

Sistema de monitoreo, control y automatización de cierre en hornillas para evitar fugas de GLP, en tiempo real.

Monitoring, control, and automation system for closing burners to prevent LPG leaks, in real time

Danny Adrián Piña Piña¹0009-0004-6919-7240, Priscila Elizabeth Bernal Ortiz²0009-0007-7823-5570, Doris Yolanda Suquilanda Villa³0000-0001-6811-1784

danny.pina.est@tecazuay.edu.ec, priscila.bernal@tecazuay.edu.ec, doris.suquilanda@tecazuay.edu.ec

¹²³Instituto Tecnológico del Azuay con Condición de Superior Universitario, Azuay/Cuenca, Ecuador.

DOI 10.36500/atenas.4.003

<i>Resumen</i>	<i>Abstract</i>
<p>El presente artículo aborda la implementación de un sistema de monitoreo y control de fugas de gas, específicamente diseñado y desarrollado para detectar y gestionar fugas de gas licuado de petróleo en cocinetas domésticas. El proyecto planteó la implementación combinada de sensores de gas y flama, un controlador ESP32, una Raspberry Pi, y servomotores. El flujo de datos e información generada se transmite por intermedio del protocolo MQTT, el cual alimenta a una base de datos en la nube; así como a otra local, lo que facilita la emisión de alertas a un dashboard, a una aplicación móvil, lo que permite la gestión local y remota; así como, la automatización del cierre de hornillas en situaciones de emergencia, como cuando se dejan encendidas al salir de casa. Los resultados clave indican una eficiencia superior al 95%, en la detección; y una precisión en el cierre, con tiempos de respuesta inferiores a 2 segundo; el sistema resalt, por su integración tecnológica, escalabilidad y su capacidad minimiza los riesgos domésticos, ofreciendo una solución accesible y efectiva.</p>	<p>This article addresses the implementation of a gas leak monitoring and control system; specifically designed and developed to detect and manage leaks of liquefied petroleum gas in domestic kitchenettes. The project involved the combined implementation of gas and flame sensors, an ESP32 controller, a Raspberry Pi, and servo motors. The flow of data and information generated is transmitted through the MQTT protocol that feeds into a cloud database and a local database, facilitating the issuance of alerts to a dashboard, a mobile application, allowing local and remote management, as well as the automation of the closing of burners in case of emergencies such as when leaving the burners on when leaving home. Key results indicate detection efficiency above 95% and high shut-off accuracy, with response times under 2 seconds. The system stands out for its technological integration, scalability, and its ability to minimize household risks, offering an accessible and effective solution.</p>

Palabras clave: Internet de las Cosas, Domótica, detección de gas, monitoreo remoto, automatización, seguridad doméstica.
Keywords: Internet of Things, Domotics, gas detection, remote monitoring, burner control, home security.

I. INTRODUCCIÓN

Los domicilios son considerados como lugares de comodidad y seguridad; sin embargo, existen ciertos espacios que se pueden catalogar como vulnerables a situaciones de riesgo y que pueden poner en juego la vida de quienes los habitan. Uno de estos riesgos está ligado a las fugas de gas y los

descuidos en la cocina; estos incidentes pueden causar incendios, explosiones y envenenamientos. En China, en el Hospital of Zhejiang University, según el estudio realizado por Jin R. et al. (2018), se demostró que la fuga de gas (81,03%) fue la principal causa de quemaduras relacionadas con Gas Licuado de Petróleo (GLP), seguida de la operación inapropiada (7,69%) y la negligencia en la cocina (2,05%), lo que destaca el aumento exponencial de las quemaduras relacionadas con el GLP. En América Latina, las fugas de GLP constituyen una seria amenaza para la seguridad en el ámbito doméstico. Por ejemplo, en Colombia, entre 2015 y 2020, se documentaron alrededor de 1,500 incidentes relacionados con el uso de GLP en el hogar, lo que subraya la necesidad de un manejo más seguro (García Bernal y Argüello Verbanaz, 2021). En Perú, durante 2020, se reportaron cerca de 200 incidentes en viviendas a causa de fugas de GLP (Gasnova, 2022). Si bien, no se cuentan con datos precisos para Argentina y Brasil, en ambos países se presentan dificultades considerables relacionadas con fugas en instalaciones domésticas y accidentes vinculados al uso de GLP (Silva et al., 2022). En el contexto específico de Ecuador, la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2015) reportó que entre 2010 y 2015 ocurrieron 231 incendios y explosiones provocados por fugas de gas, afectando o destruyendo 224 viviendas. Además, solo en la ciudad de Cuenca, durante 2023, el Benemérito Cuerpo de Bomberos registró 183 incidentes relacionados con fugas de GLP. Estos datos reflejan la urgencia de implementar medidas preventivas que permitan garantizar la seguridad de las familias y hogares de los diversos países de la región. Según Hernández & Pérez (2021), el sistema de distribución de gas GLP por medio de cilindros es comúnmente utilizado en áreas rurales o donde la infraestructura de tuberías no es viable, lo cual ofrece flexibilidad y facilidad de instalación; sin embargo, presenta desventajas en términos de costos de mantenimiento y riesgos de seguridad debido a la manipulación frecuente de los cilindros; además, la existencia de conexiones inseguras o el mal estado de los elementos, lo que favorece a incrementar el riesgo de accidentes.

