



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS,  
EN UN SISTEMA TELEMÉTRICO PARA DETECTAR Y  
CONTROLAR FUGAS DE GAS GLP Y MONÓXIDO DE CARBONO  
EN USOS DOMÉSTICOS”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTOR: ALEX PAUL SEGURA CRUZ**

**TUTOR: ING. ANÍBAL LLANGA**

**Riobamba – Ecuador**

**2017**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que el proyecto técnico: “IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS, EN UN SISTEMA TELEMÉTRICO PARA DETECTAR Y CONTROLAR FUGAS DE GAS GLP Y MONÓXIDO DE CARBONO EN USOS DOMÉSTICOS”, de responsabilidad del señor Alex Paul Segura Cruz, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Washington Luna

**DECANO FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Franklin Moreno

**DIRECTOR DE ESCUELA DE  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Aníbal Llanga

**DIRECTOR TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. José Guerra

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Yo, Alex Paul Segura Cruz declaro ser el autor del presente trabajo de titulación: “IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS, EN UN SISTEMA TELEMÉTRICO PARA DETECTAR Y CONTROLAR FUGAS DE GAS GLP Y MONÓXIDO DE CARBONO EN USOS DOMÉSTICOS”, que fue elaborada en su totalidad por mí persona, bajo la dirección del Ingeniero Aníbal Llanga, haciéndome totalmente responsable por las ideas, criterios, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Alex Paul Segura Cruz

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo especialmente a mis Padres y mis hermanos quienes han sido un pilar fundamental en todo este trayecto y me han apoyado incondicionalmente en todo sentido a pesar de cualquier circunstancia. A mi familia que día a día ha colaborado con su grano de arena para hacer de mí una persona con valores y un profesional con ética. Este logro se los dedico a todos ellos, eternamente agradecido.

Alex

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento especial a Dios y a mis Padres Ivón y Sandro por siempre brindarme su apoyo e inculcarme valores que hacen de mí una mejor persona, siempre estarán en mi corazón. El mejor legado que pudieron ofrecerme, la educación.

A mis hermanos, Sebas, Santi, Isaí, complemento de mi razón de ser y que por ellos nace ese deseo de superación día a día.

A toda mi familia quienes siempre me estrecharon una mano cuando lo necesitaba.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo donde pasé los mejores años de mi vida estudiantil y aprendí el valor del estudio.

Al Ing. José Guera e Ing. Aníbal Llanga, por la orientación y ayuda que me brindaron para la realización de este proyecto.

A mis compañeros y amigos que he conocido durante este largo trayecto de quienes me llevo el mejor recuerdo.

A mis amigos Leonardo y Germán, que los considero como hermanos, gracias por su apoyo, es una amistad como ninguna.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Sistemas de detección de GLP y CO.....</b>	<b>5</b>
<i>1.1.1. Detección por sensor infrarrojo puntual .....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2. Detección por sensores de combustión catalítica .....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3. Detección por infrarrojos de haz abierto .....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.4. Detección por ultrasonidos .....</i>	<i>7</i>
<b>1.2. Telemetría.....</b>	<b>8</b>
<i>1.2.1. Sistema Telemétrico .....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.1.1. Criterios de un sistema telemétrico .....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.1.2. Elementos de un sistema telemétrico .....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.2. Funcionamiento general de sistema telemétrico .....</i>	<i>12</i>
<b>1.3. Wsn.....</b>	<b>13</b>
<i>1.3.1. Elementos Wsn.....</i>	<i>14</i>
<i>1.3.2. Software en Wsn .....</i>	<i>14</i>
<i>1.3.3. Estándares .....</i>	<i>14</i>
<i>1.3.4. Zigbee vs Bluetooth.....</i>	<i>15</i>
<b>1.4. Zigbee .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5. Redes Zigbee.....</b>	<b>17</b>
<i>1.5.1. Pan Id.....</i>	<i>18</i>
<i>1.5.2. Canal de Operación .....</i>	<i>19</i>
<i>1.5.3. Topología del sistema .....</i>	<i>19</i>
<i>1.5.3.1. Topología en Estrella .....</i>	<i>19</i>
<i>1.5.3.2. Topología en Árbol.....</i>	<i>20</i>

1.5.3.3.	<i>Topología en Malla</i>	20
<b>1.6.</b>	<b>Situación Actual</b>	<b>21</b>
1.6.1.	<i>Medición de las condiciones ambientales</i>	21
1.6.2.	<i>Sistema de control y prevención</i>	22
1.6.3.	<i>Estadísticas de accidentes por fugas de GLP y CO</i>	22
1.6.4.	<i>Límites de exposición a GLP y CO</i>	26
1.7.	<b>Análisis del problema</b>	28
1.8.	<b>Descripción del área de implementación</b>	28
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>2.</b>	<b>SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS Y DISEÑO DEL SISTEMA</b>	<b>29</b>
2.1.	<b>Análisis de requerimientos</b>	29
2.2.	<b>Esquema general del sistema</b>	30
2.3.	<b>Diseño de Nodo Router Sensor y Nodo Router Actuador</b>	31
2.4.	<b>Diseño de Nodo Coordinador</b>	33
2.5.	<b>Selección de los recursos</b>	34
2.5.1.	<i>Selección de sensores detectores de GLP (Gas Licuado de Petroleó)</i>	34
2.5.1.1.	<i>Módulo MQ6</i>	36
2.5.2.	<i>Selección de sensores detectores de CO (Monóxido de Carbono)</i>	39
2.5.2.1.	<i>Módulo MQ-7</i>	40
2.5.3.	<i>Selección de módulos inalámbricos Zigbee</i>	42
2.5.3.1.	<i>Módulo XBee S2</i>	43
2.5.4.	<i>Selección de módulos de procesamiento</i>	44
2.5.4.1.	<i>Arduino Uno</i>	46
2.5.5.	<i>Selección de módulo de control</i>	46
2.5.5.1	<i>Módulo SIM900 GSM/GPRS</i>	47
2.5.6.	<i>Selección de módulo de almacenamiento y visualización de datos</i>	48
2.5.6.1	<i>Módulo Micro SD</i>	49
2.5.6.2	<i>Pantalla LCD I2C</i>	50
2.5.7.	<i>Software para Desarrollo</i>	50
2.5.7.1	<i>Arduino IDE</i>	50
2.5.7.2	<i>XCTU</i>	51
2.6.	<b>Esquema de conexión Nodo Router Sensor y Router Actuador</b>	51
2.6.1.	<i>Consumo de corriente y alimentación</i>	54

<b>2.7.</b>	<b>Esquema de Conexión Nodo Coordinador</b> .....	57
<b>2.7.1.</b>	<i>Consumo corriente y alimentación</i> .....	60
<b>2.8.</b>	<b>Configuración de la red interna tipo Malla</b> .....	61
<b>2.9.</b>	<b>Configuración del nodo Coordinador</b> .....	63
<b>2.9.1.</b>	<i>Flujograma del programa principal</i> .....	63
<b>2.9.2.</b>	<i>Funciones que integran el programa principal</i> .....	66
<b>2.9.3.</b>	<i>Bibliotecas que integran el programa principal</i> .....	66
<b>2.10.</b>	<b>Configuración del nodo Router Sensor y Router Actuator</b> .....	67
<b>2.10.1.</b>	<i>Flujograma del programa principal</i> .....	67
<b>2.10.2.</b>	<i>Funciones que integran el programa principal</i> .....	70
<b>CAPITULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	71
<b>3.1.</b>	<b>Introducción</b> .....	71
<b>3.2.</b>	<b>Comparación de medidas con otros sistemas</b> .....	71
<b>3.1.1.</b>	<i>Comparación con datasheet de sensores</i> .....	71
<b>3.1.2.</b>	<i>Comparación con equipo MX6-IBRID</i> .....	74
<b>3.1.3.</b>	<i>Comparación con equipo MGT-5</i> .....	77
<b>3.3.</b>	<b>Evaluación de funcionamiento de la red inalámbrica de sensores</b> .....	79
<b>3.4.</b>	<b>Implementación de la red inalámbrica de sensores</b> .....	85
<b>3.5.</b>	<b>Costo de implementación del prototipo</b> .....	91
<b>CONCLUSIONES</b> .....		93
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		94
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Características de Zigbee y Bluetooth. ....	15
<b>Tabla 2-1:</b> Características de dispositivos de Red Zigbee .....	18
<b>Tabla 3-1:</b> Accidentes ocasionados por fugas de GLP.....	23
<b>Tabla 4-1:</b> Cifras a nivel nacional de accidentes por uso de gas doméstico. ....	24
<b>Tabla 5-1:</b> Indicadores asociados con el uso de gas doméstico. ....	25
<b>Tabla 6-1:</b> Efectos en la salud a exposición de Monóxido de Carbono. ....	27
<b>Tabla 1-2:</b> Sensores de GLP.....	35
<b>Tabla 2-2:</b> Comparación de características de sensores GLP. ....	36
<b>Tabla 3-2:</b> Valores estimados de Rs/Ro en función de ppm. ....	37
<b>Tabla 4-2:</b> Sensores de CO.....	39
<b>Tabla 5-2:</b> Comparación de características de sensores GLP. ....	40
<b>Tabla 6-2:</b> Valores estimados de Rs/Ro en función de ppm. ....	40
<b>Tabla 7-2:</b> Comparación de módulos inalámbricos Zigbee. ....	42
<b>Tabla 8-2:</b> Características de placas Arduino.....	45
<b>Tabla 9-2:</b> Características módulos GSM. ....	47
<b>Tabla 10-2:</b> Características módulos SD.....	49
<b>Tabla 11-2:</b> Consumo de corriente en nodo router sensor. ....	55
<b>Tabla 12-2:</b> Consumo de corriente en nodo router actuador.....	55
<b>Tabla 13-2:</b> Valores de tensión comunes de diodos LED. ....	56
<b>Tabla 14-2:</b> Conexión módulo micro SD con Arduino. ....	57
<b>Tabla 15-2:</b> Conexión pantalla I2C con Arduino.....	58
<b>Tabla 16-2:</b> Conexión módulo GSM con Arduino.....	58
<b>Tabla 17-2:</b> Consumo de corriente en nodo Coordinador.....	60
<b>Tabla 18-2:</b> Parámetros de configuración de red tipo malla. ....	61
<b>Tabla 19-2:</b> Niveles de detección configurados. ....	68
<b>Tabla 1-3:</b> Lectura de datos de sensor de GLP calibrado vs Lectura de datasheet de sensor. ....	72
<b>Tabla 2-3:</b> Lectura de datos de sensor de CO calibrado vs Lectura de datasheet de sensor. ....	73
<b>Tabla 3-3:</b> Lecturas de sensores de GLP ante encendedor de butano. ....	75
<b>Tabla 4-3:</b> Lecturas de sensores de CO en condiciones ambientales normales. ....	76
<b>Tabla 5-3:</b> Lecturas de monóxido de carbono en equipo MGT-5 y sensor MQ-7. ....	78
<b>Tabla 6-3:</b> Costo de implementación de red inalámbrica de sensores. ....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Detección por sensores infrarrojos puntuales.....	5
<b>Figura 2-1.</b> Detección por sensores de combustión catalítica.....	6
<b>Figura 3-1.</b> Detección por infrarrojos de haz abierto.....	7
<b>Figura 4-1.</b> Detección por ultrasonidos.....	8
<b>Figura 5-1.</b> Diagrama de bloques de unidad remota.....	10
<b>Figura 6-1.</b> Diagrama de bloques de Estación de Control.....	11
<b>Figura 7-1.</b> Topología en Estrella.....	20
<b>Figura 8-1.</b> Topología en Árbol.....	20
<b>Figura 9-1.</b> Topología en Malla.....	21
<b>Figura 1-2.</b> Diagrama esquemático de sistema de detección y control de glp y co.....	30
<b>Figura 2-2.</b> Diagrama de bloques de nodos: router sensor y router actuador.....	32
<b>Figura 3-2.</b> Estructura de trama de datos.....	33
<b>Figura 4-2.</b> Diagrama de bloques de nodo Coordinador.....	33
<b>Figura 5-2.</b> Salidas de módulo sensor MQ-6.....	37
<b>Figura 6-2.</b> Módulo XBee S2.....	43
<b>Figura 7-2.</b> XBee Xplorer.....	44
<b>Figura 8-2.</b> Módulo Arduino UNO.....	46
<b>Figura 9-2.</b> Placa Arduino SIM 900 GSM GPRS.....	48
<b>Figura 10-2.</b> Modificación de módulo para encendido por software.....	48
<b>Figura 11-2.</b> Módulo de almacenamiento Micro SD.....	50
<b>Figura 12-2.</b> Pantalla LCD I2C.....	50
<b>Figura 13-2.</b> Diagrama esquemático router sensor.....	52
<b>Figura 14-2.</b> Shield XBee para Arduino Uno.....	52
<b>Figura 15-2.</b> Nodos Routers Sensores armados.....	53
<b>Figura 16-2.</b> Diagrama esquemático router sensor actuador.....	54
<b>Figura 17-2.</b> Nodo Router Actuador armado.....	54
<b>Figura 18-2.</b> Cargador solar recargable.....	57
<b>Figura 19-2.</b> Diagrama esquemático nodo Coordinador.....	59
<b>Figura 20-2.</b> Nodo Coordinador armado.....	59
<b>Figura 21-2.</b> Formato de datos almacenados en tarjeta micro SD.....	64
<b>Figura 22-2.</b> Flujograma del código de programación del nodo Coordinador.....	65
<b>Figura 23-2.</b> Formato de trama de datos recibida en coordinador.....	68
<b>Figura 24-2.</b> Flujograma de código de programación de nodo router sensor y router actuador.....	69
<b>Figura 1-3.</b> Equipo detector de gases MX6-IBRID.....	74
<b>Figura 2-3.</b> Equipo medidor de gases MGT-5.....	77
<b>Figura 3-3.</b> Preparación de equipo MGT-5.....	77
<b>Figura 4-3.</b> Ubicación de equipos para medición de monóxido de carbono.....	78

<b>Figura 5-3.</b> Distribución de nodos de red en planta baja de domicilio.....	80
<b>Figura 6-3.</b> Red inalámbrica visualizada en software XCTU. ....	80
<b>Figura 7-3.</b> Nivel de potencia recibida entre nodo Coordinador y nodo router sensor. ....	81
<b>Figura 8-3.</b> Prueba de rendimiento entre nodo Coordinador y nodo router sensor. ....	82
<b>Figura 9-3.</b> Nivel de potencia recibida entre nodo Coordinador y nodo router actuador.....	82
<b>Figura 10-3.</b> Prueba e rendimiento entre nodo Coordinador y nodo router actuador. ....	83
<b>Figura 11-3.</b> Áreas de cobertura de los nodos de la red. ....	84
<b>Figura 12-3.</b> Nodo Router actuador ubicado.....	85
<b>Figura 13-3.</b> Nodos Router Sensores ubicados. ....	86
<b>Figura 14-3.</b> Nodo Coordinador ubicado. ....	86
<b>Figura 15-3.</b> Nodo Coordinador iniciado. ....	87
<b>Figura 16-3.</b> Nodos Router Sensores iniciados.....	87
<b>Figura 17-3.</b> Tramas de información enviadas por nodos.....	88
<b>Figura 18-3.</b> Datos visualizados en pantalla LCD. ....	88
<b>Figura 19-3.</b> Datos almacenados en archivo de texto. ....	89
<b>Figura 20-3.</b> Detección de niveles medios y peligrosos de gases .....	89
<b>Figura 21-3.</b> Niveles medios y peligrosos visualizados. ....	90
<b>Figura 22-3.</b> Ingreso de clave al sistema.....	91

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1.</b> Estadísticas de accidentes por GLP. ....	24
<b>Gráfico 2-1.</b> Probabilidad de que ocurran accidentes por GLP en Chimborazo. ....	26
<b>Gráfico 1-2.</b> Curva del sensor MQ-6 – (Rs/Ro) vs PPM.....	38
<b>Gráfico 2-2.</b> Curva del sensor MQ-7 – (Rs/Ro) vs PPM.....	41
<b>Gráfico 1-3.</b> Relación de lecturas de sensor MQ-6 de condiciones reales vs condiciones ideales. ....	72
<b>Gráfico 2-3.</b> Relación de lecturas de sensor MQ-7 de condiciones reales vs condiciones ideales. ....	74
<b>Gráfico 3-3.</b> Comparación de lecturas de MX6-IBRID vs sensor MQ-6 calibrado. ....	75

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se implementó una red inalámbrica de sensores, en un sistema telemétrico para detectar y controlar fugas de gas licuado de petróleo (GLP) y monóxido de carbono (CO) en usos domésticos. Se utilizó el Proceso Unificado Racional (RUP) como metodología para el análisis, diseño, implementación y documentación del proyecto. El sistema evalúa la densidad de estos gases en el ambiente de manera remota y controla su presencia si se supera los límites de exposición establecidos. Comprende una red con tres nodos sensores, uno de los cuales tiene la función de actuador, los cuales están integrados por un sensor de gas MQ-6 y uno de monóxido de carbono MQ-7. Dispone de un nodo coordinador que se encarga de recibir, visualizar en una pantalla de cristal líquido (LCD), almacenar en una tarjeta de memoria y etiquetar la información suministrada por los demás nodos según su identificador, los mismos que se comunican inalámbricamente con módulos XBee S2 a distancias de 40 m<sup>2</sup> en interiores, y vinculados a módulos Arduino UNO forman el bloque de transmisión y procesamiento de la red. El nodo coordinador tiene la capacidad de generar mensajes de alerta y transmitirlos por la red celular cuando evalúe rangos no permitidos de gases. De las pruebas se obtuvieron que el sistema es capaz de medir, procesar y comunicar en tiempos menores a 5 segundos con una tasa media de transferencia entre 2.09 Kbps – 2.38 Kbps de nodo a nodo y un porcentaje en la transmisión y recepción de datos entre 68.29% - 89.29%. Se recomienda usar la funcionalidad de paquetes de datos (GPRS) del nodo coordinador para almacenarlos en la web como información histórica para posibles investigaciones.

**Palabras Clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <RED INALÁMBRICA DE SENSORES >, <SISTEMA TELEMÉTRICO>, <PROTOCOLO ZIGBEE>, <RED CELULAR>, <TIEMPO REAL>, <SEGURIDAD DOMÉSTICA>, <CONDICIONES AMBIENTALES>.

## SUMMARY

In the present work, a Wireless sensor network was implemented in a telemetric system to detect and control liquefied petroleum gas (LPG) and carbon monoxide (CO) leaks in domestic uses. The Rational Unified Process (RUP) was used as methodology for the analysis, design, implementation and documentation of the project. The system evaluates the density of these gases in the environment remotely and controls their presence if the established exposure limits are exceeded. It comprises a network with three sensor nodes, one of which has the actuator function, which are integrated by an MQ-6 gas sensor and MQ-7 carbon monoxide sensor. It has a coordinating node that is responsible for receiving, displaying on a liquid crystal display (LCD), storing on a memory card and labeling the information supplied by the other nodes according to their identifier, which are communicated wirelessly with XBee S2 modules at distances of 40  $m^2$  indoors, and linked to Arduino UNO modules from the transmission and processing block of the network. The coordinating node has the ability to generate alert and transmission messages over the cellular network when evaluating non-allowed range of gases. From the test it was obtained that the system is able to measure, process and communicate in times less than 5 seconds with an average transfer rate between 2.09 Kbps – 2.38 Kbps from node to node and a percentage in the transmission and reception of data between 68.29 % - 89.29 %. It is recommended to use the data packet functionality (GPRS) of the coordinator node to store them on the web as historical information for possible investigations.

**Key words:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <TELECOMMUNICATIONS>, <WIRELESS SENSOR NETWORKS>, <TELEMETRIC SYSTEM>, <ZIGBEE PROTOCOL>, <CELLULAR NETWORK>, <REAL TIME>, <DOMESTIC SAFETY>, <ENVIRONMENTAL CONDITION>

## **INTRODUCCIÓN**

El uso de productos derivados del petróleo y del gas natural constituye una importante contribución en las actividades de sectores domésticos, comerciales e industriales de nuestro país. Pese a que en los últimos años se ha favorecido el uso de tecnología a inducción eléctrica por parte de las autoridades pertinentes, el consumo de estos combustibles sigue siendo la principal prioridad en la mayoría de los hogares. Sin embargo su manipulación y almacenamiento generalmente en el sector doméstico, provocan un riesgo potencial de fugas inesperadas o algún tipo de accidente tanto con gas licuado de petróleo como monóxido de carbono. Las estadísticas muestran que solo en la ciudad de Riobamba existe una probabilidad de ocurrencia de accidentes con GLP de un 11.12% en el sector urbano y tienen mayor tendencia a generarse en hogares que habitan en viviendas con características físicas inadecuadas (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2010).

Tal problemática generó la necesidad de implementar un sistema que permita evaluar y controlar las condiciones que puedan generar alguna eventualidad perjudicial ya sea para la infraestructura doméstica como a las personas que habitan la misma. Todo esto basado en el concepto de telemetría, con el fin de crear un sistema escalable, adaptable y sencillo en cualquier ambiente doméstico en que se lo pretenda instalar.

La telemetría tiene una estrecha relación con el uso de las nuevas tecnologías como lo son las redes de sensores inalámbricas, las cuales se enfocan al empleo de dispositivos de bajo consumo y coste que, a través de la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical, por sus siglas en inglés), en la frecuencia de 2.4 GHz, aseguren una comunicación y disponibilidad entre cada uno de los nodos de la red.

La metodología del proyecto consta de cuatro fases: iniciación, elaboración, construcción y transición. Dicha metodología se denomina RUP (Rational Unified Process, por sus siglas en inglés), ya que permite desarrollar e implementar el proyecto de una manera más organizada. (Kruchten, 2004).

En el primer capítulo se aborda conceptos teóricos sobre los sistemas detección de gases, sistemas telemétricos y redes de sensores inalámbricos, así como también se analiza la situación actual de accidentes provocados por fugas de gas a nivel nacional y provincial. En el segundo capítulo se detallan los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto, el diseño propuesto del sistema y la selección del hardware y software propuesto para su implementación. En el tercer

capítulo se realizan pruebas de comparación de mediciones entre el sistema desarrollado con equipos comerciales de medición de gases. Se evalúan las características ofrecidas por la red inalámbrica en un software de prueba y se muestran los resultados de implementación en una infraestructura doméstica.

## **ANTECEDENTES**

La Telemetría y las Redes de Sensores Inalámbricas abren un amplio campo de soluciones que se pueden entender a través del parámetro de control y medición remota de procesos físicos que van desde: temperatura, humedad, presión, caudal y nivel, prevención de incendios por detección de humo, calor y gas, hasta, control de fallas eléctricas en todo tipo de máquinas (Flores Prior, 2015). Bajo este concepto el número de aplicaciones posibles se multiplica, dando lugar a una enorme cantidad de productos y proyectos que se ajustan a cada necesidad.

Existen sistemas móviles y estacionarios de detección de gases para el control de la seguridad. La mayoría de estos sistemas han sido creados para medir en depósitos de basura, fábricas, canales de aguas residuales, barcos y plataformas petroleras, y en cualquier lugar en el que exista un riesgo elevado de exposición a gases y vapores susceptibles de medida directa (Hernández, 2007).

Estos sistemas de detección se basan en tecnologías de seguridad, su objetivo es detectar concentraciones peligrosas de gas para activar alarmas y contramedidas que permitan evitar situaciones graves para empleados, instalaciones y medio ambiente (Winterfeld, 2009). Sin embargo en el sector doméstico, su desarrollo por parte de las grandes empresas de tecnología es escaso o a veces limitado tan solo a dispositivos estáticos que necesitan la intervención continua del usuario para monitorear o establecer algún control en los eventos (Ramírez, 2016).

En el campo investigativo en la Universidad de San Buenaventura (Colombia), se implementó un detector de fuga de gas integrando un chip Motorola y electrónica digital, obteniendo como producto un prototipo que solo detecta densidad de gas en el ambiente, (Colmenares, 2016). En la Universidad de Nueva Esparta (Venezuela), se desarrolló un prototipo para detección de fugas de gas en tuberías, en el cual se necesita una presencia continua del usuario para tener conocimiento de las condiciones del mismo, (Villa, 2013). En la Universidad Técnica de Ambato, se diseñó un equipo para el monitoreo de las condiciones del ambiente de trabajo utilizando una tarjeta FPGA, resultando en un dispositivo portátil capaz de medir varios gases y magnitudes físicas en cualquier lugar donde se necesite monitorear datos, (Sarsoza, 2015).



El impacto que generará la evolución de los sistemas de detección es que se podrá hacer seguimiento a procesos físicos complejos, es decir, ajustarse a las necesidades que implican la medición de gases más peligrosos en diferentes áreas profesionales, en la proporción en que haya elementos desechables y de bajo coste que sirvan para obtener mejores resultados en la adquisición de información más confiable (Alvarado, y otros, 2014).

## **JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Las redes de sensores inalámbricas WSN (Wireless Sensors Networks, por sus siglas en inglés), y el estándar de comunicaciones IEEE-802.15.4 (ZigBee), son utilizados ampliamente en Telemetría, ya que son soluciones de bajo costo, bajo consumo de energía, con nodos sensores de tamaño reducido y que pueden comunicarse inalámbricamente a distancias cortas. Usando los sensores adecuados, se logra medir remotamente algún fenómeno físico de interés como temperatura, humedad, densidad de gas, desplazamientos, aceleraciones entre otros.

Según datos del Sistema Nacional de Información, solo en la Provincia de Chimborazo el 97.79% de los hogares utilizan gas en el sector urbano, y el 52.46% en el sector rural. De estos indicadores existe una probabilidad del 14.23% en el sector urbano y del 61.49% en el sector rural de ocurrencia de accidentes por fugas de GLP, esto debido principalmente a las características físicas inadecuadas de las viviendas. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2010).

Por lo anteriormente expuesto, en el presente documento se muestra el desarrollo de una infraestructura que contribuirá en la adquisición, procesamiento, envío y control de muestras en cuanto a la densidad de gas GLP (gas licuado de petróleo) y CO (monóxido de carbono) que puede existir al haber fugas inesperadas de tales elementos; aplicable en una determinada instalación u organización, capaz de monitorear en tiempo real dichos parámetros. Utilizando canales de comunicación inalámbrica y la red GSM para establecer un enlace permanente entre el usuario y los dispositivos del sistema.

Con la ayuda de este sistema, se podrán desarrollar investigaciones en este tipo de temáticas y además conocer con exactitud los niveles de densidad de gas que puede existir en un ambiente cerrado cuando se ha producido algún tipo de fuga, para establecer los controles adecuados y oportunos que disminuyan el impacto negativo en la integridad del personal y la repercusión que pueda tener sobre los equipos y las instalaciones del lugar mismo.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Implementar una red de sensores inalámbrica, en un sistema telemétrico para detectar y controlar fugas de gas glp y monóxido de carbono en usos domésticos.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar las tecnologías que se emplean en redes de sensores inalámbricas como un mecanismo de comprensión.
- Determinar el protocolo que se va a utilizar para la comunicación inalámbrica en la WSN.
- Determinar los requerimientos necesarios de hardware y software para el desarrollo del sistema.
- Seleccionar los sensores de GLP, CO, y módulos inalámbricos en base a sus especificaciones técnicas.
- Diseñar la red de sensores inalámbrica en base a los requerimientos analizados
- Comparar las mediciones del sistema desarrollado con equipos profesionales de medición de gases.
- Evaluar las características ofrecidas por la red inalámbrica a través de software de prueba.
- Implementar el sistema en una infraestructura doméstica para analizar resultados.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

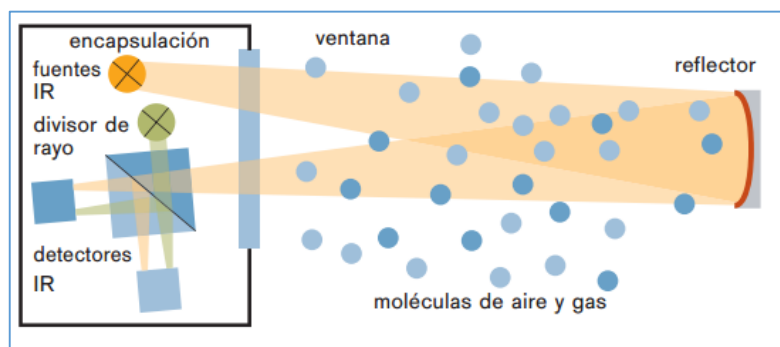
En este capítulo se conceptualiza los términos de sistema telemétrico y red inalámbrica de sensores, así como la relación que existe entre ambos temas. Además se enfatiza sobre el protocolo de comunicación inalámbrica Zigbee y los diferentes métodos de medición de gas licuado de petróleo. Finalmente se analiza las estadísticas a nivel nacional y provincial sobre accidentes ocurridos con monóxido de carbono y gas licuado de petróleo para determinar probabilidades de eventualidades relacionadas al caso.

#### 1.1. Sistemas de detección de GLP y CO

Los equipos para detección de gases pueden ser portátiles o sistemas fijos. La seguridad de una zona potencialmente afectada por gases y vapores peligrosos depende principalmente de la fiabilidad del sistema de detección, y especialmente de la calidad de los sensores utilizados. A continuación, se presentan las tecnologías tradicionales de detección de gas; en todos estos métodos cada dispositivo trabaja de forma independiente, es decir, no operan en función de un conjunto o una red como se pretende al desarrollar este proyecto.

##### 1.1.1. Detección por sensor infrarrojo puntual

La mayoría de los gases y vapores inflamables son hidrocarburos que casi siempre son detectables por su característica absorción de infrarrojos. El principio de medición consiste en que los gases expuestos en el ambiente absorben la radiación emitida por transmisores infrarrojos en el rango de longitud de onda dependiente del espectro de absorción del gas en cuestión. Es así que un sistema óptico conteniendo una mezcla de GLP o CO en el aire atenuará la intensidad del infrarrojo entrante de una manera predecible, y para un gas dado esta atenuación depende solamente de su concentración. (Winterfeld, 2009). El esquema de este sistema se aprecia en la Figura 1-1.



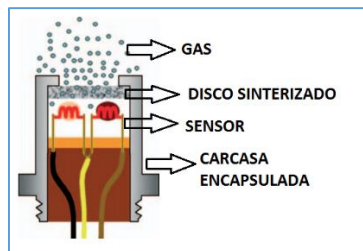
**Figura 1-1.** Detección por sensores infrarrojos puntuales.

Fuente: (Winterfeld, 2009 pág. 19)

### ***1.1.2. Detección por sensores de combustión catalítica***

Bajo ciertas circunstancias los gases y vapores inflamables se pueden oxidar mediante el oxígeno del aire para liberar calor de la reacción. Este aumento de temperatura es una medida para la concentración de gas. Los sensores de combustión catalítica funcionan con un circuito electrónico llamado puente Wheatstone, que es adecuado para convertir cambios de resistencia muy pequeños en voltajes medibles (Winterfeld, 2009). La corriente eléctrica suministrada fluye a través del sensor el cual elevará su temperatura según la presencia del gas y por consiguiente su resistencia interna aumentará. Este cambio en la resistencia del sensor con respecto a la resistencia en aire limpio se utiliza para la evaluación electrónica.

Ya que estos sensores pueden alcanzar elevadas temperaturas debido a ininterrumpidos períodos de operación, pueden convertirse en una fuente de ignición si el LEL (Límite Inferior de Explosividad) del gas es sobrepasado, por lo que estos elementos tienen un disco sinterizado compactado a una temperatura inferior a la de ignición del gas. De existir en el interior del sensor una ignición, la carcasa del sensor resistirá la presión de la explosión y la llama es enfriada por debajo de la temperatura de ignición del gas, sin pasa al exterior (Winterfeld, 2009). El principio de este sistema se observa en la Figura 2-1.



**Figura 2-1.** Detección por sensores de combustión catalítica.

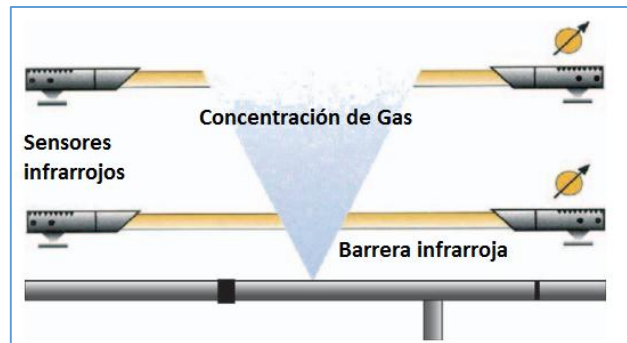
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Fuente: (Winterfeld, 2009 pág. 17)

### ***1.1.3. Detección por infrarrojos de haz abierto***

Este sistema habla de sensores infrarrojos con una barrera óptica extendida varias veces, donde, las moléculas de gas que penetren en esta barrera causarán una absorción infrarroja medible. Las longitudes de estas barreras ópticas pueden llegar hasta 200 metros. En estos sistemas no se puede diferenciar el nivel de concentración del gas (alto o bajo), pues en cualquier caso la señal de medida es la misma, porque cada molécula absorbente en la barrera contribuye a la señal de medida, independientemente de su distribución (Winterfeld, 2009). Sin embargo, en aplicaciones especiales la posibilidad de que la concentración de gas derive en la barrera óptica es mayor que sea detectada por sensores puntuales (Winterfeld, 2009). Como se muestra en la Figura 3-1, mientras que la nube

de gas esté en el camino del haz hay una señal de medición, independientemente de su concentración en el aire.



