.1.17. Ubicación de la zona

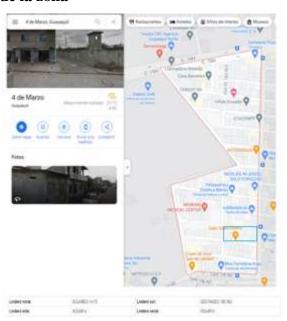


Figura 28. Ubicación del lugar de estudio. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

La zona que se estudia es en la calle 2do Pase 19E NO. Ubicado en la cooperativa 4 de marzo al norte de la ciudad de Guayaquil dentro de la Juan Montalvo.

#### 3.1.18. Elaboración del nodo sensor

El nodo terminal se encargará de transmitir información al receptor siempre y cuando las condiciones programadas se cumplan; la elaboración de este nodo consta de cuatro procesos que son: configuración del Xbee del nodo sensor, conexión del nodo sensor y desarrollo del firmware en el IDE arduino.

# 3.1.18.1. Configuración del xbee del nodo sensor

Primero se debe conectar el módulo xbee S2C con el xbee explorer USB siguiendo la silueta que se ve en este último, luego conectar con su debido cable a la computadora y verificar que los pines Tx y Rx parpadean y que el led del PWR quede encendido.



Figura 29. Xbee S2C del nodo sensor conectado al xbee explorer USB. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Una vez conectado se debe ejecutar el XCTU y dar clic en el ícono buscar que tiene la lupa para poder identificar el módulo xbee; aparecerán los puertos disponibles, seleccionamos para este caso el COM5, dar clic en siguiente y luego en finalizar.



Figura 30. Detección del puerto COM conectado. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Luego del proceso anterior empezará a buscar que el módulo xbee esté conectado, después de encontrar el dispositivo dar clic en Add selected devices y esperar que aparezca en la página inicial del XCTU.

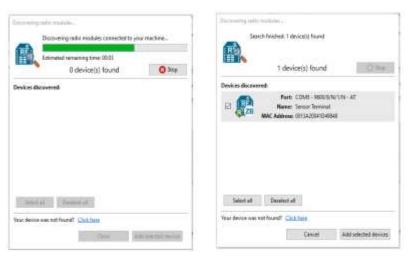


Figura 31. Búsqueda del módulo xbee conectado al computador. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Una vez que el dispositivo se encuentre en la lista, se debe dar doble clic y esperar que carguen sus parámetros que vienen por defecto para luego proceder a realizar la configuración.

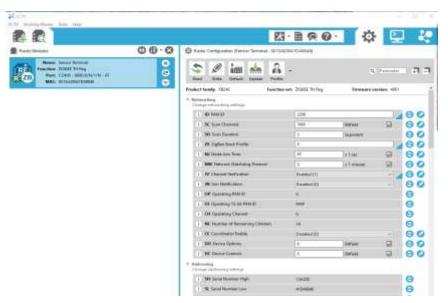


Figura 32. Parámetros por defecto del xbee s2c. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Debido a que este módulo se lo debe configurar como nodo terminal tendrá unos parámetros específicos como el modo de transmisión AT y varios más que se detallan a continuación:

**ID PAN ID:** Se encuentra en el apartado de networking y se establece una dirección que deberá ser la misma que el coordinaros para su comunicación; en este caso se le pondrá 2564.

**JV Channel verification:** En esta parte se le pondrá como habilitado para que realice una búsqueda de un coordinador disponible en la red.

**NI Node identifier:** Se encuentra en el apartado de Addresing y sirve para poner un nombre con el cual identificar cada nodo, en este caso se le establece como sensor terminal.

IR IO Sampling rate: Se encuentra en el apartado I/O Sampling y sirve para establecer el tiempo de muestreo, en el ícono de la derecha dar clic y escribirlo en milisegundos que luego lo convertirá en hexadecimal; en este caso se pondrá en 700 ms o 2BC ya realizada la conversión.

**D0 Pin 20:** Se encuentra en el apartado I/O settings y se configura el pin del xbee como digital input que ayudará en la transmisión hacia el coordinador.

#### 3.1.18.2. Conexión del nodo sensor

Los materiales necesarios para la conexión del nodo sensor son los siguientes:

- 1 Arduino uno con su cable USB
- 1 módulo xbee S2C
- 1 Shield pro xbee v03
- 1 sensor MQ-2
- 1 buzzer pasivo KY-006
- 5 jumper macho-hembra y 1 jumper macho-macho



Figura 33. Materiales del nodo sensor. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo..

Antes de empezar con las conexiones se debe soldar el jumper macho-macho en el pin 20 del shield pro y conectarlo al pin 8 que está conectado con el arduino; luego montar el shield y el xbee sobre el arduino uno, se debe poner el shield en modo USB para cuando se quiera subir el código al microcontrolador.



Figura 34. Xbee s2c montado en el shield pro y arduino. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Se realizan las conexiones del módulo MQ-2 en el que se usan los pines vcc, gnd y análogo; se debe conectar vcc a 5v del arduino, el gnd a su respectivo pin tierra de la placa y el análogo al pin A0 del shield; la resistencia variable del sensor se puede regular de forma manual para ajustar su sensibilidad al gas.



Figura 35. Parte trasera del sensor MQ-2. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Por último conectar el buzzer KY-006 donde su pin positivo irá conectado al pin 9 del shield y el gnd irá a tierra; a pesar de tener una conexión similar a otros módulos, su funcionamiento es diferente al igual que la programación al ser un buzzer pasivo.



Figura 36. Módulo KY-006. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Las conexiones deben quedar como se muestra en la figura 37. El módulo consume 5V y el xbee 3.3V, para la alimentación se debe hacer uso de una power bank ya que las baterías de 9V no son suficiente para que el sistema pueda estar en ejecución.