En Ecuador, el sistema de distribución de GLP, se realiza principalmente por medio de cilindros, tanto en el área urbana; así como, en el área rural; en contraste, del sistema de distribución de Gas Natural (GN), manejado por otros países latinoamericanos como Argentina o Perú. La distribución por tuberías del GN, proporciona un suministro continuo y seguro de gas permitiendo controlar la presión y flujo, volviéndolo más eficiente y fiable, además de reducir la necesidad de reabastecimientos frecuentes, disminuyendo así los riesgos asociados con el manejo de cilindros (García & Romero, 2019). El riesgo que representan las fugas de gas en entornos domésticos se vuelve aún más alarmante, al considerar su naturaleza incolora y las circunstancias en las que ocurren, ya que su olor puede pasar desapercibido, lo que dificulta una detección oportuna; especialmente, durante las horas de sueño. La

inhalación de gas puede provocar intoxicaciones que van desde leves hasta graves, manifestándose comúnmente a través de síntomas como cefaleas, mareos y vómitos. No obstante, en situaciones de inhalación prolongada puede llevar a la muerte. Para reducir estos riesgos, es fundamental considerar diversos factores, como la realización de mantenimiento preventivo y la educación de la población sobre los peligros asociados al uso y manejo de cilindros de GLP hasta el empleo de tecnología, puesto que en la actualidad los avances en este campo han propiciado el desarrollo de un conjunto de elementos electrónicos que permiten censar el ambiente, transmitir la información para su procesamiento y generar alertas sobre posibles fugas de gas. Con base en ello, es importante resaltar la concepción de Internet de las Cosas (IoT), manifestado por Kevin Ashton (2009), quien sostenía que, si se contara con ordenadores que comprendieran todo lo necesario acerca de las cosas, empleando la información recolectada y sin intervención humana, se tendría la habilidad de enumerar todo y disminuir significativamente el desperdicio, las pérdidas y los gastos. Esto permitiría saber cuándo es imprescindible sustituir, reparar o eliminar las cosas, si éstas son nuevas; o, si es que han pasado su mejor periodo. Por consiguiente, la tecnología de sensores facilita a las computadoras la capacidad de observación, identificación y entendimiento del mundo, sin las restricciones de que los datos sean introducidos por personas. Por lo tanto, considerando una perspectiva orientada al Internet, como lo indica Buitrón (2022) el IoT se muestra como una infraestructura global que permite conectar diferentes dispositivos a Internet y entre sí, admitiendo el control y monitoreo remoto; de tal forma que, posibilita las implementaciones domóticas que, involucran la automatización, la seguridad y el control del hogar. Estas aplicaciones domóticas, según Millan (2016), buscan transformar una casa en "inteligente" (énfasis añadido) mediante la implementación de diversas tecnologías que permiten ahorrar energía, aumentar la seguridad y mejorar el confort. Este tipo de sistemas contribuyen significativamente a la seguridad y bienestar de las personas.

Las fugas de GLP en ambientes domésticos representan un riesgo significativo para la vida y las posesiones; según estudios recientes, se logran tasas de detección entre 90% y 98% y latencias que varían según la tecnología aplicada; por tanto, el presente proyecto tuvo como objetivo el implementar un sistema de bajo costo (USD 453) que integra sensores MQ-5 y KY-026, actuadores, ESP DevKit Go32 para el procesamiento y transmisión de datos y comunicaciones MQTT para detectar fugas y automatizar el cierre de hornillas en cocinas domésticas; así como, notificar su estado, ya sea en condiciones habituales o ante la presencia de fugas, ayudando a reducir el riesgo de incidentes y optimizando la seguridad del hogar y el bienestar de quienes lo habitan. Como lo resalta Jahan et al. (2019), los sistemas basados en IoT que se utilizan para detectar fugas de gas han probado su eficacia al

disminuir considerablemente los tiempos de respuesta en circunstancias de emergencia, incrementando de esta manera la seguridad en viviendas.

II. MARCO TEÓRICO

Minerva et al. (2015) precisan que el Internet de las Cosas (IoT) constituye un universo conformado por diversas áreas tecnológicas y ámbitos socioeconómicos, que incluye tanto sistemas reducidos y delimitados como aquellos distribuidos a gran escala o implementados a nivel global. Este enfoque se centra en la interconexión de elementos físicos y virtuales mediante desarrollos tecnológicos avanzados para la obtención y transmisión de datos, con el objetivo de ofrecer servicios considerados “inteligentes” y autónomos. Dichos servicios permiten la autoconfiguración, interoperabilidad y, sobre todo, la gestión segura de datos y privacidad mediante protocolos estandarizados y compatibles, que han transformado la manera en la que se percibe y se interactúa con el entorno. En este contexto, el IoT posibilita múltiples aplicaciones y enfoques diversos según su uso. En la actualidad, la vida cotidiana del ser humano está cada vez más ligada a sistemas inteligentes y a su integración en la arquitectura y concepción de los espacios habitables, lo que ha dado lugar al concepto de domótica. Este concepto, definido por Haya et al. (2015), hace referencia a un conjunto de tecnologías diseñadas para automatizar y controlar distintos sistemas dentro de una vivienda, como la iluminación, la climatización, la seguridad y los electrodomésticos, mediante dispositivos inteligentes que pueden ser operados tanto local como remotamente. En este sentido, Arroyo (2020) destaca que la domótica aplicada favorece la eficiencia energética, ya que sus principales beneficios se enfocan en mejorar la accesibilidad, comodidad y seguridad. Por su parte, Pinzón (2021) subraya que la evolución de la domótica responde a una búsqueda constante de confort. En consecuencia, se puede sostener que la domótica aporta de manera notable al bienestar y la seguridad de las personas, al tiempo que garantiza confort tanto dentro como fuera del hogar, al permitir la supervisión en tiempo real de los sistemas interconectados y comunicados a través de internet. Esto es posible gracias a la infraestructura variada que proporciona el IoT. Además, este desarrollo tecnológico, mediante la automatización, posibilita una respuesta automática ante determinadas condiciones. Por ejemplo, un sistema domótico puede ajustar de forma automática la temperatura según la ocupación detectada o encender las luces al anochecer mediante dispositivos interconectados en red (Minerva et al., 2015).