**Figura 3-1.** Detección por infrarrojos de haz abierto.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Fuente: (Winterfeld, 2009 pág. 21)

Así, un detector de barrera es un sistema de detección más confiable que un equipo de medición de concentración. En aplicaciones con un alto riesgo de escapes de gas la advertencia “presencia de gas” se considera conveniente para accionar contramedidas de seguridad adecuadas.

#### **1.1.4. Detección por ultrasonidos**

Se basan en localizar fugas en el ambiente percibiendo los ultrasonidos de alta frecuencia generados por las fugas de gas a alta presión, por lo que no es necesario que el gas alcance al sensor. Estos sistemas no se ven afectados por factores externos como condiciones climáticas o radiación solar que en el caso de un sistema infrarrojo se vería seriamente afectado; o tampoco pueden saturarse por gases venenosos o altamente concentrados que en el caso de un sistema por combustión catalítica lo afectaría notablemente. En la Figura 4-1 se presenta un sistema de detección por ultrasonido, al crearse la fuga de gas, ésta genera un ruido que puede abarcar desde frecuencias audibles para el humano hasta frecuencias elevadas e imperceptibles. Son captadas por un sensor micrófono de ultrasonidos de alta gama y genera la medida para tomar las acciones correspondientes dentro del sistema automatizado. Los detectores pueden utilizarse de forma aislada o en combinación con métodos de detección presentados anteriormente.



**Figura 4-1.** Detección por ultrasonidos.  
**Fuente:** (MSA International, 2012)

## 1.2. Telemetría

Conceptualmente se puede definir como una tecnología o técnica de comunicaciones cuyo objetivo es permitir la medición de magnitudes físicas o químicas, el posterior envío y análisis de la información recopilada a través de medios guiados o no guiados hacia una estación de procesamiento. Su propósito general es de recolectar datos en áreas de difícil acceso o peligrosas para el ser humano y transmitir tal información preferencialmente de manera inalámbrica. Lo más importante es el análisis y la toma de decisiones que se realice con aquella información, ya que las condiciones y necesidades cambian para cada área de aplicación.

La necesidad del hombre de conocer en cualquier lugar y a todo momento el estado de un ambiente y sus condiciones, y, además contar con un sistema de control automático que permita realizar acciones preventivas y correctivas, genera una importancia no solo en el desarrollo de la seguridad industrial, sino que últimamente en la seguridad doméstica.

### 1.2.1. Sistema Telemétrico

La adecuada selección de elementos esenciales de un proceso se resume en la creación de un sistema telemétrico de nivel ya que, este sistema deberá garantizar: registro de datos en tiempo real, efectividad en el procesamiento de la información, calidad en el control del proceso en cuestión, óptimo canal de comunicación, fácil interacción con el usuario. Los componentes de un sistema telemétrico de nivel son similares entre una aplicación y otra, sin embargo, los factores que elevan significativamente los costos de implementación son el método de detección (sensores) y el canal de comunicación (alámbrico o inalámbrico). Es decir, con un factor económico limitado se debe optimizar los recursos al máximo para acoplarlos a los requerimientos del sistema. Por lo contrario

de no ser un problema el factor económico, esto se ve reflejado en un sistema confiable con componentes de alta gama.

#### *1.2.1.1. Criterios de un sistema telemétrico*

Se refieren directamente a las propiedades y características del elemento por el cual se creará el sistema telemétrico para realizar su respectiva medición y análisis, en este caso el gas licuado de petróleo y monóxido de carbono.

#### **Requerimientos del elemento**

Se encuentran definidos en el planteamiento del problema, es decir, indican las razones por las que es necesaria la detección o medición de nivel de aquellos elementos, y del cual el sistema debe tomar como estructura de operación.

#### **Datos del elemento**

Especifica la información de las propiedades físicas, químicas, tóxicas, entre otras de los elementos. Estos datos permitirán saber cuáles son los límites de exposición permisibles para las personas en lugares domésticos y los riesgos ocasionales que se pueden producir. Además, posterior a la selección de los sensores, estos niveles sirven para acondicionar las señales que miden y así transformarlos en parámetros que el sistema pueda interpretar.

#### **Variables del elemento**

Se definen por la naturaleza de los elementos, en este caso al hablar de GLP y Monóxido de carbono, son gases los cuales la única forma de medir su presencia en el ambiente es a través de su densidad. Definida esta variable la selección de los sensores respectivos se facilita debido a que ya se tiene la noción de lo que se va medir o detectar.

#### **Datos del proceso**

Se refiere a la información del lugar donde se encuentran almacenados los elementos, número de tanques de gas y calefones, condiciones del ambiente, ubicaciones de los sensores, viabilidad y factibilidad del sistema.

#### **Modo de operación**

En esta etapa se establece como será controlado el sistema, local (asistencia humana inmediata) o remota (poca o nula asistencia humana). Para el primer caso está claro que se puede desarrollar un sistema que trabaje a la par con intervención humana, pero lo que se busca es un proceso

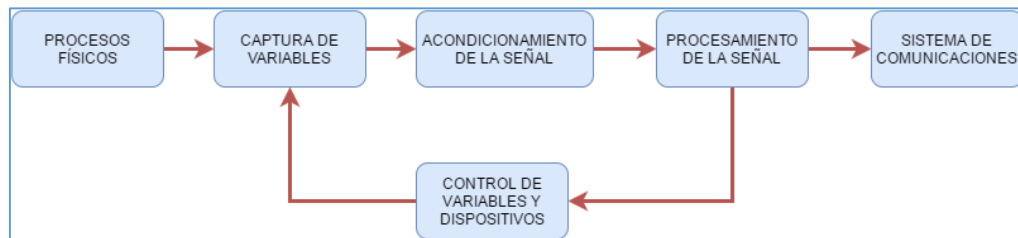
independiente pero seguro, donde el usuario se preocupe únicamente del control, más no del proceso. Es así que, si la operación es remota, se deben vincular parámetros como condiciones ambientales, ubicación geográfica y distancia para un apropiado funcionamiento del sistema telemétrico. Estos criterios ayudan a seleccionar de manera correcta el método de comunicación, ya sea alámbrico o inalámbrico.

### 1.2.1.2. Elementos de un sistema telemétrico

Un sistema telemétrico de nivel debe constar con estaciones remotas, constituidas por dispositivos electrónicos que cumplan con las funciones de lectura de datos, almacenamiento en memoria y capacidad de comunicación para transferir la información. También debe existir una estación de control, que sea capaz de dirigir el proceso de comunicación en la red, recibir la información enviada por las estaciones remotas y posteriormente analizarla e interpretarla. El ámbito más importante dentro de este sistema es la selección del canal de transmisión, ya que, una elección equivocada puede conllevar a una comunicación deficiente o nula, debido al ruido o factores del ambiente en donde se encuentren las unidades remotas.

#### Estación remota

En un sistema de nivel la unidad remota se basa en el concepto de “control de lazo cerrado” como se muestra en la Figura 5-1.



**Figura 5-1.** Diagrama de bloques de unidad remota

Fuente: (Márquez, 2015 pág. 231)

La función de cada uno de los bloques se describe a continuación:

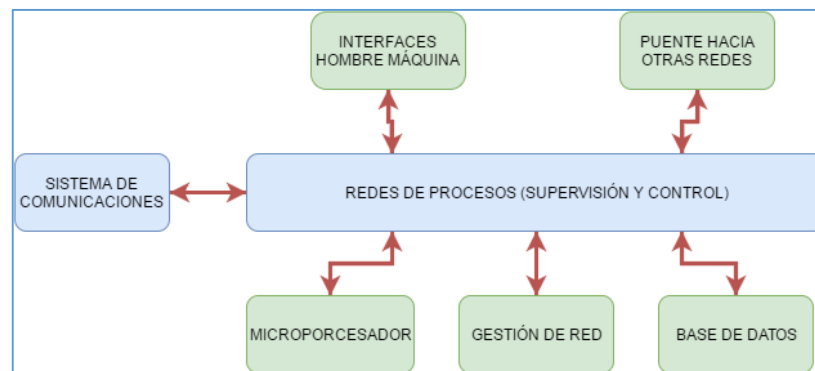
- **Procesos físicos:** Es el resultado que se genera al existir presencia de densidad de los gases mencionados (GLP y CO), ya sea por fugas o combustión.
- **Captura de variable:** Se la realiza a través de los sensores los cuales producen impulsos eléctricos a partir de las medidas que toman de los procesos físicos, en este caso la densidad de gas. Hay que resaltar que los sensores no alteran las propiedades de las variables medidas.



- **Acondicionamiento de señal:** La señal producida por los sensores se encuentra expresada en milivoltios o microamperios. Entonces en el acondicionamiento, que está compuesto por amplificadores operacionales, se tratan las señales provenientes de los sensores para variar sus características a las funciones deseadas.
- **Procesamiento de señal:** Una vez hecho el acondicionamiento de la señal, se realiza un proceso de control automático para transmitir o almacenar la información, dependiendo de las necesidades o requerimientos de la aplicación.
- **Control de variables y dispositivos:** Aquí se encuentran inmersos los actuadores, es decir, las acciones que se tomarán una vez que se haya llegado a un límite crítico de presencia de densidad de los elementos.
- **Sistema de comunicaciones:** En esta fase se efectúa la transmisión de los datos provenientes de los sensores previamente acondicionados y procesados, hacia la estación de control, y de ser necesario se recibirán las instrucciones o acciones a ejecutar por parte de la estación central.

### **Estación de control**

Los datos de todas las estaciones remotas existentes deben ser recibidos y almacenados en una estación de control, sobre ellos se ejecuta tal procesamiento en tiempo real a fin de obtener resultados acerca de los procesos, presentarlos al usuario, y como fruto de un análisis, emprender acciones preventivas o correctivas si fuese necesario. La estación de control debe poseer una alta capacidad de respuesta y procesamiento, normalmente microprocesadores o computadores de alta gama. Estos elementos deben asegurar confiabilidad e integridad en todos los procesos del sistema. En la Figura 6-1 se muestra el diagrama de bloques de una estación de control de un sistema telemétrico de nivel.



**Figura 6-1.** Diagrama de bloques de Estación de Control

Fuente: (Márquez, 2015 pág. 248)

### **Canal de transmisión**

El desarrollo tecnológico ha permitido incrementar gradualmente el aprovechamiento de los canales de transmisión disponibles (coaxial, par trenzado, radio), así como la creación de otros completamente nuevos (fibra óptica). Sea cual fuere la elección del canal de transmisión todos comparten las mismas características que se mencionan a continuación:

- Se basan en ondas electromagnéticas.
- Transmiten a la velocidad de la luz y esta varía según el medio en el que transite.
- Muestran una atenuación proporcional a la distancia.
- Son susceptibles a ruido e interferencias.
- Son limitados en el ancho de banda en el que pueden transmitir.

Elegir el adecuado canal de comunicaciones enfrenta una variedad de decisiones críticas. Tanto la infraestructura como la instalación del mismo deberán satisfacer los requerimientos actuales y futuros de la comunicación entre los diferentes elementos del sistema, así como la topología y las características eléctricas. Como soporte, actualmente existen normativas para la selección y uso del medio apropiado para determinada aplicación. Entre las principales se encuentran las normas emitidas por la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la empresa IBM. Sin embargo, hay que resaltar que la UIT, establece que para los sistemas telemétricos se deben usar las frecuencias UHF, que se encuentran en el rango de los (300 MHz – 3GHz) del espectro electromagnético.

#### ***1.2.2. Funcionamiento general de sistema telemétrico***

Un sistema telemétrico se puede convertir en una herramienta útil en aplicaciones tanto industriales como domésticas. Descritos ya los elementos que forman parte de un sistema telemétrico es sencillo identificar que funciones realizan cada uno. El sensor, seleccionado adecuadamente toma lecturas de nivel de un proceso físico, por lo que la estación remota efectúa la captura y almacenamiento de los datos para su posterior uso. Según el canal de comunicación elegido, la transmisión de la información será dirigida hacia la estación de control que deberá recibir, procesar y analizar la misma para presentarla al usuario final. Finalmente, se pretende crear un sistema confiable y seguro, es primordial crear e implementar políticas de seguridad que protejan la integridad y autenticidad de la información que fluye a través de lo que se puede considerar como una red inalámbrica de sensores. Es así que se puede apreciar la similitud entre Sistema Telemétrico y Red Inalámbrica de Sensores, las mismas que se detallan a continuación:

- Lectura de medidas de procesos físicos o químicos.
- Almacenamiento y acondicionamiento de las lecturas en estaciones remotas.
- Transmisión de la información hacia una estación de control a través de un canal de comunicación generalmente inalámbrico.
- Recepción, almacenamiento y procesamiento de la información por parte de la estación de control.
- Protocolos de enrutamiento y seguridad aplicados al sistema.

### **1.3. Wsn**

El origen de las WSN's (Redes de Sensores Inalámbricos, por sus siglas en inglés) constituye un avance importante para el desarrollo de sistemas telemétricos, y se puede definir a estas redes como un conjunto de dispositivos, generalmente sensores autónomos, distribuidos geográficamente, capaces de medir el comportamiento de magnitudes físicas tales como luz, presión, temperatura, densidad de gas, entre otras, en un ambiente determinado. Transmiten dicha información a través de un medio no guiado (inalámbrico) con el fin de supervisar las condiciones a través de la capacidad de cómputo, almacenamiento y comunicación de la red. Están constituidas desde unos pocos hasta cientos, e incluso miles de sensores llamados nodos sensores. Cada nodo sensor de la red generalmente consta de: un transceptor de radio con una antena interna, un microcontrolador, un circuito electrónico para interactuar con el sensor y una fuente de energía, usualmente una batería o una forma incorporada de captación de energía. La red puede variar desde una simple topología en Estrella o Malla (Mesh) cuando cada nodo tiene una conexión estática punto-a-punto o punto-a-multipunto; hasta una avanzada red Manet cuando la movilidad es una característica de los nodos que resulta crítica para la aplicación que usa la red. Entre sus características se tiene:

- Aplicaciones en diversos campos (Control de procesos industriales, Seguridad y vigilancia, medición/detección de contaminación ambiental, etc.)
- Limitado en energía y capacidad de cómputo de memoria.
- Redes desatendidas (sin intervención humana).
- Capacidad para soportar duras condiciones ambientales.
- Computación Distribuida.
- Control de la topología.
- Coste y facilidad de instalación.
- Tiempo de respuesta.
- Cobertura de la red.

### *1.3.1. Elementos Wsn*

- **Sensor:** Son dispositivos electrónicos capaces de tomar del medio la información de las magnitudes a medir y transformarlas en señales eléctricas. Estos sensores pueden ser de distinta naturaleza y tecnología.
- **Nodo Sensor:** Estos dispositivos proveen de procesamiento y comunicación a los sensores tomando la información de los mismos a través de sus puertas de datos y enviando dicha información a la estación base.
- **Gateway:** Permiten la interconexión entre la red de sensores y una red TCP/IP.
- **Estación Base:** Recolector de datos basado en un ordenador común o sistema embebido.

### *1.3.2. Software en Wsn*

Se tiene un parámetro importante a considerar al insertar los nodos sensores en el medio y es la energía, un recurso importante dentro de la red ya que determina el tiempo de vida de nuestra WSN, es por eso que los algoritmos y protocolos necesitan cumplir con:

- **Maximización del tiempo de vida:** Seleccionar los módulos adecuados y configurarlos para un bajo consumo de potencia.
- **Robustez y tolerancia a fallos:** Utilizar topología y protocolos de enrutamiento necesarios para reducir al mínimo desperfectos.
- **Autoconfiguración:** La capacidad y el tiempo de respuesta que tienen los dispositivos para entrar en convergencia con o sin fallos.

### *1.3.3. Estándares*

Los principales estándares utilizados en comunicaciones WSN son:

- **ISA100:** Es un estándar de tecnología de red inalámbrica desarrollada por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA), se formó en 2005 para establecer las normas y la información relacionada que definan los procedimientos para la implementación de sistemas inalámbricos en el entorno de automatización y control.
- **IEEE 1451:** Define un conjunto de interfaces de comunicación para conectar transductores inteligentes a sistemas basados en microprocesadores, instrumentos y redes; y proporciona un conjunto de protocolos para sistemas tanto cableados como inalámbricos.
- **Zigbee:** Es una especificación basada en el estándar IEEE 802.15.4 para un conjunto de protocolos de comunicación de alto nivel que se utilizan para crear redes de área personal con radios digitales pequeñas, de bajo consumo.

- **IEEE 802.11:** Es un estándar internacional que define las características de una red de área local inalámbrica (WLAN), siendo la tecnología Bluetooth su principal referente.

#### 1.3.4. Zigbee vs Bluetooth

Bluetooth se usa en aplicaciones que impliquen transferencia de datos tales como: teléfonos móviles o informática casera. Zigbee se usa en aplicaciones que necesiten monitoreo y control como, por ejemplo: domótica, sensores médicos, entre otros, en donde la transferencia de datos es reducida. En la tabla 1-1 se muestra de una manera más sencilla las principales diferencias y características que han permitido seleccionar la tecnología adecuada para la implementación del proyecto.

**Tabla 1-1:** Características de Zigbee y Bluetooth.

	BLUETOOTH	ZIGBEE
Frecuencias de Operación	2.4GHz (Todo el mundo)	2.4GHz (todo el mundo) 868 MHz (Europa) 915 MHz (EE.UU)
Velocidad de transmisión	1, 3 hasta 32 Mbps	20, 40 hasta 250 Kbps
Potencia de transmisión y alcance	100mW – 100m 2.5mW – (5 a 10m) 1mW – 1m	100mW – 66m 10mW – 29m 1mW – 13m
Tipos de datos	Digital, audio	Digital (texto)
Modulación	FHSS	DSSS
Consumo de Batería	Medio: 40mA transmitiendo 0.2mA reposo	Bajo: 30mA transmitiendo 3µA reposo
Tiempo de conexión a la red	3 segundos	30 milisegundos
Topologías	Punto a Punto Piconet Scaternet	Estrella Árbol Malla
Implementación	Complejo	Simple
Costo	Accesible	Bajo
Aplicaciones	Teléfonos móviles, computadoras	Monitorización y control de ambientes

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

La razón en escoger Bluetooth o Zigbee depende mucho del ámbito en el que se va a aplicar el proyecto, es por eso que existen diferencias significativas entre ambas tecnologías que permiten seleccionar cual es la idónea para la implementación:

- Si bien en una red Bluetooth un dispositivo (maestro) puede establecer comunicación un con un máximo de 256 (esclavos) pero simultáneamente con 7 (esclavos); la red Zigbee permite constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos lo que deja un mayor número de dispositivos interconectados.
- Bluetooth consume 40mA transmitiendo y 0.2mA en reposo mientras que Zigbee consume 30mA transmitiendo y 3 $\mu$ A en reposo, esto se debe a que los dispositivos Zigbee permanecen la mayoría del tiempo “dormidos”, situación que no puede suceder con los dispositivos Bluetooth porque siempre están en modo de transmisión o recepción.
- Zigbee ofrece velocidades de transmisión de 20, 40 y hasta 250 kbps, mientras Bluetooth velocidades de 1, 3 y actualmente hasta 32 Mbps con un consumo de potencia casi reducido a la mitad.

#### **1.4. Zigbee**

Es un conjunto de protocolos para comunicaciones inalámbricas de bajo consumo, costo y tasa de datos; basados en el protocolo IEEE 802.15.4 para la aplicación en redes inalámbricas de área personal (WPAN) permitiendo la comunicación entre miles de pequeños sensores lo que da un amplio campo en cuanto a sus aplicaciones tales como: Control y monitoreo industrial, seguridad pública, domótica, automatización de procesos entre otros.

Esta tecnología trabaja en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical, por sus siglas en inglés) en la frecuencia de 2.4 GHz por lo que está dirigida a aplicaciones de radiofrecuencia de baja transferencia de información, una duración considerable de energía y una gestión óptima en cuanto a la red.

La “Zigbee Alliance” es una comunidad internacional de más de cien empresas asociadas tales como: Motorola, Mitsubishi, Philips, Samsung, Honeywell y Siemens, entre otras que cooperan para producir dispositivos de monitorización y control para redes inalámbricas que sean confiables, rentables y de bajo consumo basados en el estándar que es de carácter global abierto, es decir, cualquier fabricante puede implementar soluciones en base a tal conjunto estandarizado. (Morán, y otros, 2011 pág. 31).

En Zigbee se definen tres tipos de dispositivos:

- **Coordinador Zigbee (ZC):** Es el dispositivo central de la red ya que la administra y controla el enrutamiento que se realiza en ella, además está en la capacidad de almacenar información de la red y puede tender una conexión hacia otras redes.
- **Router Zigbee (ZR):** Realiza la interconexión de los diferentes dispositivos establecidos en la topología de la red mediante direccionamiento.
- **Dispositivo Final Zigbee (ZED):** Este dispositivo no realiza tareas de enrutamiento, pero posee características suficientes para comunicarse con sus nodos padres (coordinador o router), de esta manera y debido a sus requerimientos mínimos de memoria puede estar en modo standby (dormido) aumentando así la vida media de su fuente de energía.

### 1.5. Redes Zigbee

Para diferenciar una red de otra, se debe asignar un PAN ID (Identificador de Red de Área Personal) al Coordinador y un canal para iniciar el sistema. Después que un Dispositivo final o Nodo Sensor se una a un Coordinador o Router, debe ser capaz de enviar o transmitir datos RF a través de ellos, puesto que aquel elemento que le permitió unirse a la red se convierte en el “Nodo Padre” de éste. Como el Dispositivo final tiene la capacidad de operar en modo dormido (Sleep Mode), el nodo padre debe ser capaz de almacenar en búfer los paquetes de datos entrantes destinados al Nodo Sensor hasta que el mismo se active y pueda recibir sus datos.

Cada uno de los tipos de dispositivos que formen parte de una red Zigbee, deben cumplir con ciertas características como se ve en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1:** Características de dispositivos de Red Zigbee

TIPO DE DISPOSITIVO	CARACTERÍSTICAS
COORDINADOR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selecciona un canal y PAN ID (tanto de 64 bits como de 16 bits) para iniciar la red.</li> <li>• Puede permitir que los enrutadores y dispositivos finales se unan a la red.</li> <li>• Puede ayudar en el enrutamiento de datos.</li> <li>• Solo se permite uno por red.</li> <li>• No puede dormir – puede ser alimentado por la red eléctrica</li> </ul>
ROUTER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe unirse a una red Zigbee antes de poder transmitir, recibir o enrutar datos.</li> <li>• Su presencia es opcional en la red, sin embargo, pueden existir algunos en la misma.</li> <li>• Después de unirse, puede permitir que los enrutadores y dispositivos finales se unan a la red.</li> <li>• Después de unirse, puede ayudar en el enrutamiento de datos</li> <li>• No se puede dormir, puede ser alimentado por la red eléctrica</li> </ul>
DISPOSITIVO FINAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe unirse a una red Zigbee antes de poder transmitir o recibir datos.</li> <li>• Pueden existir algunos o varios en la red.</li> <li>• No permite que otros dispositivos se unan a la red</li> <li>• Siempre debe transmitir y recibir datos de RF a través de su matriz</li> <li>• No puede enrutar los datos</li> <li>• Puede entrar en modos de baja potencia para ahorrar energía y puede ser alimentado por batería</li> </ul>

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

### 1.5.1. Pan Id

Cada red Zigbee se define con un único PAN ID. Este identificador es el mismo entre todos los dispositivos de la red. Zigbee soporta PAN ID de 16 y 64 bits. Ambos identificadores se usan para definir de forma única una red. El identificador de 16 bits se usa como campo de direccionamiento de capa MAC en todas las transmisiones de datos RF entre los dispositivos de la red. Sin embargo, debido al limitado espacio de direccionamiento, existe la posibilidad de que otras redes Zigbee puedan usar el mismo PAN ID de 16 bits. Para resolver estos potenciales conflictos la Alianza Zigbee creó un identificador de 64 bits.

El identificador de 64 bits (también llamado PAN ID ampliado), pretende ser un valor único, no duplicado. Este identificador se usa durante el acceso; si un dispositivo tiene un PAN ID



preconfigurado de 64 bits, sólo se unirá a una red con el mismo identificador. De lo contrario, un dispositivo podría unirse a cualquier PAN ID de red detectado y heredar tal atributo.

Los routers y los dispositivos finales se configuran típicamente para unirse a una red con cualquier PAN ID de 16 bits siempre y cuando el PAN ID de 64 bits sea válido. Los coordinadores normalmente seleccionan un identificador de 16 bits aleatorio para su red.

En resumen, los routers y dispositivos finales de Zigbee deben configurarse con el identificador de 64 bits de la red a la que desean unirse. Generalmente adquieren el identificador de 16 bits cuando se unen a una red.

### ***1.5.2. Canal de Operación***

Zigbee utiliza modulación de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) y opera en un canal fijo. El estándar 802.15.4 define 16 canales operativos en la banda de frecuencia de 2,4 GHz.

### ***1.5.3. Topología del sistema***

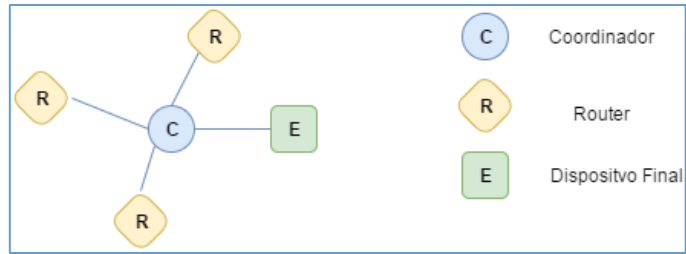
Zigbee se diseñó como una solución que permita formar redes y enlazar dispositivos remotos. Es claro que la selección de la topología dependerá de los requisitos funcionales que el sistema posee, estas características definidas a continuación expresan una capacidad de acción del mismo:

- Se debe crear una red inalámbrica de sensores que asegure la comunicación entre todos sus nodos conectados.
- Se debe registrar todos los dispositivos conectados a la red.
- Se debe proporcionar información específica de cada nodo en la red.

Existen 3 topologías bien definidas en las WSN's y en base a los requisitos funcionales presentados se elegirá la topología adecuada la cual se adapte a nuestro sistema.

#### ***1.5.3.1. Topología en Estrella***

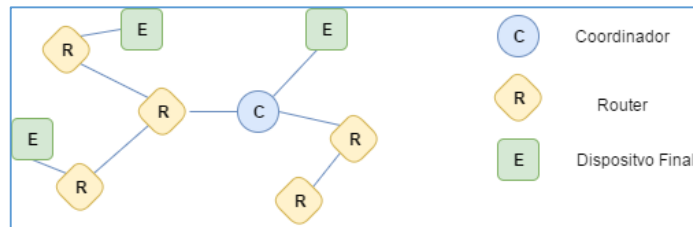
La comunicación es totalmente centralizada ya que se tiene un único nodo como coordinador (Figura 7-1). Todos los dispositivos o nodos conectados que quieran comunicarse entre sí, primero deben enviar su información al coordinador y será él quien establezca la conexión con el dispositivo correspondiente.



**Figura 7-1.** Topología en Estrella.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

### 1.5.3.2. Topología en Árbol

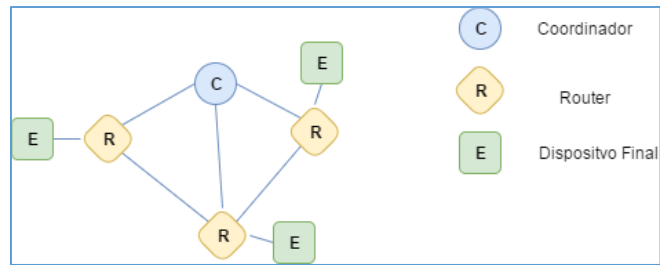
En esta topología de la Figura 8-1 el nodo coordinador establece la red inicial, los routers se encargan de formar las secciones o ramas de la red y, además envían los paquetes de información; finalmente los dispositivos finales u hojas del árbol son quienes toman las muestras de información para enviárselas a los routers, cabe recalcar que estos dispositivos no participan en el enrutamiento de mensajes.



**Figura 8-1.** Topología en Árbol.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

### 1.5.3.3. Topología en Malla

Esta topología que se muestra en la Figura 9-1, se caracteriza porque existe comunicación entre todos los dispositivos que conforman la red. Los múltiples caminos que la información puede tomar ofrecen un óptimo nivel de confiabilidad y rendimiento en el enrutamiento de paquetes en la red. Es decir, debido a que los dispositivos crean por su cuenta la red, ésta decide la mejor ruta para el transporte de determinados paquetes.



**Figura 9-1.** Topología en Malla.  
**Realizado:** SEGURA Alex, 2017

Se seleccionó esta topología ya que al implementar este sistema en ambientes domésticos se requiere que cada habitación o salón cuente con un nodo base que cumplirá la función de un router y entre todos los existentes debe existir una comunicación efectiva que asegure una alta escalabilidad. Al existir menos conexiones directas, con este diseño en el nodo coordinador se reduce la cantidad de información que recibe y se mejora el desempeño del sistema.

## 1.6. Situación Actual

Para poder crear un sistema estable se debe analizar previamente como se realiza el proceso de detección de una forma empírica o manual, en caso de existir fugas de GLP o altas concentraciones de CO y cuáles son las acciones comunes que se toman al contemplar la presencia de dichos gases. Además de revisar las estadísticas que permitan conocer el riesgo que implica la manipulación de estos gases.

### 1.6.1. Medición de las condiciones ambientales

Al existir fugas en la atmosfera de gas licuado, éste de inmediato se vaporiza y mezcla con el aire ambiente formándose rápidamente nubes inflamables y explosivas, que al exponerse a una fuente de ignición (chispas, flama y calor) producen un incendio o explosión. Su olor característico puede advertir de la presencia de gas en el ambiente si es que se ha detectado la fuga en su fase inicial, sin embargo, el sentido del olfato se perturba a tal grado que es incapaz de alertarnos cuando existan concentraciones potencialmente peligrosas, considerando así a este gas más por su inflamabilidad que por su toxicidad. Puesto que los vapores de gas licuado son más pesados que el aire, tienden a desplazarse en lugares bajos donde no existe una buena ventilación para disiparlos.

En cuanto al monóxido de carbono, es un gas resultado de la oxidación incompleta del carbono durante el proceso de combustión. Todo artefacto usado para quemar algún combustible puede producir monóxido de carbono como: calderas, calefones, hornos o cocinas que pueden producirlo

si no se encuentran en un buen estado. Detectar su presencia en el ambiente resulta casi imposible para los sentidos humanos, ya que es un gas inodoro, incoloro e insípido. Ingresa al cuerpo a través de la respiración, provocando dolor de cabeza, náuseas, vómitos, desmayos e incluso la muerte, considerando así a este gas por su toxicidad que por su inflamabilidad.

### ***1.6.2. Sistema de control y prevención***

En la actualidad normalmente los sistemas de prevención y control que se crean para contener el nivel de estos gases en ambientes domésticos resultan rústicos o poco convencionales teniendo en cuenta la cantidad de tecnología que se tiene a disposición. Aquellos casos más comunes como: trapos húmedos sobre las válvulas de los depósitos de gas, tuberías de pvc hacia los calefones, hoyos sobre las paredes de las infraestructuras cerca de los lugares de emanación de gases (esto con el fin de conseguir algún tipo de ventilación), sistemas simples y mal colocados de ventilación, muros de concreto alrededor de los depósitos de gas, elementos y conjuntos de protección para válvulas y mangueras conductoras de gas, sistema de suministro de gas doméstico a través de tuberías.

A causa de los métodos expuestos anteriormente es necesaria una tecnificación que permita un control preciso en la detección de densidad de GLP y CO en el ambiente y de esta manera contribuir a mejorar la seguridad doméstica con el uso de la tecnología existente, con el fin de disminuir los riesgos y evitar accidentes.

### ***1.6.3. Estadísticas de accidentes por fugas de GLP y CO***

En el 2014 la Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos de la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR), registró 81 eventos relacionados al GLP en 16 provincias del país. Se reportaron 192 personas afectadas en las provincias de Pichincha, Tungurahua y Loja. (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2015). El mismo año en la provincia de Manabí se registraron 83 heridos, 6 fallecidos, 35 personas damnificadas, 54 viviendas afectadas, y 16 destruidas de un total de 98 eventos (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2015). En enero del 2015 fallecieron 4 personas producto de accidentes con GLP, la mayoría eventos suscitados en la región Sierra como se muestra en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1:** Accidentes ocasionados por fugas de GLP.

AFECTACIONES POR GLP								
2015*								
Provincia	Cantón	Número de eventos	Personas afectadas	Personas damnificadas	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas	Heridos	Fallecidos
Cañar	Azogues	1		3	1	1	3	2
Chimborazo	Riobamba	1	2				1	
Cotopaxi	Latacunga	1					1	
Loja	Loja	1						1
Morona Santiago	Gualaquiza	1	5		1			
Pichincha	Quito	3			2		2	1
Sucumbíos	Lago Agrio	1	3		1			
Tungurahua	Ambato	1					1	
<b>TOTAL GENERAL</b>		10	10	3	5	1	8	4

\* corte enero 2015

Realizado Por: SEGURA Alex, 2017

Fuente: (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2015)

En 2016, solo en la provincia de Pichincha, el Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano atendió 112 casos por fugas de gas doméstico, las principales causas fueron corrosión, sobrecalentamiento e inadecuados manejos de los tanques de gas. (Diario La Hora, 2016). Según datos registrados por la Secretaría de Gestión de Riesgos desde el 2011 hasta abril de 2017 se han registrado 289 incendios y explosiones producto de GLP, dando como resultado 1500 personas las afectadas y damnificadas, 481 personas heridas y 48 fallecidos incluyendo casos de asfixia por monóxido de carbono como se muestra en la Tabla 4-1 (Subsecretaría de Reducción de Riesgos, 2016 pág. 6).

