

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA DETECCIÓN Y CONTROL DE  
FUGA DE GAS GLP EN AMBIENTES RESIDENCIALES  
UTILIZANDO HARDWARE DE BAJO COSTO”**

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

**Licenciado en Redes y Sistemas Operativos**

Presentado por:

JORGE ALEXI PORTILLA ASTUDILLO

JEAN CARLOS ARMIJOS ESPINOZA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2019

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a Dios, a toda mi familia, por siempre estar apoyándome y aconsejándome en el día a día, a mis compañeros Jean Armijos, Gilson Chacha, y Gabriela Beltrán, con quienes compartí muchas clases y trabajos grupales en toda mi carrera universitaria. También dedico el proyecto a Diana Vasquez, quien ha sido mi mayor motivación para seguir adelante, además de su apoyo incondicional en todos estos últimos años de la universidad.

***Jorge Alexi Portilla Astudillo***

El presente proyecto se lo dedico a mi familia quienes con su amor y esfuerzo me han permitido completar una meta más, por inculcar en mí el esfuerzo y sacrificio, gracias a ellos soy la persona que soy ahora, a mis compañeros de carrera Jorge Portilla, Gabriela Beltrán y Gilson Chacha, con quienes compartí lindos momentos a lo largo de mi vida universitaria, por todo su apoyo y compañerismo. También dedico este proyecto a Genesis Calero quien con su cariño y paciencia ha sido un apoyo incondicional en todo este proceso.

**Jean Carlos Armijos Espinoza**

## AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Dios por darme sabiduría y entendimiento para que todo salga de la mejor manera en mi día a día, agradezco a mis padres y a mi hermana, quienes han sido los pilares fundamentales en mi vida. También agradezco a todos mis docentes, quienes compartieron su conocimiento a lo largo de toda la carrera universitaria. A mi compañero de proyecto Jean Armijos por toda su colaboración y dedicación en el proceso.

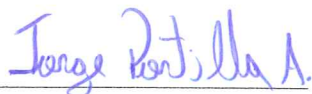
***Jorge Alexi Portilla Astudillo***

Mi más sincero agradecimiento a Dios por darme sabiduría y perseverancia para lograr todo lo que me he propuesto. Agradezco a mis padres por su esfuerzo para que pueda obtener una formación académica. Agradezco a todos los docentes de la carrera a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, agradezco a la empresa Sipecom por su comprensión con mis horarios de estudios. A mi compañero de proyecto Jorge Portilla por su esfuerzo y dedicación a lo largo de este proceso.

**Jean Carlos Armijos Espinoza**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jorge Alexi Portilla Astudillo y Jean Carlos Armijos Espinoza damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

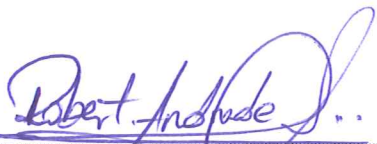


Jorge Portilla Astudillo



Jean Carlos Armijos

## EVALUADORES



**Robert Stalin Andrade Troya**

PROFESOR DE LA MATERIA



**Jorge Antonio Magallanes Borbor**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño de un sistema de detección y control de fugas de gas licuado de petróleo (GLP). El objetivo del proyecto es implementar en ambientes residenciales un sistema que permita reducir las consecuencias de los accidentes causados por fugas de este combustible. Este sistema permite evaluar la densidad de este combustible en el ambiente y de forma autónoma controlar su presencia cuando se alcancen límites de exposición establecidos.

Se utilizó Design Thinking como metodología para el desarrollo del proyecto, esta metodología consiste en 5 fases las cuales son: empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar. La utilización de esta metodología nos ayudó a determinar la problemática existente en los hogares cuando se produce una fuga de GLP y así poder encontrar una solución viable y económica para afrontar este problema. El sistema de detección está conformado por dos nodos intercomunicados entre sí, un nodo principal y un nodo secundario, los cuales hacen uso de la tecnología Arduino en combinación con sensores para detectar el nivel de GLP, distintos actuadores que permitirán gestionar el flujo de GLP y notificar vía llamada telefónica y sms a los usuarios registrados.

Como resultado, la utilización del sistema en ambientes residenciales brinda un alto grado de seguridad al usuario, debido a que el sistema controla y notifica la fuga existente de GLP de una manera eficaz. Así mismo crea conciencia en las personas para que respeten las normas sobre el uso y manipulación de este combustible.

En conclusión, la solución que propone este proyecto además de que fomenta el empleo de nuevas tecnologías, permite a las personas contar con un sistema económico, confiable e innovador, y de esta forma lograr reducir al mínimo las posibles repercusiones de una fuga de GLP.

**Palabras Clave:** GLP, Arduino, sensores, actuadores, Design Thinking, nodos, vía telefónica, sms.

## **ABSTRACT**

*The present project consists of the design of a system for the detection and control of liquefied petroleum gas (LPG) leaks. The objective of the project is to implement in residential environments a system that allows to reduce the consequences of accidents caused by leaks of this fuel. This system allows to evaluate the density of this fuel in the environment and autonomously control its presence when established exposure limits are reached.*

*Design Thinking was used as a methodology for the development of the project, this methodology consists of 5 phases which are: empathise, define, devise, prototipar and evaluate. The use of this methodology helped us to identify the problems that exist in households when a LPG leak occurs so that we could find a viable and economical solution to address this problem. The detection system consists of two nodes intercharged with each other, a head node and a secondary node, which make use of Arduino technology in combination with sensors to detect the LPG level, different actuators that will allow to manage the flow of LPG and notify registered users by phone call and sms.*

*As a result, the use of the system in residential environments provides a high degree of security to the user, because the system effectively controls and reports LPG leakage. It also raises people's awareness to respect the rules on the use and handling of this fuel.*

*In conclusion, the solution proposed by this project, in addition to encouraging the use of new technologies, allows people to have an economic, reliable and innovative system, and thus to minimize the possible impact of a LPG leak.*

**Keywords:** *LPG, Arduino, sensors, actuators, Design Thinking, nodes, via telephone, sms.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción.....	1
1.1.    Descripción del Problema.....	2
1.2.    Objetivos .....	2
1.2.1.    Objetivo General.....	2
1.2.2.    Objetivos Específicos.....	2
1.3.    Marco Teórico .....	3
CAPÍTULO 2 .....	5
2.    Metodología y diseño de la solución .....	5
2.1.    Metodología. ....	5
2.1.1.    Fase 1 (Empatizar). ....	5
2.1.2.    Fase 3 (Idear). ....	9
2.1.3.    Fase 4 (Prototipar). ....	10
2.1.4.    Fase 5 (Evaluar). ....	12
2.2.    Diseño de la Solución.....	13
2.2.1.    Diseño general del sistema.....	13
2.2.2.    Subsistema para medición de niveles de concentración de GLP en el ambiente. (Nodo Principal).....	18
2.2.3.    Subsistema de notificación móvil al usuario (Nodo Principal).....	22



2.2.4.	Subsistema de control de flujo de GLP (Nodo Principal).....	24
2.2.5.	Subsistema de alerta visual y sonora (Nodo Principal). ....	26
2.2.6.	Subsistema de comunicación entre nodos (Nodo Principal).....	27
2.2.7.	Subsistema para medición de niveles de concentración de GLP en el ambiente. (Nodo Secundario) .....	30
2.2.8.	Subsistema de alerta visual y sonora (Nodo Secundario) .....	32
2.2.9.	Subsistema de comunicación entre nodos (Nodo Secundario) .....	33
2.2.10.	Bibliotecas que se utilizaron en el desarrollo del sistema.....	34
2.2.11.	Consumo de corriente de los nodos que conforman el sistema. ....	35
2.3.	Diseño del Prototipo. ....	37
CAPÍTULO 3.....		40
3.	PLANIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA.....	40
3.1.	Plan de Implementación .....	40
3.2.	Presupuesto .....	41
CAPÍTULO 4.....		43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		43
Conclusiones .....		43
Recomendaciones .....		44
Comentarios.....		45

## **ABREVIATURAS**

GLP	Gas Licuado de Petróleo
BCBG	Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
COE	Comité de Operaciones de Emergencia
IoT	Internet de las cosas
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
LCD	Pantalla de Cristal Líquido
TWI	Interfaz de Dos Hilos
SPI	Interfaz Periférica Serial
IVA	Impuesto al Valor Agregado
GSM	Sistema Global para las comunicaciones Móviles
SIM	Módulo de Identificación de Abonado
SD	Secure Digital
SMS	Servicio de Mensajes Cortos
LED	Diodo Emisor de Luz
ppm	partes por millón

## SIMBOLOGÍA

mV	milivoltios
GHz	Gigahercio
Mbps	Megabit por segundo
V	Voltio
$\Omega$	ohmio
k $\Omega$	kiloohmio

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación del cilindro de gas en casa A .....	6
Figura 2.2 Ubicación del cilindro de gas en casa B .....	6
Figura 2.3 Gráfico que representa el uso de GLP en el hogar .....	7
Figura 2.4 Gráfico que representa la ubicación del cilindro de GLP en el hogar .....	7
Figura 2.5 Gráfico que representa si han sufrido una fuga de GLP en el hogar .....	8
Figura 2.6 Diagrama de Ishikawa, análisis de ¿A qué se debe una fuga de GLP? .....	9
Figura 2.7 Diagrama esquemático del prototipo .....	11
Figura 2.8 Prototipo del sistema de detección de fugas de GLP .....	11
Figura 2.9 Notificación vía llamada telefónica y sms .....	12
Figura 2.10 Esquema general de funcionamiento .....	14
Figura 2.11 Ubicación del nodo principal junto a un cilindro de GLP .....	14
Figura 2.12 Ubicación del nodo principal junto a una tubería de GLP .....	15
Figura 2.13 Ubicación del nodo adicional en una sala de estar .....	15
Figura 2.14 Diagrama de conexión del nodo principal .....	16
Figura 2.15 Diagrama de flujo del nodo principal .....	17
Figura 2.16 Diagrama de conexión entre el sensor MQ6, la LCD y el Arduino Uno en el nodo principal.....	18
Figura 2.17 Gráfico de relación entre Rs/R0 y PPM .....	20
Figura 2.18 Diagrama de conexión entre el módulo GSM SIM 900 y el Arduino Uno en el nodo principal .....	22
Figura 2.19 Muestra de notificación via sms .....	24
Figura 2.20 Diagrama de conexión entre la electroválvula, el módulo relé 12V y el Arduino Uno en el nodo principal.....	24
Figura 2.21 Diagrama de conexión entre las tiras Leds, el buzzer y el Arduino Uno en el nodo principal .....	26
Figura 2.22 Diagrama de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno en el nodo principal .....	27
Figura 2.23 Diagrama de conexión del nodo secundario .....	29
Figura 2.24 Diagrama de flujo del nodo secundario .....	30
Figura 2.25 Diagrama de conexión entre el sensor MQ6 y el Arduino Uno en el nodo secundario .....	31

Figura 2.26 Diagrama de conexión entre las tiras Leds, el buzzer y el Arduino Uno en el nodo secundario .....	32
Figura 2.27 Diagrama de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno en el nodo secundario .....	33
Figura 2.28 Fuente de 12V a 2A para energizar el nodo principal .....	36
Figura 2.29 Fuente de 12V a 1A para energizar el nodo secundario .....	37
Figura 2.30 Diseño del nodo principal .....	37
Figura 2.31 Electroválvula ubicada en el nodo principal .....	38
Figura 2.32 Diseño del nodo secundario .....	38
Figura 2.33 Diseño del prototipo final .....	39
Figura 2.34 Prueba de notificación de llamada y SMS .....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Publicaciones .....	3
Tabla 2.1 Matriz de decisión para evaluación de las ideas propuestas .....	10
Tabla 2.2 Terminales de conexión entre el sensor MQ6 y el Arduino Uno en el nodo principal .....	18
Tabla 2.3 Terminales de conexión entre el display LCD y el Arduino Uno en el nodo principal .....	19
Tabla 2.4 Valores estimados de Rs/Ro en función de ppm .....	20
Tabla 2.5 Terminales de conexión entre el módulo GSM SIM 900 y el Arduino Uno en el nodo principal .....	23
Tabla 2.6 Terminales de conexión entre el módulo relé 12V y el Arduino Uno en el nodo principal .....	25
Tabla 2.7 Terminales de conexión entre las tiras leds, el buzzer y el Arduino Uno en el nodo principal .....	26
Tabla 2.8 Terminales de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno .....	28
Tabla 2.9 Terminales de conexión entre el sensor MQ6 y el Arduino Uno en el nodo secundario .....	31
Tabla 2.10 Terminales de conexión entre las tiras leds, el buzzer y el Arduino Uno en el nodo secundario .....	32
Tabla 2.11 Terminales de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno en el nodo secundario .....	34
Tabla 2.12 Consumo de corriente del nodo principal .....	36
Tabla 2.13 Consumo de corriente del nodo secundario .....	36
Tabla 3.1 Plan de Implementación de la solución propuesta .....	40
Tabla 3.2 Hojas de Recursos para implementación de la solución propuesta .....	41
Tabla 3.3 Precio total de los componentes que conforman el sistema de detección y control de fugas de GLP .....	42
Tabla 3.4 Precio del sistema con dos nodos y con un solo nodo .....	42

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) el 95,2% de los hogares en la provincia del Guayas, utilizan como principal elemento para cocinar el Gas Licuado de Petróleo (GLP), mediante tanques móviles conocidos como cilindros, a los cuales se les agrega un gas de olor perceptible conocido como metanotiol para percibir fugas, debido a que este gas es inodoro [1]. En el periodo comprendido del 2012 al 2017 tan solo en Guayaquil se registraron 231 incendios debido a fugas de GLP, de las cuales 952 personas quedaron afectadas y 27 fallecieron [2], respecto al año 2018 se registraron 250 emergencias atendidas por causa de fugas de GLP, mientras que hasta julio del 2019 se han registrado 104 emergencias por la misma causa, según estadísticas compartidas por el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil (ver Anexo 1).

Como todo hidrocarburo, una incorrecta manipulación implica sus riesgos y el GLP no es la excepción, si no se toman los cuidados respectivos, es potencialmente peligroso, por ello es de mucha importancia conocer las normas sobre el uso, manipulación y transporte del GLP, lo cual ayudará a reducir el número de accidentes y sus consecuencias [3].