En este marco, es importante destacar también el rol que desempeña la automatización dentro de la estructura de la domótica y, por ende, del IoT. Según Kumar y Singh (2021), la automatización implica la utilización de sistemas controlados por computadora para llevar a cabo tareas que

anteriormente requerían intervención humana, lo que incrementa la eficiencia y reduce los costos operativos. Esta definición coincide con la propuesta de International Business Machines (IBM), que considera la automatización como un proceso que demanda poca intervención por parte del ser humano. Por otro lado, Brahimi y Khemiri (2018) enfatizan que la automatización es esencial para ejecutar tareas repetitivas y complejas de manera eficiente, lo cual se complementa con lo expuesto por Zhang y Wang (2019), quienes subrayan que la automatización incrementa tanto la eficiencia; así como, el nivel de calidad en los procesos. Otro aspecto relevante dentro de los sistemas basados en IoT y domótica es la comunicación entre los elementos, lo cual implica estructurar una red que facilite el flujo de información y permita definir el protocolo adecuado para la transmisión de datos. Uno de los protocolos más utilizados en estas aplicaciones es el Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), caracterizado por su ligereza y capacidad para operar en redes con recursos limitados (Bayılmış et al., 2022). De acuerdo con Chafla y Álava (2024), la integración del protocolo MQTT en los sistemas de detección de gas permite una comunicación efectiva entre los sensores y las aplicaciones, asegurando una transmisión de datos eficiente. Su aplicación principal se sitúa en el ámbito Machine to Machine (M2M), con una arquitectura de cliente (publicador o suscriptor) y servidor (broker), y se ejecuta sobre el protocolo Transmission Control Protocol (TCP) / Internet Protocol (IP), utilizando una topología de tipo PUSH/SUBSCRIBE (González Domínguez, 2023). Yahaya et al. (2020) destacan, por otro lado, el uso de sensores como los MQ-5, que, junto con controladores como NodeMCU y ESP32, han sido fundamentales en la incorporación de sistemas IoT para la detección de gas. Estos dispositivos permiten la transmisión de información mediante redes WiFi para alertar eficazmente a los usuarios a través de dispositivos móviles. En relación con los sensores de la serie MQ, Shelke et al. (2020) afirman que tanto los sensores de detección; así como, los de flama proporcionan una alta precisión y permiten detectar en tiempo real, lo que los hace componentes clave en aplicaciones enfocadas en la seguridad doméstica. De igual forma, el uso de herramientas como Node-RED para programar la conexión entre dispositivos de hardware, APIs y servicios en línea, junto con Firebase, que se utiliza como plataforma en la nube para crear aplicaciones web y móviles, ha simplificado la creación de interfaces para la gestión de sistemas IoT. Según Yahaya et al. (2020), estos tableros de control no solo mejoran la interacción del usuario con el sistema; sino que, también optimizan la capacidad de respuesta ante alertas en tiempo real. En cuanto a los sistemas de detección de gas, Trisnawan et al. (2019) señalan que, mediante la implementación y configuración de sensores de la serie MQ2, se espera que los resultados de precisión alcancen el 80% considerando de 0-10 cm de distancia desde el sensor de gas hasta el punto de fuga; por tanto, el uso de estos sensores en el entorno doméstico puede contribuir de

manera positiva en la detección y reducción frecuencia de accidentes relacionados con fugas de gas. Además, existen propuestas complementarias para sistemas de monitoreo, como la de Hernández y Quishpe et al. (2023), las cuales integran el envío de notificaciones a través de mensajes de texto dentro de su propuesta. Asimismo, la revisión de documental referente al IoT ha evidenciado la incorporación de desarrollos adicionales en sistemas similares. Entre estos sobresalen las investigaciones recientes de Barkani et al. (2024), quienes analizaron métodos de aprendizaje automático para la detección temprana de fugas de gas, con una precisión de prueba del 91,73 % con altas tasas de recuperación, lo que garantiza un mínimo de falsas alarmas y una detección fiable. De forma adicional, Salhi et al. (2019) emplearon métodos de minería de datos para detectar variaciones anómalas en la calidad del aire, lo que permitió una identificación temprana de posibles riesgos de incidentes. Mientras que, Jahan et al. (2019) crearon un prototipo de estufa inteligente que combina detección de fugas con sistemas de alerta, mejorando la seguridad y la eficiencia energética, al convertir el calor producido por la hornilla en energía reutilizable que se almacena y alimenta al propio sistema.