**Tabla 4-1:** Cifras a nivel nacional de accidentes por uso de gas doméstico.

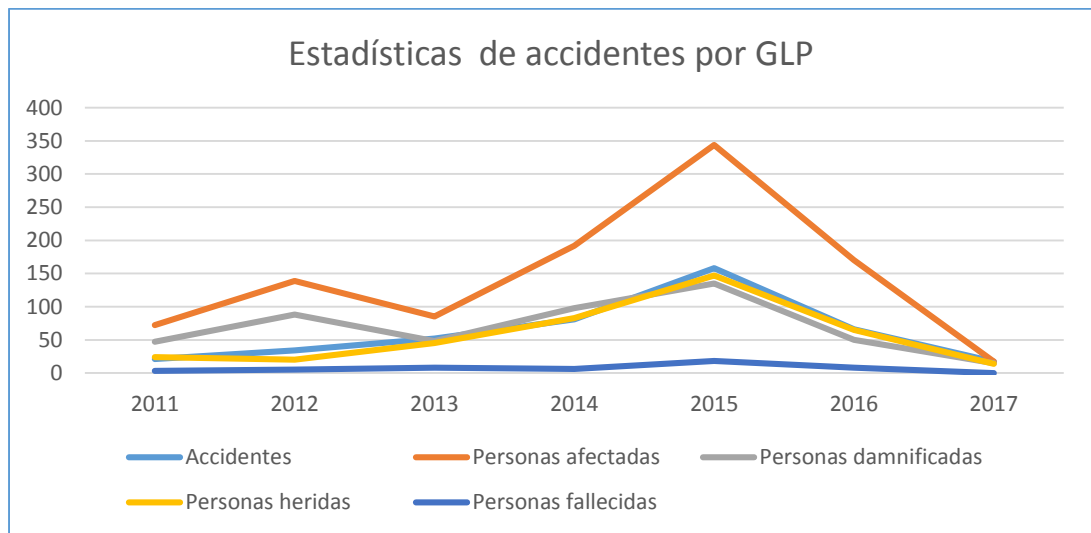
Año	Accidentes	Personas afectadas	Personas Damnificadas	Personas Heridas	Personas Fallecidas	Viviendas Afectadas	Viviendas Destruidas
2011	21	72	47	24	3		
2012	34	139	88	20	5	16	17
2013	52	85	48	45	8	41	10
2014	81	192	98	83	6	54	16
2015	158	344	135	147	18	123	40
2016	66	170	50	65	8	104	19
2017*	17	17	15	14	0	7	5
Total	429	1019	481	398	48	345	107

\* corte 17 de abril de 2017

**Realizado Por:** SEGURA Alex, 2017

**Fuente:** (Secretaría Nacional de gestión de Riesgos, 2017)

Respecto a cifras nacionales para el año 2017, los portales web de la Secretaría de Gestión de Riesgos no dispone de documentación que permitan conocer el número de accidentes causados por gas doméstico, sin embargo, tomando los datos de la Tabla 4-1, se puede apreciar que los accidentes aumentan gradualmente cada año, incrementando así en índices de personas afectadas, damnificadas y heridas como se muestra en el Gráfico 1-1.



**Gráfico 1-1.** Estadísticas de accidentes por GLP.

\* Corte 17 de abril de 2017

**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

De la provincia de Chimborazo se tiene poca información acerca de accidentes con gas doméstico, sin embargo, las cifras y estadísticas expuestas anteriormente muestran una tendencia general en el país, siendo la región Sierra el lugar de mayor registro de accidentes por GLP. Se tomó cifras que permitan determinar el riesgo a nivel provincial que existe por causa de este elemento. Estos indicadores señalan los hogares que utilizan gas doméstico y los hogares que habitan en viviendas con características físicas inadecuadas como se muestra en la Tabla 5-1.

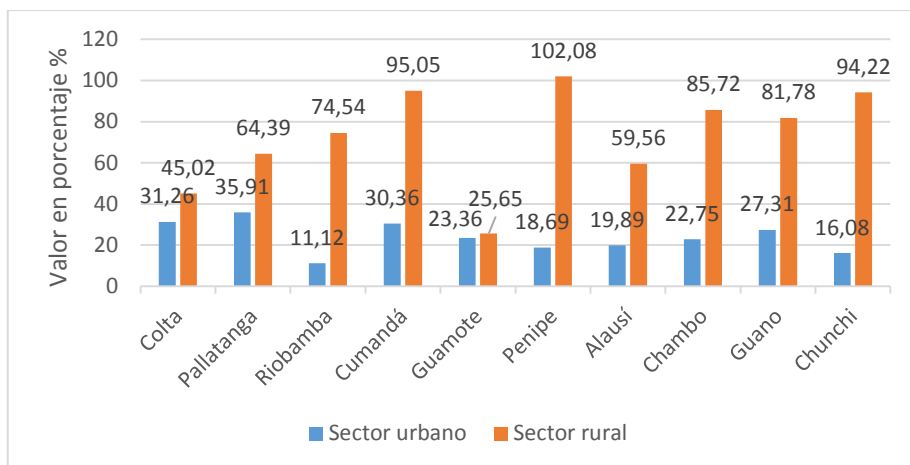
**Tabla 5-1:** Indicadores asociados con el uso de gas doméstico.

	Hogares que utilizan gas para cocinar		Hogares que habitan en viviendas con características físicas inadecuadas	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural
COLTA	595	5696	186	12652
PALLATANGA	1033	1199	371	1862
RIOBAMBA	39406	13227	4385	17744
CUMANDÁ	2286	902	694	949
GUAMOTE	715	2490	167	9706
PENIPE	289	1080	54	1058
ALAUÍS	1659	5057	330	8491
CHAMBO	1099	1385	250	1612
GUANO	1886	6114	515	7476
CHUNCHI	989	1845	159	1958

**Realizado Por:** SEGURA Alex, 2017

**Fuente:** (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2010)

Con la información estadística que se muestra en la Tabla 5-1, se relacionaron ambos indicadores para obtener la probabilidad de que ocurran accidentes por GLP debido a las características físicas inadecuadas de las viviendas, tanto en el sector urbano como en el sector rural en la provincia de Chimborazo. Puntualmente en la ciudad de Riobamba se tiene una probabilidad del 11.12% de ocurrencia y en el sector rural una probabilidad del 74.54%, como lo muestra el Gráfico 2-1.



**Gráfico 2-1.** Probabilidad de que ocurran accidentes por GLP en Chimborazo.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

#### 1.6.4. Límites de exposición a GLP y CO

En cuanto a los límites de exposición de gases existen parámetros que se miden según la exposición diaria y exposición a corto tiempo. Entender e interpretar estos indicadores son esenciales para aplicarlos a nuestro sistema, ya que, de aquello dependerá la eficiencia de la red inalámbrica de sensores. Primero se analizan los límites de exposición del Monóxido de Carbono (CO). En Ecuador el máximo ente encargado de la normalización, regulación y reglamentación técnica es el INEN, sin embargo, esta entidad solo establece normas de almacenamiento, transporte y manipulación, más no, normas de límites de exposición.

La OSHA (Administración de Seguridad y Salud Operacional por sus siglas en inglés) del Departamento de Trabajo de EE. UU, establece una concentración promedio en una jornada laboral de 8 horas (TWA) de 50 ppm, (United States Department of Labor, 2012). El NIOSH (Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional) fija un límite máximo de exposición recomendado (REL - sin importar las 8 horas de jornada laboral) de 200 ppm. (Department of Health and Human Services (NIOSH), 2007 pág. 54). La ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) fija un umbral límite de valor (TLV) de 25 ppm en un tiempo de 8 horas, (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2012 pág. 38). Finalmente, el NIOSH estableció una concentración inmediatamente peligrosa para la vida o salud (IPVS) de 1200pp. (Department of Health and Human Services (NIOSH), 2007 pág. 54). Con todos estos valores se determinan los síntomas presentados en humanos, provocados por la exposición a estos niveles de monóxido de carbono que se encuentran en la Tabla 6-1.



**Tabla 6-1:** Efectos en la salud a exposición de Monóxido de Carbono.

Exposición	Efectos en la salud
200 ppm	Leves dolores de cabeza y molestias después de horas de exposición.
400 ppm	Fuertes dolores de cabeza y molestias entre 2 a 3 horas continuas de exposición
1000 – 2000 ppm	En 30 minutos, bradicardia (disminución de la frecuencia cardíaca). En una hora y media, temblores. En 2 horas, confusión mental, náuseas y dolor de cabeza.
2000 – 2500 ppm	En 30 minutos, pérdida de conciencia.
> 2500 ppm	En los mismos tiempos de exposición, después de los síntomas descritos, colapso y muerte.
4000 – 5000 ppm en 6 minutos	Muerte instantánea.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Fuente: (LINDE ECUADOR S.A, 2012)

Con respecto a los límites de exposición del Gas Licuado de Petróleo (GLP). Como se mencionó anteriormente el INEN no define límites de exposición frente al GLP, por lo que se tomó niveles de referencia ofrecidos por organizaciones internacionales. La OSHA, establece un límite de exposición durante una jornada de 8 horas (TWA) de 1000 ppm. El NIOSH, fija un límite mínimo de exposición de 170 ppm y un límite máximo permisible de 900 ppm en una jornada de 8 horas (TWA). La ACGIH, establece una concentración diaria promedio segura sin efectos adversos de 1000 ppm. (Occupational Safety and Health Administration, 2010).

En elevadas concentraciones, el gas licuado es un asfixiante simple debido a que se mezcla con el oxígeno en el ambiente. Los efectos provocados a su excesiva exposición incluyen: dolor de cabeza, náusea, tos, dificultad al respirar, mareos, desorientación. Sin embargo, el riesgo tóxico es mucho menor que el que presenta el monóxido de carbono. La principal característica de este gas es su alto nivel de inflamabilidad, pues si al encontrarse expuesto al aire libre y la temperatura del ambiente se eleva considerablemente o se activa alguna fuente externa de ignición, una explosión dentro del inmueble será el resultado de estos eventos, incurriendo en daños materiales, así como accidentes leves o graves hacia personas.

### **1.7. Análisis del problema**

Los porcentajes obtenidos en el Gráfico 2-1 muestran un riesgo potencial en la generación de accidentes por GLP principalmente en el sector rural de los cantones de la provincia de Chimborazo. Se determinó que los sistemas de prevención y detección en los hogares son inadecuados o rústicos, las características físicas inadecuadas de las viviendas inciden directamente en el aumento de esta probabilidad de riesgo. Por lo que diseñar un sistema de detección de fugas de GLP y CO implica considerar los parámetros descritos, los cuales justifican la creación e implementación del mismo en el sector doméstico y así reducir las posibilidades de que existan fugas de estos gases.

### **1.8. Descripción del área de implementación**

La implementación de este sistema está orientado al sector doméstico, en instalaciones que posean varios depósitos de GLP o calefones distribuidos uniformemente por su espacio. Sin las medidas preventivas adecuadas esto supone un potencial peligro en la integridad principalmente de los ocupantes de tales instalaciones, así como de los bienes materiales existentes allí. El caso más práctico se encuentra en los restaurantes o casas comerciales, instalaciones generalmente pequeñas o medianas que disponen de un considerable número de depósitos de gas, sin embargo su almacenamiento y manipulación se lo realiza sin las precauciones correctas. En resumen, se pretende crear un sistema de fácil adaptabilidad y escalabilidad a cualquier ambiente doméstico en base a los requerimientos que se analizan en el siguiente capítulo.

## CAPÍTULO II

### 2. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS Y DISEÑO DEL SISTEMA

En este capítulo se analizan los requerimientos que darán paso al desarrollo de la red inalámbrica de sensores, también se muestra el diseño propuesto de la red, así como la selección y los pasos para integrar cada uno de los elementos de los nodos, crear el sistema que supervisa y controla la recolección de densidad de GLP y CO que se encuentra en el ambiente.

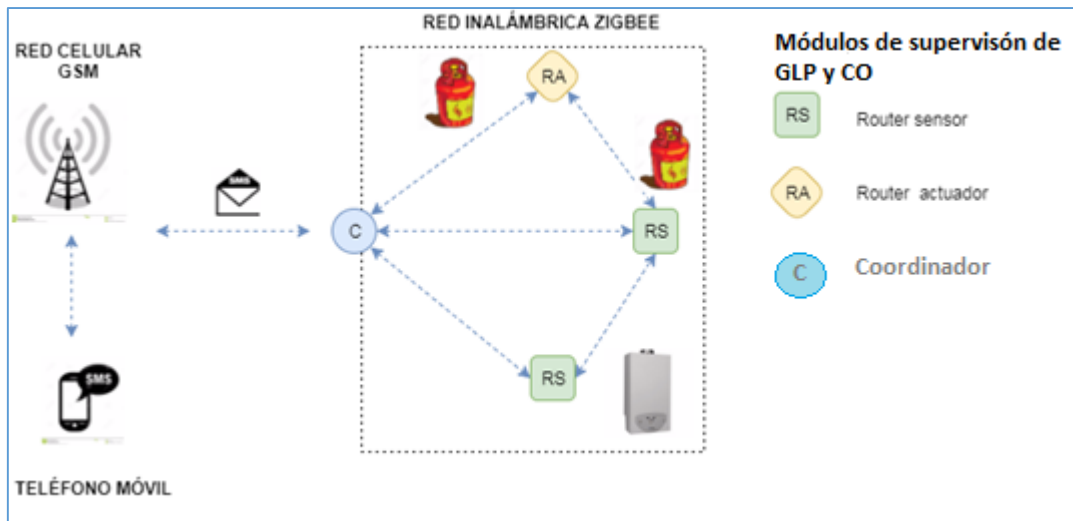
#### 2.1. Análisis de requerimientos

Para diseñar un sistema de detección de GLP y CO se necesita establecer los parámetros que permitan identificar que dispositivos seleccionar y que funciones van a cumplir dentro del sistema, teniendo en cuenta que es una red inalámbrica de sensores:

- **Procesos físicos:** Se necesita medir densidad de gas licuado de petróleo (GLP) y monóxido de carbono (CO) en ambientes domésticos.
- **Captura de variables:** Estas densidades deben ser captadas por sensores que tengan alta sensibilidad a su presencia y no varíen las características físicas de los gases.
- **Acondicionamiento y procesamiento de la señal:** Una vez obtenidas las medidas de los sensores se debe acondicionar su señal para obtener las salidas deseadas en unidades medibles, posteriormente se debe realizar un proceso de control automático para transmitir o almacenar la información, dependiendo de las necesidades o requerimientos de la aplicación.
- **Control de variables y dispositivos:** En base a las lecturas procesadas se debe establecer acciones preventivas o correctivas mediante el uso de actuadores.
- **Sistema de comunicaciones:** La transmisión de estos datos deben llevarse a cabo por dispositivos de comunicación inalámbrica.
- **Topología de red:** Se debe seleccionar una topología permita comunicar cada uno de los nodos de la red con una estación de control.
- **Almacenamiento de datos:** Se debe contar con un registro de la información obtenida, y que estén disponibles en todo momento al usuario.
- **Estación de Control:** Debe existir una comunicación entre el usuario y la red interna, con el fin de monitorear en tiempo real el comportamiento del sistema.
- **Alimentación:** Se debe seleccionar la mejor fuente de alimentación que permita a todos los dispositivos de la red prolongar su tiempo de funcionamiento.

## 2.2. Esquema general del sistema

El esquema propuesto del sistema se presenta en la Figura 1-2, donde se muestran los nodos que formarán parte de la red y sus elementos que se comunicarán en la banda de 2.4 GHz según las especificaciones del protocolo Zigbee.



**Figura 1-2.** Diagrama esquemático de sistema de detección y control de glp y co.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Puesto que se eligió diseñar una red tipo malla como se muestra en la Figura 9-1, el proceso de funcionamiento de la red cuenta con las siguientes etapas:

- Recolección de datos (routers sensores y routers actuadores)
- Transmisión y recepción de datos (routers sensores y routers actuadores)
- Análisis y control de datos (coordinador y unidad de control)

### FASE 1: Recolección de datos

Se configuran las placas Arduino Uno para que tomen lecturas de densidad de gas a través de los sensores equipados y se las ubica en determinadas zonas del establecimiento doméstico. Los nodos router sensores equipados con sensores de CO y GLP, únicamente detectan densidad de gas en el ambiente y envían su información al Coordinador, además activan señales visuales y auditivas de alerta.

El nodo router actuador equipado con servomotor, sensores de CO y GLP, detectan densidad de gas cerca de los depósitos de almacenamiento y emanación de los gases, por lo que tiene la capacidad de manipular el cierre o apertura de las válvulas de los cilindros de gas cuando se ha superado los

límites de exposición hacia las personas; asimismo se comunica con el Coordinador y los demás dispositivos dentro de la red. Los dispositivos en la red que detecte altas concentraciones de GLP o CO, se comunicará con los demás para activar las señales necesarias que permitan identificar el lugar de la fuga para tomar las acciones necesarias que permitan mermar el problema.

### **FASE 2: Transmisión y recepción de datos**

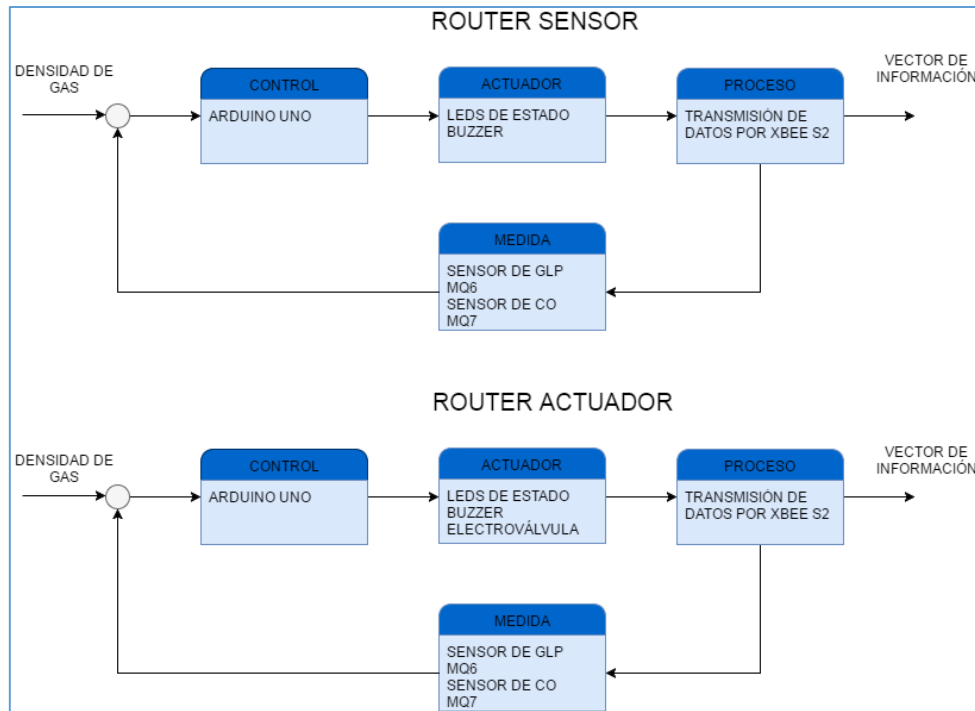
Tanto los nodos router sensores como el nodo router actuador poseen un dispositivo de comunicación inalámbrica que hacen posible la conexión tanto con el Coordinador como entre sí. El funcionamiento de topología en malla se configura en estos dispositivos.

### **FASE 3: Análisis y control de datos**

Durante esta etapa es el Coordinador quien hace posible el transporte de los datos y la comunicación entre todos los nodos de la red inalámbrica. Toma la información recolectada y enviada por los nodos sensores, la procesa y posteriormente las enruta hacia la estación de control (teléfono móvil) para generar los reportes necesarios que permitan conocer el estado del sistema y las condiciones del ambiente en tiempo real. El nodo coordinador permite la comunicación interna de la red a través de los módulos inalámbricos, enlazarla con las redes celulares externas a través de un módulo GSM. Además se puede utilizar tanto para la transferencia de datos en redes celulares como para el desarrollo de plataformas con comunicación inalámbrica, posee un amplio rango para su tensión de alimentación, dispone de una ranura micro SD para almacenamiento masivo de datos.

### **2.3. Diseño de Nodo Router Sensor y Nodo Router Actuador**

Si bien ambos nodos cumplen la misma función de tomar lecturas de densidad de gas en el ambiente, la diferencia está en que el router sensor únicamente toma lecturas y las envía hacia el coordinador, mientras que el router actuador además de enviar tal información posee el control sobre el cierre o apertura de las válvulas que se encuentran en los depósitos según el límite de exposición que se presencie en el lugar. En la Figura 2-2, se muestra el diagrama de bloques que describen el funcionamiento en general de los nodos router sensor y router actuador como sistemas de control de lazo cerrado.



**Figura 2-2.** Diagrama de bloques de nodos: router sensor y router actuador.  
**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

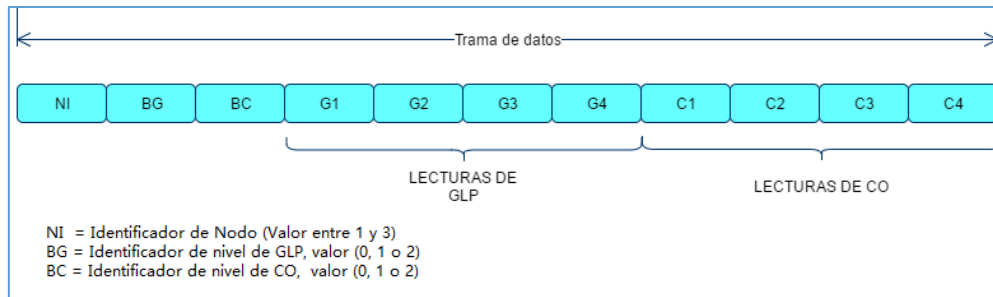
**Sensor:** Los sensores de combustión catalítica reaccionan ante la presencia de GLP y CO y envían lecturas analógicas a la tarjeta controladora.

**Control:** Una vez recibidos estos datos en la tarjeta controladora se realizan los procesos descritos en las secciones (2.2.1 y 2.2.2) donde se transforman estas lecturas en valores medibles y comprensibles para el usuario.

**Actuador:** En el caso de los routers sensores, estos poseen leds indicadores que muestran el nivel de presencia de GLP y CO en el ambiente delimitados de la siguiente manera: led verde (ausencia de gas), led amarillo (moderada presencia de gas), led rojo (peligrosa presencia de gas), con el encendido de este último, inmediatamente se activará un buzzer como medida auditiva de alarma. Hay que recalcar que estos niveles se manejan según los límites de exposición que establecen las organizaciones internacionales. Asimismo, presentan un led que indica si el módulo está transmitiendo o no los datos recolectados. En cuanto a los routers actuadores presentan los mismos mecanismos visuales y auditivos de alarma descritos anteriormente, además de una electroválvula que controla el flujo de GLP desde sus depósitos.

**Proceso:** Ya sea que exista o no presencia de gases en el ambiente, el sistema toma las lecturas de los sensores, las empaqueta y las envía en forma de trama de datos a través de los módulos de

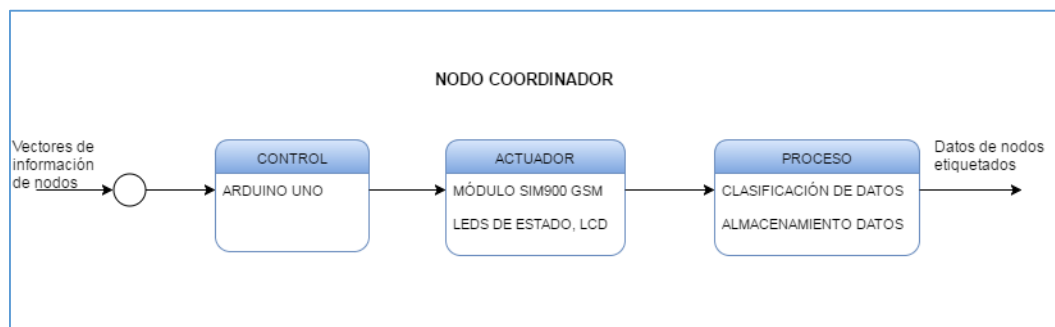
comunicación inalámbricos hacia el coordinador para su posterior procesamiento. La manera en que se compone esta trama de datos se explica a continuación en la Figura 3-2:



**Figura 3-2.** Estructura de trama de datos.  
 Realizado por: SEGURA Alex, 2017

## 2.4. Diseño de Nodo Coordinador

Para realizar el diseño del nodo Coordinador hay que asegurarse que cumpla con los parámetros que definen una estación de control en un sistema telemétrico, criterios como almacenamiento de datos, óptimo sistema de comunicaciones, adecuado microprocesador, capacidad de conectarse hacia redes externas, velocidad de respuesta, interacción con el hombre; denotarán un buen funcionamiento de la red inalámbrica de sensores, teniendo en cuenta al Nodo Coordinador como elemento esencial dentro de la misma. El funcionamiento general de este nodo se puede resumir en un sistema de control de lazo abierto ya que el proceso se realiza sobre los datos enviados por los nodos sensores en tiempo real, es decir, los datos ingresados no se ven afectados una vez han sido procesados por el microcontrolador para obtener la salida deseada, Figura 4-2.



**Figura 4-2.** Diagrama de bloques de nodo Coordinador.  
 Realizado por: SEGURA Alex, 2017

**Control:** En el microcontrolador del módulo se encuentran alojadas todas las rutinas y funciones establecidas que permitan realizar los procesos descritos una vez ingresadas las tramas de datos de los nodos sensores a través del módulo inalámbrico.

**Actuador:** Dependiendo de los estados de los identificadores dentro de las tramas de datos recibidas, se procede a conectar la red interna con la red externa celular, esto con el fin de informar al usuario el estado actual del sistema. Además se cuenta con leds que muestran el estado tanto de la conexión interna como de la externa, así como leds que alertan solo cuando exista presencia peligrosa de GLP y CO. Si el usuario desea conocer el estado del sistema, tiene que enviar una clave a la tarjeta SIM registrada, si la clave es correcta el sistema le permitirá conocer el nivel de cada nodo sensor en tiempo real, a través de un módulo de comunicación GSM.

**Proceso:** En esta etapa se toma las tramas de datos recibidas, se las clasifica y etiqueta de acuerdo a su identificador de nodo y se almacena en una tarjeta micro SD para su posterior análisis. Estos datos procesados se los muestra en la pantalla LCD incorporada en el dispositivo.

## **2.5. Selección de los recursos**

En esta sección se presentan los argumentos tomados en cuenta para seleccionar los dispositivos que formarán parte de la red inalámbrica de sensores, con el fin de satisfacer con los requerimientos del sistema de detección y control de fugas de GLP y CO y así obtener eficiencia en el uso de los recursos seleccionados una vez puestos en operación.

### ***2.5.1. Selección de sensores detectores de GLP (Gas Licuado de Petrolé)***

En el área doméstica se consideró usar los sensores de combustión catalítica, los cuales son sensores electroquímicos que varían su resistencia cuando se exponen a determinados gases, poseen un microcalefactor encargado de aumentar la temperatura interna del sensor y así sea capaz de reaccionar con los gases provocando un cambio en la resistencia interna del mismo. El microcalefactor dependiendo del modelo puede requerir una tensión de entre 5 y 2 voltios, el sensor se comporta como una resistencia y necesita una resistencia de carga (RL) para cerrar el circuito y con este hacer un divisor de tensión y poder leerlo desde un microcontrolador.

Es así que se plantea el uso de sensores de la serie MQ que son fáciles de implementar y se adaptan fácilmente a cualquier microcontrolador. Generalmente estos sensores se encuentran en módulos, lo que facilita tanto su uso como sus conexiones, además poseen salidas analógica y digital dejándolo el procesamiento de sus medidas a criterio personal.



Debido al microcalefactor es necesario esperar un tiempo de calentamiento para que la salida sea estable y posea las características que el fabricante muestra en su datasheet, este período de tiempo se encuentra entre 24 y 48 horas dependiendo del modelo. En la Tabla 1-2 se muestran los sensores de GLP considerados.

**Tabla 1-2:** Sensores de GLP.

Modelo de sensor	Módulo
MQ-2	
MQ-6	
MQ-5	
MQ-216	
MQ-306	
HS133	

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Una vez presentados los diferentes sensores de GLP, se procede a realizar la comparación de sus características técnicas para seleccionar el adecuado, los resultados se muestran en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Comparación de características de sensores GLP.

Sensor	Rango de detección	Consumo de potencia	Alimentación	Precio en el mercado
MQ-2	(200 a 10000) ppm	<900 mW	5 Vcd	\$ 8
MQ-5	(200 a 10000) ppm	<800 mW	5 Vcd	\$ 7
MQ-6	(200 a 10000) ppm	<750 mW	5 Vcd	\$7
MQ-216	(500 a 10000) ppm	<100 mW	6 Vcd	\$4.20
MQ-306	(100 a 10000) ppm	<250 mW	6 Vcd	\$6.30
HS-133	(300 a 10000) ppm	<800 mW	5 Vcd	\$12

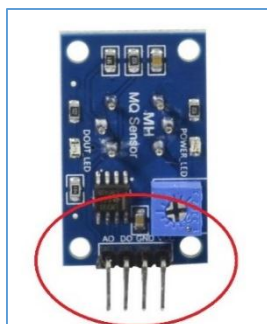
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Se consideran los modelos MQ-2, MQ-5 y MQ-6 debido a que se encuentran disponibles en el país. Si bien comparten el mismo rango de detección, la misma tensión de alimentación, se nota una pequeña diferencia en su consumo de potencia y precio, por lo que se seleccionó el sensor MQ-6 por las siguientes razones:

- A pesar de que se dispone de los 3 modelos de sensores en el país, el modelo MQ-6 es el más fácil y rápido de conseguir.
- Existen módulos integrados con el sensor que facilitan la adaptación a tarjetas controladoras (también hay módulos integrados con los modelos MQ-2 y MQ-5).
- Tiene un menor consumo de potencia con respecto a los otros modelos mencionados.
- Es más sensible al GLP con respecto a los otros módulos.
- Tiene un precio aceptable tomando en cuenta que ya viene como módulo integrado.

#### 2.5.1.1. Módulo MQ6

Constan de una salida digital y analógica, Figura 5-2. Al leer los datos desde la salida digital, la sensibilidad del sensor se varía a través de la resistencia variable que tiene el módulo, pero solo entregará dos niveles de lectura 1 o 0, sin conocer en qué proporción se encuentra dicho gas.



**Figura 5-2.** Salidas de módulo sensor MQ-6.  
**Fuente:** (e-radionica.com, 2017)

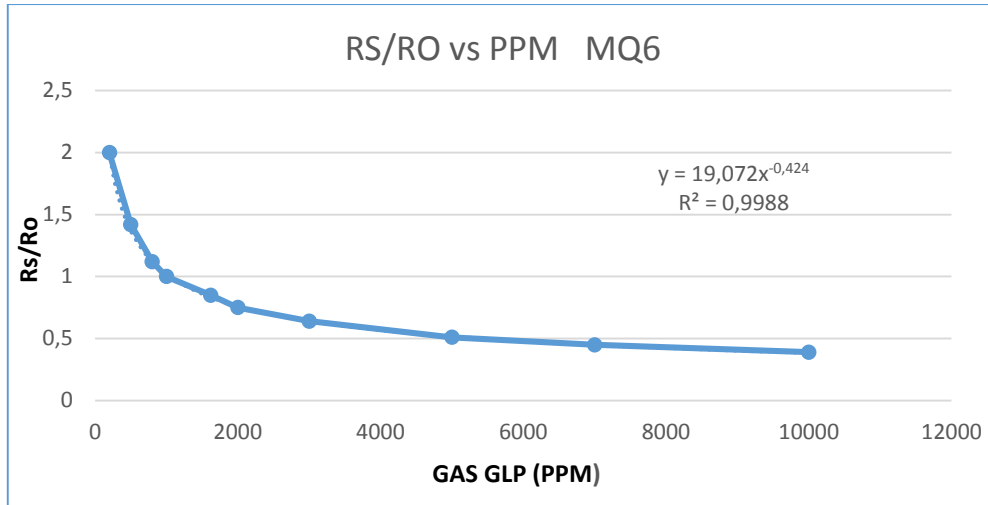
Al utilizar la salida analógica se puede trabajar con diferentes niveles de presencia de gas y adaptarlos según las condiciones del ambiente. Las lecturas que arroja este sensor son adimensionales por lo que se necesita tales valores en unidades de medición correspondientes al gas, es decir, se debe escalar los valores leídos, esto debido a que la relación entre la lectura analógica y el valor real no es lineal. Razón por la cual se debe estimar la curva característica de sensibilidad que presenta el datasheet del sensor que se encuentra en el Anexo A.