Figura 37. Conexión realizada del nodo sensor. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 3.1.18.3. Desarrollo del firmware para el nodo sensor

Para el desarrollo del firmware se deben conocer las variables que se usarán y las condiciones que deberá tener el sistema. Para subir la programación al arduino, el shield debe estar en modo USB y conectarlo a la computadora; se le da clic al botón subir que es la flecha hacia la derecha y esperar a que se suba el código. La programación realizada se muestra en la figura 38 para el nodo sensor.

```
sweet marting
 ekelch_martfa 6
                        would houp () I
                                                                                              GLF - analoghand(A0); //LEVENDO Y ALMACENANDO NUM DEL MQ-2
                                                                                             Serial-print(SER) / //SER EN HORITON DERIE
int shee - 8 c//Fin 8 del shee
ann GLF: //Versahle de jipe del MQ-3
int boton = 4/
                                                                                             Serial grintin(" ppm") /
                                                                                              mlwy(2000);
PRATEIN BUTZER PARTYO S
                                                                                                  Serial princia (""""""" Enga de SLF"");
#define NOTE GS 196
Fortage MOTE AS 220
                                                                                                  (9,2489,8000y)
SOUTING NOTE_BS 347
SOUTING NOTE_C4 363
                                                                                                  detay (8000) A
                                                                                                  digitalWrite (abee, #1986)
POSTAGE BEST
//Nelodia de escendido
int melodia[] = 1 // array con las notas de la melodia
                                                                                             size if (GLE:-700) (
                                                                                                  Serial principals
                                                                                                                          -Hay flags peligross de GEP/17).
  NOTE_C4, NOTE_GS, NOTE_GS, NOTE_AS, NOTE_GS, O, NOTE_BS, NOTE_C4
                                                                                                  Supremittine (abox, MISS)
                         // screy not be director de outs note
                                                                                                  5 (8, 2488, 40000)/
 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4
                                                                                             37/final del else if
                                                                                                  Serial printing "No may fups de GLB !! ") ;
 ploton (BUZZES_PASTVO, OUTFUT) /
                                                                                                   digitalWrite tabes, 100);
 punion (abee, OUTPOY) /
punions (beton, IMPUT) /
                                                                                             5//final del sles
  //HELODÍA DE ENCEMBIDO
  for |imm 4 = 0; 1 < 0; 1++; 4 //
imm direction = 1900 / directiones[1];
                                               // duracion de la nota en miliaspundos
  tone(BUISER_FASIVO, melodia[1], furscion): // ejenuta el tono con la duracion
les passa - duracion - 2.30) // culcula passa
  ins pausa = duracion = 2.30) // culcula pausa
moley(pausa): // demora con valor de pausa
  ncione (BUILLE PASIVO) )
                                   // detiene reproduccion de tons
  Serial printin("Emperando sirtema node senson");
```

Figura 38. Firmware del nodo sensor. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Luego de que se suba el firmware al arduino, se abre el monitor serie para la verificación de las lecturas del sistema como se muestra en la figura 39, en la que si se obtiene un valor mayor a 300 ppm se activará una alarma y enviará los datos al nodo coordinador.



Figura 39. Prueba del firmware del nodo sensor en el monitor serie. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 3.1.19. Elaboración del nodo coordinador

El nodo coordinador se encargará de recibir los datos que son enviados del nodo transmisor y para la activación de sus actuadores deberá cumplir las condiciones programadas; para la elaboración del nodo coordinador se realizan tres procesos que son: configuración del xbee del nodo coordinador, conexión del nodo coordinador y desarrollo del firmware para el nodo coordinador.

# 3.1.19.1. Configuración del xbee del nodo coordinador

Para configurar el módulo xbee del nodo coordinador se debe conectar al USB explorer y conectarlo a la computadora como en el nodo sensor, luego agregar el dispositivo en el software XCTU.



Figura 40. Xbee S2C del nodo coordinador conectado al xbee explorer USB. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

En la interfaz del programa se modifican los parámetros para que el xbee funcione como coordinador en la red y son los siguientes:

**ID PAN ID:** Como se detalló en la sección anterior, deben compartir el mismo PAN ID que es 2564 para establecer su comunicación

**CE Coordinator enable:** En **este** parámetro se elige el dispositivo como habilitado para que este módulo trabaje como coordinador en la red.

**NI Node identifier:** Se le asigna un nombre para que se pueda reconocer al nodo coordinador.

**AP API enable:** Se habilita este modo para que trabaje de otra manera al recibir los datos de los otros nodos en la red.

#### 3.1.19.2. Conexión del nodo coordinador

Los materiales necesarios para la conexión del nodo coordinador son los siguientes:

- 1 Arduino uno con su cable USB
- 1 módulo xbee S2C
- 1 Shield pro xbee v03
- 1 display LCD 16x2 I2C
- 1 buzzer activo
- 1 módulo GSM/GPRS 800L V2
- 9 jumper macho-hembra
- 2 jumper macho-macho
- 1 batería lipo 7.4v, 20-30c a 1 mA



Figura 41. Materiales del nodo coordinador. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Para empezar las conexiones primero se debe montar el shield pro y el xbee sobre el arduino, luego se procede a hacer las conexiones del display LCD 16x2 con protocolo I2C para un mejor manejo en el cableado; los pines vcc y gnd van conectados al shield en 5v y tierra respectivamente, los pines SDA (System Data) y SCL (System Clock) en los pines A4 y A5 del shield.

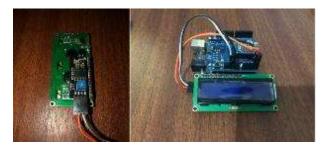


Figura 42. Montaje del display LCD 16x2 con protocolo I2C. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Ahora para la conexión del buzzer activo se coloca el vcc al pin 8 y gnd a tierra del shield; este componente es muy sencillo de usar así también como programarlo, será activado siempre y cuando se cumplan las validaciones programadas.

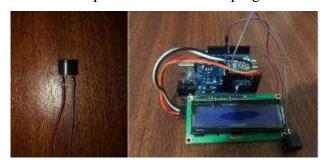


Figura 43. Buzzer activo montado al arduino. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Para la conexión del módulo GSM se usarán 5 jumpers macho-hembra en donde vcc y gnd irán conectados a una batería externa; los pines tx, rx y gnd van conectados en los pines 10, 11 y 14 del shield respectivamente.