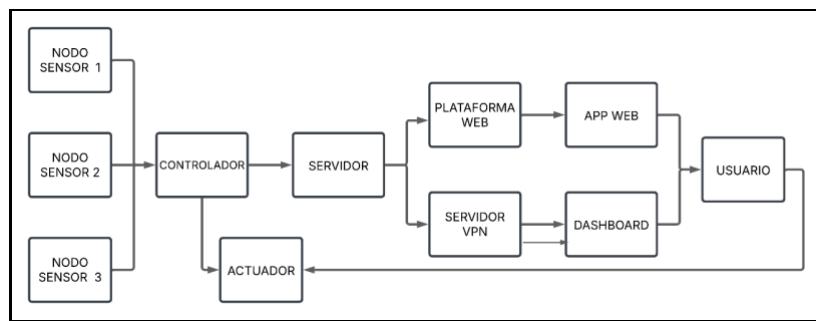
III. METODOLOGÍA Y CÁLCULOS

Este proyecto se desarrolló bajo una metodología de investigación tecnológica aplicada, orientada a la mitigación de riesgos por fugas de gas en entornos domésticos. Este enfoque permitió el diseño y desarrollo de un sistema que combina soluciones adecuadas y económicas para el monitoreo y control de fugas en cocinas domésticas o incidentes ocasionados por personas que olvidan las hornillas encendidas cuando salen de casa. El sistema se compone de sensores MQ-5 por la efectividad y eficiencia demostrada en sistemas de detección de gas licuado de petróleo (GLP) (Okokpujie, I. et al, 2024). También, se incluyen sensores KY-026 para detectar presencia de llama en las hornillas considerando sus puntos fuertes como capacidad de regulación e indicador led de funcionamiento, además de su capacidad para conectarse tanto a pines digitales como analógicos (Tipantiza Pacheco, 2022). Estos son gestionados por un ESP32 DevKit GO32, el cual ofrece conectividad WiFi y dispone de 38 pines que permiten integrar diversos componentes. El controlador a su vez envía la información a la Raspberry Pi 3b+ por medio del protocolo MQTT, de tal forma que se la pueda reflejar en un dashboard local implementado en Node-Red, junto con una base de datos local que mantenga los datos importantes almacenados. Adicionalmente, Node-Red permite la comunicación con Firebase para transmitir los datos en tiempo real hacia la App móvil de Mit AppInventory2, o como alternativa se puede acceder al dashboard, mediante ngrok el cual funciona como un proxy inverso (servidor que se sitúa delante de los servidores web y reenvía las solicitudes del cliente) distribuido de manera global

que protege, acelera y asegura aplicaciones o servicios y sirve como una puerta de enlace para la visualización del dashboard. Por último, en caso de que se emita una alerta, la programación del controlador permitirá activar de forma automática los actuadores (servomotores MG966R), los cuales proporcionan la fuerza requerida para cerrar las hornillas (véase figura 1).

Figura 1

Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema



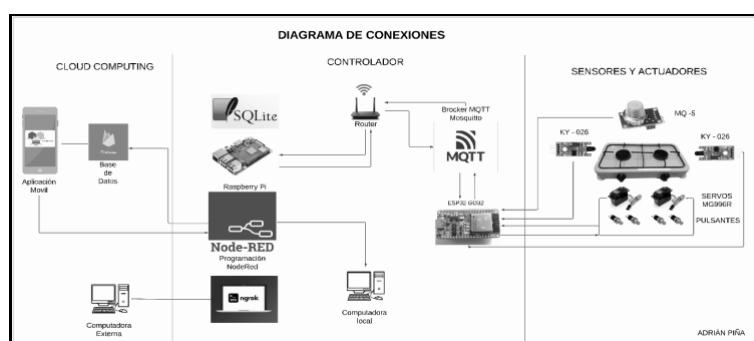
Nota. La imagen muestra el flujo general del proceso del proyecto. Fuente el autor, año 2024.

En cuanto al proceso realizado, empleando el software Arduino IDE, se realizó la calibración del sensor MQ-5; para ello, se implementó el código que permitió recolectar los datos del sensor de gas, para -con base en estos- calcular el promedio de las lecturas realizadas por períodos de tiempo hasta encontrar valores que se muestran estables; estas mediciones se realizaron a diferentes intervalos de tiempo en un ambiente libre de gas. El resultado obtenido se empleó como base para definir el umbral de detección de fuga de GLP; es decir que, cuando se excede el umbral, de manera automática se envía una alerta al dashboard y a la aplicación; y, se activa el cierre automático de las hornillas de la cocineta. Asimismo, se configuró el sensor KY-026, a fin de que permita reaccionar a la presencia de la llama en la hornilla, permitiendo que se envíe una notificación tanto al dashboard como a la aplicación móvil. En este sensor se establecieron dos estados, el Apagado = 0, cuando no se detecta llama en la hornilla; y, el Encendido = 1, cuando existe presencia de ella. Adicionalmente, se realizó la calibración por medio del potenciómetro integrado en el sensor, de tal manera que permite controlar la distancia de detección de manera efectiva. En cuanto a la parte física, se procedió con la modificación de la cocineta, considerando las seguridades necesarias para evitar fugas imprevistas en la tubería de la cocineta y el espacio requerido para los actuadores. Por lo tanto, se reemplazó el tubo de circulación del gas para proporcionar el espacio necesario para el accionamiento de los servomotores. Para transmitir el movimiento de los servos hacia las válvulas de las hornillas, se fabricaron dos pequeños acoplos,

asegurando el ajuste necesario para evitar que los servomotores se vean forzados, descentrados o se pierda la fuerza necesaria para cumplir su objetivo. Seguidamente, se configuró una red local tomando en consideración las IP's fijas en los dispositivos ESP DevKit Go32, la Raspberry y la PC de pruebas; para ello, se empleó un router como extensor de señal, la topología empleada fue de “árbol”, con un rango de IP's, clase C y su máscara de red correspondiente, facilitando la comunicación y el funcionamiento del protocolo MQTT; así como, el flujo de información entre los elementos del sistema (Ver figura 2.). Mientras que, el Broker MQTT y la base de datos fueron instalados en la RaspberryPi 3b+, como servidor central y distribuyendo la información hacia Firebase Real Time Database. Por último, se desarrolló la aplicación móvil en MitAppInventory 2, a fin de que permitiese controlar de manera remota el accionar del cierre de las hornillas además de recibir las notificaciones del estado de la llama; así como, también los valores de las lecturas de los sensores MQ-5 en tiempo real. El acceso a esta aplicación mantiene la seguridad para su uso mediante el Ingreso/Registro por correo electrónico, de tal forma que, son usuarios registrados quienes la pueden manipular.

Figura 2

Diagrama de conexiones del proyecto



Nota. Se muestra el flujo de datos y las interconexiones entre los diferentes componentes. Fuente el autor, año 2024.