**Tabla 3-2:** Valores estimados de  $R_s/R_o$  en función de ppm.

PPM	RS/RO
200	2
500	1.42
800	1.12
1000	1
1620	0.85
2000	0.75
3000	0.64
5000	0.51
7000	0.45
10000	0.39

**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

En base a la curva característica del sensor en respuesta a GLP se aproximan los datos mostrados en la Tabla 3-2. Donde ppm (partes por millón) es la unidad de medida que denota la concentración de gas en el ambiente y  $(R_s/R_o)$  es la relación entre la resistencia del sensor a diversas concentraciones de gases ( $R_s$ ) y la resistencia del sensor en aire limpio ( $R_o$ ). Debido a que se tiene un conjunto de valores, hay que estimar y por dispersión mostrar la relación entre estos valores para hallar la ecuación correspondiente, utilizando Microsoft Excel como herramienta de elaboración. Finalmente se obtiene la curva característica y la ecuación respectiva como se ve en el Gráfico 1-2.



**Gráfico 1-2.** Curva del sensor MQ-6 – (Rs/Ro) vs PPM.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Se reemplazan los valores (x, y) a las unidades requeridas y se tiene una representación exponencial en la ecuación (1):

$$\frac{R_s}{R_o} = 19.0172(PPM)^{-0.424} \quad (1)$$

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es cercano a 1, es decir muestra que tanto se ve afectado el parámetro (Rs/Ro) al modificar (PPM) y viceversa. El valor de este parámetro indica la precisión de la ecuación resultante siendo 1 el mayor valor de aceptación. Siguiendo el procedimiento anterior el valor de (Rs) se puede calcular mediante la ecuación (2).

$$R_s = R_o * 19.072(PPM)^{-0.424} \quad (2)$$

El circuito de medición en el datasheet forma un divisor de voltaje. Por lo que en la ecuación (3) se calculó la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del mismo.

$$R_s = \left( \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} \right) * R_L \quad (3)$$

Donde:

Vcc: Voltaje de alimentación del sensor

Vout: Voltaje de salida del sensor

RL: Resistencia de carga del sensor, en este caso es de 20 KΩ

Se relaciona la ecuación (3) con la ecuación (2) para obtener la ecuación (4), la cual permite calcular el número de partes por millón (PPM) de GLP en función del voltaje de salida del sensor.

$$PPM = 10^{\frac{\log\left[\left(\frac{V_{cc}-V_{out}}{V_{out}}\right)\left(\frac{RL}{R_0*19.072}\right)\right]}{-0.424}} \quad (4)$$

Esta ecuación permite configurar al microcontrolador de modo que se puedan transformar los datos del sensor en información medible para el usuario.

### 2.5.2. Selección de sensores detectores de CO (Monóxido de Carbono)

Para el caso del monóxido de carbono se ha considerado usar sensores de combustión catalítica de la serie MQ, los cuales su funcionamiento se explicó en la sección anterior. En la Tabla 4-2 se muestran los sensores de CO estimados.

**Tabla 4-2:** Sensores de CO.

Modelo del Sensor	Módulo
MQ-7	
MQ-9	
MQ-307A	
MQ-309A	

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Una vez presentados los diferentes sensores de CO, se realizó la comparación de sus características técnicas para seleccionar el adecuado a las necesidades del sistema, los resultados se muestran en la Tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Comparación de características de sensores GLP.

Sensor	Rango de detección	Consumo de potencia	Alimentación	Precio en el mercado
MQ-7	(20 a 2000) ppm	$\leq 350$ mW	5 Vcd	\$7
MQ-9	(10 a 1000) ppm	$\leq 350$ mW	10 Vcd	\$13
MQ-307A	(30 a 1000) ppm	$< 100$ mW	6 Vcd	\$6
MQ-309A	(30 a 1000) ppm	$< 100$ mW	6 Vcd	\$19

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Se consideraron los modelos MQ-7 y MQ-9 debido a que se encuentran disponibles en el país. Se observa que poseen características similares en cuanto al consumo de potencia y el rango de detección, pero se da prioridad principalmente en el precio del producto ya que se obtienen los mismos resultados utilizando cualquiera de los dos sensores, sin embargo el modelo MQ-7 posee mayor sensibilidad al monóxido de carbono. Es así que se seleccionó modelo MQ-7 por esta característica principalmente.

#### 2.5.2.1. Módulo MQ-7

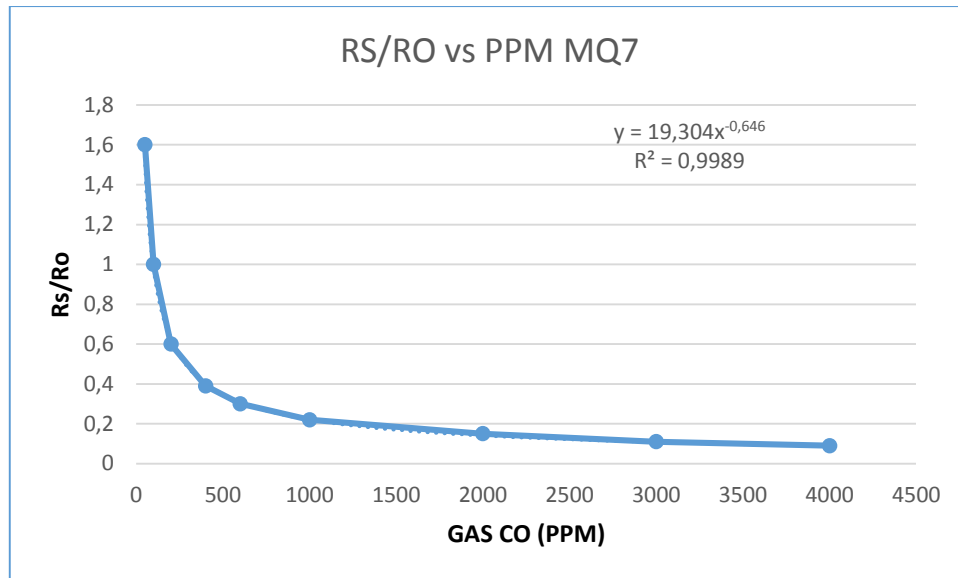
Constan con una salida digital y analógica, por lo que se utilizó la salida analógica para trabajar con diferentes niveles de presencia de gas, se debe estimar la curva característica de sensibilidad que presenta el datasheet del sensor que se encuentra en el Anexo B.

**Tabla 6-2:** Valores estimados de  $R_s/R_o$  en función de ppm.

PPM	RS/RO
50	1.6
100	1
200	0.6
400	0.39
600	0.3
1000	0.22
2000	0.15
3000	0.11
4000	0.09

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

En base a la curva característica del sensor en respuesta a CO se aproximan los datos mostrados en la Tabla 6-2. Debido a que existe un conjunto de valores hay que estimar y por dispersión mostrar la relación entre estos valores para hallar la ecuación correspondiente, utilizando Microsoft Excel como herramienta de elaboración. Finalmente se obtiene la curva característica y la ecuación respectiva como se ve en el Gráfico 2-2.



**Gráfico 2-2.** Curva del sensor MQ-7 – (Rs/Ro) vs PPM.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Se reemplazan los valores (x, y) a las unidades requeridas y se tiene una representación exponencial en la ecuación (5):

$$\frac{R_s}{R_o} = 19.304(PPM)^{-0.646} \quad (5)$$

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es cercano a 1, lo que indica que la ecuación resultante es aceptable. Siguiendo el procedimiento anterior el valor de (Rs) se puede calcular mediante la ecuación (6).

$$R_s = R_o * 19.304(PPM)^{-0.646} \quad (6)$$

El circuito de medición en el datasheet forma un divisor de voltaje. Por lo que en la ecuación (6) se obtiene la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del mismo. Se relaciona la ecuación (5) con la ecuación (6) para obtener la ecuación (7), la cual permite calcular el número de partes por millón (PPM) de GLP en función del voltaje de salida del sensor.

$$PPM = 10^{\frac{\log\left[\left(\frac{V_{cc}-V_{out}}{V_{out}}\right)\left(\frac{R_L}{R_o*19.304}\right)\right]}{-0.646}} \quad (7)$$

Esta ecuación permite configurar al microcontrolador de modo que se puedan transformar los datos del sensor en información medible para el usuario.

### 2.5.3. Selección de módulos inalámbricos Zigbee

Como se decidió emplear la tecnología Zigbee, hay que elegir el módulo adecuado para la implementación del sistema. Para hacerlo hay que tomar en cuenta aspectos tales como la facilidad de programación, precio, disponibilidad en el mercado en otros parámetros técnicos. Hoy en día el mercado cuenta con una variedad de dispositivos Zigbee que vienen con características y funciones propias según lo determine la amplia lista de fabricantes para un sin número de aplicaciones. Los dispositivos descritos en la Tabla 7-2, son los módulos Zigbee más importantes y más utilizados en el mercado, los cuales se evalúan sus características para optar por el idóneo que se adapte a los requerimientos del proyecto.

**Tabla 7-2:** Comparación de módulos inalámbricos Zigbee.

Modelo	XBee XB24 RF Module Series 2 Wire antenna	EasyBee Zigbee Transceiver Module	ZB-21 Zigbee OEM Module	ZMN2400 Radio Module
<b>Parámetro</b>				
Alcance interiores/ zona urbana	Hasta 40m	De 20 a 40m	Hasta 30m	Hasta 50m
Alcance exteriores en línea de vista	Hasta 120m	200m	Hasta 100m	Hasta 300m
Potencia de Transmisión	2mW (3dBm)	1mW (0dBm)	0.6mW (-1dBm)	1mW (0dBm)
Tasa de Transmisión en RF	250 Kbps	250 Kbps	250 Kbps	250 Kbps
Sensibilidad del Receptor	-96dBm	-92dBm	-92dBm	-92dBm
Suministro de Voltaje	2.1 – 3.6 Vcd	2.1 – 3.6 Vcd	2.85 – 5 Vcd	3.3 -5.5 Vcd
Consumo de Corriente (transmisión)	40mA	18mA	45mA	30mA
Consumo de Corriente (recepción)	40mA	20mA	25µA	25mA
Frecuencia de Operación	ISM 2.4GHz	ISM 2.4GHz	ISM 2.4GHz	ISM 2.4GHz
Dimensiones	2.438cm x 2.761cm	43.5mm x 19.75mm	27mm x 15mm	21.2mm x 30.5mm
Temperatura de funcionamiento	-40 a 80°C	-40 a 85°C	-20 a 70°C	-40 a 85°C
Antena	Dipolo (omnidireccional)	PCB (incorporada en la placa)	Chip antena integrada	PCB (incorporada en la placa)
Topologías de red que soporta	Punto a punto, punto a multipunto, malla	Punto a multipunto, malla	Punto a multipunto, malla	Punto a punto, malla



Número de canales	16 canales de secuencia directa	16 canales de secuencia directa	16 canales de secuencia directa	16 canales de secuencia directa
Precio	\$42	\$49	\$51	\$30

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

De la Tabla 7-2, el modelo ZMN2400 presenta las mejores características en alcance con una baja potencia de transmisión, tiene un bajo consumo de corriente tanto en modo transmisión como modo recepción, y su principal punto a favor es su costo, sin embargo la mayor limitación es que en el país no hay proveedores que dispongan de este módulo.

El modelo XBee XB24 a pesar de su elevado precio posee aspectos superiores en cuanto a robustez, seguridad y configuración; con respecto a los demás modelos. Existe amplia información de configuración y diseño de estos módulos tanto en la web como en libros, además son dispositivos que se adaptan fácilmente a varios entornos de configuración de microcontroladores y su ventaja es su disponibilidad en el país.

#### 2.5.3.1. Módulo XBee S2

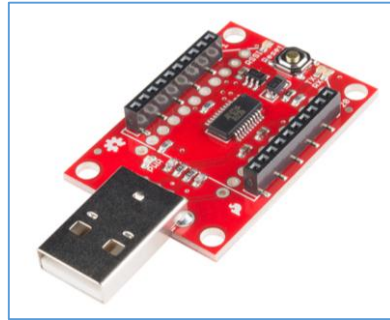
Este es el módulo XBee XB24 de Digi que se muestra en la Figura 6-2. La Serie 2 mejora en la potencia de salida y el protocolo de datos. Los módulos de esta serie permiten crear complejas redes de mallas basadas en el firmware XBee ZB Zigbee. Estos módulos permiten una comunicación muy simple y confiable entre microcontroladores, ordenadores, sistemas y cualquier dispositivo con un puerto serial. Es compatible con redes punto a punto y multipunto. Pueden funcionar con módulos de la serie 2.5 si se actualiza el firmware a través del software XCTU mencionado anteriormente.



**Figura 6-2.** Módulo XBee S2.

Fuente: (RAY-IE, 2017)

Tiene 6 terminales de entrada analógico/digital de 10 bits, 8 terminales de E/S digital y cifrado de 128 bits. Para configurar sus parámetros se necesita un dispositivo llamado “XBee Explorer” que se muestra en la Figura 7-2, el cual permite establecer la conexión entre el software y el dispositivo mediante un puerto USB.



**Figura 7-2.** XBee Explorer.  
**Fuente:** (SparkFun Electronics, 2017)

#### **2.5.4. Selección de módulos de procesamiento**

En el mercado existen placas de varios fabricantes, que posee diferentes series de microcontroladores, estas placas se diferencian por sus características y especificaciones. Además, tienen un entorno de desarrollo y un lenguaje de programación que puede adaptarse a las necesidades del usuario. Entre las plataformas de desarrollo más importantes se encuentran: Arduino, Waspote, Intel Galileo, Spark.

De las plataformas mencionadas se escogió Arduino para el bloque de procesamiento, y las razones se exponen a continuación:

- Arduino es libre y escalable: Se puede ampliar y mejorar tanto el hardware (placas) como el software (entorno de desarrollo) y adaptarlos a nuestras necesidades.
- Tiene una gran comunidad: En el país y en el mundo muchas personas lo usan, aportan con su documentación y comparten incesantemente sus ideas.
- Su entorno de programación es multiplataforma: Soporta Windows, Linux y Mac. Esto no ocurre con el software de otras placas.
- Las placas Arduino son reutilizables y versátiles: se puede aprovechar las funcionalidades de la placa para varios proyectos, además poseen varios tipos de entradas y salidas que permiten trabajar con múltiples formas de sensores y actuadores.

Se procede a evaluar las características funcionales de los modelos disponibles. Y en la Tabla 8-2 se presentan las características de cada uno de los modelos de placas Arduino.

**Tabla 8-2:** Características de placas Arduino.

	Uno	Mega 2560	Mega ADK	Due	Nano	Leonardo
<b>Microcontrolador</b>	ATMega328P	ATMega2560	ATMega2560	AT91SAM3	ATmega168 o ATmega328	ATmega32u4
<b>Voltaje de entrada</b>	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V
<b>Pines digitales E/S</b>	14 ( 6 salidas PWM)	54 (15 salidas PWM)	54 (15 salidas PWM)	54 (12 salidas PWM)	14 (6 salidas PWM)	20
<b>Pines analógicos de entrada</b>	6	16	16	12	8	12
<b>Memoria Flash</b>	32 KB (0.5 KB usado por el bootloader)	256 KB (8 KB usado por el bootloader)	256 KB (8 KB usado por el bootloader)	512 KB (para aplicaciones)	16 KB (ATmega168) o 32 KB (ATmega328) 2KB usado por el bootloader	32 KB (4 KB usado por el bootloader)
<b>SRAM</b>	2 KB	8 KB	8 KB	96 KB	1 KB (ATmega168) o 2 KB (ATmega328)	2.5 KB
<b>EEPROM</b>	1 KB	4 KB	4 KB	-----	512 bytes (ATmega168) o 1 KB (ATmega328)	1 KB
<b>Reloj</b>	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz	16 MHz	16 MHz
<b>Dimensiones</b>	68.6mm x 53.4mm	101.52mm x 53.3mm	101.52mm x 53.3mm	101.52mm x 53.3mm	45mm x 18mm	68.6mm x 53.3mm
<b>Precio</b>	\$ 15	\$ 22	\$ 50	\$ 40	\$ 10	\$ 21

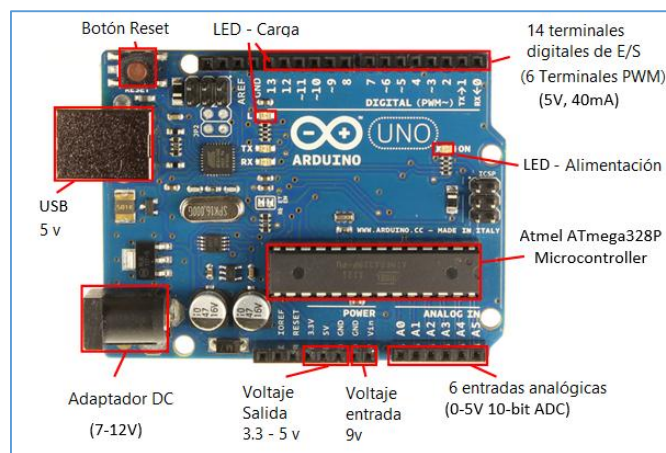
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

En los modelos Uno, Nano y Leonardo su capacidad de memoria se ve notablemente reducida con respecto a los demás módulos, sin embargo, el punto principal son los terminales de E/S analógicos y digitales, los cuales se consideran son los necesarios para desarrollo del sistema, esto reduce el desperdicio de recursos y aprovecha al máximo las funcionalidades de cada placa. Finalmente, de los 3 modelos se seleccionó la placa Arduino Uno, por las siguientes razones:

- Se realizaron pruebas de funcionamiento y se adaptan rápidamente con los módulos XBee S2 y los sensores seleccionados.
- Sus dimensiones son las adecuadas, ya que se pretende incluirlos a los nodos sensores como dispositivos pequeños dentro de la infraestructura doméstica.
- Existen shields (placas) XBee que se adaptan fácilmente con los modelos Arduino Uno, lo que ahorra el tiempo de elaborar circuitos que fusionen las características de los módulos inalámbricos con la placa Arduino.
- Tienen ranuras USB externas que permiten el uso de fuentes de alimentación independientes.

### 2.5.4.1. Arduino Uno

Arduino UNO es la versión mejorada de su predecesor Duemilanove. Tiene una función de autoreset, protección de sobrecargas, conector USB para programarlo, totalmente montado con componentes miniatura SMD (Tecnología de Montaje Superficial, por sus siglas en inglés). La placa utiliza el microcontrolador ATmega328 con un bootloader (programa de carga) que permite su programación sin necesidad de ningún tipo de programador externo. Además utiliza el microcontrolador ATmega16U2 para el manejo de puerto USB. Esto permite velocidades de transferencia más rápidas y más memoria. La distribución de sus terminales se muestra en la Figura 8-2.



**Figura 8-2.** Módulo Arduino UNO.  
Fuente: (e-radionica.com, 2017)

### 2.5.5. Selección de módulo de control

Se necesita un módulo que establezca una conexión entre la red interna formada por los dispositivos XBee S2 y el usuario. La forma más factible de hacerlo es utilizando la red celular GSM, ya que tiene una amplia área de cobertura, su infraestructura se encuentra implementada por las operadoras celulares en el país y los datos a transmitir no demandan una alta velocidad. Las características de las placas tomadas a consideración se muestran en la Tabla 9-2.

**Tabla 9-2:** Características módulos GSM.

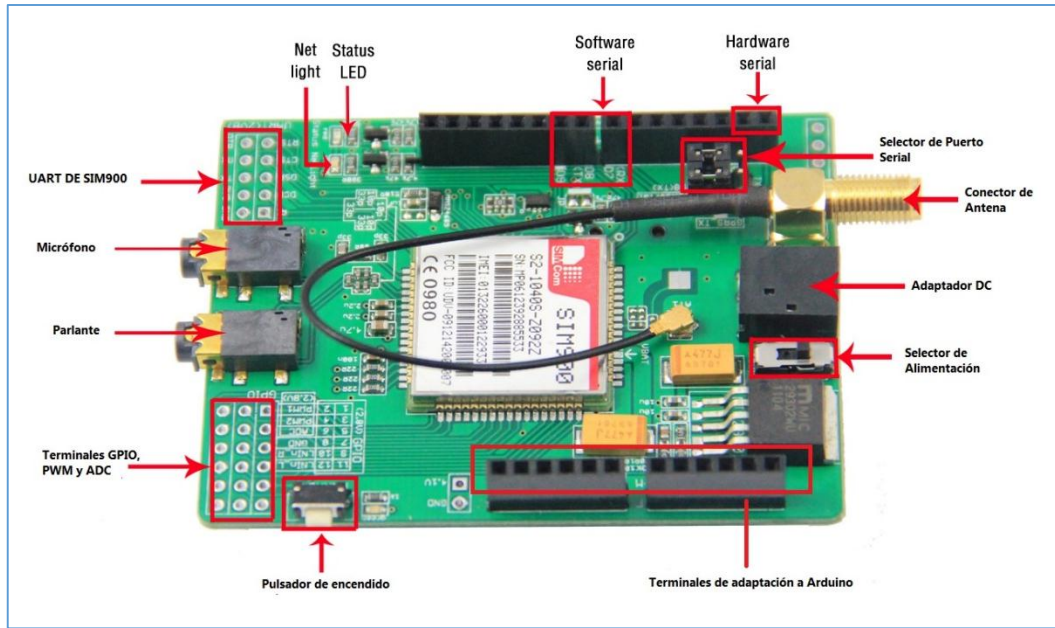
	Shield GSM SIM900	GSM Shield
<b>Procesador</b>	Sim900	Quectel M10
<b>Alimentación</b>	4.8 – 5.2 VDC	5VDC
<b>Corriente</b>	50 – 450 mA	700 – 1000 mA
<b>Bandas</b>	Quad-Band	Quad-Band
<b>Funciones</b>	Sms, llamadas, datos	Sms, llamadas, datos
<b>Puerto de antena</b>	Si	no
<b>Dimensiones</b>	110 x 58 x 19 mm	101.6 x 76.2 mm

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

De los modelos mencionados se escogió la placa “Shield GSM GPRS SIM900”, Figura 4-2, por su reducido consumo de corriente con respecto a la competencia, esto debido al uso del procesador SIM900 que establece conexión con la red celular. Además el diseño de la placa es compatible con la plataforma Arduino, por lo que su configuración se la puede realizar desde el software “IDE Arduino”.

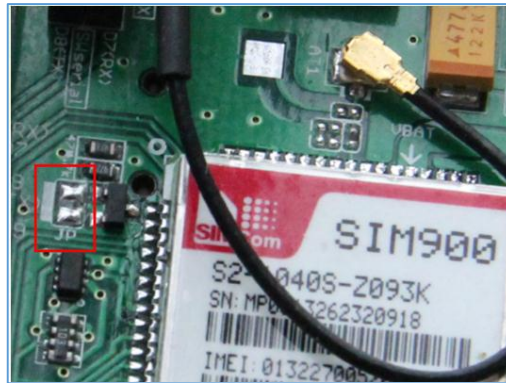
#### 2.5.5.1 Módulo SIM900 GSM/GPRS

Este módulo maneja un sistema GPRS (servicio general de paquetes ví-a radio, por sus siglas en inglés) que proporciona una manera de comunicarse utilizando el teléfono celular GSM a través de la red. Este sistema permite generar SMS, MMS, GPRS y audio a través de comandos UART (transmisor/receptor asíncrono universal, por sus siglas en inglés). Se usa en aplicaciones tales como M2M (Máquina a Máquina), control remoto, estaciones meteorológicas remotas o de una red de sensores inalámbricos y hasta sistemas de seguimiento de vehículos con un módulo GPS. La distribución de sus terminales se muestra en la Figura 9-2.



**Figura 9-2.** Placa Arduino SIM 900 GSM GPRS.  
**Fuente:** (ITEAD Intelligent Systems Co.Ltd, 2012 pág. 1)

Si se prefiere el encendido automático se procede a soldar el puente JP del módulo, como se muestra en la figura 10-2. Esto posibilita encendido/apagado desde el terminal D9 del Arduino, que es el utilizado en este sistema.



**Figura 10-2.** Modificación de módulo para encendido por software.  
**Fuente:** (ecuduino, 2017)

### 2.5.6. Selección de módulo de almacenamiento y visualización de datos

Se necesita un dispositivo que almacene la información recopilada por los sensores y que esté disponible para el usuario en cualquier momento que desee hacer uso de ellos mientras el sistema se encuentra operando. Para lo cual se tiene en cuenta usar un módulo en el que se pueda incorporar una tarjeta de almacenamiento SD, sobre todo cuando se necesita guardar gran cantidad de

información. En el mercado existen varios módulos que permiten adaptar tarjetas de almacenamiento masivo a los módulos Arduino, en la Tabla 10-2 se muestran las características de dichos artefactos.

**Tabla 10-2:** Características módulos SD.

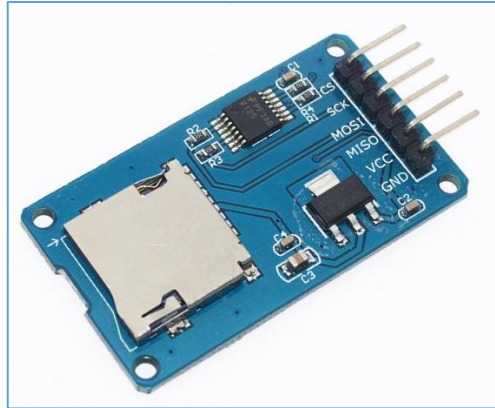
	Shield SD Card	Shield Micro SD Card	SD Card Module
Compatible con Arduino	Sí	Sí	Sí
Alimentación	5VDC, 3.3VDC	5VDC, 3.3VDC	5VDC, 3.3VDC
Consumo de corriente	200 mA	100 mA	200 mA
Interfaz de comunicación	SPI	SPI	SPI
Ranura de tarjeta	Tarjeta SD	Tarjeta microSD	Tarjeta SD
Terminales de conexión	16	6	28
Dimensiones	52 x 30 x 12 mm	45 X 28 mm	68.7 x 53.5 x 19 mm
Precio	\$10	\$4	\$10

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Se escogió el modelo “Shield Micro SD Card”. Debido a su bajo consumo de corriente y su reducido número de terminales que facilitan la conexión con el módulo Arduino UNO. Además es más barato y compacto con respecto a los otros modelos.

#### 2.5.6.1 Módulo Micro SD

Se Conecta con la tarjeta de desarrollo Arduino, o cualquier microcontrolador para obtener una comunicación directa entre el periférico de comunicación SPI (Interfaz periférica Serial, por sus siglas en inglés) y una tarjeta micro SD. Ideal para cargar código, sistemas operativos, registro de datos y otras aplicaciones. Esta interfaz soporta tarjetas Micro SD y Micro SDHC. Posee 6 terminales que facilitan su adaptación a la placa Arduino UNO como se muestra en la Figura 11-2.



**Figura 11-2.** Módulo de almacenamiento Micro SD.  
Fuente: (naylampmechatronics, 2017)

### 2.5.6.2 Pantalla LCD I2C

Para visualizar los datos recibidos en el nodo coordinador es necesario el uso de una pantalla LCD de 20 columnas por 4 líneas, el cual viene adaptado con un controlador I2C PCF8574, que es un expansor de entradas y salidas, lo que facilita su adaptación con las tarjetas Arduino y se acopla a su voltaje de alimentación. Dispone de un potenciómetro para controlar el contraste y la luz de fondo se controla por software, el dispositivo se muestra en la Figura 12-2.



**Figura 12-2.** Pantalla LCD I2C.  
Fuente: (Llamas, 2016)

### 2.5.7. Software para Desarrollo

#### 2.5.7.1 Arduino IDE

Se utilizó el entorno de desarrollo integrado IDE (Integrated Development Environment, por sus siglas en inglés), es un entorno de programación empaquetado como un programa de aplicación; consiste en un editor de código, un compilador y un depurador. Incorpora las herramientas para



cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware. El IDE de Arduino es la herramienta de configuración de las tarjetas controladoras, y el módulo GSM.

#### 2.5.7.2 XCTU

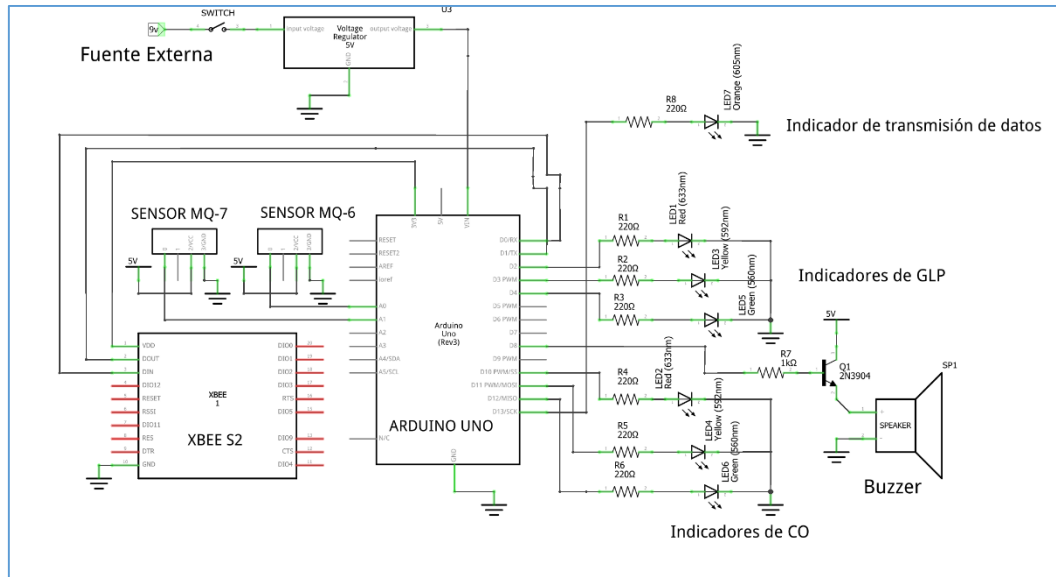
En el bloque de transmisión se seleccionó los dispositivos de comunicación inalámbrica Xbee S2, creada por la empresa Digi International. XCTU (Xbee Configuration & Test Utility Software, por sus siglas en inglés) es una aplicación multiplataforma gratuita diseñada para permitir a los desarrolladores interactuar con los módulos RF de Digi a través de una interfaz gráfica sencilla de usar. Incluye herramientas que facilitan la configuración, simulación y prueba de los módulos XBee S2 y todas las series disponibles. Este software será la herramienta de configuración y evaluación de los parámetros de la red inalámbrica.

### 2.6. Esquema de conexión Nodo Router Sensor y Router Actuador

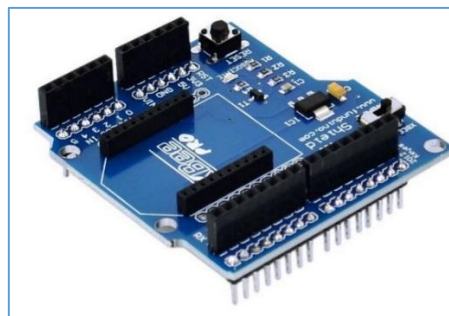
En la Figura 13-2, se observa el diagrama esquemático de conexiones entre el módulo Arduino Uno, el módulo XBee S2 y los sensores de gas, que describen el esquema de los nodos router sensores:

- Las salidas analógicas del sensor de GLP (MQ-6) y del sensor de CO (MQ-7), se conectan con las entradas A0 y A1 respectivamente, del Arduino UNO. También se conectan los terminales VCC y GND de ambos sensores.
- Los leds indicadores de nivel de GLP de color verde, amarillo y rojo, se conectan a las salidas digitales D4, D3, D2 respectivamente, del Arduino, junto con una resistencia de  $220\ \Omega$  en cada uno.
- Los leds indicadores de nivel de CO de color verde, amarillo y rojo, se conectan a las salidas digitales D11, D12, D10 respectivamente, del Arduino, junto con una resistencia de  $220\ \Omega$  en cada uno.
- El led indicador de transmisión de datos de color naranja, se conecta a la salida digital 13 del Arduino, junto con una resistencia de  $220\ \Omega$ .
- El zumbador (buzzer) se conecta en la salida digital D8 del Arduino UNO, con una resistencia de  $1K\ \Omega$  y un transistor 2N3904 como etapa de conmutación.
- Para la transmisión inalámbrica, se acopla el módulo XBee S2 con el Arduino utilizando la placa (shield) de la Figura 14-2.

- Dependiendo del nivel de gases se encenderán los leds descritos, mientras que el led indicador de transmisión permite conocer si los datos se están enviando por el canal de comunicación.
- Una vez encendido el módulo, los datos obtenidos por los sensores se envían por el puerto serial del Arduino en los terminales digitales de salida D0 y D1, a través del módulo XBee S2.