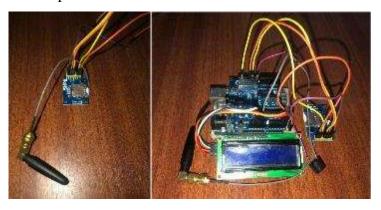


Figura 44. Montaje del módulo GSM/GPRS 800L v2. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Las conexiones deberán quedar como se ven en la figura 45, en donde la alimentación para el módulo GSM se la conecta una batería de lipo de 7.4 V a 20-30c de descarga y 1000 mA de capacidad mínima y generar la energía adecuada para el funcionamiento de la antena.



Figura 45. Conexión realizada del nodo coordinador. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 3.1.19.3. Desarrollo del firmware para el nodo coordinador

Para el desarrollo de esta parte del código se debe comprobar que las tramas estén llegando bien al nodo coordinador y recoger la información necesaria de los bytes que se necesitan para realizar las debidas condiciones; en la figura 46 se muestra un código de prueba para verificar la comunicación entre los dos nodos.

Se procede a subir el firmware al arduino, se debe verificar que el shield esté en modo USB para que no haya errores en la carga del código.

```
o Editar Programa Herramientas Ayuda
   sketch_mar01a §
//NODO COORDINADOR
int cambio = 0:
void setup() (
 Serial.begin(9600);
word loop() (
if (Serial.available() >= 21) ( //lectura de los bytes
   if (Serial.read() == 0x7E) ( //El 7E es el byte de inicio
        for[int 1 =0; 1<19; 1++) //Ciclo para empesar lectura
            byte descartados = Serial.read(); //Descarta bytes innecessarios para lectura
        cambio = Serial.read(); //Variable que lee el byte de lectura del canal digital
        Serial printin("La variable cambio es");
        Serial, println (cambio);
     delay (300);
1//Final del loop
```

Figura 46. Código para verificar tramas. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Una vez cargado el código se conectan ambos nodos y el shield del coordinador se lo pone en modo xbee para que pueda recibir los bytes y realizar la verificación de la trama.

```
TE, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 3, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 3, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 3, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 3, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E, 0, 16, 92, 0, 13, A2, 0, 41, D4, 98, 48, 3, 48, 1, 1, 0, 3, C, 0, 2, 7E
```

Figura 47. Tramas recibidas. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

El primer byte es el que indica el inicio de la trama, el segundo y tercer byte indican la longitud que tendrá, el cuarto indica el muestreo del xbee, el byte quince indica que es un xbee el que envía, y el byte veinte es conocido como el de estado; en este último es en donde se sabrá que el nodo sensor quiere comunicarse con el coordinador cuando cambie su estado.

Luego de la codificación anterior y conocer los datos que son recibidos como se mostró en la figura 47, se toman en cuenta los bytes más importantes que ayudarán para la activación

de actuadores cuando exista alguna fuga de gas; se realiza una validación con algunos de los bytes más importantes en caso de que exista ruido o algún dato basura que quiera activar la variable de estado para la alarma.

En la figura 48 se muestran las librerías, variables, validaciones de la trama y la ejecución en caso de cumplirse.

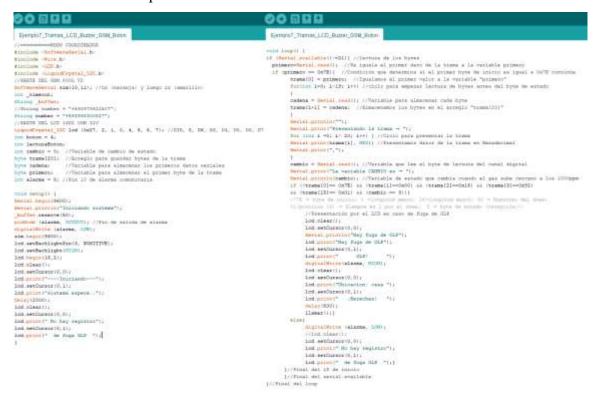


Figura 48. Código de prueba para verificación de llamada. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Para la parte de llamar por el módulo GSM se hace al final del código una función en la que ejecute la llamada como se muestra en la figura 49.

Figura 49. Función para llamar. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

En la figura 50 se muestra que cuando la variable de cambio es 3 muestra un mensaje de fuga de gas y llama al número establecido en la programación.

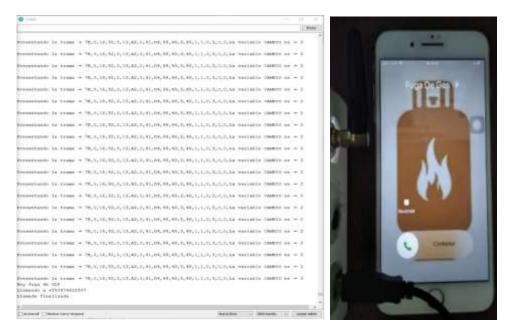


Figura 50. Prueba de llamada en monitor serie y celular. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 3.1.20. Diseño del prototipo

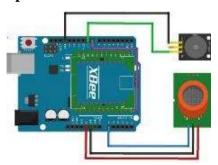


Figura 51. Nodo sensor elaborado en fritzing. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

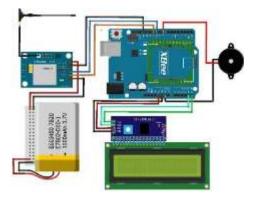


Figura 52. Nodo coordinador elaborado en fritzing. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Para el diseño del prototipo conectado a corriente alterna se le agregaría un módulo relé conectando el pin de señal a un canal digital de arduino y los pines de alimentación vcc a 5v

y gnd a tierra del microcontrolador; los pines que se encuentran al otro extremo del módulo relé COM y NA van a la fuente de corriente y la sirena como se indica en la figura 53.