Para la implementación del sistema, se tomó en consideración aspectos como la calibración de sensor MQ-5, empleando la siguiente formula:

$$Suma_{Total} = \sum_{i=0}^{\text{número de lecturas}-1} \text{lecturas}[i] \quad (1)$$

$$Promedio_{lecturas} = \frac{Suma_{Total}}{\text{Número de lecturas}} \quad (2)$$

Al aplicar las fórmulas, empleando código en Arduino IDE, se obtuvieron lecturas promedio de 622 partículas por millón (ppm) en condiciones libres de GLP, volviéndose un factor de corrección. Por otra parte, el rango inferior de detección de la hoja de datos del sensor MQ-5 establecido en 300 ppm, sirvió límite para notificación de fuga de gas y cierre automático de las hornillas. Por lo tanto, la suma de los dos valores dio como resultado un umbral de 922 ppm.

En cuanto al cálculo del torque de los servomotores:

El torque (T) se calcula como:

$$T = F \times r \quad (3)$$

Donde:

F = Fuerza aplicada (en Newtons).

r = Distancia del brazo del servo al punto de aplicación de la fuerza (en metros).

$$T = 5N \times 0.03 = 0.15 \text{ Nm}$$

Puesto que el servo MG996R tiene un torque nominal de 0.92Nm, se constata que es adecuado para esta aplicación.

Potencia Total del Sistema

$$P = V * I \quad (4)$$

$$P_{Total} = P_1 + P_2 + P_n \quad (5)$$

Sensor MQ-5:

$$P = V * I = 5V * 0.15A = 0.75W \quad (6)$$

Sensor KY-026:

$$P = V * I = 5V * 0.02A = 0.1W \quad (7)$$

ESP32:

$$P = V * I = 3.3 V * 0.1A = 0.33W \quad (8)$$

Servomotor MG996R (considerado bajo carga completa):

$$P = V * I = 6V * 1.2A = 7.2W \quad (9)$$

Por lo tanto, la Potencia total, incluidos los dos servos sería:

$$P_{Total} = 0.75W + 0.33W + (7.2W * 2) + (0.1W * 2) = 15.50W \quad (10)$$

Para el ancho de banda necesario se consideran valores promedio de un string, de int o float en 8 bytes; y que, la cabecera de un mensaje de MQTT puede tener de 2 a 5 bytes; entonces se estima:

Para el sensor MQ-5:

Nombre del tópico = 10 bytes

Valor = 8 bytes

Sobrecarga del protocolo¹ = 2 bytes

Tenemos:

$$10\text{bytes} + 8\text{bytes} + 2\text{bytes} = 20\text{bytes} \quad (11)$$

Para los sensores KY-026:

Nombre del tópico = 12 bytes

Valor = 8 bytes

Sobrecarga del protocolo = 2 bytes

Tenemos:

$$12\text{bytes} + 8\text{bytes} + 2\text{bytes} = 22\text{bytes} \quad (12)$$

Para los servos MG996R:

¹ Entiéndase como la variación en el nivel de Calidad de servicio (QoS), configuración de conexión persistente o múltiples mensajes simultáneos.

Nombre del tópico = 12 bytes

Valor = 3 bytes

Sobrecarga del protocolo = 2 bytes

Tenemos:

$$12\text{bytes} + 3\text{bytes} + 2\text{bytes} = 17\text{bytes} \quad (13)$$

En total:

$$20\text{bytes} + (22\text{bytes} * 2) + (17\text{bytes} * 2) = 98\text{bytes} \quad (14)$$

La frecuencia de transmisión por cada segundo implica un ciclo; es decir, 1Hz. Entonces, el ancho de banda por segundo será:

$$Total_{bytes} * \frac{8bits}{byte} * f_{Transmisión} \quad (15)$$

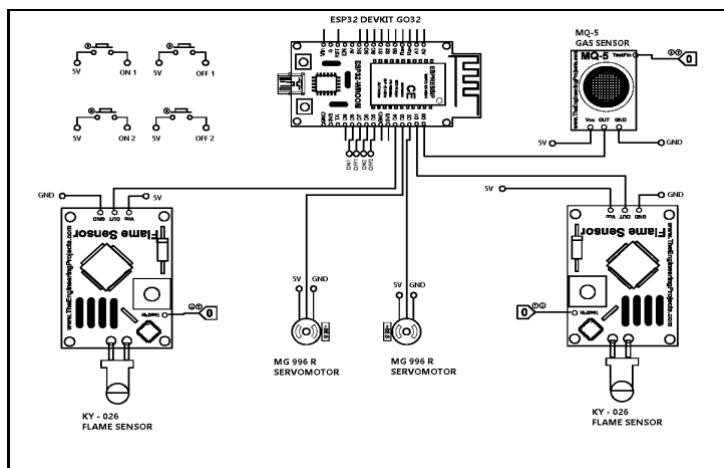
$$98\text{ bytes} * \frac{8bits}{byte} * 1Hz = 784\text{ bits/s} \quad (16)$$

Esto permite manejar múltiples sensores y actuadores dentro de una red local estándar, puesto que en redes locales con MQTT y WiFi, se espera una latencia típica inferior a 100 ms. Sin embargo, esto implica una dependencia de la red WiFi, cuya aplicabilidad se ve limitada en áreas de poca cobertura o entornos rurales; es por ello que, se puede considerar alternativas como el uso de redes LoRaWAN por su bajo consumo energético y gran alcance (hasta 15km en áreas rurales), aunque su latencia es superior a la de WiFi. Así también, las redes Mesh son otra opción a considerar, puesto que permiten alta fiabilidad, debido a la redundancia y resiliencia que ofrece la composición de varios nodos y su acceso central, que pueden actuar en bandas 2.4GHz y 5GHz, con tecnologías de WiFi 5 y WiFi6. Estas dos opciones amplían la aplicabilidad en distintos contextos geográficos y socioeconómicos. Con base en la literatura para concentraciones habituales de GLP y metano, se estima la distancia ideal entre 0.75 y 1 m, de la cocineta para el MQ-5; y, el rango de detección de 20 a 30 cm, para el KY-026, considerando que es necesario situarse alejados de fuentes de calor intenso y corrientes de aire para