**Figura 13-2.** Diagrama esquemático router sensor.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017



**Figura 14-2.** Shield XBee para Arduino Uno.  
Fuente: (www.etchpk.net, 2016)

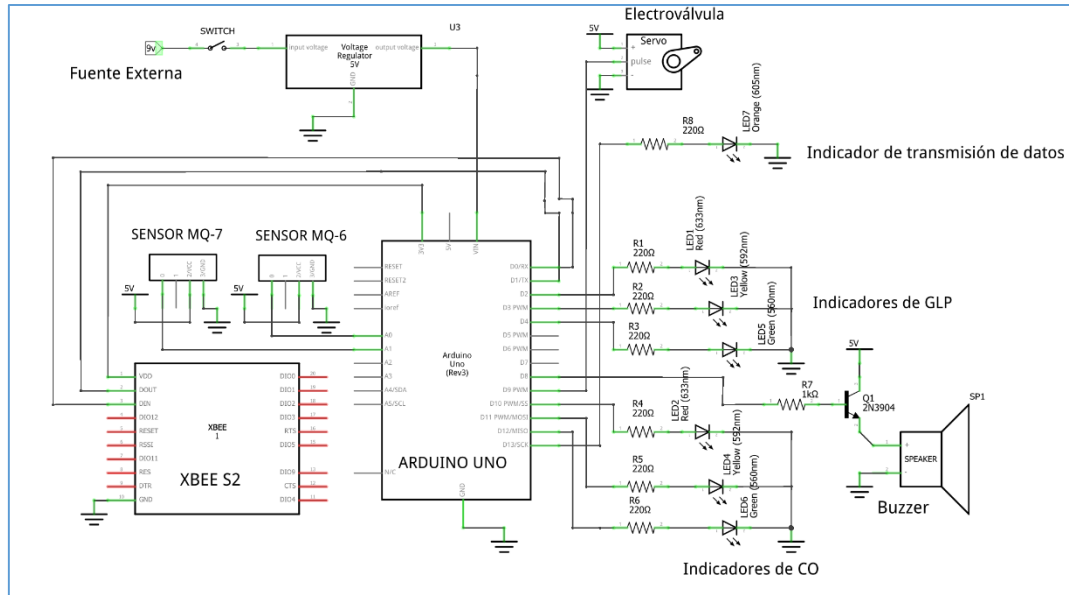
En la Figura 15-2 se observa los nodos router sensores armados físicamente. Con todos sus componentes distribuidos uniformemente en una carcasa de plástico.



**Figura 15-2.** Nodos Routers Sensores armados.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

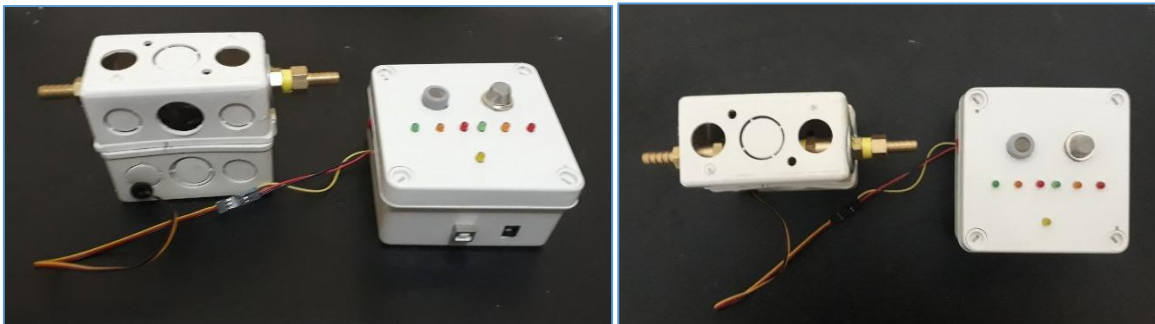
A continuación, en la Figura 16-2 se aprecia el diagrama de conexiones entre el módulo Arduino Uno, el módulo XBee S2 y los sensores de gas, que describen el esquema del nodo router actuador:

- Se cuenta con los mismos elementos de los nodos router sensores, por lo que sus conexiones con el módulo Arduino UNO son las mismas.
- Sin embargo en este módulo se añade el control de una electroválvula, conformada por un servomotor y una válvula metálica de  $\frac{1}{4}$  de diámetro, acoplados en una carcasa de plástico. Se conecta el terminal de datos del servomotor con el terminal digital D9 del Arduino, así como los terminales VCC y GND de ambos módulos.
- Una vez encendido el módulo, los datos obtenidos por los sensores se envían por el puerto serial del Arduino UNO en los terminales digitales de salida D0 y D1, a través del módulo XBee S2.
- Dependiendo del nivel de gases se encenderán los leds descritos, mientras que el led indicador de transmisión permite conocer si los datos se están enviando por el canal de comunicación.
- Cuando se detecten niveles peligrosos de GLP o CO, la electroválvula se cierra, bloqueando la circulación del gas del tanque de almacenamiento.



**Figura 16-2.** Diagrama esquemático router sensor actuador.  
**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

En la Figura 17-2 se muestra el nodo router sensor actuador armado físicamente. Con todos sus componentes distribuidos uniformemente en una carcasa de plástico.



**Figura 17-2.** Nodo Router Actuador armado.  
**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

### 2.6.1. Consumo de corriente y alimentación

Es necesario saber cuál es el consumo de corriente de cada uno de los dispositivos. Esto con el fin de seleccionar una fuente de alimentación independiente que asegure un estable y prolongado funcionamiento de cada uno de los nodos de la red de sensores inalámbrica.

Para ello se estima el consumo de cada elemento que conforman los nodos, basados en las características que facilitan sus fabricantes en sus respectivas hojas de datos. En la Tabla 11-2 y Tabla 12-2, se muestra el consumo estimado de corriente de los elementos del nodo router sensor y router actuador respectivamente.

**Tabla 11-2:** Consumo de corriente en nodo router sensor.

Elemento	Cantidad	Consumo Corriente individual (mA)	Consumo Corriente total (mA)
Arduino UNO	1	46	46
XBee Shield Arduino	1	40	40
XBee S2	1	40	40
Sensor MQ-6	1	≤ 150	150 max.
Sensor MQ-7	1	≤ 70	70 max.
Led Rojo	2	15	30
Led Amarillo	2	13.63	29.26
Led Verde	2	11.36	22.72
Led Naranja	1	13.63	13.63
Buzzer	1	5	5
<b>TOTAL</b>			446.61 aproxim.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

**Tabla 12-2:** Consumo de corriente en nodo router actuador.

Elemento	Cantidad	Consumo Corriente individual (mA)	Consumo Corriente total (mA)
Arduino UNO	1	46	46
XBee Shield Arduino	1	40	40
XBee S2	1	40	40
Sensor MQ-6	1	≤ 150	150 max.
Sensor MQ-7	1	≤ 70	70 max.
Electroválvula	1	160	160
Led Rojo	2	15	30
Led Amarillo	2	13.63	29.26
Led Verde	2	11.36	22.72
Led Naranja	1	13.63	13.63
Buzzer	1	5	5
<b>TOTAL</b>			606.61 aproxim.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Para el cálculo de la corriente consumida por cada led se utilizó un valor referencial de tensión según su color como lo muestra la Tabla 13-2, y su respectiva ecuación (Carretero, 2009):

$$I_{led} = \frac{(V_{in} - V_{led})}{R_{led}} \quad (9)$$

**Tabla 13-2:** Valores de tensión comunes de diodos LED.

Color LED	Tensión umbral típica
Rojo	1.7 v
Verde	2.5 v
Amarillo, Naranja	2.0 v

**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

**Fuente:** (Carretero, 2009 pág. 121)

Recordando que los valores de consumo de corriente son aproximados, se puede deducir que el consumo de un nodo router sensor esta entre 450 y 500 mA, mientras que de un nodo router actuador esta entre 600 y 650 mA. Con estas estimaciones se seleccionó como fuente de alimentación un cargador solar con capacidad de 8000mAh, que se presenta en la figura 18-2. Las razones que conllevaron a elegirlo se describen a continuación:

- Da una duración de funcionamiento prolongada en un router sensor de 16 a 17 horas, y en un router actuador de 12 a 13 horas. Este valor se calcula con la ecuación (10):

$$Horas\ trabajo = \frac{Capacidad\ de\ batería\ (mAh)}{Consumo\ de\ corriente\ de\ circuito\ (mA)} \quad (10)$$

- Es una fuente de alimentación recargable.
- Posee celdas solares las cuales se pueden usar como fuente alterna.
- Presenta una salida USB de 5v a 1A, ideal para la alimentación de un Arduino UNO.
- Es un dispositivo totalmente impermeable, por lo que se puede ubicar un nodo de la red en cualquier sitio de la infraestructura, ya sea interior o exterior.
- Tiene indicadores que señalan el nivel de la batería.



**Figura 18-2.** Cargador solar recargable.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

## 2.7. Esquema de Conexión Nodo Coordinador

En la Figura 19-2 se muestra el diagrama esquemático de conexiones de cada uno de los elementos que conforman el nodo Coordinador como lo son los módulos Arduino UNO, XBEE S2, pantalla LCD, SIM900 GSM/GPRS, slot micro SD:

- Los leds indicadores de GLP y CO (ambos de color rojo), se conectan a los terminales digitales D3 y D2 respectivamente del Arduino, junto con una resistencia de  $220\Omega$  en cada uno.
- El led indicador de recepción de datos (color verde), se conecta en el terminal digital D4 del Arduino, junto con una resistencia de  $220\Omega$ .
- El led indicador de recepción de SMS (color naranja), se conecta en el terminal digital D5 del Arduino, junto con una resistencia de  $220\Omega$ .
- La conexión del módulo micro SD con el Arduino UNO se muestra en la Tabla 14-2:

**Tabla 14-2:** Conexión módulo micro SD con Arduino.

Módulo	Terminal Arduino
micro SD	UNO
CS	D10
SCK	D13
MOSI	D11
MISO	D12
VCC	5V
GND	GND

Realizado por: SEGRUA Alex, 2017

- La conexión de la pantalla LCD con el Arduino se muestra en la Tabla 15-2:

**Tabla 15-2:** Conexión pantalla I2C con Arduino.

Pantalla LCD I2C	Terminal Arduino UNO
SCL	A5
SDA	A4
VCC	5V
GND	GND

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

- La conexión del módulo SIM900 GSM/GPRS con el Arduino se muestra en la Tabla 16-2:

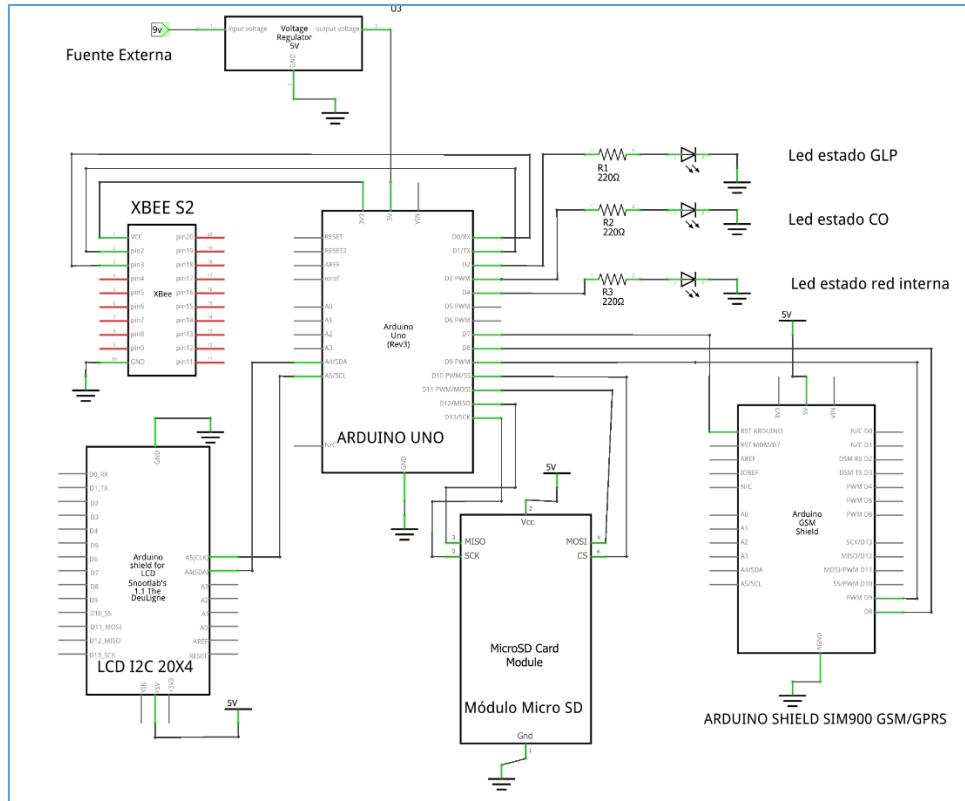
**Tabla 16-2:** Conexión módulo GSM con Arduino.

Módulo SIM900 GSM/GPRS	Terminal Arduino UNO
Serial 7	D7
Serial 8	D8
Serial 9	D9
VCC	5V
GND	GND

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

- Para la recepción inalámbrica, se acopla el módulo XBee S2 con el Arduino utilizando la placa (shield) de la Figura 14-2.





**Figura 19-2.** Diagrama esquemático nodo Coordinador.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

En la Figura 20-2 se muestra el nodo Coordinador armado físicamente, con todos sus componentes distribuidos uniformemente en una carcasa de plástico.



**Figura 20-2.** Nodo Coordinador armado.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

### 2.7.1. Consumo corriente y alimentación

Definidos los elementos del nodo Coordinador, se debe calcular el consumo de corriente que tendrá todo el conjunto de dispositivos como tal. Esto con el fin de seleccionar la fuente de alimentación adecuada que permita trabajar al nodo de una manera estable y prolongada. Para ello se estima dichos valores de cada elemento en base a las características que detallan cada uno de sus fabricantes en sus respectivas hojas de datos. En la Tabla 13-2 se muestra el consumo de corriente aproximado del nodo Coordinador.

**Tabla 17-2:** Consumo de corriente en nodo Coordinador.

Elemento	Cantidad	Consumo Corriente individual (mA)	Consumo Corriente total (mA)
Arduino UNO	1	46	46
XBee Shield Arduino	1	40	40
XBee S2	1	40	40
Pantalla LCD 20X4	1	200	200
SIM900 GSM/GPRS	1	50 ~ 450	50~450
Micro SD Arduino	1	100	100
Led Rojo	2	15	30
Led Verde	2	11.36	22.72
<b>TOTAL</b>			528~928 aproxim.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Para el cálculo de la corriente consumida por cada led se utilizó un valor referencial de tensión según su color como lo muestra la Tabla 16-2, y la ecuación (9).

Los valores muestran un consumo aproximado que fluctúa entre 528 y 928 mA. Se decidió usar como fuente alimentación un adaptador de 9v a 1A que se conecte a la red eléctrica, la razón de aquello es que el nodo Coordinador necesita un suministro de energía constante y disponible en todo momento. Resulta contraproducente utilizar fuentes externas o recargables si lo que se requiere es un prolongado tiempo de operación debido a su elevado consumo.

## 2.8. Configuración de la red interna tipo Malla

Una vez definidos los dispositivos y métodos a implementar, se procedió a configurar los parámetros que caracterizarán a la red inalámbrica de sensores como una red Malla, con los módulos inalámbricos XBee, a través del software XCTU.

La red va a estar conformada por un nodo Coordinador que será el Gateway entre la red interna y la red externa (GSM/SPRS), dos nodos Router/Sensor encargados de tomar lecturas en determinados lugares de la infraestructura a implementar, un nodo Router/Actuador que se ubicará cerca de los depósitos o fuentes de almacenamiento de gases capaces de realizar lecturas de densidad y además controlar el cierre o apertura de las válvulas de dichos depósitos. Se requiere que exista comunicación entre todos los nodos de la red como lo muestra la Figura 1-2. Por lo que en la Tabla 18-2, se muestran los parámetros que deben tener los módulos XBee S2 de cada nodo para su óptimo funcionamiento:

**Tabla 18-2:** Parámetros de configuración de red tipo malla.

Parámetro de Configuración	Coordinador	Router Actuador1	Router Sensor1	Router Sensor2
ID	2461	2461	2461	2461
SC	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
JV	-----	1	1	1
SH	0013A200	0013A200	0013A200	0013A200
SL	4102FD96	4102FD94	40CADF7B	40D94030
DH	0	0	0	0
DL	FFFF	0	0	0
NI	0	3	2	1
EE	1	1	1	1
NK	ABCD	-----	-----	-----
KY	1992	1992	1992	1992

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

**ID:** Este identificador de 64 bits define a la red de área personal (PAN ID) en la red Zigbee, destinado a ser un valor único y no duplicado. Es el coordinador el que inicia la red con este valor, ya sea que se le preconfiguró anteriormente o bien puede seleccionarlo de manera aleatoria. Todos los nodos dentro de la red deben tener el mismo PAN ID.

**SC:** Define la lista de canales a ser escaneados por el Coordinador para determinar su disponibilidad como su nivel de energía y así formar la red. El valor FFFF explora los 16 canales existentes. Todos los nodos dentro de la red deben tener el mismo SC.

**JV:** Este parámetro habilita la verificación de canal. Es decir, antes y después de unirse a la red verifica que exista un nodo coordinador en el mismo canal, caso contrario se desconectará de la red y buscará otro coordinador. Este valor solo se configura en los nodos routers.

**SH:** Este parámetro lee los 32 bits más significativos de una dirección de origen única de 64 bits asignada por la IEEE para cada módulo XBee S2. Esta dirección se puede apreciar en la parte posterior del módulo inalámbrico.

**SL:** Este parámetro lee los 32 bits menos significativos de una dirección de origen única de 64 bits asignada por la IEEE para cada módulo XBee. Esta dirección se puede apreciar en la parte posterior del módulo inalámbrico.

**DH:** Este parámetro junto a DL forman la dirección de destino usada para la transmisión, siendo el primero los 32 bits más significativos de la dirección de destino de 64 bits. El valor 0 se usa para direccionar todos los paquetes de los nodos de la red hacia el Coordinador.

**DL:** Este parámetro le corresponde los 32 bits menos significativos de la dirección de destino de 64 bits. En el coordinador el valor FFFF es la dirección de broadcast y en los routers este valor debe ser 0, así habrá una comunicación entre todos los dispositivos de la red.

**NI:** Este es el identificador de nodos. El registro solo acepta datos en ASCII. Se utiliza este parámetro para diferenciar los nodos dentro de la red.

**EE:** Habilita la encriptación Zigbee de paquetes. Todos los nodos incluido el coordinador deben tenerlo activado mediante el valor 1.

**NK:** Establece una clave de seguridad AES de 128bits. Se configura solo en el Coordinador. Los nodos routers que forman parte de la red y tienen habilitado el parámetro (EE) adquieren la clave de red (NK) una vez se han unido a la misma.

**KY:** Establece la clave de enlace AES de 128 bits. Este valor debe ser el mismo en todos los dispositivos de la red ya que permitirá que la clave de red (NK) se envíe de forma encriptada hacia todos los nodos, caso contrario no podrán enrutar paquetes así formen parte de la red.

## **2.9. Configuración del nodo Coordinador**

El código de programación del nodo coordinador que se encuentra en el Anexo F, se configuró en la versión 1.8.2 del IDE Arduino. A continuación se describe el flujograma del programa principal, las funciones y bibliotecas utilizadas.

### **2.9.1. *Flujograma del programa principal***

El flujograma de la Figura 22-2 describe el funcionamiento general del nodo Coordinador, su descripción se detalla a continuación.

#### ***Ciclo de iniciación***

- Se declaran las bibliotecas y funciones a utilizar.
- Se declaran e inicializan las constantes y variables globales.
- Se determinan las entradas y salidas del módulo Arduino UNO.
- Se configuran las velocidades de transmisión del módulo Arduino UNO, Xbee S2 y SIM900 GSM/GPRS.
- Se inicia la pantalla LCD, y los módulos micro SD y SIM900 GSM/GPRS.
- Se muestran los mensajes de inicialización de los dispositivos en la pantalla LCD.

#### ***Ciclo de repetición***

- Se inician las variables locales.
- Primero se crean instrucciones que permitan conocer si se están recibiendo los paquetes que envían los nodos sensores a través del módulo XBee S2. Si no se reciben datos no se puede realizar ningún proceso posterior. Las tramas de datos viajan a través de la red en forma de arreglo, por lo que se debe crear un proceso que reconozca identificadores de fin de trama para su posterior etiqueta.
- Una vez se ha reconstruido la trama recibida de cada nodo activo, se procede a etiquetarla, visualizarla en la pantalla LCD y almacenarla en la tarjeta micro SD.
- Ahora se evalúa dos identificadores dentro de cada trama de datos que permiten conocer el nivel de GLP y CO en cada nodo sensor. Los valores de estos parámetros denotan si es necesario enviar mensajes de alerta vía SMS al usuario a través del módulo GSM.
- En el proceso de evaluación de identificadores se añade un tiempo de tolerancia (dos segundos) cuando el sistema detecte niveles peligrosos de GLP o CO, debido a fallas físicas de los sensores y así no tener falsos positivos. Una vez se supere el tiempo de tolerancia que

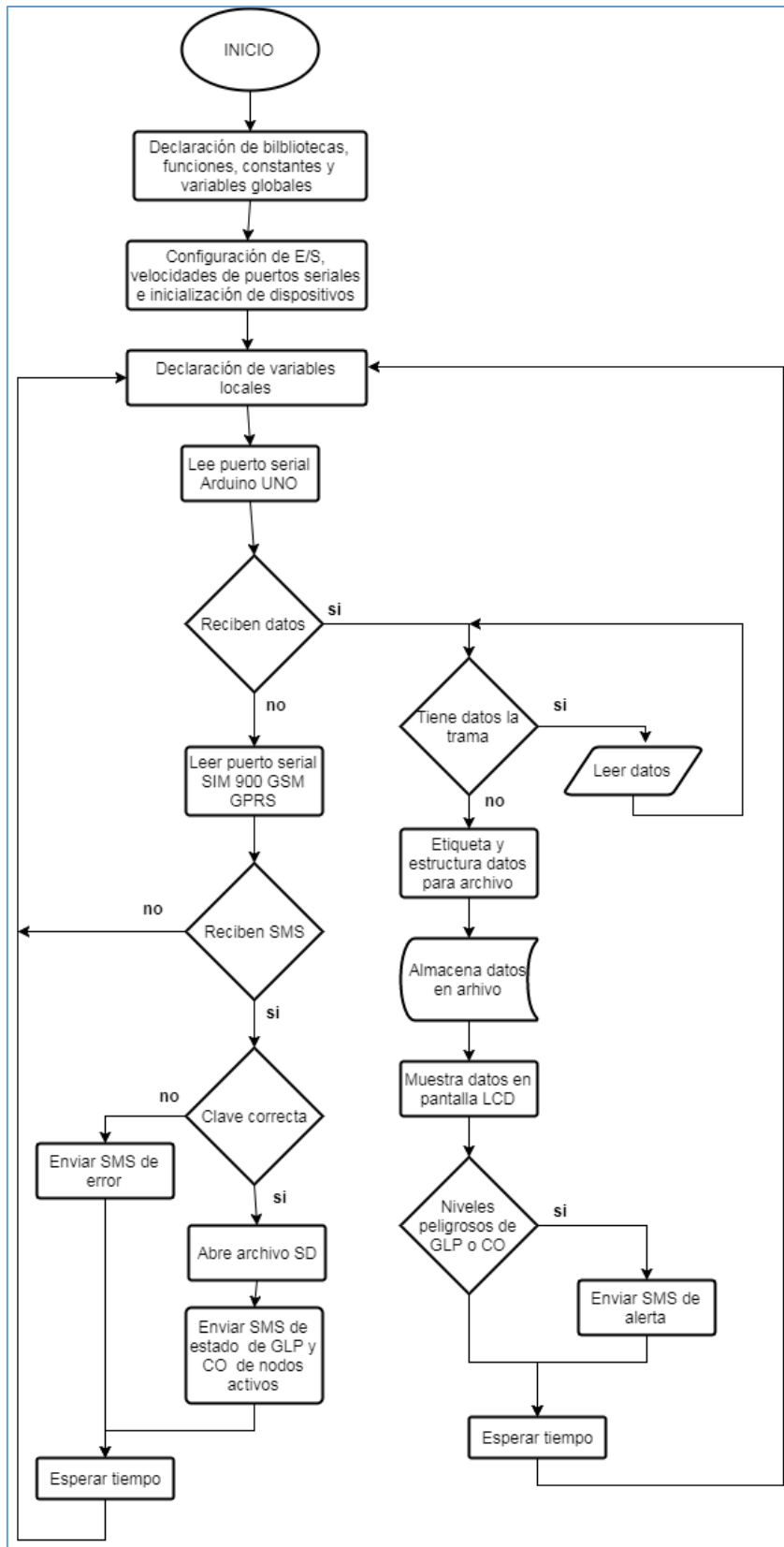
se determinó a través de un contador de identificadores, se llaman a dos funciones: **sms ()** y **sms1 ()**, creadas para enviar el estado de GLP y CO respectivamente del nodo detector a través de mensaje de texto hacia el usuario.

- Se procede a etiquetar las tramas de datos recibidas, y luego se las almacena en la tarjeta micro SD. De este archivo almacenado se obtendrá los niveles de GLP y CO de los nodos en unidades medibles, cuando el usuario lo requiera, el formato de los datos almacenados se muestra en la Figura 21-2.
- Si el usuario desea saber el estado de los nodos en cualquier momento mientras el sistema se encuentre operando, debe enviar un mensaje de texto a la tarjeta SIM del módulo GSM con una clave única. Se creó una función llamada **recibir\_mensaje ()** que permite conocer si el mensaje de texto recibido contiene la clave correcta. De ser así el módulo GSM permite conocer el nivel GLP y CO, de cada uno de los nodos activos que forman parte de la red, esto se realiza mediante el envío de un SMS hacia el usuario a través de la función **sms\_estado ()**.
- La función **sms\_estado ()** permite saber el estado de cada nodo de la red desde cualquier teléfono móvil, siempre y cuando la clave que se ingrese sea la correcta. Sin embargo, cuando existan niveles peligrosos de GLP y CO, únicamente se le notificará al teléfono móvil del usuario principal previamente registrado en el código del programa.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
Nd:2	GLP:82ppm	CO:46ppm		
Nd:3	GLP:62ppm	CO:41ppm		
Nd:1	GLP:65ppm	CO:37ppm		
Nd:2	GLP:76ppm	CO:38ppm		
Nd:3	GLP:45ppm	CO:29ppm		
Nd:1	GLP:11ppm	CO:25ppm		
Nd:2	GLP:00ppm	CO:20ppm		
Nd:3	GLP:53ppm	CO:19ppm		
Nd:1	GLP:98ppm	CO:16ppm		

— Datos de CO en partes por millón  
— Datos de GLP en partes por millón  
— Nodo de origen de datos

**Figura 21-2.** Formato de datos almacenados en tarjeta micro SD.  
 Realizado por: SEGURA Alex, 2017



**Figura 22-2.** Flujograma del código de programación del nodo Coordinador.  
 Realizado por: SEGURA Alex, 2017

### ***2.9.2. Funciones que integran el programa principal***

El código del nodo coordinador contiene ciertas funciones que se describen a continuación:

- **power\_on():** Se encuentra en el ciclo de inicio del programa, no requiere de algún parámetro y su función es controlar el encendido por software del módulo SIM900 GSM/GPRS.
- **parpadeo():** Se ejecuta dentro del ciclo de repetición, su función es habilitar un led intermitente mientras se reciban datos por el puerto serial del módulo Arduino UNO.
- **sms():** Esta función envía un mensaje de texto al usuario con el nivel de concentración de GLP y nodo detector, cuando en la trama recibida el valor del identificador BG (descrito en la Figura 3-2) es igual a 1.
- **sms1():** Esta función envía un mensaje de texto al usuario con el nivel de concentración de CO y nodo detector, cuando en la trama recibida el valor del identificador BC (descrito en la Figura 3-2) es igual a 1.
- **recibir\_mensaje():** Se ejecuta en el ciclo de repetición, cuando se ha recibido un mensaje de texto por el puerto serial del módulo SIM900 GSM/GPRS. Su función es identificar el número celular de origen del SMS y la clave de acceso para permitir al usuario tener conocimiento del estado de GLP y CO de los nodos activos dentro de la red.
- **sms\_estado():** Es llamada por la función **recibir\_mensaje()**, si se ha comprobado que la clave recibida es correcta. Como resultado devuelve el estado de GLP y CO de todos los nodos activos mediante el envío de un SMS al número celular identificado.
- **sms\_error():** Es llamada por la función **recibir\_mensaje()**, si se ha comprobado que la clave recibida es incorrecta. Como resultado envía un mensaje de error vía SMS al número celular identificado.

### ***2.9.3. Bibliotecas que integran el programa principal***

En el código del nodo coordinador se usaron seis bibliotecas, las cuales se asocian al funcionamiento de los dispositivos acoplados, estas son:

- **SoftwareSerial.h:** Permite la comunicación serie del módulo Arduino UNO con el módulo SIM900 GSM/GPRS a través de los terminales D7 y D8. Ya que el puerto serial convencional del Arduino (terminales D0 y D1) se encuentra conectado con el módulo XBee S2.
- **String.h:** Habilita el uso de arreglos en la recepción y almacenamiento de las tramas de datos.



- **SD.h:** Permite leer y escribir datos en la tarjeta micro SD acoplada al módulo Arduino. Además puede trabajar con tarjetas formateadas en los sistemas de ficheros FAT16 y FAT32.
- **SPI.h:** Permite comunicar mediante el protocolo SPI (Serial Peripheral Interface, por sus siglas en inglés) la placa Arduino con el módulo micro SD.
- **Wire.h:** Permite comunicar mediante el protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit, por sus siglas en inglés) la placa Arduino con la pantalla LCD.
- **LiquidCrystal\_I2C.h:** Permite controlar y configurar la pantalla de cristal líquido, basada en el chip I2C PCF8574.

## 2.10. Configuración del nodo Router Sensor y Router Actuador

El código de programación de los nodos router sensor y router actuador son los mismos y se encuentra en el Anexo G, variando en este último en el uso de una electroválvula. A continuación se describe el flujograma del programa principal, las funciones y bibliotecas utilizadas.

### 2.10.1. Flujograma del programa principal

El flujograma de la Figura 24-2 describe el funcionamiento general del nodo router sensor y router actuador, su descripción se detalla a continuación.

#### *Ciclo de Iniciación:*

- Se declaran las bibliotecas y funciones a utilizar.
- Se declaran e inicializan las constantes y variables globales.
- Se declara la longitud de la trama de datos (11 elementos)
- Se determinan las entradas y salidas del módulo Arduino UNO.
- Se configuran las velocidades de transmisión del módulo Arduino UNO y XBee S2.

#### *Ciclo de Repetición*

- Se inician las variables locales
- Se rellena el primer elemento de la trama con el identificador NI (descrito en la Figura 3-2).
- Se crean las funciones **get\_glp ()** y **get\_co ()**, que se encargan de tomar las lecturas de los sensores y transformarlas a unidades de medición a través de las ecuaciones estimadas en la

sección (2.5.1 y 2.5.2). Estas funciones son las mismas para los nodos router sensores como para el nodo router actuador.