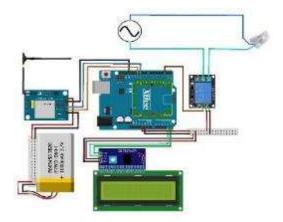


Figura 53. Nodo coordinador con sirena elaborado en fritzing. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 3.1.21. Diseño de la red

En el barrio 2do paseo 19E No. las cocinas se encuentran ubicadas al fondo de las casas por lo que los nodos sensores deben estar ubicados cerca de esa zona como se observa en la figura 55, los nodos router deben ser colocados a una distancia de 20 m del nodo coordinador y la sirena, que estarán ubicados al exterior en una casa central de la cuadra.

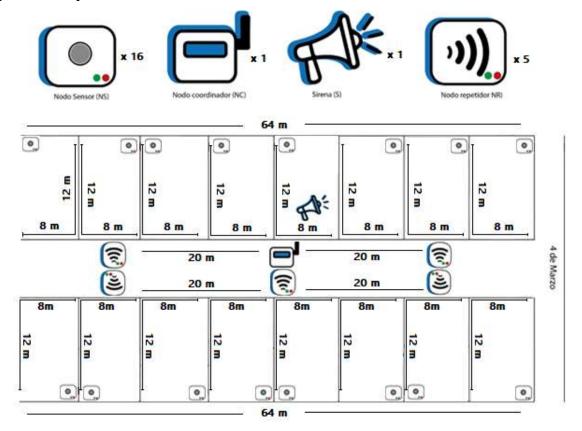


Figura 54. Distancia de nodos en la red. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

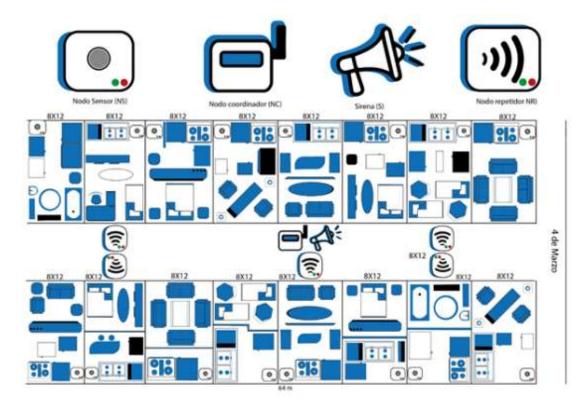


Figura 55. Diseño de la red. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# 3.1.22. Elaboración de armazones del prototipo

Para elaborar el armazón del sistema se hacen dos diseños muy similares para el nodo sensor y el nodo coordinador, los materiales usados para la construcción de las estructuras se muestran en el anexo 4 y son los siguientes:

- 2 cajas de plástico PVC 5x5
- 2 tapas de plástico reforzado 5x5
- 2 tornillos
- 1 plancha de espumafon fino
- 2 barras de silicón
- Pistola de silicón
- Cautín y estaño
- Estilete

# 3.1.22.1. Elaboración de armazón del nodo sensor

Primero se recorta un cuadro de esupumafon a la medida de la caja para colocarla en la base y pegar el arduino con silicón, dentro de la caja se pega la porta batería y el buzzer; para el caso del sensor se lo ubica en la tapa de plástico haciendo un agujero con el estilete

y pegándolo con silicón. Para poder cerrar el prototipo se usan unos tornillos y ajustar la tapa a la base de la caja, en el anexo 9 se pueden observar los materiales usados.



Figura 56. Nodo sensor. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 3.1.22.2. Elaboración de armazón del nodo coordinador

Igual que en el nodo sensor, se coloca una base de espumafon dentro de la caja para que las entradas de alimentación estén a una altura cómoda su conexión, se pega el arduino sobre la base dentro de la caja junto a la batería, se le hace un orificio para la antena del GSM en un lateral de su estructura y otro para el display LCD 16x2 en la tapa de la caja.



Figura 57. Nodo coordinador. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 3.1.23. Pruebas de conexión

Como se indica en el apartado de la configuración del xbee, se agregan cada uno de los dispositivos con su respectiva configuración y se procede a realizar el envío de datos por la consola que ofrece el software XCTU; el mensaje del emisor se aprecia de color azul y el que recibe el texto se visualiza en color rojo.

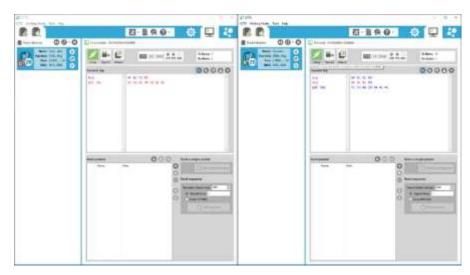


Figura 58. Prueba de comunicación en consola del XCTU. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Se realiza una prueba de conexión de interior a interior que se detalla en la figura 58, en la que se modifican los parámetros de Rx timeout (ms), Tx interval (ms) y número de paquetes en la comunicación. Los valores obtenidos se resumen en la tabla 9.



Figura 59. Test de cobertura interior a interior con 12 metros de distancia. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

**Tabla 9.** Resultados de conexión de interior a interior.

Potencia	Potencia	Paquetes	Paquetes	Distancia	Tiempo en
de emisor	Receptor	Enviados	Recibidos	aproximada	Tx y Rx
-66 dBm	-66 dBm	100	100	12 m	1000 ms

Información tomada de la investigación web. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

En el siguiente caso se realiza una prueba de conexión interior a exterior con una distancia aproximada de 16 metros y así mismo con los parámetros generales de la primera prueba para realizar el intercambio de paquetes como se muestra en la figura 59 y los datos recogidos en la tabla 10.



Figura 60. Test de cobertura interior a exterior con 16 metros de distancia. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

**Tabla 10.** Resultados de prueba de conexión interior a exterior.

Potencia	Potencia	Paquetes	Paquetes	Distancia	Tiempo en
de emisor	Receptor	enviados	Recibidos	aproximada	Tx y Rx
-81 dBm	-82 dBm	100	98	14 m	1000 ms

Información tomada de la investigación web. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Se realizaron pruebas de interior a exterior con distancias superiores a 20 metros para determinar la distancia máxima a la que deja de transmitir y la pérdida de paquetes se tiene, las evidencias de las pruebas se muestran en el anexo 8 y los resultados en la tabla 11.