Hoy por hoy, el uso de hardware de bajo costo está siendo muy utilizado para la creación e innovación de aplicaciones y sistemas que ayuden a solucionar problemas de cualquier ámbito, uno de los principales beneficios por el cual se opta la utilización de este tipo de hardware, es el tiempo y costo de producción, además de su extensa variedad de componentes electrónicos y un amplio número de colaboradores en todo el mundo.

Por lo anteriormente expuesto la propuesta de nuestro proyecto se basa en el diseño de un sistema para detectar y controlar fugas de GLP utilizando hardware de bajo costo, y lograr así disminuir el riesgo de sufrir un siniestro que afecte la integridad de las personas y la posible repercusión que se pueda tener sobre los bienes que se encuentren dentro de la vivienda.

## **1.1. Descripción del Problema**

La fuga de GLP representa graves riesgos a la integridad física y en casos extremos puede ocasionar la muerte, lo cual puede deberse a la asfixia o una explosión, estos tipos de incidentes son más comunes de lo que se cree. Según un estudio realizado por el Comité de Operaciones de Emergencia (COE) y el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil, las principales causas que pueden originar un percance debido a la manipulación de GLP son: falta de mantenimiento preventivo y correctivo, negligencia en la instalación y ubicación del tanque de gas, el cual debe estar situado en un área ventilada y en el exterior de la vivienda como lo recomienda el Cuerpo de Bomberos, no junto a la cocina como se puede observar comúnmente, y por último el desconocimiento de las personas de cómo reaccionar frente a una fuga de GLP. Sin embargo, para reducir al mínimo estos incidentes el Cuerpo de Bomberos realiza campañas de conciencia con la finalidad de capacitar a la ciudadanía de cómo reaccionar ante una fuga de GLP en sus hogares [4].

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema para detectar y controlar las fugas de GLP mediante el uso de hardware de bajo costo y software libre en ambientes residenciales.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Notificar al usuario cuando exista una concentración peligrosa de GLP en el ambiente.
- Reducir la probabilidad de explosión o incendio debido a una fuga de GLP.
- Proponer un sistema de detección fiable y de bajo costo.



### 1.3. Marco Teórico

Publicaciones	Autor	Entidad o Empresa
Aplicación IoT para mitigar efectos de escapes de gas natural en comunidades menos favorecidas	-Miguel Angel Valbuena Núñez -David Ricardo Medina Hernández	Universidad Distrital de Colombia Francisco José de Caldas
Aplicación Torch	-Luis Eduardo Jácome	Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Venta de sistemas electrónicos para el control de GLP		COPRECI

**Tabla 1.1 Publicaciones [Autoría Propia]**

La Universidad Distrital de Colombia Francisco José de Caldas trabajó en una aplicación gratuita usando, Internet de las cosas (en inglés, Internet of things, IoT) llamada Blynk, la cual es usada para monitorear el nivel de monóxido de carbono (CO) generado por la estufa de gas en el ambiente mediante una Raspberry Pi y sensores intercomunicados entre sí. Este sistema se basa en que, una vez detectada la fuga se notificará al dispositivo móvil del usuario sobre lo ocurrido para que tome las medidas respectivas del caso. Este proyecto está orientado al monitoreo del entorno mediante el uso de IoT [5].

Por otro lado, la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) junto con un grupo de estudiantes se encuentra desarrollando una aplicación para dispositivos móviles llamada Torch, la cual envía notificaciones sobre el uso de GLP en tiempo real, además de estadísticas de consumo y la opción de realizar pagos en línea para renovar el cilindro de gas una vez que este se ha agotado. También se encuentran desarrollando una electroválvula que mediante sensores corte el flujo de GLP automáticamente cuando se haya detectado una fuga y así evitar cualquier tipo de accidentes. Este proyecto está orientado en solucionar las problemáticas respecto al cilindro de gas en preguntas como, por ejemplo: ¿Cuánto faltará para que se acabe el gas?, ¿En

qué condiciones se encuentra mi cilindro de gas?, y así evitar que el consumidor salga en busca de renovar su suministro de gas una vez que se ha acabado. Por otro lado, con la medición en tiempo real del nivel del gas, puede realizar el pedido de otro cilindro para que este llegue hasta a la comodidad del hogar [6].

Copreci es una empresa con más 50 años en el mercado internacional enfocado en la innovación, diseño y producción de componentes para electrodomésticos que mejoran las prestaciones de los artículos del hogar que hacen uso del GLP tales como lavadoras, secadoras y demás artículos, la cual ofrece una solución innovadora e inteligente que consiste en un sistema electrónico de control de gas, conformado por una tarjeta electrónica y una válvula programable [7].

Con lo anteriormente expuesto, después de un estudio previo acerca del mercado actual y proyectos de titulación de ciertas universidades, se habla de sistemas de alarma para fuga de GLP, en los cuales su uso está orientado al monitoreo, aplicaciones móviles e innovación mediante el uso de IoT, en base a todas estas propuestas, se propone diseñar una solución más viable y económica usando hardware de bajo costo, y así contrarrestar los elevados costos de otras soluciones existentes en el mercado.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Para un mejor desarrollo de nuestro proyecto se empleó la metodología Design Thinking, la cual permite crear productos o servicios para satisfacer necesidades reales de usuarios y la vez hacerlos partícipes en la creación de estos. Con esto logramos la propuesta de una posible solución a la problemática encontrada en los hogares que manipulan y hacen uso del GLP en su vida diaria

### 2.1. Metodología.

A continuación, se detallan las principales técnicas utilizadas en las distintas fases de la metodología anteriormente mencionada.

#### 2.1.1. Fase 1 (Empatizar).

En esta fase, primero realizamos un estudio de observación indirecta para averiguar la localización y uso destinado a los cilindros de gas domésticos, por lo cual visitamos diferentes casas en distintos sectores de Guayaquil, y así obtener datos referentes a nuestro caso de estudio. El objetivo principal del mismo es averiguar si las personas utilizan al menos un tanque de gas doméstico para su uso diario, y a su vez en que parte de la casa se encuentra ubicado dicho gas.



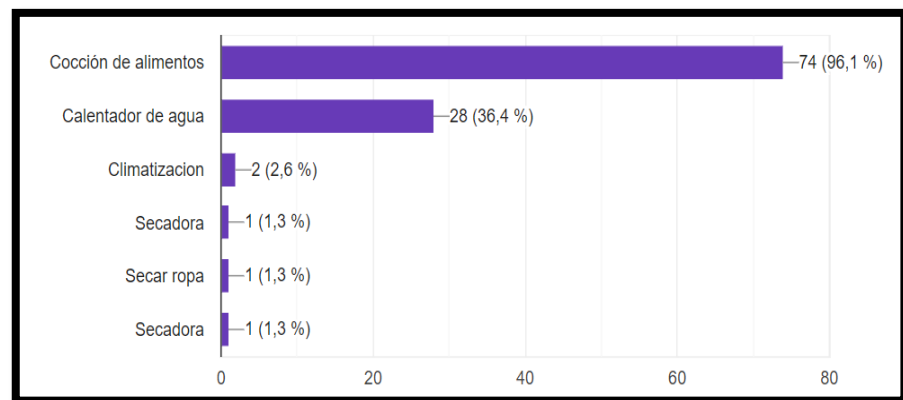
**Figura 2.1 Ubicación del cilindro de gas en casa A Propia]**



**Figura 2.2 Ubicación del cilindro de gas en casa B [Autoría Propia]**

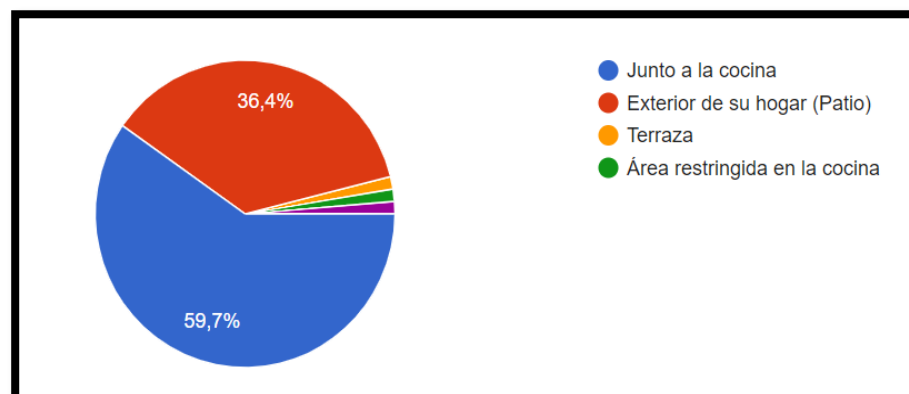
En las dos figuras mostradas anteriormente se puede observar que ambos hogares utilizan por lo menos un tanque de GLP, y su uso está destinado a la cocción de alimentos. También hemos podido constatar que tanto en la casa A, como en la casa B, ubican el tanque de gas junto a la cocina haciendo caso omiso a las normas de ubicación del tanque de GLP.

Para reforzar la información que obtuvimos con la herramienta anteriormente mencionada, se realizó una encuesta virtual conformada de 5 preguntas de opción múltiple (ver Anexo 2), la cual fue distribuida por diferentes medios de comunicación y fue contestada por 100 personas que evaluaron diferentes aspectos tales como: ubicación del cilindro, que uso le dan al GLP, si han sido víctimas de una fuga de GLP en sus hogares, entre otros. A continuación, se detallan las estadísticas de algunas de las preguntas de la encuesta.



**Figura 2.3 Gráfico que representa el uso de GLP en el hogar [Autoría Propia]**

En vista al gráfico estadístico anterior, podemos determinar que el 96.1% de las personas que realizaron la encuesta, el principal uso que le dan al GLP en los hogares, es para la cocción de alimentos, por otra parte, el 36.4% de las personas encuestadas lo emplea para obtener agua caliente.



**Figura 2.4 Gráfico que representa la ubicación del cilindro de GLP en el hogar [Autoría Propia]**

En la figura 2.4, podemos observar que el 59,7% de las personas encuestadas ubica el tanque de GLP junto a la cocina, haciendo caso omiso a las recomendaciones del Cuerpo de Bomberos, esta situación puede deberse ya sea por desconocimiento o negligencia, en caso de una fuga si no se llega a controlar adecuadamente puede desembocar en una explosión, otro dato sumamente importante que obtuvimos de las personas encuestadas como lo podemos observar en la figura 2.5, es que el 31.2% ha sufrido por lo menos una fuga de GLP dentro de sus hogares.

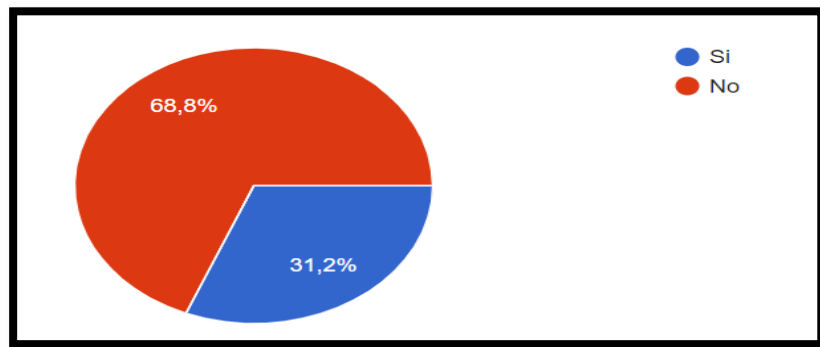
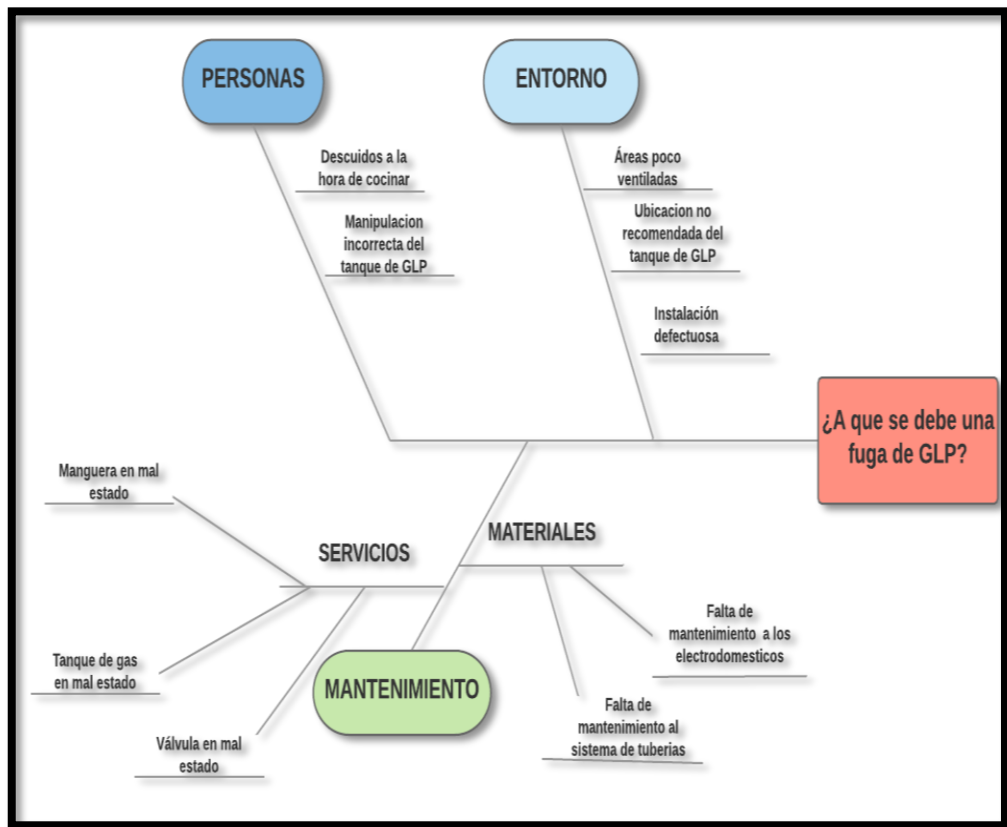


Figura 2.5 Gráfico que representa si han sufrido una fuga de GLP en el hogar [Autoría Propia]

### **Fase 2 (Definir).**

En esta fase definimos el problema de los hogares que hacen uso del GLP en su vida cotidiana, empleando diferentes métodos de investigación para más adelante proponer una posible solución.