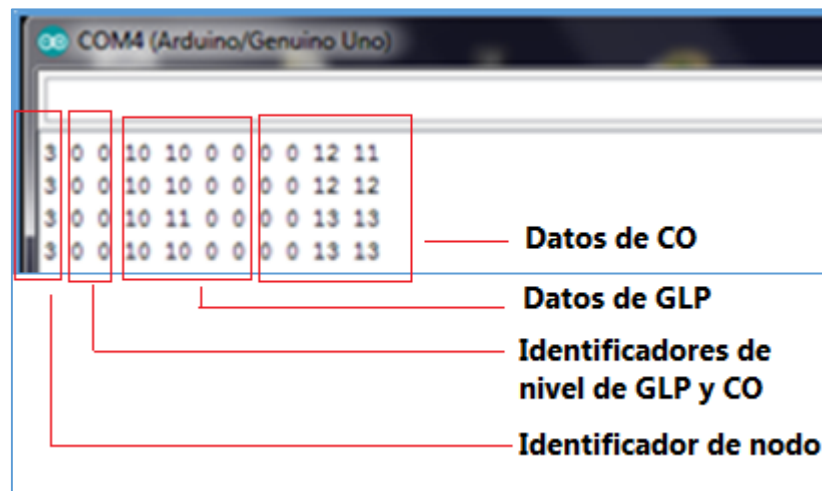
- En base a los niveles de exposición expuestos en el capítulo uno, se establece un nivel de detección para los nodos sensores como se muestra en la Tabla 19-2:

**Tabla 19-2:** Niveles de detección configurados.

	GLP (PPM)	CO (PPM)	Led indicador	Valor Identificador BG de trama	Valor Identificador BC de trama
<b>Estable</b>	0 - 500	0 – 200	Verde	0	0
<b>Precaución</b>	500 - 1500	200 - 700	Amarillo	2	2
<b>Peligro</b>	> 1500	> 700	Rojo	1	1

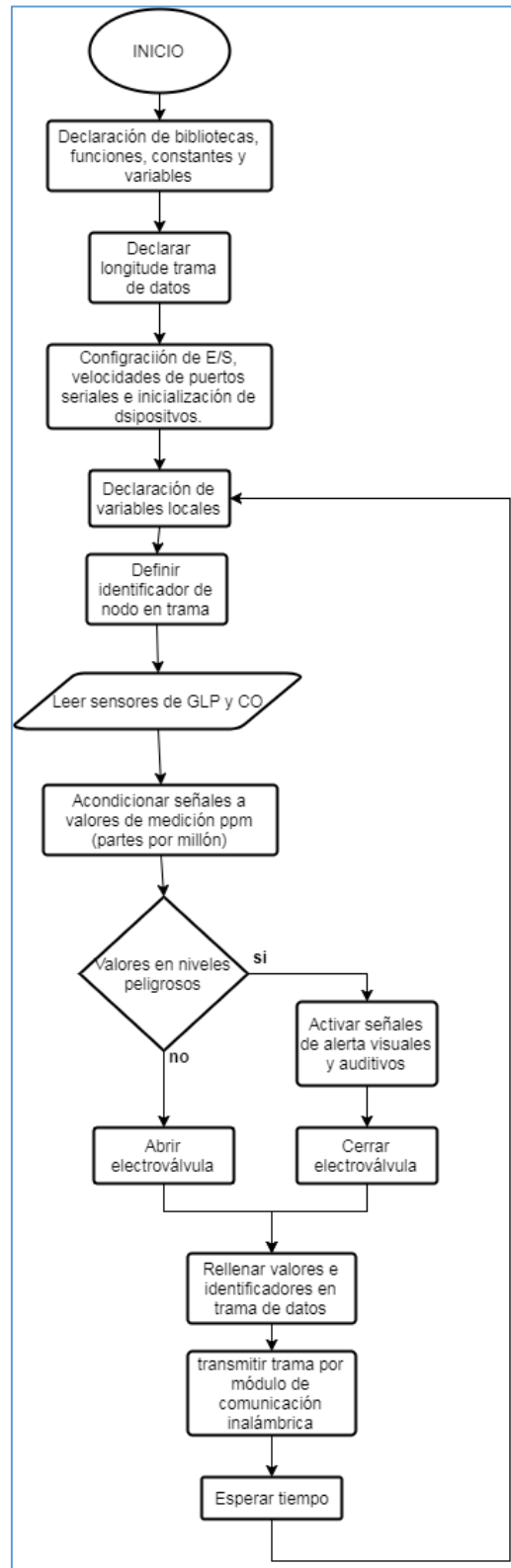
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

- Se evalúan los niveles de densidad de gas GLP y CO, si se encuentran en el rango de peligro según la Tabla 19-2. Se cambia el valor de los identificador de nivel dentro la trama para que el coordinador los reciba, se activan señales de alerta visuales y auditivas según el nodo detector. En el nodo router actuador se acciona la electroválvula, impidiendo el paso de gas desde el tanque de almacenamiento hasta que los niveles de gas se estabilicen.
- Con las lecturas normalizadas por las funciones `get_glp()` y `get_co()` se procede a llenar los campos de la trama de datos para enviarla por el puerto serial del módulo XBee S2 como se muestra en la Figura 23-2. La longitud y parámetros de esta trama de información es el mismo en los todos los nodos de la red.



**Figura 23-2.** Formato de trama de datos recibida en coordinador.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017



**Figura 24-2.** Flujograma de código de programación de nodo router sensor y router actuador.  
 Realizado por: SEGURA Alex, 2017

### ***2.10.2. Funciones que integran el programa principal***

Los códigos de los nodos router sensores y router actuador contienen ciertas funciones que se describen a continuación:

- **get\_co():** Se ejecuta en el ciclo de repetición, toma las lecturas del sensor MQ-7 y mediante las ecuaciones obtenidas en el capítulo dos, regresa un valor en ppm (partes por millón) de monóxido de carbono.
- **get\_glp():** Toma las lecturas del sensor MQ-6 y mediante las ecuaciones obtenidas en el capítulo dos, regresa un valor en ppm (partes por millón) de gas licuado de petróleo.
- **parpadeo():** Habilita un led intermitente cada vez que se envía una trama de datos, de esta forma se puede visualizar en el dispositivo si se están transmitiendo los datos adquiridos por los sensores.

Solo se utilizó una librería en el nodo router actuador llamada **Servo.h**, la cual sirve para facilitar el control de la electroválvula conformada por un servomotor.

## CAPITULO III

### 3. EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Introducción

En este capítulo se muestran los resultados que se obtuvieron al realizar pruebas de rendimiento y conexión de la red inalámbrica mediante software propietario de los módulos de comunicación inalámbrica, así como comparaciones de medidas de GLP y CO, entre los sensores calibrados y equipos profesionales a través de emisiones controladas de los gases descritos. Finalmente se implementó el sistema en una infraestructura doméstica y se evaluaron los parámetros configurados en cada uno de los nodos que conforman la red.

#### 3.2. Comparación de medidas con otros sistemas

##### 3.1.1. *Comparación con datasheet de sensores.*

La primera prueba que se realiza para saber si el sistema está bien calibrado, es comparar las lecturas que toman los sensores con los datos que presentan las fichas de datos de cada uno, en este caso el sensor MQ-6 y MQ-7. Se va a comparar los parámetros ( $R_s/R_o$ ) que es la relación de resistencias del sensor, y (PPM) que es la concentración de gas en el ambiente.

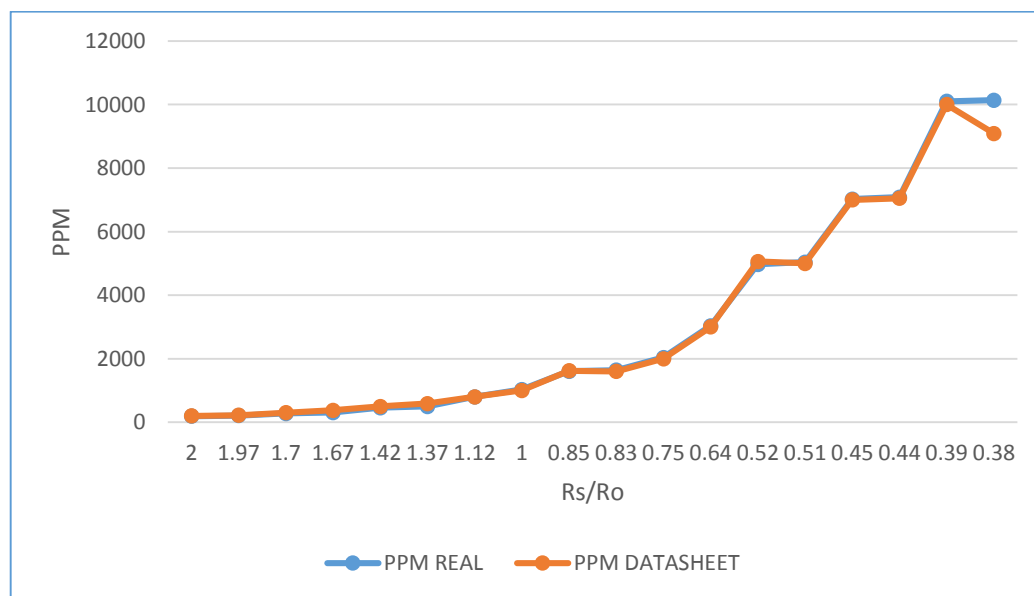
Se realizan pruebas de medición de los nodos sensores en ambientes cerrados, esto para comparar los resultados obtenidos con los datos que ofrece el datasheet del sensor MQ-6. Se crearon fugas controladas de GLP y se obtuvo una muestra de once lecturas en condiciones reales que se aproximen a los valores ideales propuestos del sensor como se muestra en la Tabla 1-3. La exactitud del sensor en condiciones ideales es del  $\pm 5\%$  sobre el valor medido, por lo que se realizó esta medición para comprobar que en condiciones reales el sensor no incorpore más error del establecido en  $\pm 5\%$  sobre el valor medido.

**Tabla 1-3:** Lectura de datos de sensor de GLP calibrado vs Lectura de datasheet de sensor.

No.	SENSOR MQ-6 CALIBRADO		DATASHEET MQ-6		Error absoluto	
	Rs/Ro	PPM	Rs/Ro	PPM	Rs/Ro	PPM
1	1.97	212	2	200	0.03	12
2	1.67	310	1.7	300	0.03	10
3	1.37	497	1.42	500	0.05	3
4	1.12	803	1.12	800	0	3
5	1	1035	1	1000	0	35
6	0.83	1643	0.85	1620	0.02	23
7	0.75	2039	0.75	2000	0	39
8	0.64	3036	0.64	3000	0	36
9	0.52	4969	0.51	5000	0.01	31
10	0.44	7086	0.45	7000	0.01	86
11	0.38	10137	0.39	10000	0.01	137

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Los resultados indican que el sistema está operando muy cerca del nivel adecuado debido a que el sensor no incorpora error absoluto mayor al 5% del valor medido en condiciones reales. El Gráfico 1-3, muestra una tendencia de funcionamiento del sensor calibrado similar a las condiciones ideales esperadas, variando sus lecturas en concentraciones de 10000 partes por millón de GLP.



**Gráfico 1-3.** Relación de lecturas de sensor MQ-6 de condiciones reales vs condiciones ideales.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

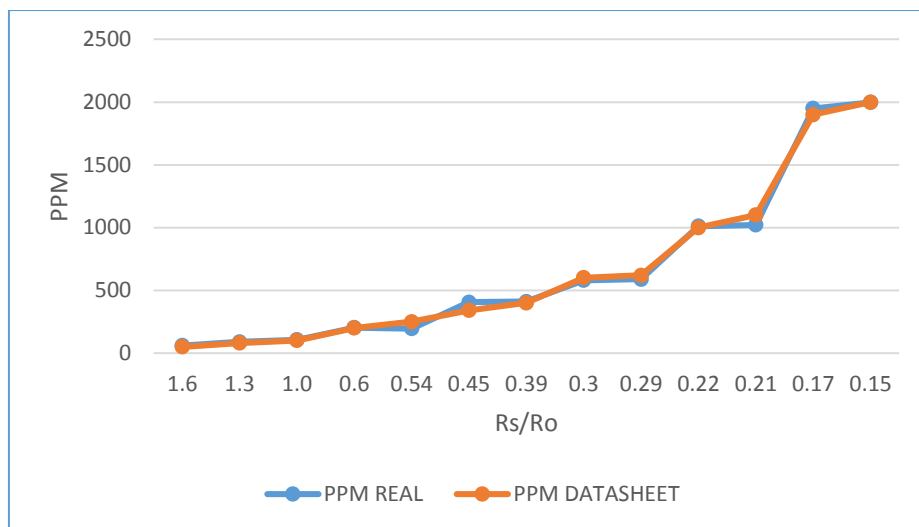
Ahora se realizan pruebas con el sensor de monóxido de carbono (MQ-7), los datos que se adquieran permitirán conocer si el sensor está operando en los niveles adecuados que lo sugiere el datasheet del mismo. En la Tabla 2-3, se muestra la comparación de lecturas del sensor de CO con su respectiva ficha de datos. Para obtener tales lecturas en la prueba del sensor, se utilizó un recipiente de vidrio donde se fue añadiendo gradualmente humo de cigarrillo. Un cigarro en promedio genera un nivel de CO de 20 ppm, pero también pueden llegar a niveles tan bajos de 10 ppm como niveles altos de 50 ppm (dependiendo de la composición del cigarro), (www.lowstars.com, 2017).

**Tabla 2-3:** Lectura de datos de sensor de CO calibrado vs Lectura de datasheet de sensor.

No.	SENSOR MQ-7		DATASHEET		Error absoluto Rs/Ro	Error absoluto PPM
	CALIBRADO Rs/Ro	PPM	MQ-7 Rs/Ro	PPM		
1	1.6	60	1.6	50	0	10
2	1.3	112	1	100	0.3	12
3	0.54	195	0.6	200	0.06	5
4	0.45	405	0.39	400	0.06	5
5	0.29	589	0.3	600	0.01	11
6	0.21	1021	0.22	1000	0.01	21
7	0.17	1998	0.15	2000	0.02	2

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Se utilizó un total de 15 cigarrillos para obtener siete lecturas de monóxido de carbono. La exactitud del sensor en condiciones ideales es del  $\pm 5\%$  sobre el valor medido, los resultados que muestra la Tabla 2-3 indican el sensor calibrado no incorpora error absoluto mayor al 5% del valor medido en condiciones reales tanto en el parámetro (Rs/Ro) como en el parámetro (PPM). Comparando la relación de lecturas de los valores reales con los valores ideales se visualiza que el sistema está cerca del nivel adecuado teniendo en cuenta el error absoluto bajo. El Gráfico 2-3, muestra que las lecturas en condiciones reales se asemejan al valor de las lecturas ideales, presentando una ligera variación en las concentraciones que se encuentran entre 0 a 500 partes por millón de monóxido de carbono.



**Gráfico 2-3.** Relación de lecturas de sensor MQ-7 de condiciones reales vs condiciones ideales.  
 Realizado por: SEGURA Alex, 2017

### 3.1.2. Comparación con equipo MX6-IBRID.

El MX6-IBRID que se muestra en la Figura 1-3, es un dispositivo que permite la detección de hasta 25 gases. Es un equipo sumamente preciso y confiable debido a sus especificaciones (Anexo C), por lo que se utilizó sus medidas como patrón para comparar el funcionamiento de los sensores del sistema desarrollado. En primera instancia se realizan pruebas con el sensor de GLP (MQ-6).



**Figura 1-3.** Equipo detector de gases MX6-IBRID.  
 Fuente: (Progressive Industrial Equipment CO. PTE. LTD., 2012)

Los datos presentados del equipo MX6-IBRID fueron previamente adquiridos utilizando un encendedor de butano por determinados tiempos (Sarsoza, 2015). Se realizó el mismo procedimiento sobre el sistema calibrado para comparar ambos resultados, como lo muestra la Tabla 3-3. El equipo profesional y el sensor MQ-6 tienen una exactitud del  $\pm 5\%$  sobre el valor medido, por lo que se realizó esta medición para comprobar si el sistema no incorpora más error del introducido por el sensor calibrado, que como máximo es de  $\pm 10\%$  sobre el valor medido. Se



tomaron 9 lecturas exponiendo los dispositivos al gas de un encendedor de butano por determinados períodos de tiempo.

**Tabla 3-3:** Lecturas de sensores de GLP ante encendedor de butano.

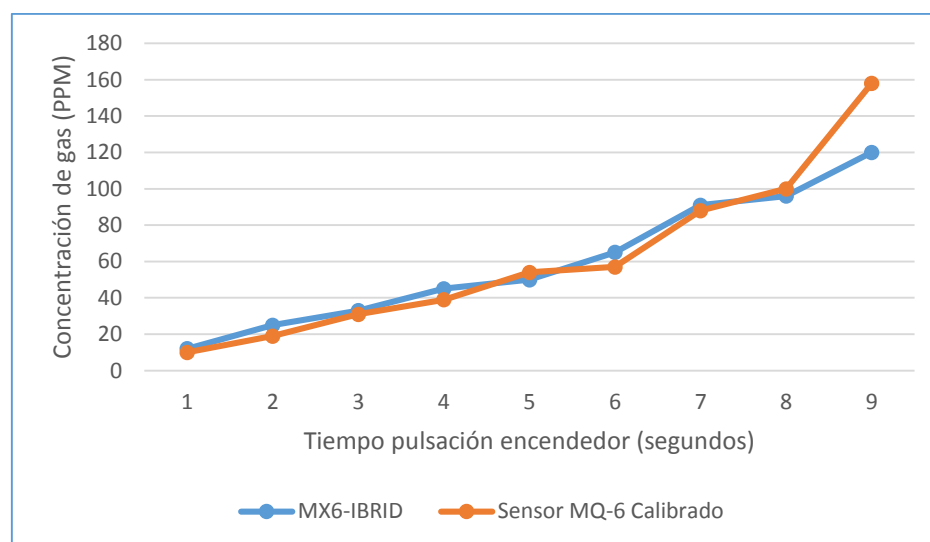
No.	Tiempo de pulsación del encendedor de butano *	MX6-IBRID (PPM)	Sensor MQ-6 Calibrado (PPM)	Error absoluto PPM
1	1 seg.	12	10	2
2	2 seg.	25	19	6
3	3 seg.	33	31	2
4	4 seg.	45	39	6
5	5 seg.	50	54	4
6	6 seg.	65	57	8
7	7 seg.	91	88	3
8	8 seg.	96	100	4
9	9 seg.	120	158	38

\*Se colocó el encendedor a una distancia de 10 cm del equipo MX6-IBRID y del sensor MQ-6

**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

**Fuente:** (Sarsoza, 2015 pág. 119)

De acuerdo a los datos de la Tabla 3-3, las mediciones que arrojan ambos sistemas muestran claramente que el sistema diseñado no introduce errores adicionales y es capaz de obtener lecturas con errores absolutos menores al 10% del valor máximo permitido. Las medidas tomadas por el sensor MQ-6 calibrado establecen una ligera diferencia en funcionamiento en condiciones reales respecto a un equipo profesional de medición como lo muestra el Gráfico 3-3.



**Gráfico 3-3.** Comparación de lecturas de MX6-IBRID vs sensor MQ-6 calibrado.

**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

Se procede a comparar las mediciones de monóxido de carbono (CO) del equipo MX6-IBRID con las lecturas que ofrece el sensor MQ-7. Se tomó un total de siete muestras de ambos dispositivos operando en condiciones normales del ambiente. Puesto que el equipo profesional y el sensor tienen una exactitud del  $\pm 5\%$  sobre el valor medido, se realizó esta prueba para comprobar si el sistema no incorpora más error del introducido por el sensor en mención, que como máximo es de 10% sobre el valor medido. Se fue variando el valor de  $R_o$  (Resistencia del sensor en aire limpio) en la programación del microcontrolador, los datos se muestran en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Lecturas de sensores de CO en condiciones ambientales normales.

No.	$R_o$ MQ-7 (k $\Omega$ )	MQ-7 CALIBRADO (PPM) *	MQ-7 CALIBRADO (PPM) **	MX6-IBRID (PPM)	Error Absoluto *	Error Absoluto **
1	20	3.18	5.51	2.3	0.88	3.21
2	12	1.58	2.44	2.3	0.72	0.14
3	10	1.19	1.88	2.3	1.11	0.42
4	8	0.82	1.30	2.3	1.48	1
5	7	0.66	1.08	2.3	1.64	1.22
6	6	0.52	0.85	2.3	1.78	1.45
7	5	0.39	0.63	2.3	1.91	1.67

\* Muestras tomadas durante el día

\*\* Muestras tomadas durante la noche

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Fuente: (Sarsoza, 2015 pág. 117)

El valor de las muestras tomadas por el equipo MX6-IBRID no varía tanto en las pruebas realizadas tanto en el día como en la noche, por lo que aquel valor debe ser considerado como un patrón referente de la presencia de monóxido de carbono en el ambiente en condiciones normales a cualquier hora del día. Esto permite comparar el comportamiento del sistema y calibrarlo con diferentes valores de ( $R_o$ ) respecto a un equipo profesional.

Analizando los datos de la Tabla 4-3, en las muestras tomadas durante el día con un valor de  $R_o=12$  k $\Omega$  y un error absoluto de 0.72; en las muestras recopiladas durante la noche con un valor de  $R_o=12$  k $\Omega$  y un error absoluto de 0.14; el sistema trabaja cerca del nivel ideal propuesto por el dispositivo profesional. En consecuencia con este valor de  $R_o$ , el sistema no introduce errores adicionales y es capaz de obtener lecturas con errores absolutos menores al 10% del valor máximo permitido.

### 3.1.3. Comparación con equipo MGT-5

En la siguiente prueba realizada se utilizó el equipo medidor de gases MGT-5 que se muestra en la Figura 2-3, propiedad de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Este equipo mide una variedad de gases entre los que se encuentran GLP y CO como lo detallan sus especificaciones técnicas (Anexo D). Se compararon las mediciones de monóxido de carbono tomadas por el equipo MGT-5 con las mediciones tomadas por los sensores calibrados.



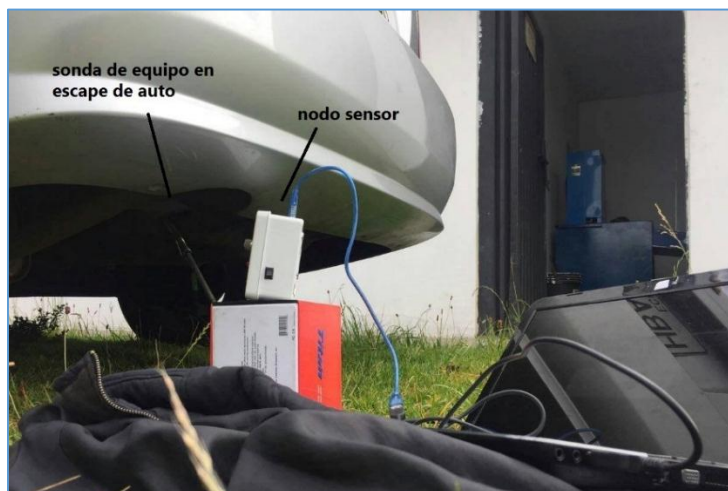
**Figura 2-3.** Equipo medidor de gases MGT-5  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Previo el arranque del equipo medidor, debe conectarse a una computadora donde se encuentra el software que permite visualizar los datos obtenidos como lo muestra la Figura 3-3. Además es necesario esperar un período de tiempo de al menos 3 minutos mientras el equipo se auto calibra. La prueba realizada midió los niveles de CO en el escape de un automóvil encendido durante un tiempo de 5 minutos.



**Figura 3-3.** Preparación de equipo MGT-5.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Junto a la sonda del equipo medidor de gases se colocó uno de los nodos sensores del sistema para evaluar las lecturas adquiridas por el sensor de monóxido de carbono MQ-7, Figura 4-3.



**Figura 4-3.** Ubicación de equipos para medición de monóxido de carbono.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Del total de mediciones adquiridas por ambos equipos, se tomó una muestra de 18 datos para realizar comparaciones entre sus valores y obtener el error absoluto. El equipo de medición y el sensor MQ-7 tienen una exactitud del  $\pm 5\%$  sobre el valor medido, por lo que el valor máximo de introducción de error del sensor calibrado debe ser del 10% sobre el valor medido.

**Tabla 5-3.** Lecturas de monóxido de carbono en equipo MGT-5 y sensor MQ-7.

No.	Hora Prueba	MGT-5 (PPM)	Sensor MQ-7 Calibrado (PPM)	Error absoluto (PPM)
1	8:29	0.03	0.02	0.01
2	8:29	0.04	0.02	0.02
3	8:29	0.03	0.02	0.01
4	8:30	0.04	0.03	0.01
5	8:30	0.05	0.09	0.04
6	8:30	0.05	0.12	0.07
7	8:31	0.49	0.46	0.03
8	8:31	0.58	0.55	0.03
9	8:31	0.67	0.70	0.03
10	8:32	0.81	0.77	0.04
11	8:32	0.91	0.88	0.03
12	8:32	0.99	1.03	0.04
13	8:33	1.31	1.27	0.04
14	8:33	2.28	2.33	0.05
15	8:33	2.73	2.67	0.06
16	8:34	3.28	3.34	0.06
17	8:34	4.08	4.01	0.07
18	8:34	4.67	4.74	0.07

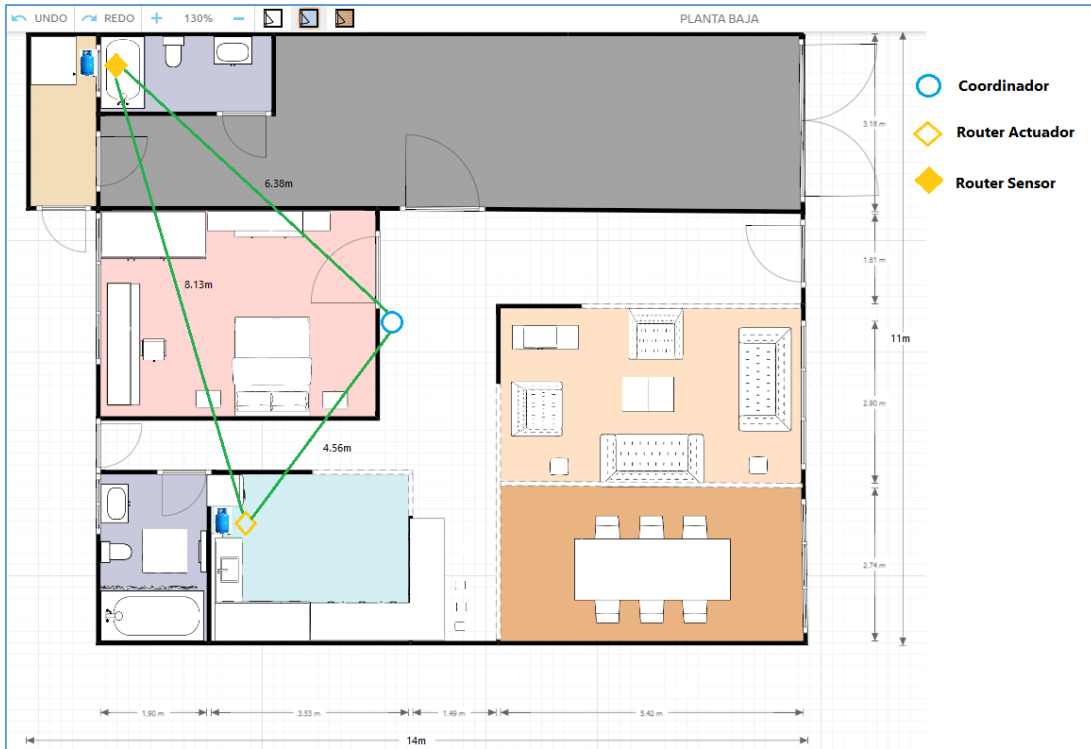
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Según los datos registrados en la Tabla 5-3, se presencia que las lecturas tomadas por el sensor MQ-7 calibrado se encuentran muy próximas a las lecturas del equipo MGT-5, con un error absoluto promedio de 0.04 PPM. Esto indica que el sistema no introduce errores adicionales y es capaz de obtener lecturas con errores absolutos menores al 10% del valor máximo permitido. La adquisición de los resultados descritos fue certificada por la Escuela de Ingeniería Automotriz y se encuentra en el Anexo E.

### **3.3. Evaluación de funcionamiento de la red inalámbrica de sensores**

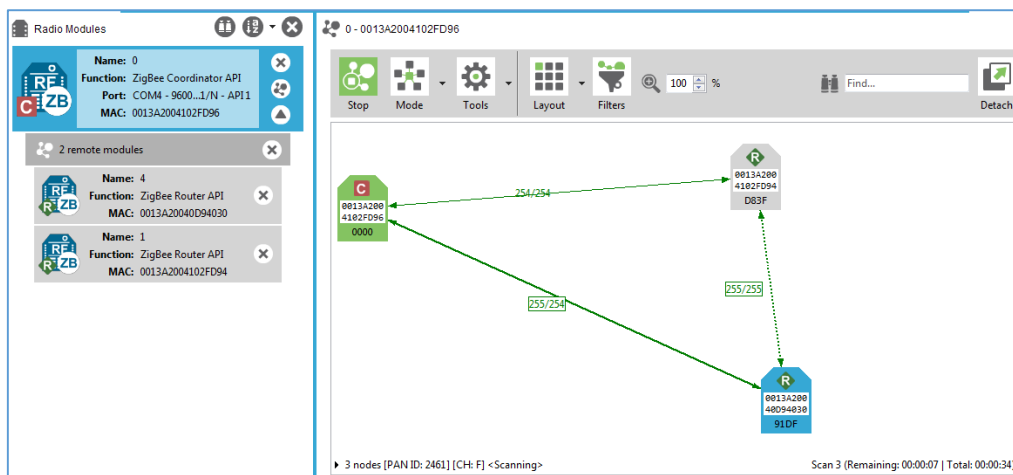
Una vez verificado el buen funcionamiento de los sensores de GLP Y CO, es hora de evaluar el comportamiento de la red inalámbrica de sensores, para aquello se realizan pruebas utilizando el software de desarrollo de los módulos XBee llamado XCTU (Xbee Configuration and Test Utility Software, por sus siglas en inglés). Este software es una aplicación multiplataforma gratuita que permite administrar los módulos inalámbricos a través de una interfaz gráfica interactiva. Entre alguna de sus funciones, se encuentran herramientas integradas que facilitan la conexión, configuración y pruebas de los módulos RF.

Para la realización de la prueba de la red, se utilizó un nodo coordinador, un nodo router sensor y un nodo router actuador, distribuidos en la planta baja de una casa de 154 m<sup>2</sup>, como se muestra en la Figura 5-3. Previamente configurados y conectados cada uno de los módulos a evaluar, se procede a generar un gráfico de la red a través del software XCTU.



**Figura 5-3.** Distribución de nodos de red en planta baja de domicilio.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

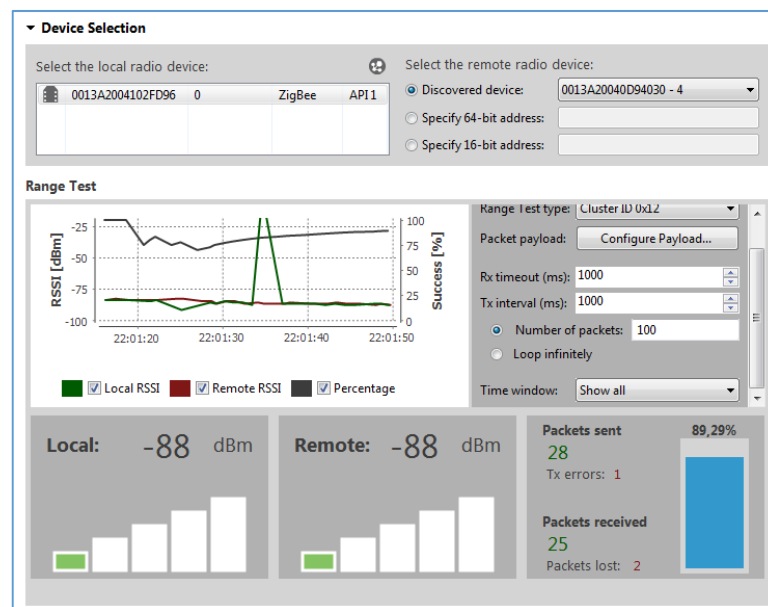
La Figura 6-3 muestra la estructura de la red inalámbrica, cada uno de los nodos está etiquetado con su función (Coordinador, Router) y dirección MAC, así como su identificador. Las flechas de cada conexión denotan el tipo de comunicación, en este caso al ser una red tipo malla la comunicación será bidireccional.



**Figura 6-3.** Red inalámbrica visualizada en software XCTU.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

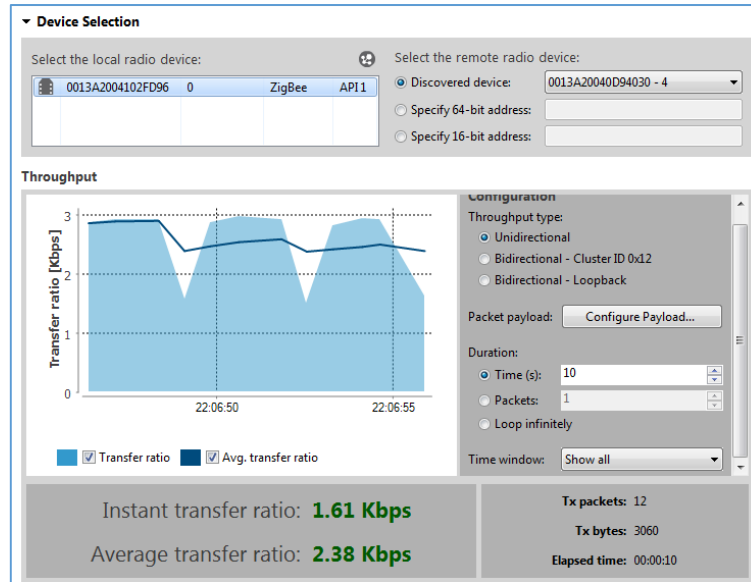
A continuación se realiza una prueba de rango de los módulos, la cual se usa para evaluar el rango y calidad de enlace entre los módulos de la misma red. Primero se seleccionó la conexión entre el nodo Coordinador y el nodo router actuador (Id=4). Se encuentran separados a una distancia en línea recta de 4.56m (Figura 5-3), se obtuvieron los siguientes resultados.

Se tiene un nivel de potencia recibida (RSSI) tanto del nodo Coordinador como del nodo Router que fluctúa en los -88 dBm, un nivel moderado según las especificaciones del mismo software y tomando en cuenta las pérdidas por penetración de muros en el departamento. Esto nos da un porcentaje de éxito de 89.29% en la transmisión y recepción de datos como lo muestra la Figura 7-3.



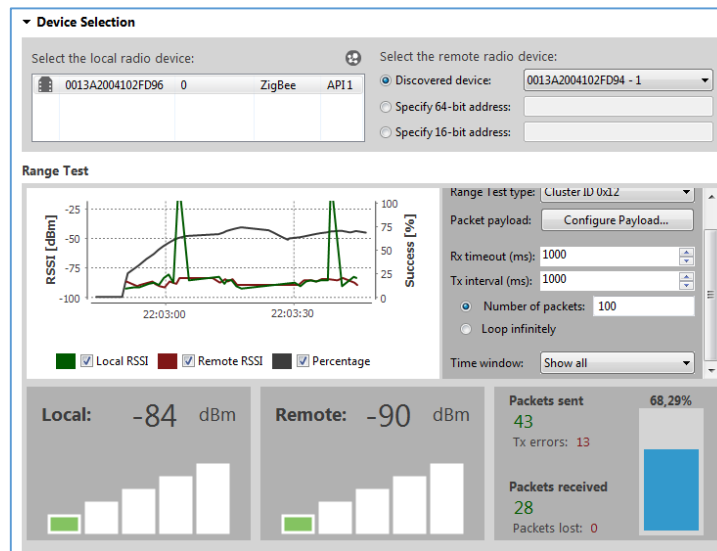
**Figura 7-3.** Nivel de potencia recibida entre nodo Coordinador y nodo router sensor.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

La siguiente es una prueba de rendimiento, la cual se usa para analizar la tasa de transferencia de un módulo a otro en la misma red. Como resultado se obtiene una tasa instantánea de transferencia de 1.61 kbps y una tasa media de transferencia de 2.38 kbps (Figura 8-3).