prevenir errores en las lecturas del sensor de gas. En cuanto a la capacidad del ESP32 DevKit Go32, éste puede manejar múltiples dispositivos (sensores, actuadores) en función del número de pines GPIO disponibles y del método de conectividad; por tanto, brinda una mejor escalabilidad y su memoria permite manejar conexiones MQTT simultáneas, pudiendo soportar las conexiones requeridas por el sistema (Ver figura 3). Especificaciones técnicas ESP32 DevKit Go32: Módulo ESP32-WROOM-32, 38 pines, Conector USB tipo C., Dispone de un LED en GPIO2 para pruebas, Corriente en modo sleep inferior a 5 uA., Frecuencia de reloj de 80 MHz a 240 MHz., Conectividad WiFi: 802.11 b/g/n., Conectividad Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE., Interfaz SD, Ethernet, PWM, UART, SPI, I2S e I2C., Utiliza el conversor USB-Serial CH340., Modos de operación: STA / AP / STA+AP., Compatible con Arduino IDE, Micro Python, Visual Studio Code., Dimensiones aproximadas: 55x27 mm.

Figura 3

Diagrama de conexiones de los elementos electrónicos.



Nota. La imagen representa la conexión de los sensores MQ-5 y KY-026 a la placa de desarrollo ESP32 DevKit Go32; así como, los servomotores MG996R y sus pulsantes. (Proteus Software) Fuente: el Autor 2024.

La configuración del sistema propuesto demuestra que, sus costos son asequibles y se los detalla en la Tabla 1. Cálculo de Costos.

Tabla 1.*Cálculo de costos de ejecución del proyecto*

Recurso	Cantidad	Precio por unidad	Precio Total
Raspberry Pi 3 Kit Pro	1	\$ 100,00	\$ 100
ESP Dev Kit Go32	1	\$ 11,00	\$ 11
MQ-5	2	\$ 6,75	\$ 14
KY-026	2	\$ 3,00	\$ 6
Servomotor MG996R	2	\$ 13,00	\$ 26
Piloto de encendido	1	\$ 17,00	\$ 17
Tubo de hierro (30 cm)	1	\$ 5,00	\$ 5
Válvulas de gas	2	\$ 5,00	\$ 10
Pulsador	1	\$ 0,50	\$ 1
Cable	4	\$ 1,25	\$ 5
Router D-Link N300	1	\$ 19,00	\$ 19
Cocineta	1	\$ 10,00	\$ 10
Soldadura	1	\$ 10,00	\$ 10
Cemento epóxico	2	\$ 3,00	\$ 6
Soportes	2	\$ 3,00	\$ 6
Varios	1	\$ 10,00	\$ 10
Implementación (120 horas)	80	\$ 2,50	\$ 200
Total	-	-	\$ 453

Nota. Fuente: el autor. 2025

IV. RESULTADOS

Las calibraciones de los sensores MQ-5 se ajustaron en función de los 100 valores tomados del monitor serial, obteniendo una sensibilidad ideal entre 900 y 950 ppm; bajo esos parámetros de las 33 lecturas realizadas, 32 dieron valores positivos demostrando una eficacia del 97%, en la identificación de GLP, logrando el resultado deseado sobre la detección de fugas de GLP en las hornillas, con un costo del proyecto de \$453, en relación a Guamán et al. (2020) que realizaron un diseño de un sistema de control para la detección y prevención de fugas de gas (G.L.P), en el cantón La Maná, con un presupuesto de \$349,60, que incluye notificación mediante llamadas, mensajes de texto y un panel de visualización directa de valores. Así también, Vilañez et al. (2019), en su implementación de un prototipo de sistema de seguridad doméstico basado en WPAN para una red IoT, propusieron un costo del prototipo de \$643,25, en el cual la detección de gases es solo una parte del enfoque del proyecto; sin embargo, utiliza un aparataje similar al de los sistemas anteriormente mencionados.

Existen también prototipos enfocados a la detección de gas natural, como lo indica Coqueco (2023), con un costo aproximado de proyecto de \$821,21. Todos estos proyectos han reafirmado la efectividad de este tipo de sistemas por valores superiores al 90 %, llegando incluso a considerarse una efectividad del 100 %, como lo señala Arias (2023) en su implementación Sistema de monitoreo y alerta de fuga de gas licuado de petróleo dentro de un domicilio para evitar accidentes debido a su concentración.

El sensor KY-026, de las 25 pruebas realizadas, 24 fueron correctas, mostrando una eficacia de del 96% en la identificación de hornillas encendidas a una distancia de hasta 20 cm. De tal modo que,

$$IC = p \pm Z * \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (17)$$

Donde:

- P = proporción de éxito (0.96)
- Z = es el valor Z para un nivel de confianza (1.96 para el 95%)
- n = número de repeticiones (25)

$$IC = 0.96 \pm 1.96 * \sqrt{\frac{0.96(1-0.96)}{25}} \quad (18)$$

$$IC = 0.96 \pm 0.0768 \quad (19)$$

Obteniendo el intervalo de Confianza del 95%, entre [0.8832, 1.0368] o [88.32%, 100%].

En cuanto al tiempo de respuesta, el sistema mostró una gran consistencia en las 25 repeticiones realizadas. La media del tiempo de reacción fue de 2 segundos aproximadamente, con una variación en el rango de 1.8 a 2.2 segundos por prueba.

El cálculo, según la **fórmula 17** demuestra que, con un 95% de confianza, el tiempo de respuesta promedio real del sensor se encuentra en el rango de 1.95 a 2.05 segundos.

Figura 4

Tiempo de respuesta del sistema.