Gracias a las técnicas utilizadas en la fase 1 se logró recopilar la información necesaria para identificar el principal problema que afecta a aquellas personas que utilizan GLP, el cual es una posible fuga y sus consecuencias. Para analizar y representar las variables causantes del problema se realizó un diagrama de causa-efecto o también denominado, diagrama de Ishikawa, el cual se ilustra a continuación:



**Figura 2.6 Diagrama de Ishikawa, análisis de ¿A qué se debe una fuga de GLP?**  
[Autoría Propia]

Haciendo uso de este método obtuvimos una visión general de todos los elementos que intervienen en la generación del problema y así validamos la problemática planteada en la sección 1.1 del capítulo 1.

### 2.1.2. Fase 3 (Idear).

Una vez realizado la definición del problema, para proponer varias opciones de solución y escoger la que mejor se adapte a las necesidades del cliente, se realizó una lluvia de ideas en una pizarra (Ver Anexo 3). Luego se realizó una matriz de decisión indicada en la tabla 2.1, donde “1” significa que cumple con la necesidad y “0” que no cumple.

Solución / Necesidad	Ver el estado del sensor	Alerta auditiva	Alerta Visual (Led)	Llamada y mensaje de alerta	Conectividad inalámbrica para la comunicación entre nodos y poder abarcar más áreas en el hogar	Cierre automático de la válvula	Total
Sistema para detectar la fuga con alarma sonora y visual	1	1	1	0	0	0	3
Sistema para detectar la fuga con alarma sonora	1	1	0	0	0	0	2
Sistema para detectar la fuga con alarma sonora, visual y notificación móvil	1	1	1	1	0	0	4
Sistema para detectar y controlar la fuga con alarma sonora, visual y notificación móvil con conectividad inalámbrica para colocar más nodos	1	1	1	1	1	1	6

**Tabla 2.1 Matriz de decisión para evaluación de las ideas propuestas [Autoría Propia]**

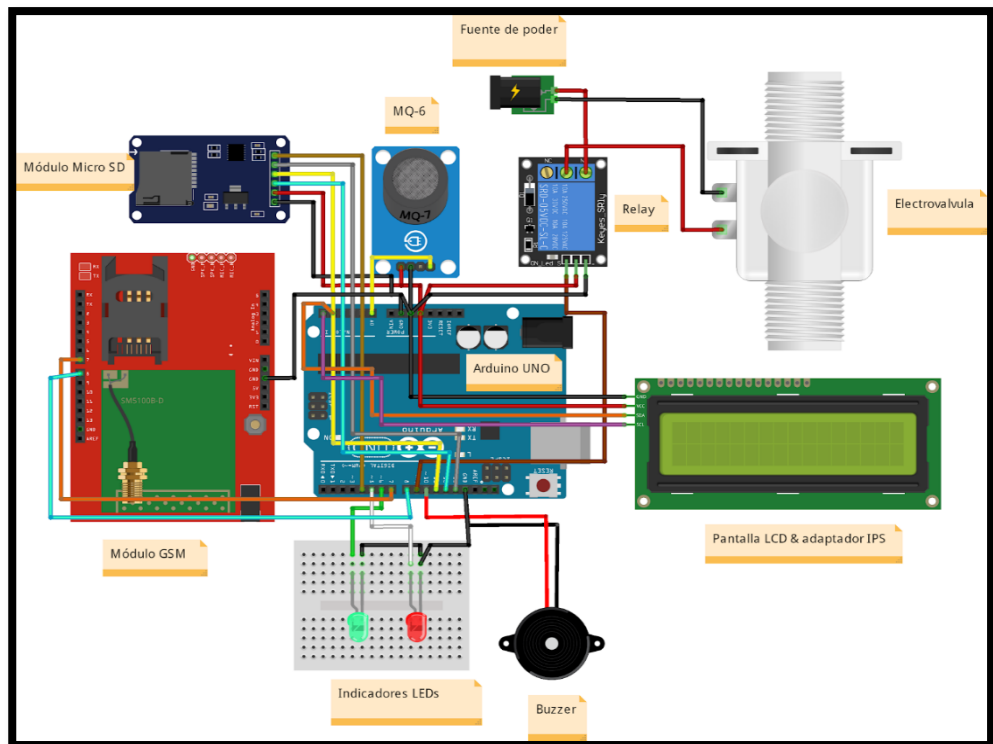
Después de haber realizado la evaluación de las ideas con la herramienta anteriormente mencionada, se optó por realizar un prototipo de la idea mayor puntuada.

### **2.1.3. Fase 4 (Prototipar).**

En base a los materiales seleccionados, se diseñó un prototipo de la idea mejor puntuada de la fase anterior, con el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente. Para realizar el diseño de nuestro prototipo se

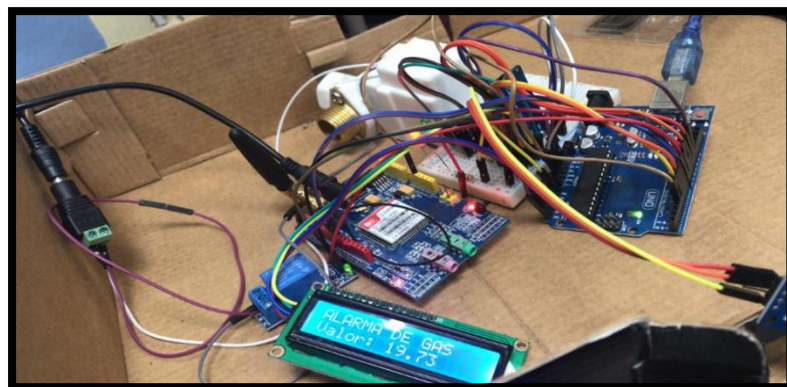


utilizó la herramienta de diseño Fritzing, en el cual se graficó todas las conexiones de los componentes como se observa en la figura 2.7.



**Figura 2.7 Diagrama esquemático del prototipo [Autoría Propia]**

Este prototipo consistió en el diseño de un sistema de detección y control de GLP mediante una electroválvula controlada por Arduino, el cual estará conformado por un sensor que nos permitirá determinar la concentración de GLP en el ambiente y actuadores que realizarán una determinada acción frente a una fuga de GLP, como, por ejemplo, la realización de una llamada telefónica, envío de un mensaje de texto y el corte del flujo de GLP mediante la electroválvula.



**Figura 2.8 Prototipo del sistema de detección de fugas de GLP [Autoría Propia]**

#### 2.1.4. Fase 5 (Evaluar).

Una vez culminadas las pruebas de funcionamiento de nuestro prototipo, se corroboró que cuando se detecta niveles peligrosos de GLP en el ambiente, el sistema corta el flujo de GLP mediante la electroválvula y en cuestión de segundos realiza una llamada telefónica junto con el envío de un mensaje de texto al número del usuario previamente registrado.



Figura 2.9 Notificación vía llamada telefónica y sms [Autoría Propia]

Se logró observar que el alcance de nuestro prototipo es limitado a la hora de captar las concentraciones de GLP en otras áreas del hogar, por ejemplo, en el caso que el cilindro de gas se encuentre en un área diferente a la cocina, el mismo no lograría detectar una fuga, para solucionar esta nueva problemática se optó por rediseñar nuestro prototipo para dar solución a la misma, la cual consiste en utilizar el espectro de radiofrecuencia, para así poder comunicar un sensor adicional y hacer nuestro sistema más confiable para el consumidor.

Otra problemática que pudimos observar es que, si el usuario tiene el dispositivo móvil apagado o sin señal, no recibirá la notificación vía llamada telefónica y sms al momento exacto en que ocurre la fuga, para solucionar esto se optó por registrar números celulares de usuarios adicionales para que reciban notificaciones vía sms.

## **2.2. Diseño de la Solución.**

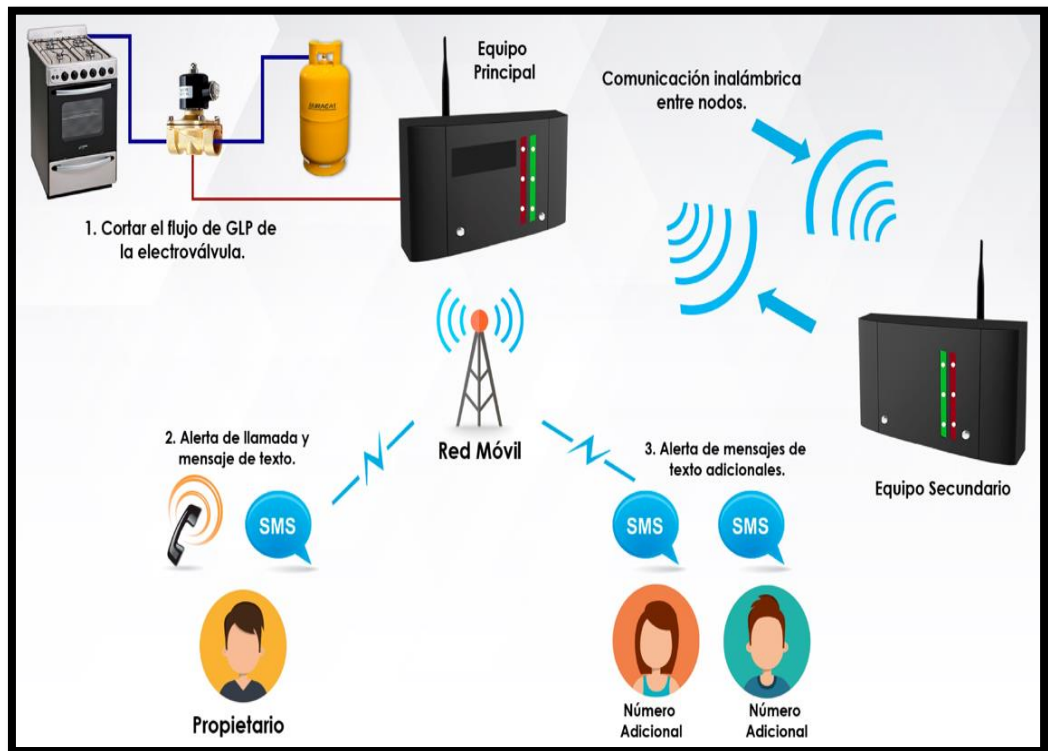
En esta sección se detalla el funcionamiento del sistema de detección y control de fuga de gas GLP, sus componentes y como están conectados cada uno de ellos.

### **2.2.1. Diseño general del sistema.**

El esquema general de funcionamiento del sistema de detección y control de GLP se puede observar en la figura 2.10, donde se muestra la comunicación del nodo principal con el nodo secundario a través de la banda de radio industriales, científicas y médicas (en inglés, Industrial, Scientific and Medical, ISM) de 2.4 GHz, ambos nodos contarán con sensores los cuales se encargarán detectar en tiempo real el nivel de GLP en el ambiente.

Si se detecta niveles peligrosos de GLP en el ambiente, el nodo principal se encargará de emitir alertas visuales y sonoras, luego notificará al usuario principal mediante la realización de una llamada telefónica y el envío de un sms, a los dos usuarios adicionales solamente serán notificados mediante el envío un sms.

El nodo adicional se encarga de detectar los niveles de GLP en otras áreas del hogar, si se detecta niveles peligrosos de GLP en el entorno se comunicará con el nodo principal para que realice las respectivas alertas, notificaciones y controle el flujo de GLP.



**Figura 2.10 Esquema general de funcionamiento [Autoría Propia]**

Como se mencionó anteriormente el sistema de detección y control de GLP está conformado por dos nodos, un nodo principal el cual estará ubicado en el área de la cocina, y un nodo adicional, para cubrir otras áreas del hogar.



**Figura 2.11 Ubicación del nodo principal junto a un cilindro de GLP [Autoría Propia]**

En la figura 2.11 se observa la ubicación del nodo principal, junto con la electroválvula, en el caso de que el cilindro de gas se encuentre ubicado junto a la cocina.



**Figura 2.12 Ubicación del nodo principal junto a una tubería de GLP [Autoría Propia]**

La figura 2.12 también trata acerca de la ubicación del nodo principal, pero en esta ocasión la electroválvula es acoplada a una tubería que va directamente desde un cilindro de gas exterior o una central de GLP hacia la cocina.



**Figura 2.13 Ubicación del nodo adicional en una sala de estar [Autoría Propia]**

Mientras que en la figura 2.13 observamos la ubicación del nodo secundario, el cual siempre estará ubicado en un área externa a la cocina y así brindar una mayor seguridad en el hogar.

### Nodo principal

En la figura 2.14 podemos observar un esquema de conexión completo de nuestro nodo principal.