**Figura 8-3.** Prueba de rendimiento entre nodo Coordinador y nodo router sensor.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

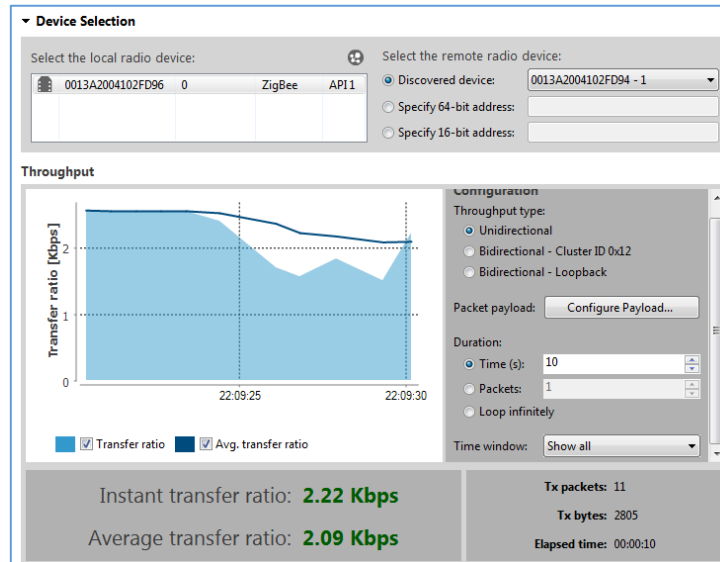
Ahora se procede a realizar la prueba de rango entre el nodo Coordinador y el nodo router sensor (Id=1). La distancia en línea recta entre ambos dispositivos es de 6.38m, por lo que se obtuvieron los siguientes resultados: El nivel de potencia recibida (RSSI) en el Coordinador es de -84 dBm y en el Router actuador es de -90 dBm, nuevamente a pesar de tener pérdidas por penetración de muros de la infraestructura, existe un nivel aceptable en la transmisión y recepción de datos con un 68.29 %, como lo expone la Figura 9-3.



**Figura 9-3.** Nivel de potencia recibida entre nodo Coordinador y nodo router actuador.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017



Se hace una prueba de rendimiento para medir la tasa de transferencia entre ambos módulos y se obtuvo una tasa instantánea de transferencia de 2.22 kbps y una tasa media de transferencia de 2.09 kbps (Figura 10-3).

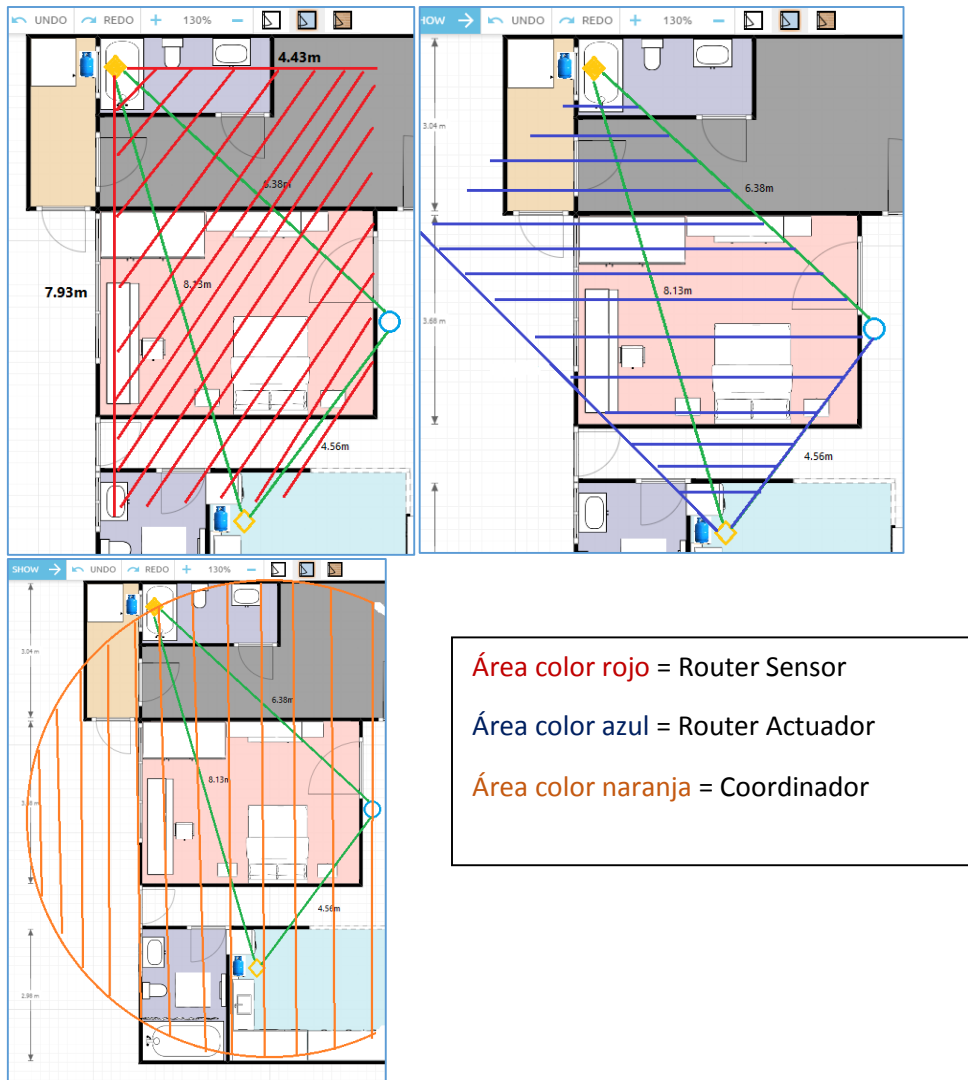


**Figura 10-3.** Prueba e rendimiento entre nodo Coordinador y nodo router actuador.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Realizadas las pruebas de rango y rendimiento de los nodos, se procedió a determinar la cobertura promedio (en metros) que puede alcanzar cada uno de los nodos dentro de una infraestructura doméstica. Las distancias entre los dispositivos de la red son los siguientes:

- Nodo Coordinador – Nodo Router Sensor (6.38m)
- Nodo Coordinador – Nodo Router Actuador (4.56m)
- Nodo Router Sensor – Nodo Router Actuador (8.13m)

A estas distancias los dispositivos establecieron una conexión satisfactoriamente entre sí, a pesar de la presencia de los muros y paredes del hogar. Si se toma en cuenta que las antenas de los módulos XBee S2 irradian en forma omnidireccional, se calcula un área de cobertura en base a las distancias previamente obtenidas en cada uno de los dispositivos, Figura 11-3:



**Figura 11-3.** Áreas de cobertura de los nodos de la red.  
 Realizado por: SEGURA Alex, 2017

En base a las áreas definidas en la Figura 8-3, se calcularon los siguientes valores de cobertura por cada nodo:

- Nodo Coordinador:  $63.9m^2$
- Nodo Router Sensor:  $35.12m^2$
- Nodo Router Actuador:  $29.03m^2$

Se calculó un valor de cobertura promedio que generalice el alcance de conexión de los nodos independientemente de su ubicación dentro de la infraestructura doméstica, y se obtuvo un valor de  $42.7m^2$ , estimando un error de  $\pm 2m^2$  debido a que se realizó el plano descrito anteriormente en base a las medidas reales de la casa y no a las medidas de los planos originales.

### 3.4. Implementación de la red inalámbrica de sensores

Probado y calibrado, se procedió a implementar el sistema en un edificio ubicado en el centro de la ciudad de Riobamba. Considerado como mejor opción debido a que existe un considerable número de depósitos de gas y calefones, estas características permiten evaluar de mejor manera el desenvolvimiento del sistema en condiciones reales.

Los nodos de la red fueron ubicados en el cuarto piso y la terraza del edificio de la siguiente manera: El router actuador por tener la capacidad de controlar la circulación del gas, se lo situó en el depósito de GLP en la cocina (Figura 12-3). Los router sensores se lo puso en la terraza junto a los depósitos de GLP y calefones que existen allí (Figura 13-3). Finalmente se ubicó el coordinador en el pasillo del departamento (Figura 14-3), y se procedió a analizar el funcionamiento del sistema.



**Figura 12-3.** Nodo Router actuador ubicado.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017



**Figura 13-3.** Nodos Router Sensores ubicados.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017



**Figura 14-3.** Nodo Coordinador ubicado.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Para iniciar la red primero se debe conectar el nodo Coordinador, pues es este dispositivo quien crea y gestiona todos los parámetros de la red inalámbrica. La pantalla LCD muestra si se ha iniciado correctamente el módulo GSM y la tarjeta microSD (Figura 15-3), recordando que la alimentación del dispositivo se suministra a través de red eléctrica. Este proceso tarda aproximadamente 12 segundos.



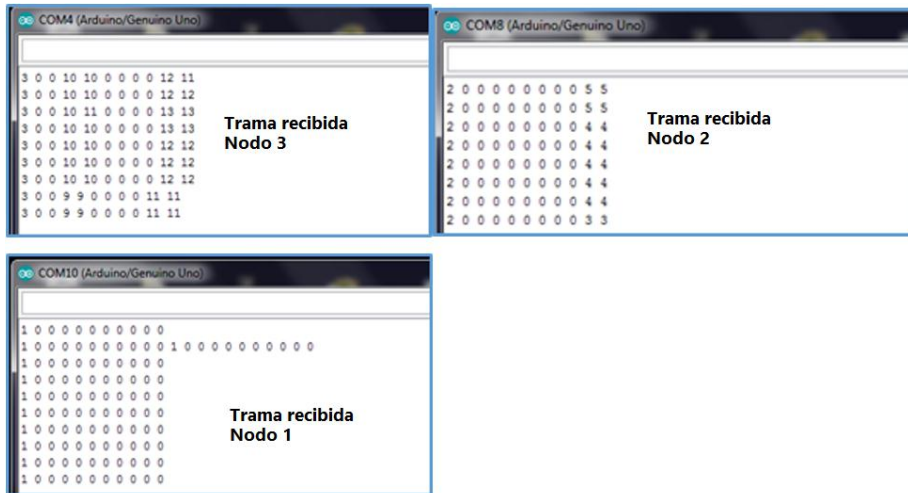
**Figura 15-3.** Nodo Coordinador iniciado.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Una vez se ha iniciado correctamente el coordinador, se procede a conectar cada uno de los nodos de la red, recordando que la alimentación de los dispositivos se suministra a través de cargadores solares. Una vez habilitados, los nodos buscan y se vinculan a la red formada en base a los parámetros preconfigurados, Figura 16-3. Este proceso en cada nodo tarda aproximadamente 5 segundos.



**Figura 16-3.** Nodos Router Sensores iniciados  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

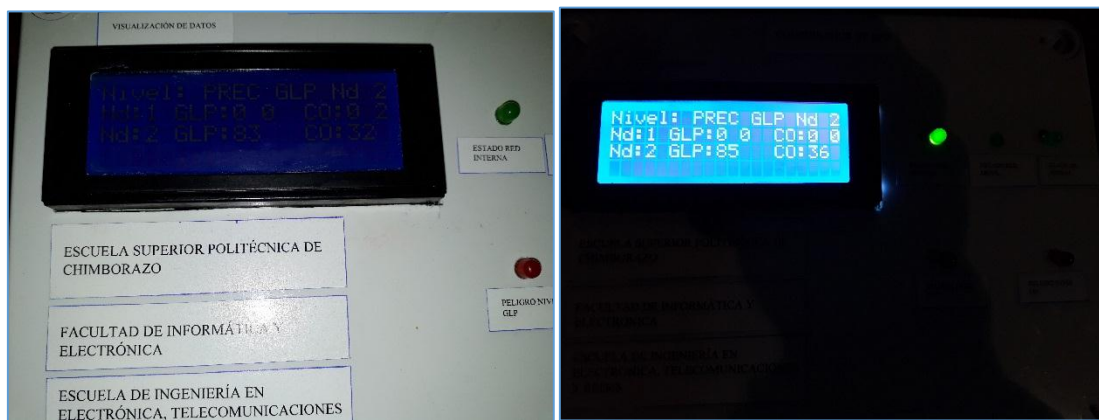
El nivel de GLP y CO se ve reflejado en los leds indicadores de cada nodo, sin embargo para verificar el formato en que envían la información cada uno de ellos, se conectaron a la PC por medio del puerto serial para visualizar la estructura de la trama de lecturas tomadas. En la Figura 17-3 se muestra las tramas recibidas en el coordinador de cada nodo conectado.



**Figura 17-3.** Tramas de información enviadas por nodos.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Un led indicador muestra si el coordinador está recibiendo las tramas de datos de los demás nodos, esto permite percatarse si la red interna está operando. Según su identificador de nodo, los datos de cada trama son etiquetados y visualizados en la pantalla LCD como se muestra en la Figura 18-3.



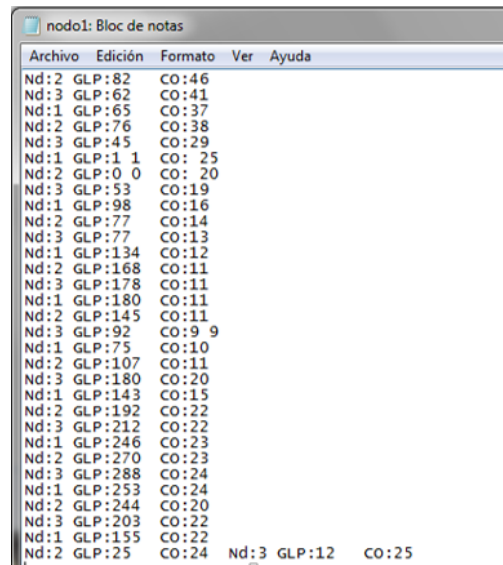
**Figura 18-3.** Datos visualizados en pantalla LCD.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Los datos etiquetados son almacenados en la tarjeta micro SD en el archivo “nodo1.txt”, como registro de actividad del sistema, además se toman los datos de este fichero cuando el usuario requiera conocer el estado actual de cada uno de los nodos de la red. La Figura 19-3 presenta el



contenido del archivo durante el tiempo que se han registrado datos, el nombre se guardó en un archivo de texto llamado nodo1.txt.



**Figura 19-3.** Datos almacenados en archivo de texto.  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

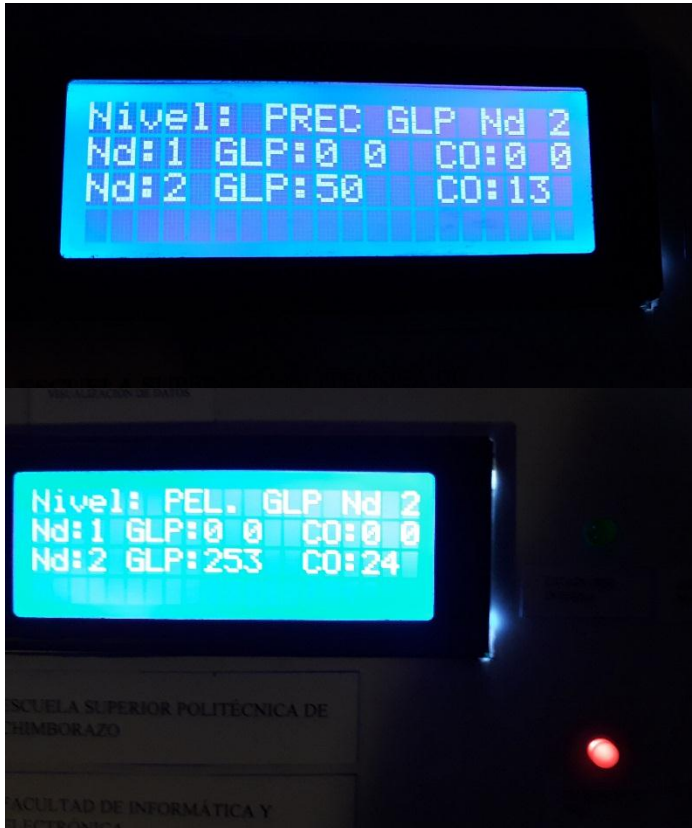
Se realizó una fuga controlada de GLP para comprobar la respuesta de las señales de alerta visuales y auditivos en el nodo router sensor y router actuador. En la Figura 20-3, en la parte izquierda se muestra el sistema detectando un nivel medio de exposición de gas, y en la parte derecha un nivel peligroso de exposición. En este punto se constató que la electroválvula fabricada se cerró correctamente impidiendo el paso de gas hasta que los niveles de detección se normalicen.



**Figura 20-3.** Detección de niveles medios y peligrosos de gases  
Realizado por: SEGURA Alex, 2017

En la Figura 21-3, en la parte superior se muestra en la pantalla LCD del coordinador un nivel de precaución de detección, y en la parte inferior se muestra un nivel peligroso de detección con la activación de su respectivo led indicador. Cuando se registren niveles peligrosos de detección, un

identificador de GLP y CO en cada trama adquieren el valor de 1. Este valor en el coordinador activa una función que envía inmediatamente el nivel detectado en determinado nodo, por un mensaje de texto al usuario a través del módulo SIM900 GSM.



**Figura 21-3.** Niveles medios y peligrosos visualizados.

Realizado por: SEGURA Alex, 2017

Ahora cuando el usuario desee conocer en algún momento el estado del sistema, debe enviar un mensaje de texto a la tarjeta SIM registrada con la clave preestablecida (en este caso la clave es #2461). Si la clave es correcta, se activa un led indicador y el nodo coordinador abre el archivo "nodos.txt" y envía los últimos registros almacenados al usuario. Si la clave es incorrecta, se envía un mensaje de error como lo muestra la Figura 22-3.





**Figura 22-3.** Ingreso de clave al sistema.

**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

Es necesario aclarar que se puede conocer el estado del sistema desde cualquier teléfono móvil, siempre y cuando se ingrese la clave correcta. Sin embargo cuando se detecten niveles peligrosos de GLP o CO, las notificaciones las recibirá únicamente el usuario principal, previamente registrado en el código del programa del nodo coordinador.

Cuando el nodo coordinador se desconecta o inhabilita por alguna razón, la red inalámbrica deja de operar, sin embargo, los nodos sensores siguen tomando lecturas y activando sus señales de alerta visuales y auditivos de forma independiente. Por lo contrario si alguno de los nodos se desconecta o inhabilita, la red inalámbrica opera normalmente con los nodos activos restantes.

### 3.5. Costo de implementación del prototipo

A continuación en la Tabla 6-3, se muestra el costo de implementación de cada uno de los nodos que forman parte de la red inalámbrica, con elementos adquiridos en Ecuador. Cabe recalcar que en los valores ya se incluyen los costos de las fuentes de alimentación y carcassas protectoras de cada dispositivo.

**Tabla 6-3:** Costo de implementación de red inalámbrica de sensores.

Módulo	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Nodo router sensor	2	101	202
Nodo router actuator	1	121	121
Nodo coordinador	1	138	138
<b>Total</b>	<b>4</b>		<b>461</b>

**Realizado por:** SEGURA Alex, 2017

Con los valores de la Tabla 6-3, la red inalámbrica diseñada, con dos nodos sensores y un nodo actuador tienen un precio de 461 USD. Equipos profesionales de medición de gases como el MX6-IBRID y MGT5 tienen un precio en el mercado de 2000 USD y 1200 USD respectivamente. En base a las pruebas realizadas, se comprobó que el sistema desarrollado opera cerca de los niveles de medición de los equipos profesionales, y tomando en cuenta que estos dispositivos son estáticos. Se consigue crear un sistema inalámbrico detector de fugas de GLP y CO orientado al sector doméstico con una exactitud de medición similar a equipos profesionales a un costo relativamente bajo.

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó una red inalámbrica de sensores capaz de medir, procesar y comunicar densidad de GLP y CO en ambientes domésticos, con una tasa media de transferencia entre 2.09 Kbps – 2.38 Kbps de nodo a nodo y un porcentaje en la transmisión y recepción de datos entre 68.29% - 89.29%.
2. El sistema diseñado es capaz de medir densidades de GLP y CO con errores absolutos menores al  $\pm 10\%$  del valor máximo permitido. Lo que significa que se ajusta a los requerimientos de diseño analizados y al funcionamiento de equipos comerciales de medición de gases.
3. Estableciendo el tiempo de envío de tramas de datos cada 2 segundos en los nodos sensores, se reduce el congestionamiento de la red y asegura una óptima recepción de información en el nodo coordinador.
4. Los módulos XBee S2 con su potencia de transmisión de 2mW (3dBm), establecen un rango de conexión de  $40m^2$  en interiores. Además se tiene una sensibilidad de recepción en los nodos que fluctúa entre -84dBm y -90dBm, teniendo en cuenta las pérdidas por penetración de muros y paredes.
5. El sistema es capaz de admitir la incorporación de más nodos sensores. Esto debido a que se configuró una topología en malla lo que permite que la red inalámbrica se vuelva escalable y se adapte a las condiciones físicas de las infraestructuras domésticas.
6. Se desarrolló un sistema de detección fugas de gas de bajo costo para el sector doméstico, en el cual se puede visualizar y almacenar las mediciones obtenidas, lo que permite la toma de decisiones según la situación real. Además se mantiene una comunicación permanente con el usuario a través de la red celular GSM
7. Debido al microcalefactor de los sensores MQ-6 y MQ-7, es necesario un tiempo de espera para que la salida sea estable y posea las características especificadas por el fabricante. Este período de tiempo varía de 24 y 48 horas dependiendo del modelo. Este proceso se realiza una sola vez y previa la inserción a los nodos correspondientes.

## RECOMENDACIONES

1. Configurar la comunicación API en los módulos inalámbricos XBee S2. Esto permite acceder directamente a los parámetros internos de los módulos y realizar conexiones independientes y no requiere de tarjetas de desarrollo.
2. Incorporar el uso de tarjetas de desarrollo de mejores características en memoria para los nodos sensores para posibilitar el incremento de sensores de supervisión como temperatura, humedad, humo.
3. Incorporar la posibilidad de almacenar la información en un sitio web para su posterior procesamiento y análisis para futuros estudios que permitan desarrollar equipos más seguros y confiables.
4. Evaluar el sistema desarrollado con otros programas de simulación como: OMNET++, Net Sim y NS-3, que permitan obtener en detalle las características del sistema desarrollado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Alvarado, H.T.; Hurtado, J.C.C.** *EL DESARROLLO DE COMPONENTES ELECTRONICOS (PLL) Y SU IMPACTO EN LAS TELECOMUNICACIONES. EL PLL COMO UN CIRCUITO OPERACIONAL DE FASE.* 2014.
2. **American Conference of Governmental Industrial Hygienists.** *ACGIH Threshold Limit Values (TLV) and Biological Exposure Indices (BEL).* Cincinnati : Signature Publications, 2012. Disponible en: <http://www.nsc.org/facultyportal/Documents/fih-6e-appendix-b.pdf>
3. **Carretero, Alfonso.** *Electrónica: Ciclos Formativos Electricidad y Electrónica.* Madrid : EDITEX, 2009. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=\\_g0xi3Til6AC&printsec=frontcover&dq=Alfonso+carretero&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Alfonso%20carretero&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=_g0xi3Til6AC&printsec=frontcover&dq=Alfonso+carretero&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Alfonso%20carretero&f=false)
4. **Department of Health and Human Services (NIOSH).** *NIOSH POCKET GUIDE TO CHEMICAL HAZARDS.* Tercera Edición. Cincinnati : NIOSH Publications, 2007. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-149/pdfs/2005-149.pdf>
5. **Diario La Hora.** Quito, susceptible a emergencias con materiales peligrosos. <http://lahora.com.ec>. [En línea] 20 de Septiembre de 2016. Disponible en: [http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101985136/-1/Quito,\\_susceptible\\_a\\_emergencias\\_con\\_materiales\\_peligrosos\\_.html#.WO-smvk1\\_IU](http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101985136/-1/Quito,_susceptible_a_emergencias_con_materiales_peligrosos_.html#.WO-smvk1_IU).
6. **Diéguez, José.** LA EVOLUCIÓN DEL CONTROL DE PROCESOS Y LA TELEMETRÍA. *Boletín Electrónico No. 02.* 17 de Julio de 2006, pág. 12. Disponible en: [http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL\\_02\\_QUI01.pdf](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_02_QUI01.pdf)
7. **Digi International.** ZigBee RF Modules. [www.digi.com](http://www.digi.com). [En línea] Julio de 2016. Disponible en: <http://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000976.pdf>.
8. **e-radionica.com.** MQ6 SENSOR. [www.e-radionica.com](http://www.e-radionica.com). [En línea] 2017. Disponible en: [https://eradionica.com/media/catalog/product/cache/1/thumbnail/80x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/d/s/dsc\\_1026\\_4.jpg](https://eradionica.com/media/catalog/product/cache/1/thumbnail/80x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/d/s/dsc_1026_4.jpg).
9. **Flores Prior, F.** *Visor de información de telemetría.* Ciudad de México : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2015. Disponible en: [repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/.../CP-1412.1.pdf](http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/.../CP-1412.1.pdf)
10. **ITEAD Intelligent Systems Co.Ltd.** Gboard-GSM/GPRS/Wireless dev platform based on Arduino. [www.itead.cc](http://www.itead.cc). [En línea] 6 de Febrero de 2012. Disponible en: [ftp://imall.iteadstudio.com/IM120411004\\_GBoard/Documents/DS\\_IM120411004\\_GBoard.pdf](ftp://imall.iteadstudio.com/IM120411004_GBoard/Documents/DS_IM120411004_GBoard.pdf).
11. **Kruchten, Philippe.** *The Rational Unified Process: An Introduction.* illustrated. Addison-Wesley Professional, 2004.
12. **LINDE ECUADOR S.A.** Hoja de Seguridad Monóxido de Carbono. [www.linde-gas.ec](http://www.linde-gas.ec). [En línea] 5, 14 de Diciembre de 2012. Disponible en: <http://www.linde-gas.ec>

gas.ec/internet.lg.lg.ecu/es/images/HOJA%20DE%20SEGURIDAD%20MON%C3%93XI  
DO%20DE%20CARBONO343\_98258.pdf?v=1.0.

13. **Márquez, José.** *Transmisión de Datos.* Tercera Edición. Mérida : Taller de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, ULA, 2015. pág. 545. Disponible en: <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/trasmisiondedatos/pdf/librocompleto.pdf>
14. **Morán, Julio; Campoverde, Cristóbal; Hernández, Edison.** *Diseño e implementación de un sistema de monitorización y control orientado a brindar seguridad a equipos de laboratorio, permitir accesos y control de personal integrando mediante software, tecnologías de identificación (RFID) y comunicación (GSM).*(Tesis de pregrado). Guayaquil : Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
15. **MSA International.** Sistema de Detección de Fugas de Gas por Ultrasonidos. [www.MSAafety.com](http://www.MSAafety.com). [En línea] 10 de Febrero de 2012. Disponible en: <http://s7d9.scene7.com/is/content/minesafetyappliances/UltraSonic-Principle%20Bulletin%20-%20ES>.
16. **Occupational Safety and Health Administration.** L.P.G. [www.osha.gov](http://www.osha.gov). [En línea] United States DEPARTMENT OF LABOR, 07 de Octubre de 2010. Disponible en: [https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_249630.html](https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_249630.html).
17. **Progressive Industrial Equipment CO. PTE. LTD.** IBRID MX6. <http://www.piec.com.sg>. [En línea] 21 de Diciembre de 2012. Disponible en: [https://www.google.com.ec/search?q=mx6+ibrid&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj5ht2w3eHTAhXETSYKHbcnCIkQ\\_AUICigB&biw=1440&bih=745#imgrc=bRu7Ji5WNLvN0M:](https://www.google.com.ec/search?q=mx6+ibrid&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj5ht2w3eHTAhXETSYKHbcnCIkQ_AUICigB&biw=1440&bih=745#imgrc=bRu7Ji5WNLvN0M:)
18. **Quijano, M.; Castro, M.; Belza, C.** *Telemetría Láser sobre Satélites. Una ya Larga Evolución Automática e Instrumentación.* Barcelona : Cetisa Boixareu Editores (Cetisa Boixareu), 1999.
19. **Sarsoza, Cristian.** *Implementación de un prototipo para el monitoreo de las condiciones del ambiente de trabajo.*(Tesis de pregrado) Ambato : Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, 2015.
20. **Secretaría de Gestión de Riesgos.** SGR cuida de ti: Los tanques de gas, asesinos silenciosos. <http://www.gestionderiesgos.gob.ec>. [En línea] Enero de 2015. Disponible en: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/sgr-cuida-de-ti-los-tanques-de-gas-asesinos-silenciosos/>.
21. **Secretaría Nacional de gestión de Riesgos.** *Estadísticas de accidentes por el uso de gas doméstico.* Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. Quito : Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2017. pág. 3,.
22. **Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.** Vivienda y Hogar, Datos obtenidos del ultimo Censo Nacional. [En línea] Sistema Nacional de Información, 2010. Disponible en: <http://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/.opendoc.htm?document=SNI.qvw&host=QVS>

@kukuri&anonymous=truehttp://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNI.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=true&bookmark=Document/BM39.

23. **Subsecretaría de Reducción de Riesgos.** Dirección de Fortalecimiento y desarrollo de capacidades en gestión de riesgos. <http://www.gestionderiesgos.gob.ec>. [En línea] 2016. Disponible en: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/SISTEMA-NACIONAL-DESCENTRALIZADO-DE-LA-GESTION-DEL-RIESGO-Y-EMERGENCIAS.pdf>.
24. **United States Department of Labor.** Carbon Monoxide. [www.osha.gov](http://www.osha.gov). [En línea] Operational Safety and Health Administration, 9 de Junio de 2012. Disponible en: [https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_225610.html](https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_225610.html).
25. **Winterfeld, Harry.** Introducción a los Sistemas de Detección de Gases. [www.draeger.com](http://www.draeger.com). [En línea] 5 de Octubre de 2009. Disponible en: [https://www.draeger.com/Library/Content/9046703\\_infoflip\\_gds\\_es\\_13.pdf](https://www.draeger.com/Library/Content/9046703_infoflip_gds_es_13.pdf).
26. **www.etechpk.net.** Communication-Module. [www.etechpk.net](http://www.etechpk.net). [En línea] 2016. Disponible en: <http://www.etechpk.net/shop/communication-modules/xbee-shield-v03/>.
27. **www.lowstars.com.** ¿Cuánto monóxido de carbono es el humo del cigarrillo? <http://www.lowstars.com>. [En línea] <http://www.lowstars.com>, 30 de Marzo de 2017. Disponible en: <http://www.lowstars.com/krwNzQ0A/>.

## ANEXOS

### ANEXO A: Especificaciones de sensor de gas licuado de petróleo MQ-6

## TECHNICAL DATA

## MQ-6 GAS SENSOR

### FEATURES

- \* High sensitivity to LPG, iso-butane, propane
- \* Small sensitivity to alcohol, smoke.
- \* Fast response .      \* Stable and long life      \* Simple drive circuit

### APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of LPG, iso-butane, propane, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

### SPECIFICATIONS

#### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V <sub>c</sub>	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V <sub>H</sub>	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
P <sub>L</sub>	Load resistance	20KΩ	
R <sub>H</sub>	Heater resistance	33Ω ± 5%	Room Tem
P <sub>H</sub>	Heating consumption	less than 750mw	

#### B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T <sub>ao</sub>	Using Tem	-10℃-50℃	
T <sub>as</sub>	Storage Tem	-20℃-70℃	
R <sub>H</sub>	Related humidity	less than 95%Rh	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

#### C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R <sub>s</sub>	Sensing Resistance	10KΩ - 60KΩ (1000ppm LPG )	Detecting concentration scope: 200-10000ppm LPG , iso-butane, propane, LNG
α (1000ppm/ 4000ppm LPG)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃±2℃ Humidity: 65%±5%	V <sub>c</sub> :5V±0.1 V <sub>h</sub> : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

#### D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-6 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-6 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

#### E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-6

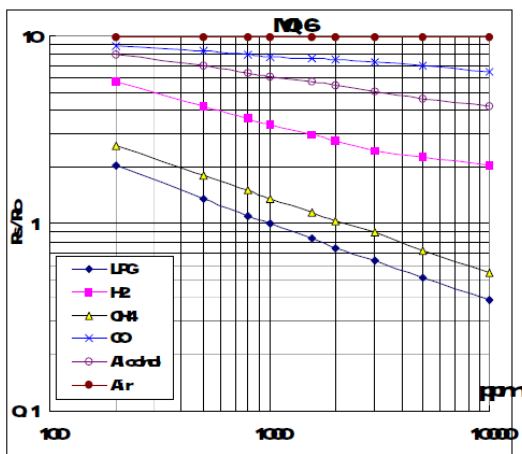


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-6 for several gases, in their: Temp: 20℃, Humidity: 65%, O<sub>2</sub> concentration 21%, RL=20kΩ  
R<sub>0</sub>: sensor resistance at 1000ppm of LPG in the clean air.  
R<sub>s</sub>:sensor resistance at various concentrations of gases.