Nota. La imagen muestra las mediciones del tiempo entre la detención y el cierre de la hornilla. Fuente el autor, año 2024.

Este resultado valida las afirmaciones originales y proporciona un respaldo cuantitativo a la alta precisión y consistencia del sensor. De esta manera, se redujeron las alarmas falsas desde que se dio la detección del gas hasta que se cerraron las válvulas; además, la modificación del conducto de gas de la cocineta resultó correcta ajustándose al giro de los servomotores; del mismo modo, se calibró la graduación del giro entre 0° y 154° , para la primera hornilla; y, de 0° a 135° , para la segunda; en cuanto al flujo en Node-RED, se cumplió con el objetivo de sincronizar información, monitorear y permitir el cierre de las hornillas; también transmitió en tiempo real entre sensores, el dashboard y Firebase. De igual forma, permitió almacenar los eventos más importantes en la base de datos local. Por otra parte, la aplicación móvil respondió según lo esperado permitiendo el cierre de las hornillas, el monitoreo y recepción de alertas. De esta manera, se confirmó la fiabilidad de las comunicaciones mediante el protocolo MQTT, pues se logró una transmisión de datos aproximada al 100% de efectividad, en una red local estable con una latencia promedio de 64ms; esto aseguró respuestas rápidas en la detección de gas y cierre de válvulas, gracias a la conexión de fibra óptica de 250 megas.

V. CONCLUSIONES

La implementación del sistema resultó innovadora y opción de bajo costo y eficaz considerando un ambiente estable, lo que puede generar una la reducción de los riesgos asociados a las fugas de GLP en cocinas, otorgando la capacidad de reaccionar de forma inmediata y permitiendo operarlo de manera remota, lo que incrementa de manera significativa la seguridad en ambientes residenciales y su posible adaptación en cualquier entorno doméstico. Sin embargo, al haberse probado en un entorno estable, los resultados obtenidos podrían no reflejar completamente las condiciones reales en diversos contextos

domésticos. Asimismo, las variaciones en el diseño de las cocinas, los materiales utilizados en la construcción y los sistemas de ventilación pueden influir en la exactitud de los sensores y en el desempeño del sistema. Por ello, se recomienda para estudios futuros el efectuar ensayos en un rango más diverso de entornos domésticos para lograr una validación más robusta del sistema e inclusive considerar otros tipos de sensores como los de humedad o detección de humo y, además, implementar algoritmos de corrección que permitan anticipar posibles fugas de gas antes de que ocurran. Por otra parte, a pesar de que el monitoreo y el control a distancia contribuyen significativamente a la seguridad en el hogar, la necesidad de una conexión WiFi estable continúa siendo un factor crítico, lo que podría convertirse en una limitación en áreas con acceso restringido a una red. Para mitigar este inconveniente, se podría integrar en futuras investigaciones tecnologías de comunicación alternativas como LoRaWAN o redes mesh, que aseguren redundancia y mayor tolerancia a fallos. Esto ampliaría la aplicabilidad del sistema a contextos rurales y socioeconómicamente diversos brindando una conexión más segura en zonas con baja cobertura e integrar fuentes de energía renovable para alimentar el sistema, favoreciendo su sostenibilidad. De la misma manera, es importante considerar el correcto aislamiento en las instalaciones eléctricas - electrónicas en la cocina, puesto que pueden generar que se detengan o que haya bloqueos de los elementos del sistema; esto incluye la presencia de otros dispositivos electrónicos en la cocina, como microondas, licuadoras o extractores de aire que podría causar interferencias electromagnéticas que afecten la comunicación entre los sensores y el controlador, lo cual podría resultar en lecturas incorrectas o fallos en la automatización del cierre de las hornillas; por lo tanto, es necesario en investigaciones futuras trabajar en cómo aislar este tipo de interferencias a fin de evitar el mal funcionamiento del sistema.

Finalmente, si bien es cierto el sistema de detección de fugas de gas GLP mostró su validez y eficiencia inclusive en la respuesta automática, aspectos como la durabilidad y el mantenimiento de los sensores y actuadores podrían influir significativamente en la fiabilidad del sistema a lo largo del tiempo, razón por la cual futuras investigaciones podrían orientarse hacia estudios temporales que permitan medir el desgaste de los dispositivos y la periodicidad requerida para su mantenimiento y calibración, puesto que este enfoque no fue considerado en el presente proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIGLP. (2020, noviembre). Benchmark del mercado de GLP envasado en América Latina. Recuperado de https://aiglp.org/src/uploads/2020/11/aiglp_espanhol_site.pdf

- Ashton, K. (2009, junio 22). That ‘internet of things’ thing. *RFID Journal*. <https://www.rfidjournal.com/expert-views/that-internet-of-things-thing/73881/>
- Arias Espinel, E. D. (2023). *Sistema de monitoreo y alerta de fuga de gas licuado de petróleo dentro de un domicilio para evitar accidentes debido a su concentración* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14773>
- Arroyo, R., & Angulo, J. (2022). La domótica como aplicación de eficiencia energética en Ecuador. *GICOS*, 7(4), 170–186. <https://doi.org/10.53766/GICOS/2022.07.04.11>
- El Barkani, M., Benamar, N., Talei, H., & Bagaa, M. (2024). Gas leakage detection using tiny machine learning. *Electronics*, 13(23), 4768. <https://doi.org/10.3390/electronics13234768>
- Bayılmış, C., Ebleme, M. A., Çavuşoğlu, Ü., Küçük, K., & Sevin, A. (2022). A survey on communication protocols and performance evaluations for Internet of Things. *Digital Communications and Networks*, 8(6), 1094–1104. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2022.03.013>
- Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cuenca. (2024). Informe rendición de cuentas 2023. Recuperado el 9 de diciembre de 2024, de <https://bomberos.gob.ec/rendicion/2023/FASE4/INFORMERC2023FINAL.pdf>
- Bomberos explican los peligros a los que se expone la familia al tener un GLP en su hogar – Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (s.f.). Gob.ec. Recuperado el 9 de diciembre de 2024, de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/bomberos-explican-los-peligros-a-los-que-se-expone-la-familia-al-tener-un-glp-en-su-hogar/>
- Buitrón Ruiz, D. F. (2022). Arquitecturas y modelos de referencia para sistemas IoT: Estado del arte de las arquitecturas para sistemas IoT. [Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio institucional de la EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23075>
- Chafla, W. A., & Álava, N. S. (2024). Automatización de un horno industrial a gas con PLC y su monitoreo a distancia. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado el 9 de diciembre de 2024, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27761>
- Coqueco Medina, Y. S. (2023). *Diseño e implementación de un prototipo de detección de fuga de gas natural, de uso doméstico* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/58016>
- Salhi, L., Silverston, T., Yamazaki, T., & Miyoshi, T. (2019). Early detection system for gas leakage and fire in smart home using machine learning. *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCE.2019.00006>