Figura 61. Test de cobertura interior a exterior con 22 metros de distancia. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

**Tabla 11.** Resultados de prueba de conexión interior a exterior a mayor distancia.

Prueba	Potencia	Potencia	Paquetes	Paquetes	Distancia	Tiempo en
No.	de emisor	Receptor	enviados	Recibidos	aproximada	Tx y Rx
1	-90 dBm	-90 dBm	100	57	22 m	1000 ms
2	-89 dBm	-88 dBm	100	52	22 m	1000 ms
3	-95 dBm	-93 dBm	100	31	28 m	1000 ms
4	-97 dBm	-96 dBm	100	19	30 m	1000 ms

Información tomada de la investigación web. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

La sensibilidad del receptor es de -100 dBm por lo que se encuentra en el rango para que la información pueda ser decodificada, pero en las pruebas para activar la alarma a menudo no llegaba la señal con una distancia de 25 metros, mientras que a partir de una distancia aproximada de 32 metros o superior no se conectaban entre sí.

### 3.1.24. Análisis de la hipótesis

Se llega a cumplir con la hipótesis de manera parcial en la elaboración del prototipo del nodo sensor, debido a que las mediciones del sensor en la práctica no llegan a 1000 ppm o más por lo que se usan los valores más cercanos de 700-900 ppm que servirán como indicadores de que se alcanzan altas concentraciones de gas para enviar la alerta comunitaria.

# 3.1.25. Costo del prototipo

**Tabla 12.** Costo de los componentes del prototipo.

Componentes	Cantidad	Valor por unidad (\$)	Valor total (\$)	
Arduino uno	2	12.00	24.00	
Modulo Xbee S2C	2	37.00	74.00	
Xbee Explorer USB	1	7.00	7.00	
Shield Pro Xbee v.03	2	8.00	16.00	
Modulo GSM 800L V2	1	15.00	15.00	
LCD 16X2	1	4.00	4.00	
Modulo I2C	1	2.00	2.00	
Sensor MQ-2	1	2.50	2.50	
Buzzer pasivo KY-006	1	1.50	1.50	

	Total		\$ 155.05
Pulsadores	2	0.30	0.60
Interruptor	1	0.75	0.75
Chip claro	1	5	5.00
Jumpers	17	0.10	1.70
Buzzer activo	1	1.00	1.00

Información tomada del presente trabajo. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

#### 3.1.26. Conclusiones

Luego de realizar el estudio sobre el estándar IEEE 802.15.4, se concluye que sus características son óptimas para realizar el diseño del sistema debido a que esta tecnología es compatible para la creación de redes de sensores inalámbricos. Se escogió esta tecnología porque junto a Zigbee ofrece las funciones para crear redes con varios nodos a su vez, una buena autonomía en cuanto a consumo en dispositivos terminales, una velocidad de transmisión de datos baja que en la red planteada no se necesitan.

Se determinó que una parte importante para el desarrollo del sistema es conocer la característica de cada componente tanto a nivel de hardware como software y las limitantes que se indican en el datasheet de cada uno. Se puede concluir que algunos componentes electrónicos no funcionan como se indican en su hoja de datos cuando se realizan las pruebas, como en el caso del módulo GSM/GPRS 800L V2 (o EVB) su funcionamiento es con 5V y es compatible con los pines de alimentación del arduino como indica su datasheet, en la práctica no funciona de esta manera y en los foros que redactan sobre este módulo indican que no funciona con arduino; se le debe retirar el capacitor que trae de fábrica y reemplazarlo por uno de 2200 uF a 25V o cercanos a ese valor para que este componente funcione con microcontroladores o alimentarlo con una fuente de alimentación externa de mayor capacidad de 3.7V a 2A o también 7.4V a 1A.

Se concluyó que al igual que en el apartado anterior, otro componente que presenta un problema es el módulo MQ-2 dado que el fabricante indica un rango de medición de 300-10000 ppm, calibrado y con 48 horas de funcionamiento antes de su uso; con estas recomendaciones realizadas el módulo sensor en su lectura máxima no llega a más de 1000 ppm en las distintas zonas donde se realizaron las pruebas.

Como se ha comprobado en las pruebas de conexión, la comunicación entre el nodo sensor y coordinador en interiores funciona sin problemas, mientras que de interior a exterior con una distancia superior a 25 metros hay una pérdida de paquetes del 50% aproximadamente pero todavía se pueden mantener en comunicación.

Después de todo lo mencionado se pudo observar que mediante la herramienta de test de cobertura del software XCTU y las mediciones realizadas, el xbee s2c pierde casi la mitad de su rango de transmisión cuando se lo usa de interior a exterior por lo que para ampliar la señal debe ir acompañados de otro dispositivo xbee que haga de nodo repetidor en la red que se quiera diseñar.

#### 3.1.27. Recomendaciones

Para realizar pruebas iniciales es mejor contar con dos xbee explorer USB para configurar los xbee s2c y comprobar por medio de la consola del XCTU el envío y recepción de cada módulo, también verificar como son las estructuras de las tramas cuando el coordinador se encuentra en modo API para tomarlo como muestra.

Al realizar el código se debe comprender la estructura de la trama API y analizar los datos con los que se hará la validación, por lo que en alguna interferencia o valor basura que llegue al receptor, se pueda validar mediante el microcontrolador si se trata de un dispositivo registrado en la red.

Para subir el firmware al arduino, se debe revisar que los shield pro xbee v03 se encuentren en modo USB para que no haya error al subir el código, para la ejecución es recomendable cambiar el shield del coordinador de USB a xbee y el nodo sensor dejarlo en USB.

Al prototipo del nodo sensor se le puede agregar un módulo wifi que sea capaz de subir los datos a un servidor cuando las lecturas alcancen un valor de peligro y que se pueda visualizar en una página.