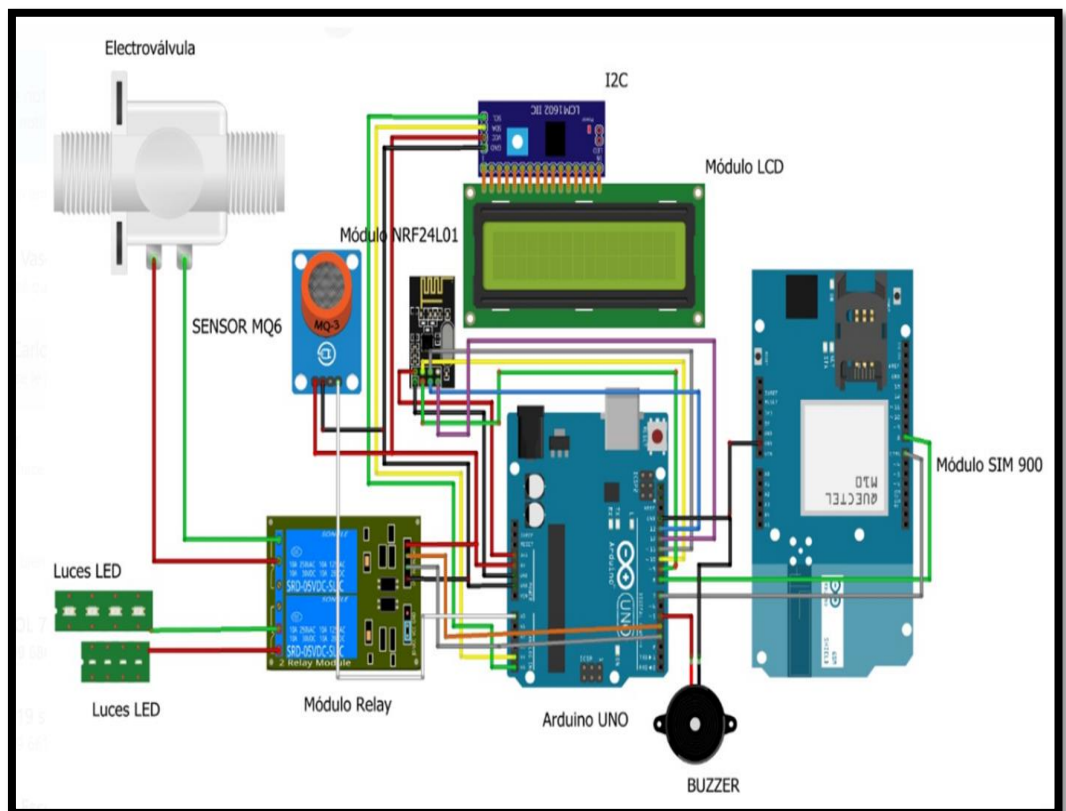


Figura 2.14 Diagrama de conexión del nodo principal [Autoría Propia]

El siguiente diagrama de flujo de la figura 2.15 describe el funcionamiento general de nuestro nodo principal, el cual se detalla a continuación:

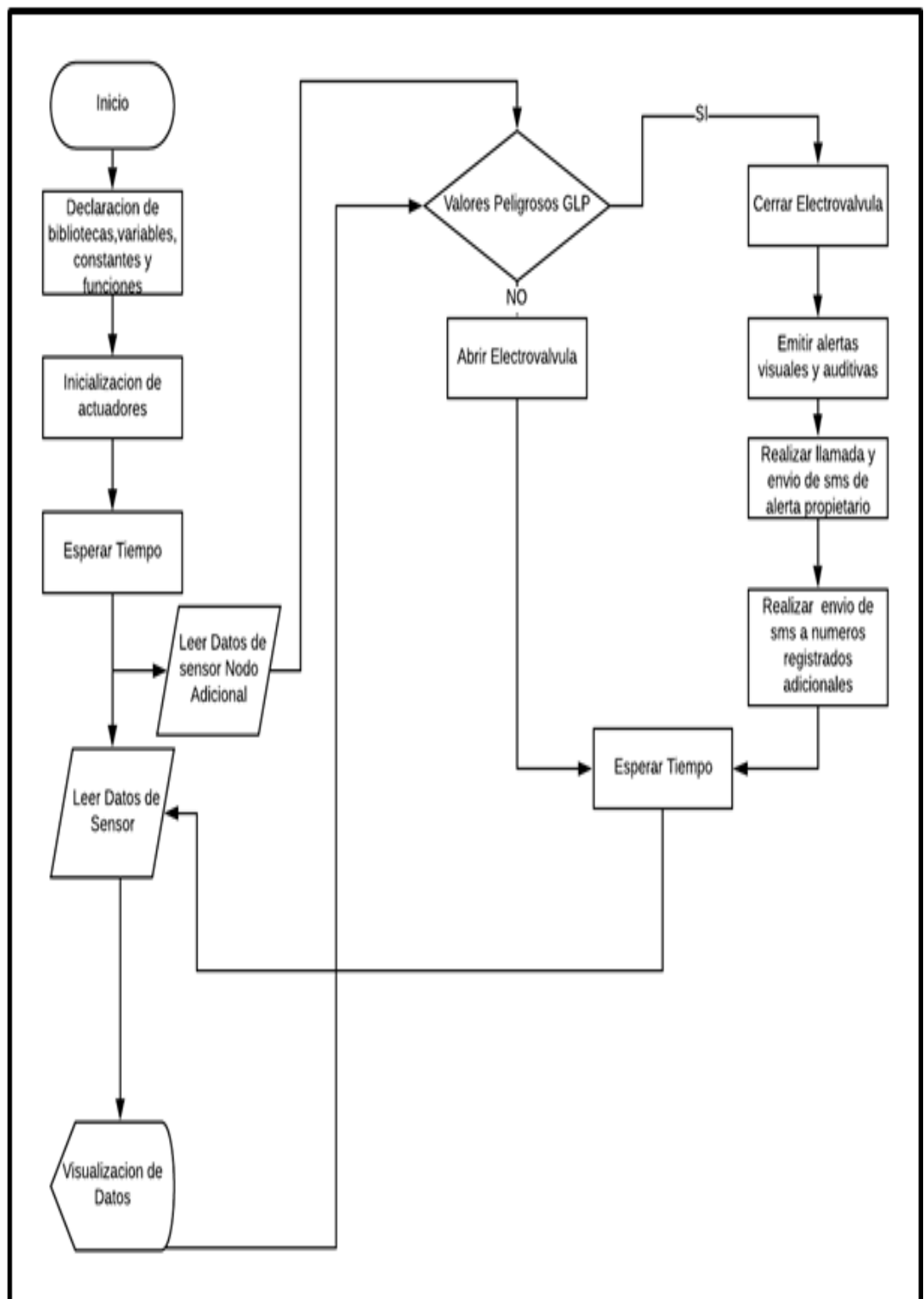


Figura 2.15 Diagrama de flujo del nodo principal [Autoría Propia]



### 2.2.2. Subsistema para medición de niveles de concentración de GLP en el ambiente. (Nodo Principal).

Este subsistema se encargará de detectar los niveles de GLP en el ambiente mediante el uso de un sensor MQ6, debido a que el mismo es el más sensible a este gas, y para poder visualizar los resultados de la medición se utilizará un módulo LCD 16x2 junto con su adaptador I2C. El diagrama de conexión entre el Arduino Uno y cada uno de los componentes se puede observar en la figura 2.16.

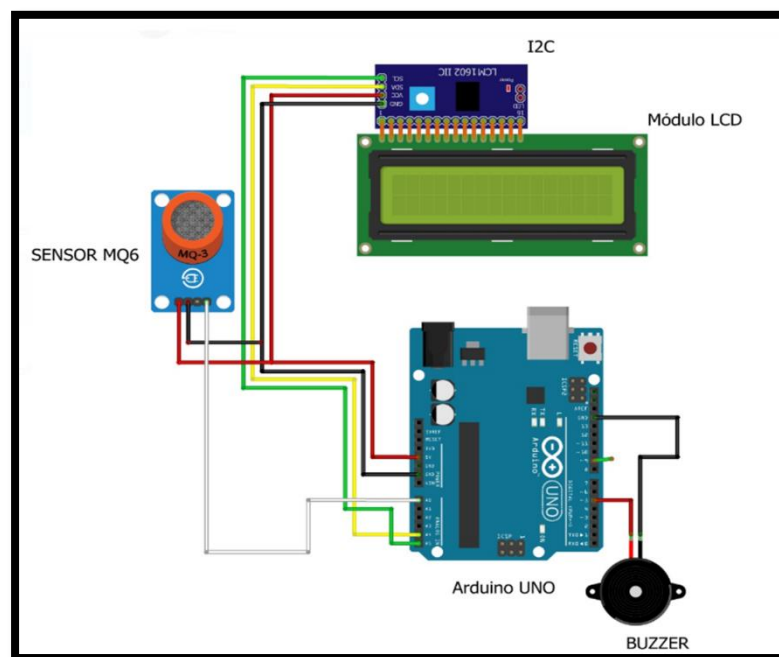


Figura 2.16 Diagrama de conexión entre el sensor MQ6, la LCD y el Arduino Uno en el nodo principal [Autoría Propia]

Las terminales de conexión entre el sensor MQ6 y el Arduino Uno se puede observar en la Tabla 2.2:

Sensor MQ6	Terminales Arduino Uno
AOUT	A0
DOUT	-----
VCC	5v
GND	GND

Tabla 2.2 Terminales de conexión entre el sensor MQ6 y el Arduino Uno en el nodo principal [Autoría Propia]



Las terminales de conexión entre el módulo LCD y el Arduino Uno se puede observar en la Tabla 2.3:

Display LCD	Terminales Arduino Uno
SCL	A5
SDA	A4
VCC	5v
GND	GND

Tabla 2.3 Terminales de conexión entre el display LCD y el Arduino Uno en el nodo principal  
[Autoría Propia]

A continuación, se describirá el funcionamiento general del subsistema y las funciones utilizadas para que puedan ejecutar tareas específicas de una forma eficaz:

### Funcionamiento general del subsistema

- Se inicializan las variables locales.
- Se lee los datos del sensor para conocer el nivel de GLP gracias a la función **get\_glp ()**.
- Se visualiza los datos en la pantalla LCD.

### Funciones utilizadas

- **cleanLCD ()**: Borra la información presentada en nuestra pantalla.
- **showDataLCD ()**: Permite enviar la información a la ubicación que queramos en nuestra pantalla LCD.
- **valorMQ6 ()**: Retorna la información de nuestro sensor.
- **get\_glp ()**: Obtiene los datos del sensor de nuestro sistema y mediante las ecuaciones descritas a continuación, regresar un valor en ppm (partes por millón) de GLP.

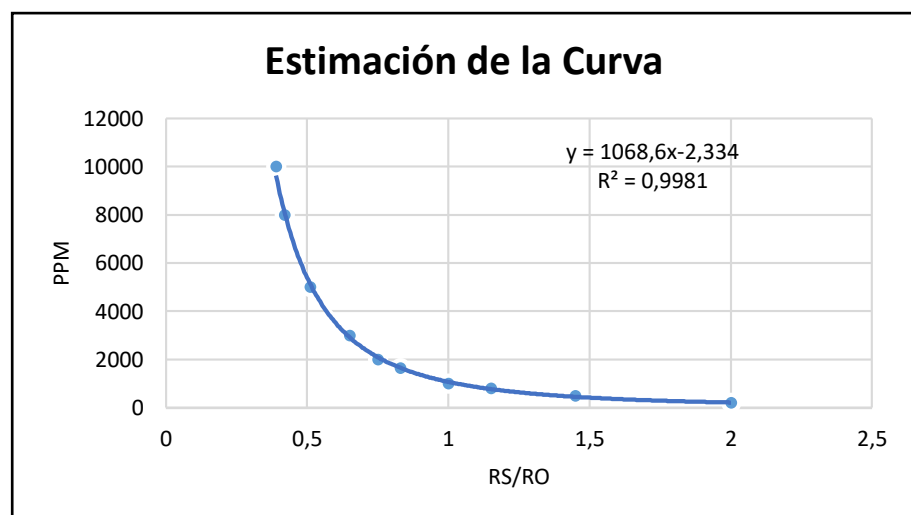
Las lecturas que obtenemos de este sensor son adimensionales, es decir emite voltajes variables según el nivel de GLP en el ambiente, por lo cual es necesario obtener la concentración de GLP en ppm (Partes por millón)

para lograr esto, es necesario estimar la curva característica de sensibilidad la cual podemos encontrar en el datasheet del sensor según el fabricante (Ver Anexo 4) tal y como se muestra en la tabla 2.4.

GLP (PPM)	RS/RO
200	2
500	1,45
800	1,15
1000	1
1650	0,83
2000	0,75
3000	0,65
5000	0,51
8000	0,42
10000	0,39

**Tabla 2.4** Valores estimados de Rs/Ro en función de ppm [Autoría Propia]

En base a los valores de la tabla 2.4, se procede a realizar un gráfico por dispersión para posteriormente agregar una línea de tendencia potencial debido a que abarcar todos los puntos graficados, y así mostrar la relación entre Rs/Ro y PPM para hallar la ecuación correspondiente, tal como se muestra en la figura 2.17.



**Figura 2.17** Gráfico de relación entre Rs/R0 y PPM

Se obtiene la ecuación:

$$ppm = 1068,6 \left( \frac{R_s}{R_o} \right)^{-2,334} \quad (2.1)$$

Donde:

- **Rs:** Resistencia del sensor a diversas concentraciones de gases.
- **Ro:** Es una constante que indica la resistencia del sensor a 1000ppm de GLP en aire limpio, en este caso es de 10 kΩ.
- **Rs/Ro:** Relación entre ambas resistencias.
- **PPM:** Concentración de GLP en ppm.
- **R<sup>2</sup>:** Coeficiente de determinación, el cual indica la precisión de la ecuación siendo 1 el valor de mayor aceptación.

Según el datasheet del sensor MQ6, Rs se calcula usando la siguiente ecuación:

$$Rs = \left( \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} \right) * RL \quad (2.2)$$

Donde:

**Vcc:** Voltaje alimentación del sensor, en este caso 5v.

**Vout:** Voltaje de salida del sensor.

**RL:** Resistencia de carga del sensor, en este caso es de 20 kΩ.

Se relaciona la ecuación (2.1) con la ecuación (2.2), para obtener la siguiente ecuación (2.3), la cual permitirá conocer los valores correspondientes a partes por millón de GLP en el ambiente en función de la salida del voltaje del sensor:

$$ppm = 1068,6 \left( \frac{\left( \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} \right) * RL}{R_o} \right)^{-2,334} \quad (2.3)$$

Gracias a esta ecuación se obtiene valores más amigables para el usuario con respecto al nivel de GLP presente en el ambiente, posteriormente en base a los valores que obtenemos, se procede a calcular un valor umbral

en donde el sistema debe actuar, según la ficha de seguridad de la compañía Repsol el límite inferior y superior de explosividad del GLP son respectivamente 1.50% - 9.37% [8]. Hemos optado por calcular el valor umbral en un 50% del límite inferior de explosividad expresado en ppm:

- El 50% del límite inferior de explosividad corresponde a 0,75%
- Si el 100% equivale a 1.000.000 ppm entonces:

$$umbral = \frac{1.000.000 \text{ ppm} * 0,75\%}{100\%} = 7500 \text{ ppm} \quad (2.4)$$

### 2.2.3. Subsistema de notificación móvil al usuario (Nodo Principal).

Una vez descrito el funcionamiento del subsistema anterior sobre el sensor MQ6 el cual detecta la concentración de GLP en el ambiente, si la concentración de este gas sobrepasa los límites establecidos se activará el subsistema de notificación móvil, el cual consiste en la realización de una llamada telefónica y el envío de un sms, mediante el módulo GSM SIM 900. El sistema se encargará de realizar una llamada telefónica al número telefónico registrado del usuario principal, junto con el envío de 3 mensajes de texto, de los cuales, un mensaje es destinado hacia el usuario principal, y los restantes a familiares cercanos. La conexión del módulo GSM SIM 900 en el Arduino se detalla en la figura 2.18.