- García Bernal, N., & Argüello Verbanaz, S. (2021). Mercado del gas en América Latina. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio%2F10221%2F32763%2F1%2FBCN__Mercado_del_gas_en_America_Latina.pdf
- García, J., & Romero, H. (2019). Análisis de la distribución de gas licuado de petróleo (GLP) en áreas rurales. Revista de Energía y Medio Ambiente, 25(2), 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.renma.2019.04.007>
- González Domínguez, J. C. (2023). Dispositivo IoT a través del protocolo MQTT [Trabajo de fin de grado, Universidad de La Laguna]. Repositorio institucional de la Universidad de La Laguna. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/33333>
- Guaman Bajaña Denis Miguel, Toaiza Vega Italo Moises, (2020); Diseño de un sistema de control en la detección y prevención de fuga de gas (G.L.P) en el Cantón La Maná. UTC. La Maná. 107 p.
- Hernández, K., & Quishpe, L. (2023). Sistema de seguridad autónomo para la detección de fugas de gas GLP en un área residencial. Repositorio institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24503>
- Hernández, A., & Pérez, F. (2021). Evaluación de sistemas de distribución de gas en zonas urbanas y rurales: Comparativa de costos y eficiencia. Ingeniería de Energía, 34(4), 567–578. <https://doi.org/10.1016/j.ingen.2021.05.003B>
- I. K. N. Trisnawan, A. N. Jati, N. Istiqomah and I. Wasisto, "Detection of Gas Leaks Using The MQ-2 Gas Sensor on the Autonomous Mobile Sensor," 2019 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA), Tangerang, Indonesia, 2019, pp. 177-180, doi: 10.1109/IC3INA48034.2019.8949597. keywords: {Gas detectors;Simultaneous localization and mapping;Laser radar;Sensitivity;C languages;Mobile sensor;gas leak;MQ-2},
- Jahan, S., Talukdar, S., Islam, M. M., Azmir, M. M., & Saleque, A. M. (2019). Development of smart cooking stove: Harvesting energy from the heat, gas leakage detection and IoT based notification system. International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques. <https://doi.org/10.1109/ICRESE.2019.00028>
- Jin, R., Wu, P., Ho, J. K., Wang, X., & Han, C. (2018). Five-year epidemiology of liquefied petroleum gas-related burns. Burns, 44(1), 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2017.05.011>
- Millan, C. (2016). Aprenda rápidamente a programar. Vol. 1, pp. 3–4.

- Minerva, R., Biru, A., & Rotondi, D. (2015). Towards a definition of the Internet of Things (IoT). IEEE IoT Initiative. [https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet::contentReference\[oaicite:17\]{index=17}](https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet::contentReference[oaicite:17]{index=17})
- Okokpuije, I., Awwunu, O., Akande, S., Dada, O., Musa, A., & Agbemuko, D. (2024). Development and evaluation of a MQ-5 sensor-based condition monitoring system for in-situ pipeline leak detection. *Instrumentation Mesure Métrologie*, 23(1), 1–11. <https://doi.org/10.18280/i2m.230101>
- Pinzón Castañeda, S. (2021). Domótica: genealogía del concepto e integración con ambientes naturales. *#ashtag*, (8), 43–54. <https://doi.org/10.52143/2346139X.n8.2016>
- Silva, A., Contreras, R., & Barrandeguy, M. (2022). Riesgo por fugas accidentales de gas licuado de petróleo hacia trabajadores y comunidad en las ciudades de Nacimiento, Cabrero, La Laja y Mulchén (Chile). *Recuperado de* <https://revistas.ucsc.cl/index.php/oyp/article/download/1757/1163/4298>
- Tipantiza Pacheco, F. J. (2022). Implementación de un prototipo de sistema de alerta por detección de llama [Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23075>
- Vilañez Uvidia, Daniel Alexander. (2019). Implementación de un prototipo de sistema de seguridad doméstico basado en WPAN para una red IoT. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
- Yahaya, S. Z., Mohd Zailani, M. N., Che Soh, Z. H., & Ahmad, K. A. (2020, octubre 13). IoT based system for monitoring and control of gas leaking. IEEE Conference Publication. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9398384>
- Shelke, D., Khule, H., Jadhav, P., Aher, Y., Gondkar, S., & Pardeshi, D. (2023). Smart MQ6 gas detector based on IoT. En 2023 7th International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC58438.2023.10290324>
- Zalazar, M. (2023, noviembre 22). Censo 2022: cuántos argentinos tienen acceso a gas natural, cloacas y vivienda propia. Infobae. <https://www.infobae.com/economia/2023/11/22/censo-2022-cuantos-argentinos-tienen-acceso-a-gas-natural-cloacas-y-vivienda-propia/>