Es recomendable implementar una válvula electrónica en conjunto con el nodo sensor, que sea capaz de cerrarse cuando se detecte una fuga de gas y dejar el nodo coordinador como último filtro en caso de que ocurra esta eventualidad.

Colocar sistemas actuadores como ventiladores dentro de la casa que se conecten al nodo sensor mediante xbee o wifi cuando se detecte una fuga de gas, haciendo que la zona expuesta se ventile y no dejar que se concentre el gas en un solo lugar.

# ANEXOS

#### Instalación de XCTU

- 1. Debe dirigirse a la página oficial de Digi: https://www.digi.com
- 2. Dirigirse a la parte que dice support y dar clic en browse by product.



Figura 62. Página oficial de Digi. Información tomada de digi.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

- 3. Bajar hasta la sección de Digi Xbee tools y escoger XCTU.
- 4. En la parte de abajo en la nueva sección habrá un apartado llamado resource/utilities, donde podrá escoger la versión de XCTU y compatibilidad del sistema operativo.
- 5. Luego darle clic en descargar.



Figura 63. Página oficial de descarga XCTU. Información tomada de digi.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

- 6. Se procede con la instalación dándole doble clic en el archivo descargado, aparecerán una serie de ventanas en las que no se debe realizar ningún cambio y dar en aceptar.
- 7. Esperar el proceso de instalación y dar clic en finalizar.

### Instalación de Arduino IDE

- 1. Debe dirigirse a la página oficial de arduino: https://www.arduino.cc
- 2. Dirigirse al apartado de software ubicado en la parte superior de la página.
- 3. En la parte de abajo saldrán las versiones más recientes y compatibilidad con los sistemas operativos, en este caso se escogió para Windows y versión 1.8.19.



Figura 64. Página oficial de arduino. Información tomada de digi.com en el año 2022. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

- 4. Darle clic para para empezar la descarga que tomará un tiempo dependiendo de la velocidad del internet.
- 5. Dar doble clic en el archivo descargado y escoger que si desea hacer cambios en el dispositivo.
- 6. Aparecerán una serie de ventanas en las que no se debe realizar ningún cambio y darle en aceptar, se espera a que se complete la instalación y dar clic en finalizar.

Byte	Ejemplo	<b>D</b> escripción	
0	0x7E	Byte de inicio (comienzo del frame)	
1	0x00	Longitud de la trama	
2	0x14	Longitud de la d'ania	
3	0x92	Muestreo de las entradas del Xbee	
4	0x00	Dirección de origen de 64-bit	
5	0x13	MSB es el byte 4, LSB es ek byte 11	
6	0xA2		
7	0x00		
8	0x40		
9	0x8B		
10	0x78		
11	0x4E		
12	0xA4	Dirección de 16-bit de la red origen	
13	0x02		
14	0x01	Opción de recepción: 01 = Packet acknowledged 02 = Broadcast packet	
15	0x01	Numero de muestras, en Xbee siempre da 1.	
16	0x00	Máscara para el canal digital, pines configurados como DIO	
17	0x00		
18	0x01	Máscara para el canal análogo, pines configurados como ADC	
19	0x00	Lectura de canales digitales, estos bytes contienen los estados de los pines configurados como DIO	
20	0x20	2000 and an examine agreement, extension to see the pines commission of	

Figura 65. Estructura de la trama API. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# Anexo 4 Materiales para los armazones de los prototipos



Figura 66. Materiales para el sistema. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

Anexo 5 Pruebas del sistema detector de gas





Figura 67. Pruebas de los nodos. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

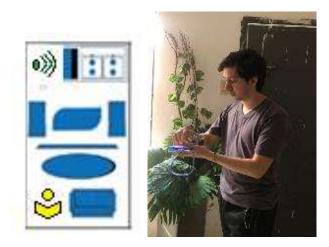


Figura 68. Prueba de comunicación interior a interior. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.



Figura 69. Prueba de comunicación interior a exterior. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

# Anexo 8





Figura 70. Prueba de comunicación interior a exterior con mayor distancia. Información tomada de la investigación directa. Elaborado por Berechez Samaniego Andres Eduardo.