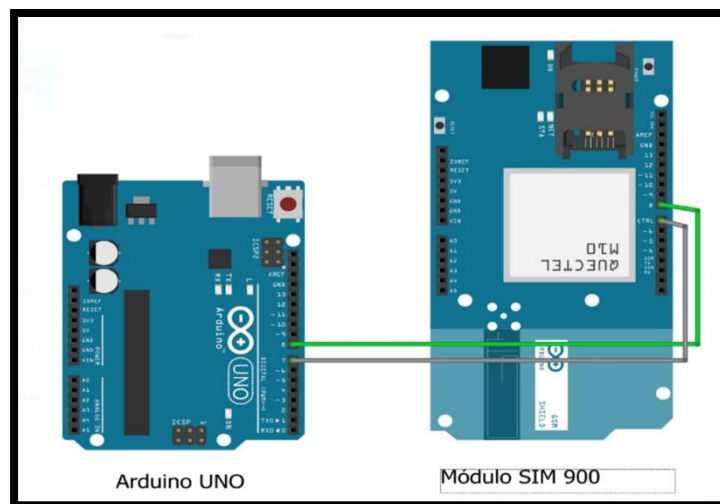


Figura 2.18 Diagrama de conexión entre el módulo GSM SIM 900 y el Arduino Uno en el nodo principal [Autoría Propia]

Las terminales de conexión entre el módulo GSM SIM 900 y el Arduino Uno se puede observar en la Tabla 2.5:

Módulo GMS SIM900	Terminales Arduino Uno
Serial 7	D7
Serial 8	D8
VCC	5v
GND	GND

Tabla 2.5 Terminales de conexión entre el módulo GSM SIM 900 y el Arduino Uno en el nodo principal [Autoría Propia]

A continuación, se describirá las funciones usadas para que se puedan ejecutar las tareas eficazmente.

### Funcionamiento del subsistema

- Se evalúa la información recibida del sensor, si se detecta niveles peligrosos de GLP, se activa la función **EnvioMensajeTexto()**, la cual enviara los 3 mensajes de texto y **LlamadaTelefonica()**, permite realizar una llamada telefónica al usuario principal registrado

### Funciones utilizadas

- **LlamadaTelefonica ()**: Realizará una llamada con una duración de 20 segundos al número previamente registrado en nuestro sistema cuando se detecte una concentración peligrosa de GLP.
- **EnvioMensajeTexto ()**: Enviará 3 mensajes de texto a los números registrados, el mensaje estará descrito con la siguiente información: "Peligro!! Concentración peligrosa de GLP.", añadiendo el valor de GLP en el aire en ppm.
- **DesactivaAlarma ()**: Cuando los niveles de GLP se normalicen, visualizará un mensaje de alerta en la pantalla LCD, e invocará la función **desactiva ()** relacionada con los actuadores.

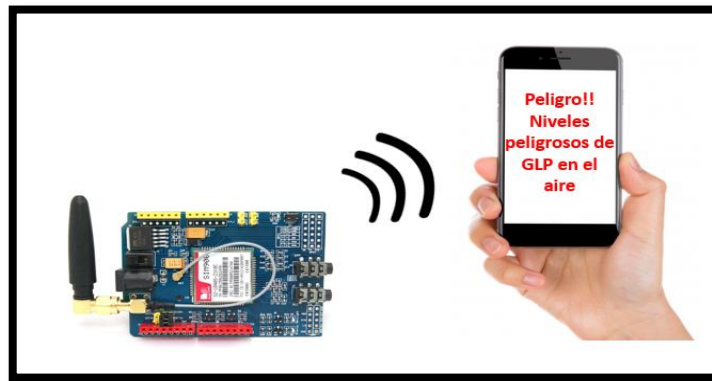


Figura 2.19 Muestra de notificación via sms [Autoría Propia]

#### 2.2.4. Subsistema de control de flujo de GLP (Nodo Principal).

Una de las funciones principales de nuestro sistema es, que al momento que el sensor detecte niveles peligrosos de GLP en el ambiente, automáticamente se activa el módulo relé de 12V, el cual cortará el flujo de GLP mediante la electroválvula, y así mismo cuando ya se normalicen los niveles de GLP en el ambiente, habilitará el flujo nuevamente de la electroválvula.

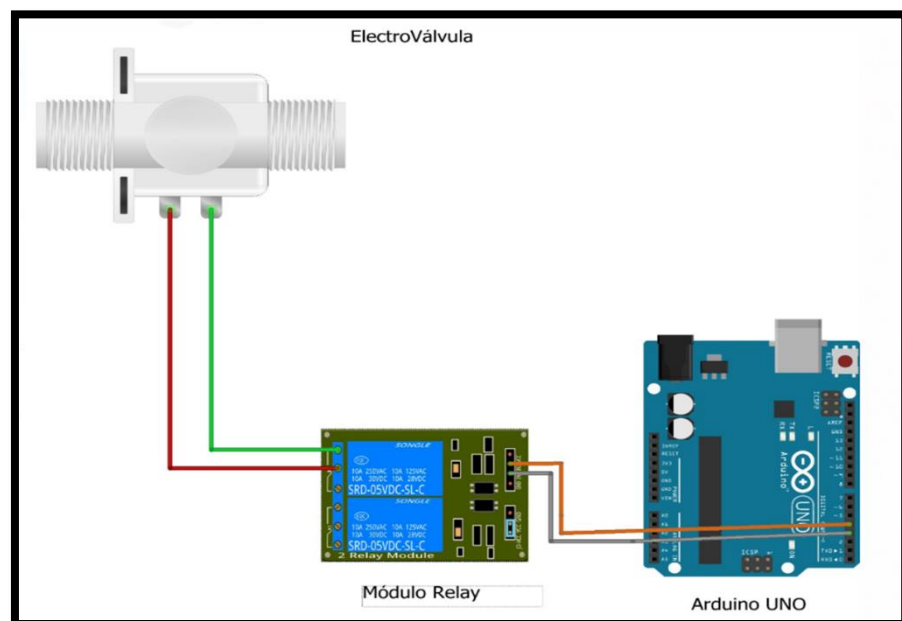


Figura 2.20 Diagrama de conexión entre la electroválvula, el módulo relé 12V y el Arduino Uno en el nodo principal [Autoría Propia]

Las terminales de conexión entre el módulo relé 12V y el Arduino Uno se puede observar en la Tabla 2.6:

Módulo Relé 12V	Terminales Arduino Uno
VCC	5V
GND	GNF
IN	D9

Tabla 2.6 Terminales de conexión entre el módulo relé 12V y el Arduino Uno en el nodo principal [Autoría Propia]

A continuación, se describirá el funcionamiento general del subsistema y las funciones utilizadas para que puedan ejecutar tareas específicas de una forma eficaz.

### Funcionamiento del subsistema

- Se evalúa la información recibida del sensor, si se detecta valores peligrosos de GLP, se activa la función **activar alarma ()** la cual, cerrara la electroválvula automáticamente.

### Funciones utilizadas

- **activa ()**: Habilita los distintos actuadores de nuestro sistema cuando así se lo requiera.
- **desactiva ()**: Deshabilita los distintos actuadores de nuestro sistema cuando así se lo requiera.
- **activaAlarma ()**: Cuando se detecte niveles peligrosos de GLP, visualizará mensajes de alerta en la pantalla LCD, e invocará la función **activa ()** relacionada con los actuadores.
- **desactivaAlarma ()**: Cuando los niveles de GLP se normalicen, visualizará un mensaje de alerta en la pantalla LCD, e invocará la función **desactiva ()** relacionada con los actuadores.

### 2.2.5. Subsistema de alerta visual y sonora (Nodo Principal).

Una vez que el nodo principal detecte una fuga de GLP, además de emitir las notificaciones móviles a los usuarios, también debe realizar una alerta visual mediante tiras leds y una alerta sonora mediante un módulo buzzer.

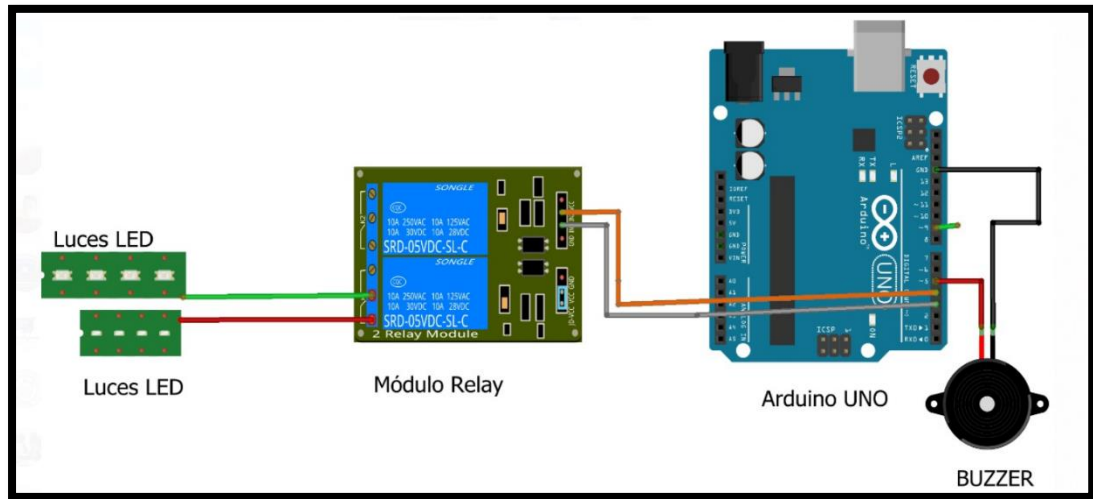


Figura 2.21 Diagrama de conexión entre las tiras Leds, el buzzer y el Arduino Uno en el nodo principal [Autoría Propia]

Las terminales de conexión entre las tiras Leds, el buzzer y el Arduino Uno se puede observar en la Tabla 2.7:

Tiras Led	Terminales Arduino Uno
VCC	5V
GND	GNF
IN	D5
Módulo Buzzer	Terminales Arduino Uno
GND	GND
I/O	D10

Tabla 2.7 Terminales de conexión entre las tiras leds, el buzzer y el Arduino Uno en el nodo principal [Autoría Propia]

A continuación, se describirá el funcionamiento general del subsistema y las funciones utilizadas para que puedan ejecutar tareas específicas de una forma eficaz.



### Funcionamiento del subsistema

Emite una alerta visual y sonora cuando se detecta una concentración de GLP que ha sobrepasado los límites previamente establecidos gracias a la función **activa\_notificacion ()**

### Funciones utilizadas

- **activaAlarma ()**: Esta función se encargará de encender la tira led roja y el módulo buzzer cuando el nodo principal detecte una fuga de GLP.
- **desactivaAlarma ()**: Esta función se encargará de apagar la tira led roja para encender la tira led verde y desactivar el módulo buzzer cuando el nodo principal detecte una fuga de GLP.

#### 2.2.6. Subsistema de comunicación entre nodos (Nodo Principal).

Para realizar la comunicación entre los dos nodos, se utilizará un módulo NRF24L01 con su respectiva antena para obtener un mayor rango de alcance, este módulo trabaja sobre la banda de 2.4 GHz con una velocidad de transmisión de datos de 2 Mbps, alcanza distancias de 35 metros en interiores y hasta 1000 metros en exteriores. La conexión del módulo al Arduino Uno se lo detalla en la Figura 2.22:

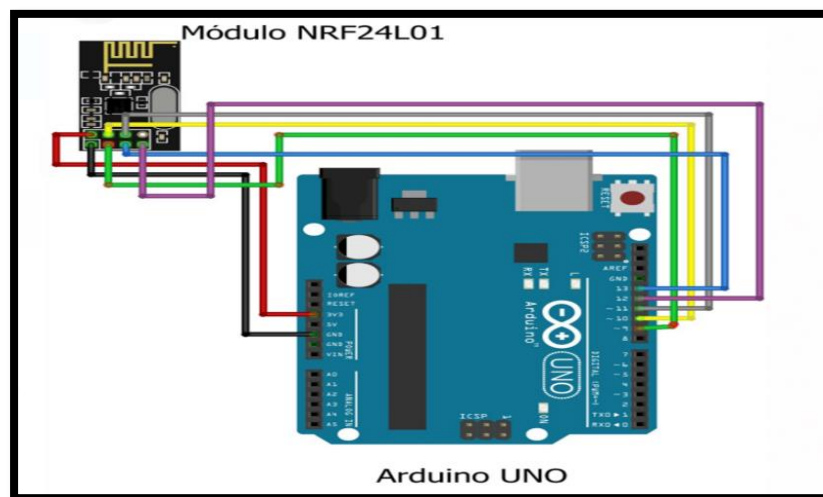


Figura 2.22 Diagrama de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno en el nodo principal [Autoría Propia]

Las terminales de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno se puede observar en la Tabla 2.8:

Módulo NRF24L01	Terminales Arduino Uno
GND	GND
VCC	3V3
CE	D9
CSN	D10
SCK	D13
MOSI	D11
MISO	D12
IRQ	-----

Tabla 2.8 Terminales de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno  
[Autoría Propia]

A continuación, se describirá el funcionamiento general del subsistema y las funciones utilizadas para que puedan ejecutar tareas específicas de una forma eficaz.

### Funcionamiento del subsistema

- Recibe la información del sensor del nodo secundario, gracias a la función **recibe\_datos ()**, y así determinar si es necesario o no activar la alarma.

### Funciones utilizadas

- **recibe\_datos ()**: Esta función se encargará de recibir la información captada por el sensor del nodo secundario cuando se haya detectado niveles peligrosos de GLP.

### Nodo secundario

En la figura 2.23 podemos observar un esquema de conexión completo de nuestro nodo secundario.