## ANEXO B: Especificaciones de sensor de monóxido de carbono MQ-7

### TECHNICAL DATA

### MQ-7 GAS SENSOR

#### FEATURES

- \* High sensitivity to carbon monoxide
- \* Stable and long life

#### APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

#### SPECIFICATIONS

##### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V±0.1	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	33Ω±5%	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60±1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90±1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

##### b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20℃-50℃	
Tas	Storage temperature	-20℃-50℃	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

##### c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature	-20℃±2℃	relative humidity 65%±5%
	Vc:5V±0.1V	VH:5V±0.1V	VH:1.4V±0.1V
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

##### E. Sensitivity characteristic curve

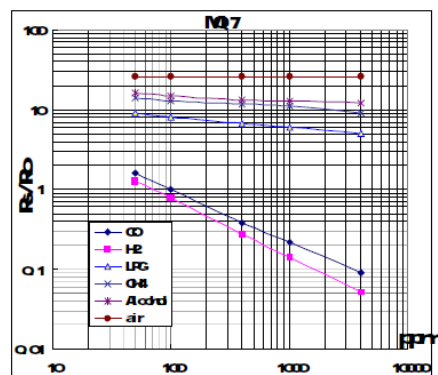


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases. in their: Temp: 20℃, Humidity: 65%, O<sub>2</sub> concentration 21% RL=10kΩ  
R<sub>0</sub>: sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.  
R<sub>s</sub>: sensor resistance at various concentrations of gases.

## ANEXO C: Especificaciones de equipo medidor de gases MX6-IBRID

### ESPECIFICACIONES

#### GARANTÍA DEL INSTRUMENTO:

Garantizado mientras el instrumento esté admitido por Industrial Scientific Corporation

#### MATERIAL DE LA CUBIERTA:

Lexan/ABS/acero inoxidable con cobertura de protección de goma

#### DIMENSIONES:

135 mm x 77 mm x 43 mm (5,3 pulg. x 3,05 pulg. x 1,7 pulg.) - sin bomba  
167 mm x 77 mm x 56 mm (6,6 pulg. x 3,1 pulg. x 2,2 pulg.) - con bomba

#### PESO:

409 g (14,4 oz) típicos - sin bomba; 511 g (18,0 oz) habitualmente - con bomba

#### PANTALLA/LECTURA:

Pantalla gráfica de cristal líquido a color

#### FUENTE DE ENERGÍA/TIEMPOS DE EJECUCIÓN:

Conjunto de baterías de ión de litio (Li-ion) recargables (24 horas) - sin bomba  
Paquete de baterías de ión de litio (Li-ion) recargables de larga duración (36 horas) - sin bomba  
Paquete de baterías alcalinas AA reemplazables (10,5 horas) - sin bomba

#### RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO:

-20 °C a 55 °C (-4 °F a 131 °F)

#### RANGO DE HUMEDAD DE FUNCIONAMIENTO:

15 % a 95 % sin condensación (continuo)

#### RANGOS DE MEDICIÓN:

SENSOR	RANGO	RESOLUCIÓN
<b>PERLA CATALÍTICA</b>		
Gas combustible	0-100 % de LEL	1 %
Metano	0-5 % vol	0,01 %
<b>ELECTROQUÍMICO</b>		
Amoníaco	0-500 ppm	1
Monóxido de carbono	0-1.500 ppm	1
Monóxido de carbono (alto rango)	0-9.999 ppm	1
Bajo en monóxido de carbono/hidrógeno	0-1.000 ppm	1
Cloro	0-50 ppm	0,1
Dióxido de cloro	0-1 ppm	0,01
Monóxido de carbono/ Sulfuro de hidrógeno (COSH)	CO: 0-1.500 ppm H2S: 0-500 ppm	1 0,1
Hidrógeno	0-2.000 ppm	1
Cloruro de hidrógeno	0-30 ppm	0,1
Ácido cianhídrico	0-30 ppm	0,1
Sulfuro de hidrógeno	0-500 ppm	0,1
Óxido nítrico	0-1.000 ppm	1
Dióxido de nitrógeno	0-150 ppm	0,1
Oxígeno	0-30 % vol	0,1 %
Fosfina	0-5 ppm	0,01
Fosfina (alto rango)	0-1.000 ppm	1
Dióxido de azufre	0-150 ppm	0,1
<b>INFRARROJO</b>		
Hidrocarburos	0-100 % de LEL	1 %
Metano (% de volumen)	0-100 % vol	1 %
Metano (% de LEL)	0-100 % de LEL	1 %
Dióxido de carbono	0-5 % vol	0,01 %
<b>FOTOIONIZACIÓN</b>		
VOC	0-2.000 ppm	0,1

#### CERTIFICACIONES:

UL	Clase I, grupos A, B, C, D T4; clase II, grupos F, G; AEx ia d IIC T4
CSA	Clase I, Grupos A,B,C,D T4; Ex d ia IIC T4
MSHA	CFR30, sección 22, intrínsecamente seguro para mezclas de metano/aire
ATEX	Ex ia IIC T4 Ga / Ex ia I Ma; IP64 Grupo y categoría del equipo: II 1G / I M1 (I M2 c/ sensor IR)
IECEx	Ex ia IIC T4 Ga / Ex ia I (Ex ia d I c/ sensor IR)
ANZEx	Ex ia s zona 0 I, IP64 Asp., IP64 Dif. Ex ia s zona 0 IIC T4
INMETRO	Ex ia IIC T4 Ga
GOST-R	PBExiad X / 1ExiadIIC T4 X
KOSHA	Ex d ia IIC T4
China Ex	Ex ia d IIC T4
China CPC	Aprobación de metrología

\* Estas especificaciones están basadas en los promedios de rendimiento y pueden variar según el instrumento



# SENSORS

## Sensor specifications

Sensor Category	Abbreviation	Sensor technology <sup>1</sup>	Sensor properties				Accuracy		Response time (typical)	
			Measurement range	Measurement resolution	Sensor temperature range <sup>2</sup>	Sensor RH range <sup>2</sup>	At temperature of calibration	Over full sensor temperature and RH ranges	T50	T90
Gas Names			(%vol, %LEL, or ppm)		degrees (°)	(%)	(%)	(%)	Seconds (s)	
Oxygen										
Oxygen	O <sub>2</sub>	E	0% to 30% vol	0.10% vol	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	5 to 95	± 0.5	± 0.8	5	10
Combustible										
Combustible	LEL	C	0% to 100% LEL	1% LEL	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15	35
Combustible	LEL	IR	0% to 100% LEL	1% LEL	-20°C to 50°C (-4°F to 122°F)	0 to 95	± 5.0	± 15.0	15	35
Methane	CH <sub>4</sub>	IR	0% to 100% LEL	1% LEL	-20°C to 50°C (-4°F to 122°F)	0 to 95	± 5.0	± 15.0	10	25
Methane	CH <sub>4</sub>	C	0% to 5% vol	0.01% vol	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15	35

### Toxic

Ammonia <sup>3</sup>	NH <sub>3</sub>	E	0 to 500 ppm	1.00 ppm	-20°C to 40°C (-4°F to 104°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	30 s	80 s
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	IR	0% to 5% vol	0.01% vol	-20°C to 50°C (-4°F to 122°F)	0 to 95	± 5.0	± 15.0	10 s	25 s
Carbon Monoxide	CO	E	0 to 1,500 ppm	1.00 ppm	-20°C to 50°C (-4°F to 122°F)	15 to 90	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s
Carbon Monoxide	CO	E	0 to 9,999 ppm	1.00 ppm	-20°C to 50°C (-4°F to 122°F)	15 to 90	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s

## ANEXO D: Especificaciones de equipo medidor de gases MGT-5

### Analizador de gases para vehículos a gasolina y gas Modelo: MGT 5

- ▶ Equipo compacto e independiente apto para el empleo estacionario o móvil. Basado en la concepción del opacímetro MDO2 LON, es posible la combinación multifuncional para realizar el análisis de los gases de escape de motores de gasolina así como de motores diésel.
- ▶ Amplio campo de aplicación: desde un sencillo e independiente aparato móvil con LED y terminal de mano, a un equipo conectado a un PC y equipado con un programa de fácil manejo.
- ▶ Equipo para la medición de vehículos con Gas GLP ó CNG
- ▶ Manejo fácil y cómodo, así como indicaciones de pantalla claras y estructuradas
- ▶ Un software inteligente facilita el uso adecuado, proporcionando a la vez todas las informaciones necesarias
- ▶ Concepto con visión de futuro, mediante la introducción de módulos de función, p.e. medición de las R.P.M., conexión de módulo E-OBd
- ▶ Módulos interfase con diversas posibilidades de conexión al PC y a la línea de pruebas
- ▶ Preparado para ASA/Eurosystem, Citrix
- ▶ Posibilidad de medición del NOx
- ▶ Aparato universal útil para la medición de los gases de escape de motores a gasolina
- ▶ Posibilidad de conexión a base de datos de vehículos (Opción)



Filtro de carbón activo, sensores electroquímicos. Parte delantera: Módulo insertable para revoluciones. Todos los componentes son de fácil acceso y pueden cambiarse fácilmente si procede.



Nuevo filtro con separador de agua. La condensación se elimina automáticamente.

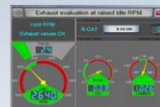


Módulo de comunicación E-OBd

MGT 5					
Ámbito de aplicación	Medición de gases de escape móvil o fija en procedimiento de corriente parcial con carga parcial en motores Otto de gasolina o gas				
Gases mesurables	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO (opcional)
Rangos de medición	0 – 15,0 Vol %	0 – 20,0 Vol %	0 – 2000 ppm Vol (Hexano) 0 – 4000 ppm Vol (Propano)	0 – 25,0 Vol %	0 – 5000 ppm Vol
Resolución de valores de medición (máx.)	0,01 Vol %	0,01 Vol %	1 ppm Vol	0,01 Vol %	1 ppm Vol
Principio de medición	infrarrojos	infrarrojos	infrarrojos	electroquím.	electroquím.
Valor lambda	Rango de indicación: 0,500 – 9,999 • Resolución: 0,001 • Calculado según Brettschneider				
Fase de calentamiento	min. 30 s, máx. 10 min., promedio 2,5 min. • Termoregulado				
Tasa de circulación total	Máx. 3,5 l/min. • Min. 1,5 l/min.				
Caudal gas de medición	Máx. 2,5 l/min. • Bomba de membrana				
Suministro de corriente	85 – 280 V • 50 Hz • 65 W / 12 – 24 V DC				
Temperatura de funcionamiento	+5 – +45 °C • Variación ±2 °C				
Temperatura de almacenamiento	-10 – +60 °C • Variación ±2 °C				
Prueba de estanqueidad	Guiada por menú • mín. 1 vez al día				
Prueba de residuos de HC/ajuste a cero	automático				
Calibración	guiada por menú con PC • se requiere un gas de calibración especial (especifico del país)				
Interfaces (opción)	LON • OBd • USB				
Dimensiones	560 x 240 x 300 mm				
Peso	aprox. 10 kg				
Medidor de revoluciones (opción)	100 – 10 000 rev/min • Resolución ww. 1, 5, 10, 50 rev/min • Diferentes sensores de captación				
Termómetro de aceite (opción)	0 – +150 °C • Resolución 1 °C				
Clase de precisión	PTB: Clase 1 • OIML: Clase 0				



Diversas posibilidades de captación de RPM y temperatura de aceite para diversos tipos de autos



Transcurso del ensayo. Toda la información en una pantalla.



Terminal de mano



Kit para OBd



Medición en automóviles

# Technical Data

## Model: MGT 5 / DISPEED 492

### MGT 5

Range of application	Portable or stationary emission test using partial current procedure under partial load with gasoline or gas-driven Otto engines				
Measurable gases	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	NO option
Measurement range			0 - 2000 ppm Vol. (Hexan)		
	0 - 15,0 Vol. %	0 - 20,0 Vol. %	0 - 4000 ppm Vol. (Propane)	0 - 25,0 Vol. %	0 - 5000 ppm Vol.
Measurement accuracy *	0.03 Vol. %	0.5 Vol. %	10 ppm Vol.	0.1 Vol. %	32 - 120 ppm Vol.**
Meas.value increments (max.)	0.001 Vol. %	0.01 Vol. %	0.1 ppm Vol.	0.01 Vol. %	1 ppm Vol.
Meas. principle	infrared	infrared	infrared	electrochem.	electrochem.
Meas. range drift	smaller ± 0.6 % from meas. range end value				
Lambda value	display range: 0.500 - 9.999 • increment: 0.001 • calcu. according to Brettschneider				
Warm-up phase	min. 30 sec., max. 10 minutes, average 2.5 minutes • temperature-controlled				
Flow through rate total	max. 3.5 l/min. • min. 1.5 l/min.				
Meas.gas volume flow	max. 2.5 l/min. • membrane pump				
Condensate volume flow	max. 1 l/min. • automatic continuous draw-off via separate pump				
Condensate separation	water separation system with water level recognition (integrated in main filter)				
Working pressure	750 - 1100 mbar				
Pressure fluctuations	max. error 0.2 % with fluctuations of 5 kPa				
Power supply	85 V - 280 V • 50 Hz • 65 W /12 V-24 DC				
Operating temperature	+ 5 ° - + 45 °C • deviation ± 2 °C				
Storage temperature	- 10 ° - + 60 °C • deviation ± 2 °C				
Leakage test	menu-guidance • min. 1 a day				
HC residue test	automatic				
Zero adjustment	automatic • via active carbon filter				
Calibration	menu-guidance via PC • special calibration gas needed (country-specific)				
Calibration interval	depends on country-specific requirements (Germany: 12 months)				
Interfaces (Optional)	LON • OBD • USB				
Dimensions	560 x 240 x 300 mm				
Weight	ca. 10 kg				
RPM sensor (Optional)	100 - 10 000 rot/min. • increments ww. 1, 5, 10, 50 rot/min. • various recording sensors				
Oil thermometer (Optional)	+ 0 ° - + 150 °C • increments 1 °C				
Accuracy class	PTB: class 1 • OIML: class 0				

\* Absolute, or 5 % of measurement value; the larger value is valid \*\* dependent upon measurement range



## ANEXO E: Certificación medición de gases con equipo MGT-5



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Ingeniero Paúl Montufar, Docente de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

### CERTIFICA,

Que el señor Alex Paul Segura Cruz realizó pruebas de medición con el equipo medidor de gases MGT-5 de la Escuela de Ingeniería Automotriz, con el fin de realizar comparaciones con las medidas que ofrece su trabajo de titulación, habiendo alcanzado el objetivo satisfactoriamente.

Para que conste donde sea oportuno firmo la presente a 28 de Junio de 2017 en la ciudad de Riobamba.



Ing. Paúl Montufar

C.I. 1715812044

## ANEXO F: Código fuente de nodo coordinador

```

/*****
PROGRAMA QUE RECIBE LOS DATOS DE GLP Y CO DE LOS NODOS ROUTER SENSORES U ROUTER ACTUADOR
*****/
DEFINICIÓN DE LIBRERÍAS
/*****
#include <SoftwareSerial.h>
#include <String.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
SoftwareSerial SIM900(7, 8);
LiquidCrystal_I2C lcd (0x27,20,4);
/*****
DEFINICIÓN CONSTANTES Y VARIABLES
*****/
File archivo;
String numero = "+593980122746";
String numero_destino = "";
String comentario;
char inicio_clave;
char clave1;
char clave2;
char clave3;
char clave4;
String clave = "";
const unsigned int LED = 4;
const unsigned int LEDA = 3;
const unsigned int LEDB = 2;
const unsigned int LEDC = 5;

String string="";
String string1="";
String string2="";
String string3="";
char inChar;
boolean flagRec=false;
int j = 0;
int k = 0;
int POWERKEY = 9;
/*****
DEFINICIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS, INICIANDO PANTALLA LCD, MÓDULO GSM Y MÓDULO MICRO SD
*****/
void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  SIM900.begin(19200);
  Serial.begin(19200);
  string.reserve(200);
  pinMode(LED, OUTPUT);
  pinMode(LEDA, OUTPUT);
  pinMode(LEDB, OUTPUT);
  pinMode(LEDC, OUTPUT);
  pinMode(POWERKEY, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  delay(1000);
  power_on();
  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print(F("Iniciando GSM..."));
  delay(1000);

```

```

SIM900.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");
delay(1000);
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print(F("Preparado GSM..."));
delay(1000);
lcd.setCursor (0,2);
lcd.print(F("Iniciando SD..."));
if (!SD.begin(10)){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print(F("Error al iniciar SD..."));
  return;
}
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print(F("Preparada SD..."));
delay(1000);
lcd.clear();
}
void loop() {

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Nivel: ");
  /*****
LEE PUERTO SERIAL MÓDULO GSM
*****/
  if (SIM900.available() > 0)
  {
    recibir_mensaje();
  }
  /*****
LEE PUERTO SERIAL MODULO ARDUINO UNO
*****/
  if(Serial.available())
  {
    parpadeo(LED, 1, 100);
    while (Serial.available() > 0){
      inChar = Serial.read();
      if((inChar != '\r') && (inChar != '\n'))
      {
        string += inChar;
      }
      else
      {
        if(inChar=='\n')
        {
          flagRec=true;
        }
      }
    }
  }
  /*****
SE ANALIZA, ETIQUETAN, ALMACENAN Y MUESTRAN EN PANTALLA LCD TRAMAS RECIBIDAS
*****/
  if(flagRec==true)
  {
    Serial.print(string);
    Serial.println(" ");
    switch (string.charAt(0)){
      case '1':
        archivo = SD.open("nodo1.txt", FILE_WRITE);
        if (archivo){
          lcd.setCursor(0,1);
          lcd.print(F("Nd:"));
          archivo.print("Nd:");

```



```

string1 += "Nd: ";
lcd.print(F("1 "));
archivo.print("1 ");
string1 += "1 ";
lcd.print(F("GLP:"));
archivo.print("GLP:");
string1 += "GLP: ";
lcd.print(string.substring(6,9));
archivo.print(string.substring(6,9));
string1 += string.substring(6,9);
lcd.print(F(" "));
archivo.print(" ");
lcd.print(F("CO:"));
string1 += " CO: ";
archivo.print("CO:");
if(string.length() >= 28){
  lcd.print(string.substring(22,25));
  string1 += string.substring(22,25);
  archivo.print(string.substring(22,25));
}else{
  lcd.print(string.substring(20,23));
  string1 += string.substring(20,23);
  archivo.print(string.substring(20,23));
}
archivo.println(" ");
archivo.close();
}
Serial.println(string1);
break;

case '2':
archivo = SD.open("nodo1.txt", FILE_WRITE);
if (archivo){
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print(F("Nd:"));
  archivo.print("Nd:");
  lcd.print(F("2 "));
  archivo.print("2 ");
  lcd.print(F("GLP:"));
  archivo.print("GLP:");
  lcd.print(string.substring(6,9));
  archivo.print(string.substring(6,9));
  lcd.print(F(" "));
  archivo.print(" ");
  lcd.print(F("CO:"));
  archivo.print("CO:");
  if(string.length() >= 28){
    lcd.print(string.substring(22,25));
    archivo.print(string.substring(22,25));
  }else{
    lcd.print(string.substring(20,23));
    archivo.print(string.substring(20,23));
  }
  archivo.println(" ");
  archivo.close();
}
break;

case '3':
archivo = SD.open("nodo1.txt", FILE_WRITE);
if (archivo){
  lcd.setCursor(0,3);

```

```

lcd.print(F("Nd:"));
archivo.print("Nd:");
lcd.print(F("3 "));
archivo.print("3 ");
lcd.print(F("GLP:"));
archivo.print("GLP:");
lcd.print(string.substring(6,9));
archivo.print(string.substring(6,9));
lcd.print(F(" "));
archivo.print(" ");
lcd.print(F("CO:"));
archivo.print("CO:");
if(string.length() >= 28){
  lcd.print(string.substring(22,25));
  archivo.print(string.substring(22,25));
}else{
  lcd.print(string.substring(20,23));
  archivo.print(string.substring(20,23));
}
archivo.println(" ");
archivo.close();
}
break;
}

```

```

switch (string.charAt(2))
{
  case '0':
    digitalWrite(LEDA, LOW);
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(F("      "));
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(F("ESTABLE  "));
    break;

  case '1':
    j = j+1;
    if (j == 5)
    {
      j=0;
      sms();
    }
    digitalWrite(LEDA, HIGH);
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(F("      "));
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(F("PEL. "));
    lcd.print(F("GLP "));
    lcd.print(F("Nd "));
    lcd.print(string.charAt(0));
    break;

  case '2':
    digitalWrite(LEDA, LOW);
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(F("      "));
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(F("PREC "));
    lcd.print(F("GLP "));
    lcd.print(F("Nd "));
    lcd.print(string.charAt(0));
    break;

```

```

}

switch (string.charAt(4))
{
case '0':
digitalWrite(LEDDB, LOW);
break;

case '1':
k = k+1;
if (k == 5)
{
k=0;
sms1();
}
digitalWrite(LEDDB, HIGH);
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print(F("      "));
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print(F("PEL. "));
lcd.print(F("CO "));
lcd.print(F("Nd "));
lcd.print(string.charAt(0));

case '2':
digitalWrite(LEDDB, LOW);
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print(F("      "));
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print(F("PREC "));
lcd.print(F("CO "));
lcd.print(F("Nd "));
lcd.print(string.charAt(0));
break;
}
flagRec=0;
string="";
string1="";
}
}
}
/*****
FUNCIÓN PARA HABILITAR LED SI SE RECIBEN TRAMAS DE DATOS
*****/
void parpadeo(int pin, int times, int wait){
for (int i = 0; i<times; i++){
digitalWrite(pin, HIGH);
delay(wait);
digitalWrite(pin, LOW);
if (i + 1 < times){
delay(wait);
}
}
}
/*****
FUNCIÓN PARA ENCENDIDO AUTOMÁTICO DE MÓDULO GSM
*****/
void power_on()
{
digitalWrite(POWERKEY, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(POWERKEY, LOW);
}

```

```

    delay(7000);
}
/*****
FUNCIÓN QUE ENVÍA MENSAJES SI HE SE HA DETECTADO NIVELES PELIGROSOS DE GLP
*****/
void sms()
{
    SIM900.print("AT+CMGF=1\r");//
    delay(100);
    SIM900.println("AT + CMGS = \"+593980122746\r");//
    delay(100);
    SIM900.println("Peligro concentración peligrosa de GLP \r");
    SIM900.print("Nodo: ");
    SIM900.println(string.charAt(0));
    delay(100);
    SIM900.println((char)26);//
    delay(100);
    SIM900.println();//
    delay(5000);
    Serial.print(F("Mensaje enviado correctamente"));
    SIM900.flush();//
}
/*****
FUNCIÓN QUE ENVÍA MENSAJE SI SE HA DETECTADO NIVELES PELIGROSO DE CO
*****/
void sms1()
{
    SIM900.print("AT+CMGF=1\r");//
    delay(100);
    SIM900.println("AT + CMGS = \"+593980122746\r");//
    delay(100);
    SIM900.println("Peligro concentración peligrosa de CO: \r");
    SIM900.print("Nodo: ");
    SIM900.println(string.charAt(0));
    SIM900.println((char)26);//
    delay(100);
    SIM900.println();//
    delay(5000);
    Serial.print(F("Mensaje enviado correctamente"));
    SIM900.flush();//
}
/*****
FUNCIÓN PARA IDENTIFICAR NÚMEROS DE CELULAR Y CLAVE DE ACCESO A SISTEMA
*****/
void recibir_mensaje(){
    char num0,num1,num2,num3,num4,num5,num6,num7,num8,num9,num10,num11,num12;
    char data;
    int trama=0;
    for(int x=0; x<=100; x++){
        data=SIM900.read();
        /* Empezar a detectar el segmento contenedora del número telefónico
        remitente de los datos de entrada. */
        if((trama == 0) && (data == 'C')){
            trama = 1;
            numero_destino="";
            clave="";
        }
        // lectura de caracter espacio "M" seguido del caracter dos punto "C"
        if((trama == 1) && (data == 'M')){
            trama = 2;
        }
        if((trama == 2) && (data == 'T')){ // detecta el caracter "T".
            trama = 3;

```

```

}
if((trama == 3) && (data == ':')){ // detecta el caracter ":".
    trama = 4;
}
if((trama == 4) && (data == ' ')){ // detecta el caracter " ".
    trama = 5;
}
if((trama == 5) && (data == "")){ // detecta el caracter "".
    trama=6;
    /* Empieza a capturar el número telefónico remitente a partir del
    caracter "+" del tipo +593982832027 para Ecuador. */
    num0 = SIM900.read();
    num1 = SIM900.read();
    num2 = SIM900.read();
    num3 = SIM900.read();
    num4 = SIM900.read();
    num5 = SIM900.read();
    num6 = SIM900.read();
    num7 = SIM900.read();
    num8 = SIM900.read();
    num9 = SIM900.read();
    num10 = SIM900.read();
    num11 = SIM900.read();
    num12 = SIM900.read();

    numero_destino += num0;
    numero_destino += num1;
    numero_destino += num2;
    numero_destino += num3;
    numero_destino += num4;
    numero_destino += num5;
    numero_destino += num6;
    numero_destino += num7;
    numero_destino += num8;
    numero_destino += num9;
    numero_destino += num10;
    numero_destino += num11;
    numero_destino += num12;
    if ((num1=='5')&&(num2=='9')&&(num3=='3'))
    /* Si el número de celular remitente es correcto
    (código de país para Ecuador 593). */
        numero_destino = numero_destino;
    else
    /* Número incorrecto, mantener número registrado por software.
    Si el remitente no es un número celular o nacional. */
        numero_destino = numero;
}
// Lectura de clave o contraseña enviada por el remitente.
if((trama==6)&&(data=='#')){
    trama = 0;
    clave1=SIM900.read();
    clave2=SIM900.read();
    clave3=SIM900.read();
    clave4=SIM900.read();
    clave += clave1;
    clave += clave2;
    clave += clave3;
    clave += clave4;
    //contraseña correcta = 1234.
    if ((clave1=='1')&&(clave2=='2')&&(clave3=='3')&&(clave4=='4')) {
        sms_estado(); /* envió de información solicitada, es decir estado
        de la estación de monitoreo. */
    }
}

```

```

digitalWrite(LED1,HIGH); // Encender LED si es correctas la contraseña.
delay(4000);
digitalWrite(LED1,LOW);
}
else {
sms_error();// envió de mensajes de solicitud errónea.
digitalWrite(LED1,LOW); // Apagar LED si es incorrectas la contraseña.
}
}
delay(100); // tiempo necesario para recepción de datos.
}
}
}
/*****
FUNCIÓN QUE ENVÍA SMS DE ESTADO DE GLP Y CO DE NODOS ACTIVOS EN LA RED
*****/
void sms_estado()
{
SIM900.print("AT+CMGF=1\r");//
delay(100);
SIM900.println("AT + CMGS = \"" + numero_destino + "\"");
delay(100);
SIM900.println("Clave Correcta");
delay(100);
SIM900.println((char)26);
delay(100);
SIM900.println();//
delay(5000);
SIM900.flush();//
}
/*****
FUNCIÓN QUE ENVÍA SMS DE ERROR SI LA CLAVE DE ACCESO ES INCORRECTA
*****/
void sms_error()
{
SIM900.print("AT+CMGF=1\r");//
delay(100);
SIM900.println("AT + CMGS = \"" + numero_destino + "\"");
delay(100);
SIM900.println("Clave Incorrecta. Intente mas tarde");
delay(100);
SIM900.println((char)26);
delay(100);
SIM900.println();//
delay(5000);
SIM900.flush();//
}
/*****

```

## ANEXO G: Software de nodo router sensor y router actuador

```

/*****
DEFINICIÓN DE CONSTANTES Y VARIABLES
*****/

#include <Servo.h>
#define PIN_GLP (0)
#define PIN_CO (1)
const unsigned int LED_ROJO_GLP = 5;
const unsigned int LED_AMARILLO_GLP = 6;
const unsigned int LED_VERDE_GLP = 10;
const unsigned int LED_ROJO_CO = 4;
const unsigned int LED_AMARILLO_CO = 3;
const unsigned int LED_VERDE_CO = 2;
const unsigned int LED_ESTADO = 13;
const unsigned int BUZZER = 7;
const unsigned int BAUDRATE = 19200;
const float ALIMENTACION = 5.0;
const float RL = 20;
const float RO = 10;
const float RL1 = 10;
const float RO1 = 12;
Servo servo1;
/*****
DECLARACIÓN DE LONGITUD DE TRAMA DE DATOS
*****/
int i = 0;
int datos[] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
/*****
DECLARACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS
*****/
void setup() {
  pinMode(LED_ESTADO, OUTPUT);
  pinMode(LED_ROJO_GLP, OUTPUT);
  pinMode(LED_AMARILLO_GLP, OUTPUT);
  pinMode(LED_VERDE_GLP, OUTPUT);
  pinMode(LED_ROJO_CO, OUTPUT);
  pinMode(LED_AMARILLO_CO, OUTPUT);
  pinMode(LED_VERDE_CO, OUTPUT);
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
  servo1.attach(9);
  Serial.begin(BAUDRATE);
}
/*****
RELLENO DE PRIMEROS ELEMENTOS DE TRAMA DE DATOS
*****/
void loop() {
  datos[0] = 3;
  datos[5] = 0;
  datos[6] = 0;
  datos[7] = 0;
  datos[8] = 0;
/*****
ANÁLISIS DE DATOS DE GLP Y CO
*****/
if(get_glp() > 0 & get_glp() <50){
  datos[1] = 0;
  digitalWrite(LED_VERDE_GLP, HIGH);
  digitalWrite(LED_ROJO_GLP, LOW);

```

```

digitalWrite(LED_AMARILLO_GLP, LOW);
servo1.write(180);
}else if (get_glp() > 50 & get_glp() <200){
  datos[1] = 2;
  digitalWrite(LED_ROJO_GLP, LOW);
  digitalWrite(LED_VERDE_GLP, LOW);
  digitalWrite(LED_AMARILLO_GLP, HIGH);
  servo1.write(180);
} else if(get_glp() > 200){
  datos[1] = 1;
  tone(BUZZER, 600, 500);
  digitalWrite(LED_ROJO_GLP, HIGH);
  digitalWrite(LED_VERDE_GLP, LOW);
  digitalWrite(LED_AMARILLO_GLP, LOW);
  servo1.write(90);
}

if(get_co() > 0 & get_co() < 200){
  datos[2] = 0;
  digitalWrite(LED_VERDE_CO, HIGH);
  digitalWrite(LED_ROJO_CO, LOW);
  digitalWrite(LED_AMARILLO_CO, LOW);
  servo1.write(180);
}else if (get_co() > 200 & get_co() < 700){
  datos[2] = 2;
  digitalWrite(LED_ROJO_CO, LOW);
  digitalWrite(LED_VERDE_CO, LOW);
  digitalWrite(LED_AMARILLO_CO, HIGH);
  servo1.write(180);
}else if (get_co() > 700 ){
  datos[2] = 1;
  tone(BUZZER, 600, 500);
  digitalWrite(LED_ROJO_CO, HIGH);
  digitalWrite(LED_VERDE_CO, LOW);
  digitalWrite(LED_AMARILLO_CO, LOW);
  servo1.write(90);
}
/*****
RELLENO DE ELEMENTOS RESTANTES DE TRAMA DE DATOS
*****/
for(i=0; i<2; i++){
  datos[i+3] = get_glp();
}

for(i=0; i<2; i++){
  datos[i+9] = get_co();
}

for(i=0; i<11; i++){

  Serial.print(String(datos[i]));
  Serial.print(" ");
}
parpadeo(LED_ESTADO, 1, 100);
delay(2000);
Serial.println( );
}
/*****

```



```

FUNCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE GLP EN PPM
/*****
const float get_glp(){
  const int adc_MQ = analogRead(PIN_GLP);
  const float voltaje = adc_MQ * (ALIMENTACION / 1023);
  const float R1 = ((ALIMENTACION - voltaje) / voltaje);
  const float R2 = (RL / (RO * 19.072));
  const float R3 = R1 * R2;
  double ppm = pow(10, (log10(R3)/-0.424));
  return (ppm);
}
/*****
FUNCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE CO EN PPM
/*****
const float get_co(){
  const int adc_MQ1 = analogRead(PIN_CO);
  const float voltaje1 = adc_MQ1 * (ALIMENTACION / 1023);
  const float R4 = ((ALIMENTACION - voltaje1) / voltaje1);
  const float R5 = (RL1 / (RO1 * 19.304));
  const float R6 = R4 * R5;
  double co = pow(10, (log10(R6)/-0.646));
  return (co);
}
/*****
FUNCIÓN QUE INDICA EL ENVÍO DE CADA TRAMA DE DATOS
/*****
void parpadeo(int pin, int veces, int tiempo){
  for (int i = 0; i<veces; i++){
    digitalWrite(pin, HIGH);
    delay(tiempo);
    digitalWrite(pin, LOW);
    if (i + 1 < veces){
      delay(tiempo);
    }
  }
}
}

```