### Anexo 9

Código de nodo sensor

//NODO SENSOR

//VARIABLES

```
int xbee = 8 ://Pin 8 del xbee
int GLP; //Variable de ppm del MQ-2
#define BUZZER_PASIVO 9
//TONOS → No consume mucho el define
#define NOTE G3 196
#define NOTE_A3 220
#define NOTE_B3 247
#define NOTE_C4 262
#define REST
//Melodía de encendido
int melodia[] = { // array con las notas de la melodia
 NOTE_C4, NOTE_G3, NOTE_G3, NOTE_A3, NOTE_G3, 0, NOTE_B3, NOTE_C4
};
int duraciones [] = { // array con la duracion de cada nota
 4, 8, 8, 4, 4, 4, 4, 4
};
void setup() {
 pinMode(BUZZER_PASIVO,OUTPUT);
 pinMode(xbee, OUTPUT);
 Serial.begin(9600);
 //MELODÍA DE ENCENDIDO
 for (int i = 0; i < 8; i++) { // bucle repite 8 veces
 int duracion = 1000 / duraciones[i]; // duracion de la nota en milisegundos
 tone(BUZZER_PASIVO, melodia[i], duracion); // ejecuta el tono con la duracion
 int pausa = duracion * 1.30; // calcula pausa
                  // demora con valor de pausa
 delay(pausa);
 noTone(BUZZER_PASIVO);
                                // detiene reproduccion de tono
 }
 Serial.println("Empezando sistema nodo sensor");
}//Final del void
void loop() {
```

```
//LEYENDO Y ALMACENANDO PPM DEL MQ-2
GLP = analogRead(A0);
//GLP EN MONITOR SERIE
Serial.print("GLP: ");
Serial.print(GLP);
Serial.println(" ppm");
delay(2000);
if (GLP > 230 \&\& GLP < 950){
  Serial.println("=====Hay fuga de GLP!!");
  digitalWrite (xbee, HIGH);
  Serial.println("=====Encendido pin 8 del Xbee");
  tone(9,2489,5000);
  delay(1500);
}//final del if
else if (GLP>=950){
  Serial.println("=====Hay fuga de GLP!!");
  digitalWrite (xbee, HIGH);
  Serial.println("=====Encendido pin 8 del Xbee");
  tone(9,2489,600000);
  delay(1500);
}//final del else if
else{
  Serial.println("No hay fuga de GLP!!");
  digitalWrite (xbee, LOW);
}//final del else
delay(2000);//Delay para próxima lectura
} //final del loop
Anexo 9
Código de nodo coordinador
//=====NODO COORDINADOR
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
//PARTE DEL GSM 800L V2
SoftwareSerial sim(10,11); //tx (naranja) y luego rx (amarillo)
int _timeout;
String _buffer;
String number = "+593979622507";
//String number = "+593968300827";
//PARTE DEL LCD 16X2 CON I2C
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7); //DIR, E, RW, RS, D4, D5, D6, D7
int boton = 4;
int lecturaBoton;
int cambio = 0; //Variable de cambio de estado
byte trama[20]; //Arreglo para guardar bytes de la trama
byte cadena; //Variable para almacenar los primeros datos seriales
byte primero; //Variable para almacenar el primer byte de la trama
int alarma = 8; //Pin 10 de alarma comunitaria
void setup() {
Serial.begin(9600);
Serial.println("Iniciando sistema");
_buffer.reserve(50);
pinMode (alarma, OUTPUT); //Pin de salida de alarma
digitalWrite (alarma, LOW);
sim.begin(9600);
lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
lcd.setBacklight(HIGH);
lcd.begin(16,2);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("----Iniciando---");
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("sistema espere..");
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" No hay registro");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" de fuga GLP ");
}
void loop() {
if (Serial.available()>=21){ //lectura de los bytes
 primero=Serial.read(); //Se iguala el primer dato de la trama a la variable primero
 if (primero == 0x7E){ //Condición que determina si el primer byte de inicio es igual a
0x7E continúa
     trama[0] = primero; //Igualamos el primer valor a la variable "primero"
     for(int i=0; i<19; i++) //ciclo para empezar lectura de bytes antes del byte de estado
     {
     cadena = Serial.read(); //Variable para almacenar cada byte
     trama[i+1] = cadena; //Almacenamos los bytes en el arreglo "trama[20]"
     }
     Serial.println("");
     Serial.print("Presentando la trama \rightarrow ");
     for (int i =0; i< 20; i++) { //Ciclo para presentar la trama
     Serial.print(trama[i], HEX); //Presentamos datos de la trama en Hexadecimal
     Serial.print(",");
     cambio = Serial.read(); //Variable que lee el byte de lectura del canal digital
     Serial.print("La variable CAMBIO es \rightarrow ");
     Serial.println(cambio); //Variable de estado que cambia cuando el gas sube cercano a
los 1000ppm
     if ((trama[0]==0x7E) \&\& (trama[1]==0x00) \&\& (trama[2]==0x16) \&\&
(trama[3]==0x92)
     && (trama[15] == 0x01) && (cambio == 3){
```

```
/*7E → byte de inicio; 0 →longitud menor; 16→longitud mayor; 92 → Muestreo del
xbee;
     01(\text{posicion }15) \rightarrow \text{Siempre es 1 por el xbee}; 3 \rightarrow \text{byte de estado (recepción)*/}
        //Presentación por el LCD en caso de fuga de GLP
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        Serial.println("Hay fuga de GLP");
        lcd.print("Hay fuga de GLP");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("
                      GLP!
                                ");
        digitalWrite(alarma, HIGH);
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Ubicacion: casa ");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(" ;Berechez! ");
        delay(500);
        llamar();}
     else{
        digitalWrite (alarma, LOW);
        //lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print(" No hay registro");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(" de fuga GLP ");}
    }//Final del if de inicio
    }//Final del serial.available
}//Final del loop
//Función para realizar llamada con comandos AT
void llamar(){
 sim.print("ATD"); //Comando AT para iniciar una llamada
 sim.print(number); //Numero al que se llama
 sim.println(";"); //El ";" indica llamada de voz y no de datos
```

```
Serial.print("Llamando a "); //mensaje de llamando
Serial.println(number); // numero al que llama
delay(13000); //duración de la llamada o timbrando
sim.println("ATH"); //comando AT para terminar llamada
Serial.println("Llamada finalizada");
delay(1500);
}
```

### Bibliografía

- Aguilar Reyes, F. (12 de Enero de 2018). Estudio diseño y simulacion de una red de sensores inalambricos (WSN) usando redes definidas por software (SDN) aplicado para la universidad de Guayaquil. 103. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/32895/1/B-CINT-PTG-N.320%20Aguilar%20Reyes%20Freddy%20Ramiro.pdf
- Amézquita, A. F. (2020). *Utadeo*. https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/18242
- Barrio Vera, L., & Fajardo Torres, K. (Marzo de 2020). Diseño e implementación de un prototipo de red de sensores inalámbricos o WSN WIRELESS SENSOR NETWORK para controlar la temperatura de ambientes industriales. 125. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/48785/1/B-CINT-PTG-N.%20487%20Barrio%20Vera%20Luisa%20Lisbethe%20.%20Fajardo%20Torres %20Kaina%20Antonella.pdf
- Cardador Bravo, R. (Julio de 2017). Redes de sensores con xbee. 107. https://oa.upm.es/48893/1/TFG\_RUBEN\_CARDADOR\_BRAVO.pdf
- Cárdenas Sánchez, W. (11 de Enero de 2020). Diseño e implementación de un prototipo usando una red de sensores inalámbricos para un Sistema de monitoreo. 124. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19378/1/UPS-GT003008.pdf
- Chaglia Mejia, L. (2019). Diseño de un sistema de monitoreo de acceso para prevenido accidentes en centros de educación inicial utilizando módulos xbee-s2c. 102. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/46684/1/CHAGLIA%20MEJIA%20LI SSETTE%20DANIELA.pdf
- Chuquitarco, M., & Romero, M. (2018). Diagnóstico de las vulnerabilidades en redes inalámbricas en el Ecuador. 12. https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/3320/3/document%20%2811%29.p df
- Digi. (2022). Los módulos de radiofrecuencia, de bajo coste y fáciles de instalar, proporcionan una conectividad crítica de punto final a los dispositivos y sensores.