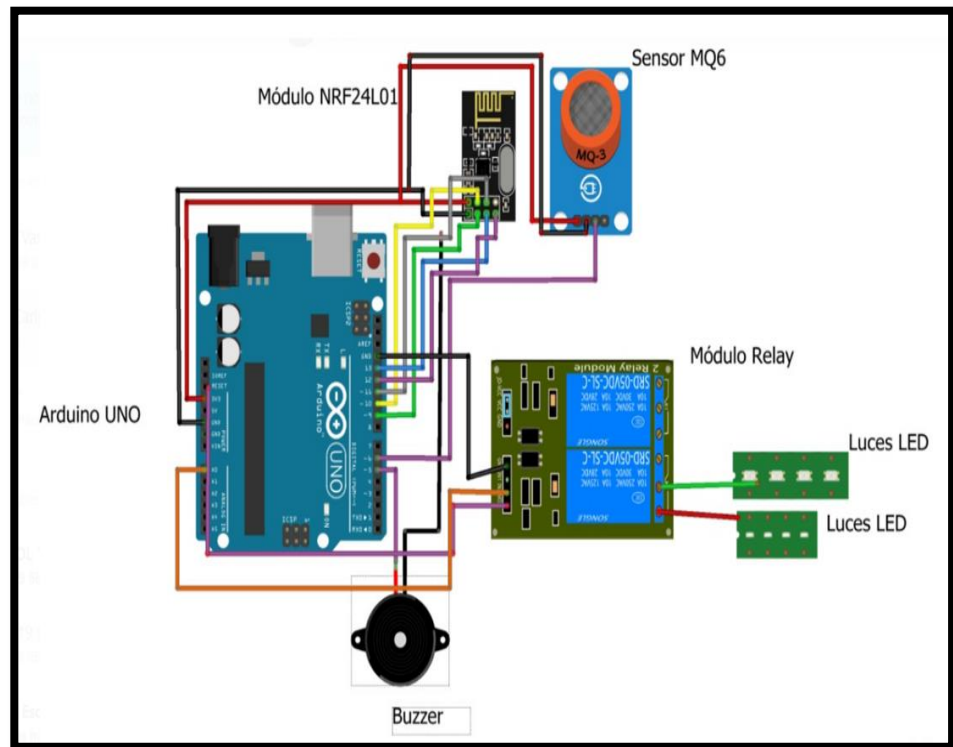


Figura 2.23 Diagrama de conexión del nodo secundario [Autoría Propia]

El siguiente diagrama de flujo de la figura 2.24, hace referencia a los procesos del nodo secundario, el cual decidimos agregar para mejorar nuestro sistema de detección y control de GLP.

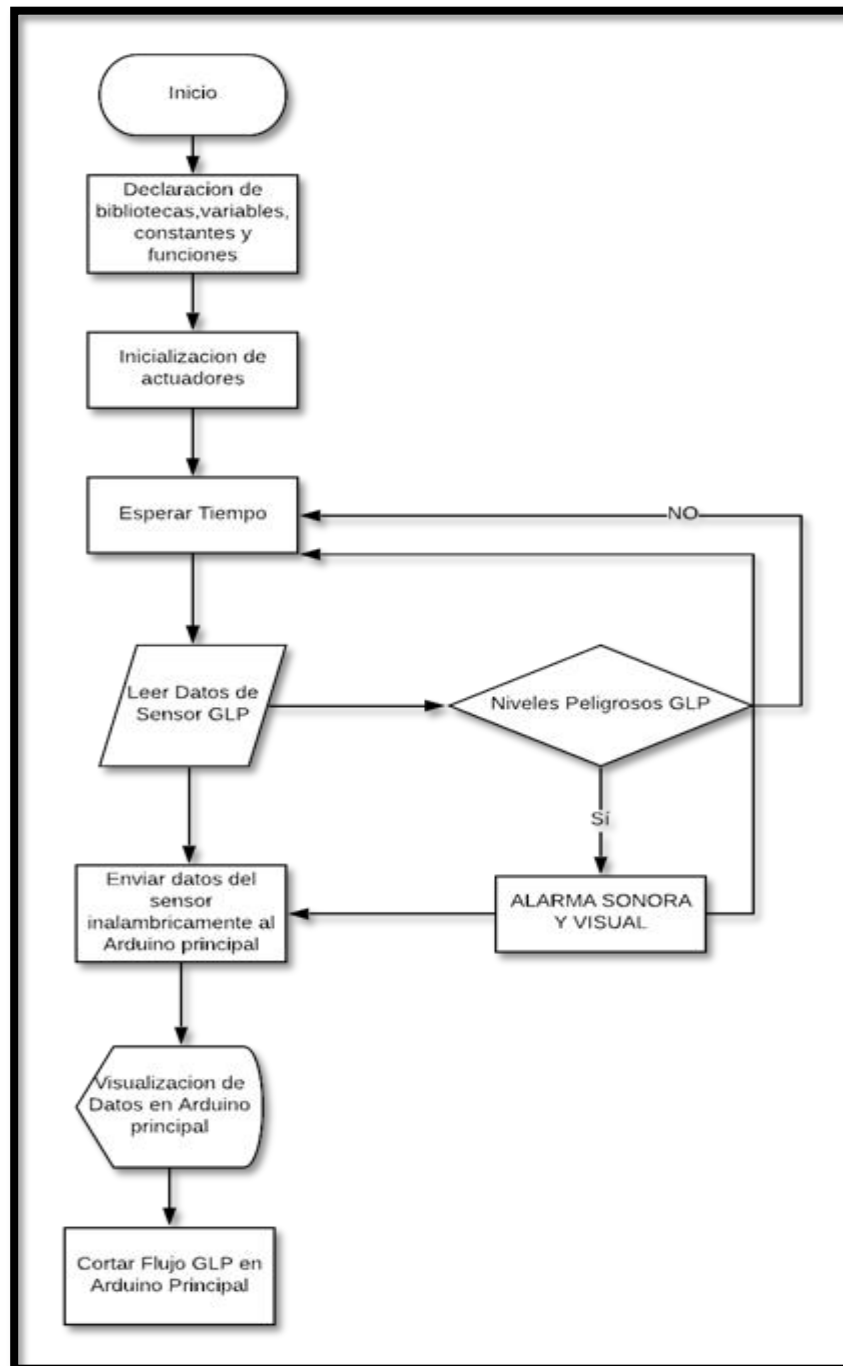


Figura 2.24 Diagrama de flujo del nodo secundario [Autoría Propia]

### 2.2.7. Subsistema para medición de niveles de concentración de GLP en el ambiente. (Nodo Secundario)

Como en el subsistema para medición de niveles de concentración de GLP del nodo principal anteriormente descrito en la sección 2.2.2, este subsistema realizará la misma función, detectar niveles peligrosos de GLP

en el ambiente, mediante el sensor MQ6. La conexión de los componentes se detalla en la figura 2.25.

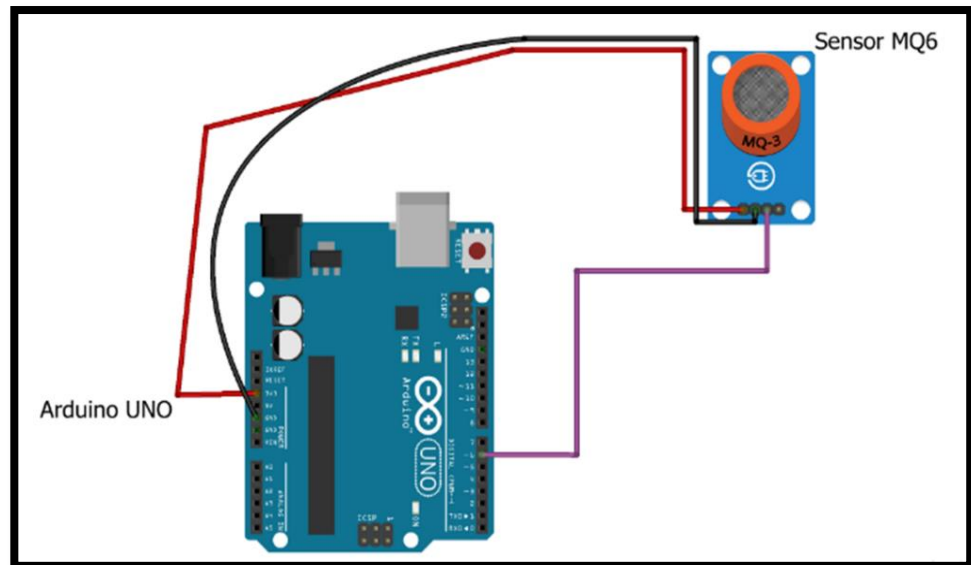


Figura 2.25 Diagrama de conexión entre el sensor MQ6 y el Arduino Uno en el nodo secundario [Autoría Propia]

Las terminales de conexión entre el sensor MQ6 y el Arduino Uno se puede observar en la Tabla 2.9:

Sensor MQ6	Terminales Arduino Nano
AOUT	A0
DOUT	-----
VCC	5v
GND	GND

Tabla 2.9 Terminales de conexión entre el sensor MQ6 y el Arduino Uno en el nodo secundario [Autoría Propia]

A continuación, se describirá el funcionamiento general del subsistema y las funciones utilizadas para que puedan ejecutar tareas específicas de una forma eficaz.

### Funcionamiento del subsistema

- Se inicializan las variables locales.

- Se lee los datos del sensor para conocer el nivel de GLP gracias a la función **get\_glp ()**.

### Funciones utilizadas

- **valorMQ6 ()**: Retorna la información de nuestro sensor.
- **get\_glp ()**: Obtiene los datos del sensor de nuestro sistema y mediante las ecuaciones descritas en la sección 2.2.2, regresar un valor en ppm (partes por millón) de GLP.
- 

### 2.2.8. Subsistema de alerta visual y sonora (Nodo Secundario)

Este nodo no emitirá notificaciones móviles, solamente emitirá alertas visuales y sonoras, las cuales se realizarán mediante tiras leds y un módulo buzzer, solo en el caso que se detecte un alto nivel de GLP en el ambiente.

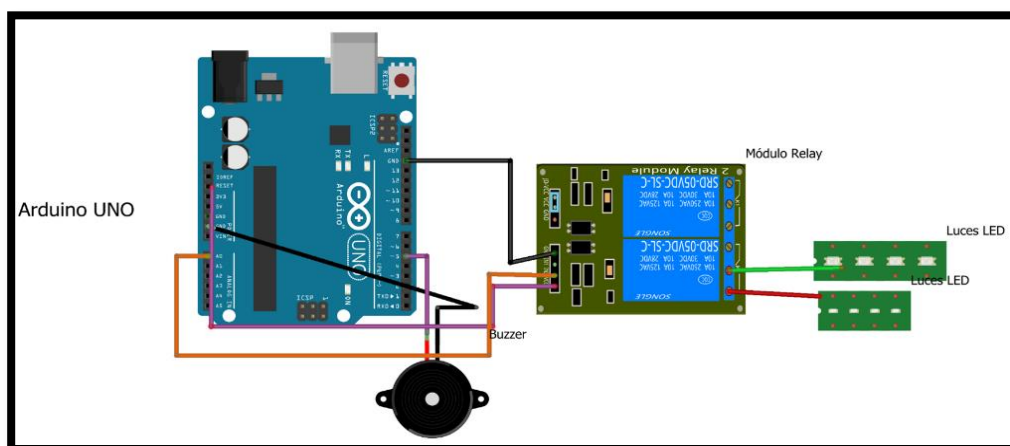


Figura 2.26 Diagrama de conexión entre las tiras Leds, el buzzer y el Arduino Uno en el nodo secundario [Autoría Propia]

Las terminales de conexión entre las tiras leds, el buzzer y el Arduino Uno se puede observar en la Tabla 2.10:

Tiras Led	Terminales Arduino Uno
VCC	5V
GND	GNF
IN	D5
Módulo Buzzer	Terminales Arduino Uno
GND	GND
I/O	D10

Tabla 2.10 Terminales de conexión entre las tiras leds, el buzzer y el Arduino Uno en el nodo secundario [Autoría Propia]

A continuación, se describirá el funcionamiento general del subsistema y las funciones utilizadas para que puedan ejecutar tareas específicas de una forma eficaz.

### Funcionamiento del subsistema

Emite una alerta visual y sonora cuando se detecta una concentración de GLP que ha sobrepasado los límites establecidos gracias a la función **activa\_alarma ()**

### Funciones utilizadas

- **activaAlarma ()**: Esta función se encargará de encender la tira led roja y el módulo buzzer cuando el nodo secundario detecte una fuga de GLP.
- **desactivaAlarma ()**: Esta función se encargará de apagar la tira led roja para encender la tira led verde y desactivar el módulo buzzer cuando el nodo secundario detecte una fuga de GLP.

#### 2.2.9. Subsistema de comunicación entre nodos (Nodo Secundario)

Igual que el nodo principal este nodo también cuenta con un módulo NRF24L01 con antena para un mayor rango de alcance, para así poder intercomunicar ambos nodos, trabaja sobre la banda 2.4 GHz y con una velocidad de transmisión de hasta 2 Mbps.

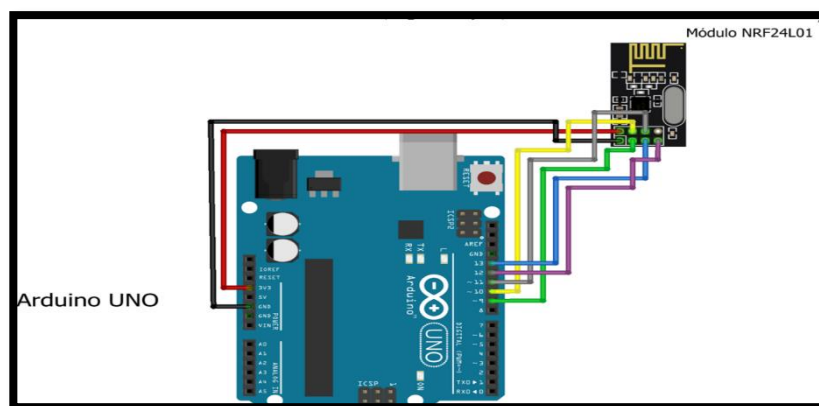


Figura 2.27 Diagrama de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno en el nodo secundario [Autoría Propia]

Las terminales de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno se puede observar en la Tabla 2.11:

Sensor MQ6	Terminales Arduino Nano
GND	GND
VCC	3V3
CE	D9
CSN	D10
SCK	D13
MOSI	D11
MISO	D12
IRQ	-----

Tabla 2.11 Terminales de conexión entre el módulo NRF24L01 y el Arduino Uno en el nodo secundario [Autoría Propia]

A continuación, se describirá el funcionamiento general del subsistema y las funciones utilizadas para que puedan ejecutar tareas específicas de una forma eficaz.

### Funcionamiento del subsistema

- Se envía la información del sensor del nodo secundario al nodo principal, gracias a la función **envia\_datos ()**

### Funciones utilizadas

- **envia\_datos ()**: Esta función se encargará de enviar la información del sensor del nodo secundario cuando se haya detectado niveles peligrosos de GLP.

#### 2.2.10. Bibliotecas que se utilizaron en el desarrollo del sistema.

En nuestro sistema se usaron las siguientes bibliotecas, las cuales permiten el correcto funcionamiento de los actuadores acoplados:

- **SoftwareSerial.h**: Permite la comunicación serial entre el módulo GSM Sim 900 y el Arduino Uno mediante los pines 7 y 8.



- **LiquidCrystal\_I2C.h:** Permite configurar el display LCD incorporado en nuestro sistema mediante operaciones de bajo nivel.
- **Wire.h:** Permite comunicar el Arduino Uno con nuestro display LCD mediante el protocolo I2C también conocido como TWI (Two Wire Interface, por sus siglas en inglés).
- **SPI.h:** Permite comunicar dispositivos SPI con el Arduino Uno como dispositivo maestro.
- **NRF24L01.h:** Esta librería contiene todas las definiciones de comandos hexadecimales relacionados con este módulo de radiofrecuencia y así simplificar su uso.
- **RF24.h:** Permite la comunicación y configuración de módulos NRF24L01 mediante el uso de simples comandos.

#### 2.2.11. Consumo de corriente de los nodos que conforman el sistema.

Se debe estimar el consumo de corriente tanto para el nodo principal como el nodo secundario, esto es necesario para obtener la mejor fuente de energía y así obtener un rendimiento óptimo de todo el sistema. En la tabla 2.12 se muestra el consumo aproximado del nodo principal.

##### Consumo de Corriente del nodo principal

Componente	Cantidad	Consumo corriente (mA)
Arduino uno	1	46
Sensor MQ6	1	150
Módulo GSM SIM 900	1	50 ~ 450
Electroválvula	1	600
Módulo micro SD	1	0.2 ~ 200
Módulo Buzzer	1	30
Pantalla LCD 16x2	1	25
Módulo Relé 12v	1	20

<b>Tira Led rojo</b>	1	20
<b>Tira Led verde</b>	1	20
<b>Módulo Nrf24l01</b>	1	115
<b>Total</b>	10	1056,2 ~1676 aprox.

**Tabla 2.12 Consumo de corriente del nodo principal [Autoría Propia]**

Los resultados muestran un consumo aproximado de 1056,2~1676 mA, se optó por utilizar una fuente de poder de 12V a 2A (ver figura 2.28) conectada a la red de corriente eléctrica debido a que el nodo principal debe constar con un suministro constante de energía.



**Figura 2.28 Fuente de 12V a 2A para energizar el nodo principal [Autoría Propia]**

### **Consumo de Corriente del nodo secundario**

En la tabla 2.13 se muestra el consumo aproximado del nodo adicional

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Consumo corriente (mA)</b>
<b>Arduino uno</b>	1	46
<b>Sensor MQ6</b>	1	150
<b>Módulo Buzzer</b>	1	30
<b>Tira Led rojo</b>	1	20
<b>Tira Led verde</b>	1	20
<b>Módulo Nrf24l01</b>	1	115
<b>Total</b>	7	381

**Tabla 2.13 Consumo de corriente del nodo secundario [Autoría Propia]**

Los resultados muestran un consumo aproximado de 381 mA por lo cual se suministrará energía al nodo secundario mediante una fuente de 12v a 1V tal como se muestra en la figura 2.29



Figura 2.29 Fuente de 12V a 1A para energizar el nodo secundario  
[Autoría Propia]

### 2.3. Diseño del Prototipo.

En esta etapa se podrá observar las imágenes referentes a los subsistemas descritos en la sección 2.2

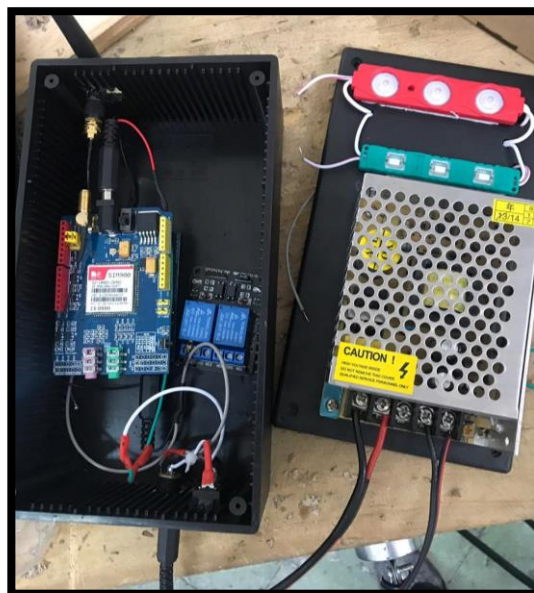
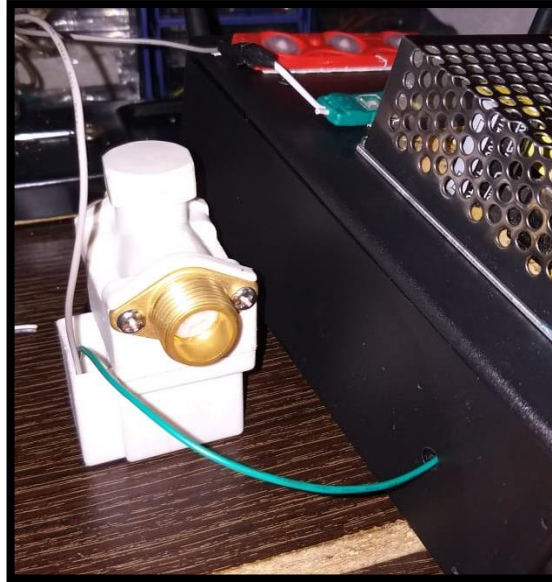


Figura 2.30 Diseño del nodo principal [Autoría Propia]

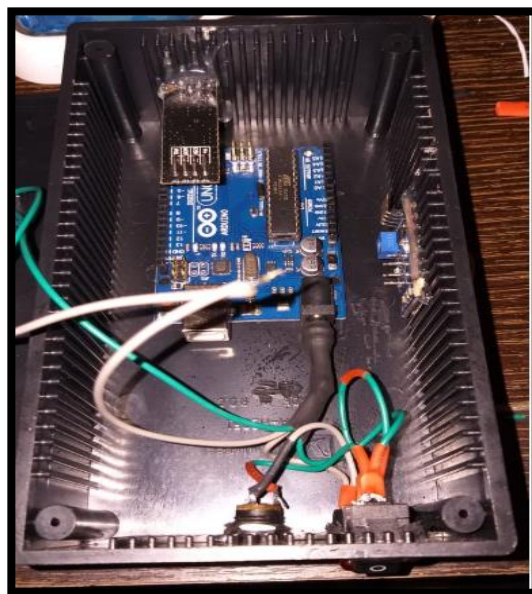
En la figura 2.30 se observa que para el nodo principal se utilizó una caja de plástico ABS donde se alojaron todos los componentes como el Arduino Uno, el módulo GSM SIM 900, el relé de 12v y el módulo NRF24L01, por fuera de la caja se observa las dos antenas de comunicación, una destinada para la

comunicación celular y la otra para la comunicación mediante radiofrecuencia con el otro nodo, además se observa como sobresale el sensor de GLP, las luces led indicadores de alerta, y la fuente de 12 V a 3A que logrará alimentar todo el sistema del nodo principal.



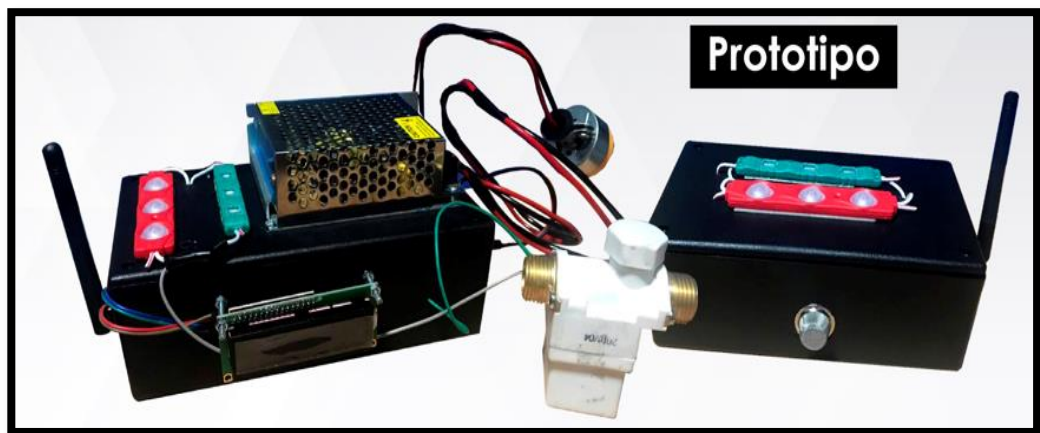
**Figura 2.31 Electroválvula ubicada en el nodo principal [Autoría Propia]**

En la figura 2.31 se observa cómo queda por fuera la electroválvula para que así las mangueras sean ajustadas manualmente hacia el cilindro o hacia una tubería, esto dependerá del enfoque que el usuario le quiera dar.



**Figura 2.32 Diseño del nodo secundario [Autoría Propia]**

En la figura 2.32 se observa el nodo secundario con sus componentes los cuales se alojarán en una caja más pequeña donde estará el Arduino, el módulo NRF24L01, donde sobresale el sensor de GLP, las luces leds de alerta y la antena de comunicación de radiofrecuencia.



**Figura 2.33 Diseño del prototipo final [Autoría Propia]**

Mientras que en la figura 2.33 ya se puede observar el prototipo final, el cual cuenta con los dos nodos, y la electroválvula para el cierre automático del flujo de gas.



**Figura 2.34 Prueba de notificación de llamada y SMS [Autoría Propia]**

Una vez que nuestro diseño del prototipo final fue terminado, realizamos las pruebas respectivas del sistema de alarma y hemos logrado comprobar que funciona correctamente como podemos observar en la figura 2.34 donde el sistema ha realizado la llamada telefónica y enviado el SMS de alerta al usuario



# CAPÍTULO 3

## 3. PLANIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA

### 3.1. Plan de Implementación

Toda la implementación de nuestra solución se la realizará en un periodo de 61 días, donde hemos considerado como días laborables de lunes a viernes, en la siguiente tabla 3.1 definimos el plan de trabajo de las tareas a realizarse para cada una de las fases y la duración de estas.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
➤ Diseño de un sistema para detección y control de fugas de gas GLP en ambientes residenciales utilizando software de bajo costo	61 días	lun 16/9/19	lun 9/12/19		
➤ Fase de Análisis	22 días	lun 16/9/19	mar 15/10/19		
Investigación de mercado	5 días	lun 16/9/19	vie 20/9/19		
Realizar encuestas a la ciudadanía acerca del GLP	4 días	lun 23/9/19	jue 26/9/19	3	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge
Levantamiento de la información	3 días	vie 27/9/19	mar 1/10/19	4	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge
Interpretación y análisis de resultados	3 días	mié 2/10/19	vie 4/10/19	5	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge
Cotización de materiales	5 días	lun 7/10/19	vie 11/10/19	6	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge
Compra de materiales	2 días	lun 14/10/19	mar 15/10/19	7	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge
➤ Fase de diseño y desarrollo	30 días	mar 15/10/19	lun 25/11/19	2	
Diagrama de conexión de los componentes de cada nodo	2 días	mar 15/10/19	mié 16/10/19		Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge
Conexión de componentes nodo Principal	2 días	jue 17/10/19	vie 18/10/19	10	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge
Conexión de componentes nodo Secundario	2 días	lun 21/10/19	mar 22/10/19	11	Armijos Espinoza Jean Carlos;Cables de conexión[20
Programación de los componentes en el software Arduino IDE del nodo Principal	12 días	mié 23/10/19	jue 7/11/19	12	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge Alexi;Arduino IDE[1]
Programación de los componentes en el software Arduino IDE del nodo Secundario	12 días	vie 8/11/19	lun 25/11/19	13	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge Alexi;Arduino IDE[1]
➤ Fase de Pruebas	13 días	jue 21/11/19	lun 9/12/19	9	
Pruebas de comunicación entre los dos nodos	1 día	jue 21/11/19	jue 21/11/19		Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge
Pruebas de funcionamiento del sistema para detectar y controlar fuga de gas GLP	5 días	vie 22/11/19	jue 28/11/19	16	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge Alexi
Pruebas de funcionamiento del sistema de notificaciones	2 días	vie 29/11/19	lun 2/12/19	17	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge
Adecuación del sistema en cajas de proyectos	1 día	mar 3/12/19	mar 3/12/19	18	Caja Mediana[1 Unidad];Caja Pequeña[1 Unidad]
Optimización y corrección del sistema	4 días	mié 4/12/19	lun 9/12/19	19	Armijos Espinoza Jean Carlos;Portilla Astudillo Jorge

**Tabla 3.1 Plan de Implementación de la solución propuesta [Autoría Propia]**

Para llevar a cabo la implementación de la solución propuesta, es necesario contar con los siguientes recursos tal y como se muestra en la Tabla 3.2:

Id	Nombre del recurso	Tipo	Etiqueta de material	Iniciales	Grupo	Capacidad máxima	Tasa estándar
1	Armijos Espinoza Jean Carlos	Trabajo		JC		100%	\$0,00/hora
2	Portilla Astudillo Jorge Alexi	Trabajo		JA		100%	\$0,00/hora
3	Arduino Uno	Material	Unidad	A1			\$12,00
4	Sensor MQ6	Material	Unidad	MQ6			\$6,30
5	Módulo GSM SIM 900	Material	Unidad	SIM			\$25,00
6	Electroválvula	Material	Unidad	EV			\$12,00
7	Módulo Buzzer	Material	Unidad	B			\$1,60
8	Pantalla LCD 16x2	Material	Unidad	LCD			\$4,00
9	Módulo Relé 12v	Material	Unidad	R12			\$10,00
10	Tiras Led rojo	Material	Unidad	LR			\$1,50
11	Tiras Led verde	Material	Unidad	LV			\$1,50
12	Módulo NRF24L01	Material	Unidad	NRF			\$15,00
13	Chip activado	Material	Unidad	C			\$5,00
14	Caja Pequeña	Material	Unidad	CP			\$7,25
15	Caja Mediana	Material	Unidad	CM			\$9,25
16	Cables de conexión	Material	Unidad	Cc			\$0,16
17	Fritzing	Material		F			\$0,00
18	Arduino IDE	Material		IDE			\$0,00

Tabla 3.2 Hojas de Recursos para implementación de la solución propuesta [Autoría Propia]

### 3.2. Presupuesto

El fin de nuestra solución es, ofrecer un sistema de detección y control de fuga de GLP en ambientes residenciales utilizando hardware de bajo costo, para que así las personas no opten por soluciones más costosas ya existentes en el mercado. En la tabla 3.3 se detallan los componentes que usamos para cada uno de los nodos y el precio de cada uno, incluyendo el impuesto al valor agregado (IVA).