- https://es.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/rf-modules/2-4-ghz-rf-modules/xbee-802-15-4#overview
- Durango Pantoja, F. (11 de Enero de 2018). Prototipo de monitoreo de temperatura y posicion basado en redes de sensores inalambricos IEEE 802.15.4. 119. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19463
- Ecuador, C. d. (21 de Diciembre de 2015). Constitución de la República del Ecuador. 207. https://www.cosede.gob.ec/wp-content/uploads/2019/08/CONSTITUCION-DE-LA-REPUBLICA-DEL-ECUADOR.pdf
- Estrella Vera, A., & Jibaja Contreras Katiuska Joselyn. (2018). *Diseño de una red de sensores inalámbricos con un sistema de gas GLP en un ambiente de domótica para minimizar riesgo de accidentes e incendios*. Guayaquil. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33011/1/B-CINT-PTG-N.336%20Estrella%20Vera%20Allison%20Elizabeth%20.%20Jibaja%20Contreras %20Katiuska%20Joselyn.pdf
- Falcón Barrionuevo, J., & Florez Hende, J. (Julio de 2019). Diseño y desarrollo de un sistema de control y monitoreo remoto de gas licuado de petroleco GLP para uso residencial. 39.

  https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20374/1/CD%209845.pdf
- Guaña Moya, E. (12 de Enero de 2016). DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN) PARA MONITOREAR PARÁMETROS RELACIONAS CON LA AGRICULTURA. 215. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16809
- Llerena Guamán, L. (03 de Septiembre de 2018). SISTEMA AUTOMÁTICO PARA PREVENIR LA EXPLOSIÓN POR FUGA DE GAS LICUADO DE PETROLEO EN UN DOMICILIO. 112. http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1615/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2018-031.pdf
- MARIELLA, T. (11 de 05 de 2021). Accidentes por gas doméstico, un peligro que va en aumento. *Expreso*. https://www.expreso.ec/quito/accidentes-gas-domestico-peligro-aumento-104314.html

- Martínez Hernando, V. (Julio de 2017). Redes de sensores con xbee. 107. https://oa.upm.es/48893/1/TFG\_RUBEN\_CARDADOR\_BRAVO.pdf
- Martínez Zárate, J., & Durango Román, O. (9 de Mayo de 2019). Sistema de monitoreo de monóxido de carbono en tiempo real en el hogar como aplicación de Internet de las Cosas. *Cíntex*, 8.
  - https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/335/313
- Mesías Basurto, D. (11 de Enero de 2016). SELECCIÓN DE RUTAS EN UNA RED DE SENSOR INALAMBRICA, EN BASE AL NIVEL DE BATERIA Y DISTANCIA ENTRE NODOS SENSORES MEDIANTE LA UTILIZACION DEL ALGORITMO DE KRUSKAL. 58.
  - http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12141/Tesis-Algoritmo%20de%20Kruskal%20v1%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Morales Ortiz, A. (2020). Prototipo de una nariz electrónica para la detección de fugas de gas natural en ambientes residenciales. 77. Prototipo de una nariz electrónica para la detección de fugas de gas natural en ambientes
- Ortiz Sosa, M. (Febrero de 2020). DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS UTILIZANDO TECNOLOGIA LORA PARA EL MONITOREO DE UN SISTEMA. 66. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18469/1/UPS%20-%20ST004461.pdf
- Parreño Sañicela, Í., & Solís Goyes, A. (12 de Enero de 2019). EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS COMUNICACIONES ENCRIPTADAS DE UNA RED DE SENSORES INALAMBRICOS WSN QUE MONITORIZA ONDAS SÍSMICAS. 176.

  http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/11004/1/98T00238.pdf
- Reglamento de Prevención, M. y. (09 de Abril de 2009). Reglamento de Prevención,
  Mitigación y Protección Contra Incendios el Ministerio de Inclusión Económica y
  Social. 62. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/201911/REGLAMENTO%20DE%20PREVENCION%2C%20MITIGACION%20Y%2
  0PROTECCIÓN%20CONTRA%20INCENDIOS.pdf

- Repsol. (13 de 10 de 2016). *FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD*. https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/2GLP\_tcm76-84132.pdf
- Romero Rodríguez, G., & Toloza Pinto, F. (2019). Sistema de detección de GLP en recintos de concentración de personas. 48. https://repositorio.usm.cl/handle/11673/48973
- Santana Sornoza, A., & Vera Alarcón, M. (2020). USO DE WSN E IoT PARA

  ALERTAR DE POSIBLES EVENTOS CATASTRÓFICOS EN HOGARES DE

  ADULTOS MAYORES. 135.
  - https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/5102/1/T-UTEQ-017.pdf
- Telecomunicaciones, L. O. (18 de Febrero de 2015). Ley Orgánica de Telecomunicaciones. 40. https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Orgánica-de-Telecomunicaciones.pdf
- Torres Rodríguez, G. (Marzo de 2020). Diseño e implementación de un prototipo de alerta que detecte la fuga de gas metano en una vivienda y activación de mecanismos de protección. 113. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/48804/1/B-CINT-PTG-N.500%20Torres%20Rodrìguez%20Gilson%20Roberto.pdf
- Vera Briones, M. (11 de Enero de 2021). IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS WSN PARA MONITORIZACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES EN SITIOS INDOOR. 128.

  http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/55972/1/Vera%20Briones%20María%20Isabel.pdf
- Zambrano Leones, T. (Octubre de 2019). Diseño de una red lan WSN basada en tecnología zigbee para interconectar a la facultad de ingeniería industrial de la universidad de guayaquil. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/54638/1/Tesis-Zambrano%20leones.pdf