Componentes	Cantidad	Precio Unitario	Total (USD)
Arduino Uno	2	12	24
Sensor MQ6	2	6,30	12,60
Módulo GSM SIM 900	1	25	25
Electroválvula	1	12	12
Módulo Buzzer	2	1,60	3,20
Pantalla LCD 16x2	1	4	4
Módulo Relé 12v	2	10	20
Tiras Led rojo	1	1,50	1,50
Tiras Led verde	1	1,50	1,50
Módulo NRF24L01	2	15	30
Chip activado	1	5	5

<b>Caja Pequeña</b>	1	7,25	7,25
<b>Caja Mediana</b>	1	9,25	9,25
<b>Cables de Conexión</b>	40	0,16	6,40
<b>Total</b>			<b>161,70</b>

**Tabla 3.3 Precio total de los componentes que conforman el sistema de detección y control de fugas de GLP [Autoría Propia]**

Como podemos observar en la tabla 3.3, se muestra un costo total aproximado para llevar a cabo la implementación de esta solución, el cual es de \$161,70.

Para poder generar ingresos y obtener una solución viable económicamente es necesario vender el sistema de detección y control de GLP a una cantidad de **\$250**, es importante recalcar que el sistema será entregado con los componentes descritos en la Tabla 3.3, además de contar con garantía de 3 años y 2 mantenimientos gratis, con respecto a la vida útil de ambos nodos, puede ser aproximadamente de 5 años, que por lo general es la vida útil de un sensor MQ6.

<b>Solución</b>	<b>Precio</b>
<b>Sistema con dos nodos (Nodo Principal y Secundario)</b>	<b>\$250</b>
<b>Sistema con 1 nodo (Nodo Principal)</b>	<b>\$120</b>

**Tabla 3.4 Precio del sistema con dos nodos y con un solo nodo [Autoría Propia]**

En la tabla 3.4 podemos observar el valor total de las dos variantes del sistema de detección y control, se puede adquirir el sistema conformado por 2 nodos a un precio de \$250 o el sistema conformado solamente por el nodo principal que cuenta con las funciones principales del sistema y la electroválvula a un precio de \$120.



# CAPÍTULO 4

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Se logró diseñar un prototipo utilizando hardware de bajo costo y software libre, para verificar que el sistema cumpla con las funciones de notificar al usuario, detectar y controlar la fuga de GLP.

El diseño del sistema propuesto cumple con los objetivos planteados de detección y control de fuga de GLP, en caso de que el usuario quiera realizar una menor inversión, no sería necesario que adquiriera todo un sistema de control conformado por los dos nodos. La alternativa para poder ahorrar costos sería, la adquisición únicamente del nodo principal, ya que cuenta con todas las alertas, notificaciones y control del flujo del GLP mediante la electroválvula.

Debido a que la relación entre la lectura analógica y el valor real del sensor mq6 no es lineal, fue necesario acondicionar la señal de este, se estimó la curva que ofrece el datasheet del fabricante mediante una línea de tendencia potencial y así obtener una ecuación que nos permita expresar los niveles de GLP en ppm en base a la variación del voltaje del sensor.

Los límites umbrales configurados en el prototipo en base a los niveles de GLP, fueron establecidos de acuerdo con normativas de manipulación y prevención de desastres referentes al GLP por su inflamabilidad, así como su composición y características químicas.

## **Recomendaciones**

Para obtener un sistema más completo pueden incorporarse sensores adicionales al sistema para que capten distintas variables tales como humo, humedad y temperatura, y así apuntar hacia la implementación de domótica en el hogar.

Se recomienda realizar el respectivo mantenimiento preventivo del sistema mínimo una vez al año, y tener en cuenta el cambio del sensor cuando este cumpla su vida útil, que es de 5 años aproximadamente.

Si se desea cambiar su ámbito de uso residencial a industrial, se puede adicionar módulos basados en el protocolo de comunicación inalámbrico libre Xbee, los cuales trabajan sobre una frecuencia de 900 MHz, para lograr distancias superiores a nuestro sistema, y así obtener una extensa red de sensores intercomunicados entre sí.

Una vez que el sistema detecte una fuga de GLP y la electroválvula corte automáticamente el flujo de este, se recomienda agregar al sistema un número de emergencia para que se realice una notificación al cuerpo de bomberos o sistema de emergencias local para obtener mayor seguridad.

## Comentarios

Se espera que la solución aporte a reducir accidentes y muertes provocados por la fuga de GLP, además que las personas conozcan las normativas para la correcta manipulación y uso de este combustible, así también como la instalación y calidad de los materiales que deben ser usados en las conexiones.

Se buscó fomentar el uso de tecnología de hardware de bajo costo, la cual tiene grandes funcionalidades, como es un Arduino y así mismo se hizo énfasis en el uso de software libre para que la solución final conlleve una menor inversión.

Este sistema de detección y control fue diseñado para usarse en el ámbito residencial, mediante la conexión de 2 nodos, un nodo principal y un nodo secundario, los cuales se comunican inalámbricamente mediante el protocolo de comunicación SPI sobre una frecuencia de 2.4 GHz. Gracias al diseño del sistema pueden adicionarse 4 nodos más para abarcar áreas más extensas del hogar.

Los sensores que fueron implementados en el sistema tienen un margen de error del  $\pm 10\%$  en comparación con el datasheet del fabricante, lo cual es aceptable y seguro para su uso en residencia.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), «Ecuador en cifras,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/guayas.pdf>
- [2] 24 Ecuador, «Cilindro de gas: de dolor de cabeza a dispositivo inteligente» 16 abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.24ecuador.com/vida/cilindros-de-gas-de-dolor-de-cabeza-a-dispositivo-inteligente/6481-noticias>
- [3] D. Donoso, «Los Andes, Informaron sobre buen uso de gas doméstico» 28 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://diariolosandes.com.ec/informaron-sobre-buen-uso-de-gas-domestico/>
- [4] A. Lagla, «El Comercio, Los cinco principales errores que pueden ocasionar fugas de gas» 5 febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/principales-errores-fugasdegas.html>
- [5] M. Valbuena, D. Medina, “Aplicación IoT para mitigar efectos de escapes de gas natural en comunidades menos favorecidas”, Tesis de Grado, Universidad Distrital de Colombia Francisco José de Caldas, Colombia, 2018. Available: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13396/1/ValbuenaNunezMiguelAngel2018.pdf>
- [6] C. Yáñez, «Expreso-Emprendimiento, Ciencia y tecnología» 16 abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.expreso.ec/ciencia-y-tecnologia/emprendimiento-trabajos-ciencia-tecnologia-estudiantes-FX2132340>
- [7] Copreci, «Copreci, Expertos en cocción gas desde 1963». [En línea]. Available: <http://www.copreci.com/es/coccion-gas/presentacion>
- [ 8] Repsol «Ficha Técnica de Seguridad,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/2GLP\\_tcm76-84132.pdf](https://www.repsol.pe/imagenes/repsolporpe/es/2GLP_tcm76-84132.pdf)

## ANEXOS

Anexo 1 Datos Estadísticos obtenidos por el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil acerca de los casos de emergencia que se produjeron debido al GLP en el año 2018 y hasta Julio del 2019

EMERGENCIA	2018	2019
Incendios por explosivos (Acumulación de Gas)	0	0
Fuga de Gas (por boquilla/ válvula/manguera)	250	104
Explosión por causas desconocidas	9	3
Saludos cordiales,		
Goldy Rivas Velásquez		
Comunicación Social		
Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil		
0992327540		
04 3714840 ext 104		

Figura A 1.1 Estadísticas de emergencias de GLP

## **Anexo 2 Formato de encuestas realizada a diferentes personas**

**1 ¿Utiliza GLP (tanque de gas) en su hogar? (Si su respuesta es “no” de por terminada la encuesta)?**

☐ Si

☐ No

**2 ¿Qué uso le da al GLP en su hogar?**

☐ Cocción de alimentos

☐ Calentador de agua

☐ Climatización.

☐ Otro ¿Cuál? \_\_\_\_\_

**3 ¿Dónde se encuentra ubicado el tanque GLP?**

☐ Junto a la cocina

☐ Exterior de su hogar (Patio)

☐ Otro ¿Cuál? \_\_\_\_\_

**4 ¿Ha sufrido alguna fuga de GLP en su hogar?**

☐ Si

☐ No

**5 ¿Posee usted actualmente un sistema de alarma que le advierta cuando exista alguna fuga de GLP en su hogar?**

☐ Si

☐ No

### Anexo 3 Lluvia de ideas para buscar la mejor solución acerca del problema de fuga de GLP

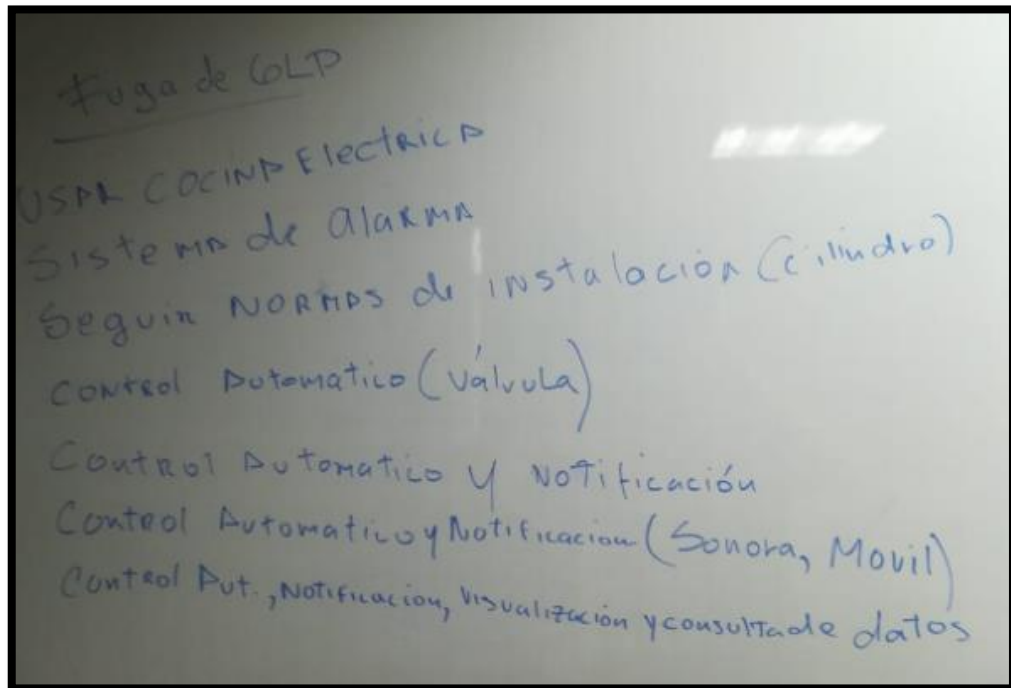


Figura A 3.1 Lluvia de ideas de posibles soluciones para la fuga de GLP

# Anexo 4 Datasheet del fabricante del sensor MQ6

Structure and configuration of MQ-6 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro  $Al_2O_3$  ceramic tube, Tin Dioxide ( $SnO_2$ ) 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

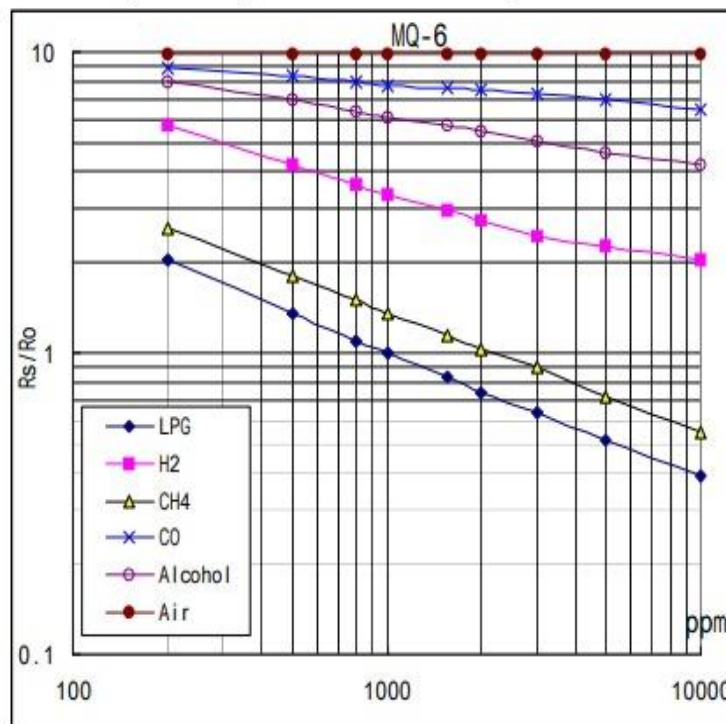


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-6 for several gases.

in their: Temp: 20°C ,  
Humidity: 65% ,  
 $O_2$  concentration 21%  
 $R_L=20k\Omega$

$R_o$ : sensor resistance at 1000ppm of LPG in the clean air.

$R_s$ :sensor resistance at various concentrations of gases.

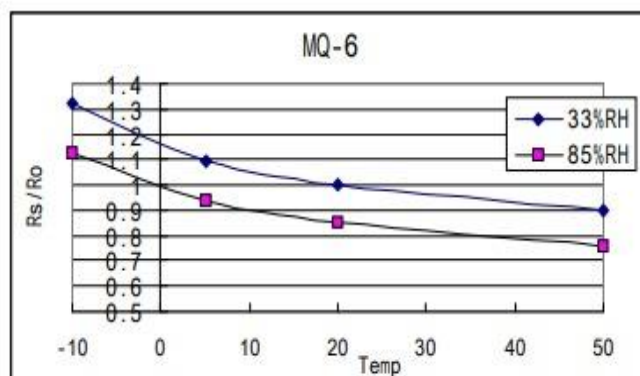


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-6 on temperature and humidity.

$R_o$ : sensor resistance at 1000ppm of LPG in air at 33%RH and 20 degree.

$R_s$ : sensor resistance at 1000ppm of LPG in air at different temperatures and humidities.