

Control autónomo de ventanas en ambientes con riesgo de contaminación química y atmosférica

Autonomous window control in environments at risk of chemical and atmospheric pollution

Emanuel Antonio Juárez¹, Johnatan Ahisamac Salazar Perez^{1*},
Adán Waldemar Echeverría-García¹ y Joel Alfonso Rojas Huchim¹

¹Universidad Tecnológica de Matamoros, carretera a Reynosa Km. 8.5, Col. Guadalupe,
Ejido 87569 Heroica Matamoros, Tamaulipas, México.

*Corresponding author:

johnatan.salazar@utmatamoros.edu.mx

Resumen. La acumulación de gases en espacios cerrados representa una amenaza para la seguridad y salud de las personas. Gas Licuado de Petróleo (GLP), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) pueden acumularse por ventilación insuficiente, incrementando el riesgo de accidentes graves. El objetivo de este trabajo fue diseñar e implementar un sistema de monitoreo y mitigación de riesgos en entornos residenciales mediante sensores de humedad, gas LP y CO₂, que detecten condiciones peligrosas y activen mecanismos automatizados que garanticen la seguridad del usuario. El sistema es capaz de procesar información en tiempo real, enviar alertas a dispositivos móviles y ejecutar acciones correctivas de apertura de ventanas mediante un actuador lineal y la activación de un extractor para la evacuación de gases nocivos y humedad. Con el aprendizaje automático, este sistema podría evolucionar, permitiendo predicciones de riesgo basadas en patrones de uso y condiciones ambientales.

Palabras clave: monitoreo, mitigación de riesgos, sensores, automatización.

Abstract. The accumulation of gases in enclosed spaces poses a threat to human health and safety. Liquefied petroleum gas (LPG), carbon monoxide (CO), and carbon dioxide (CO₂) can accumulate due to insufficient ventilation, increasing the risk of serious accidents. The objective of this work was to design and implement a risk monitoring and mitigation system in

residential environments using humidity, LP gas, and CO₂ sensors that detect hazardous conditions and activate automated mechanisms to ensure user safety. The system is capable of processing information in real time, sending alerts to mobile devices, and executing corrective actions by opening windows using a linear actuator and activating an extractor fan to evacuate harmful gases and moisture. With machine learning, this system could evolve, allowing risk predictions based on usage patterns and environmental conditions.

Keywords: monitoring, risk mitigation, sensors, automation.

I. INTRODUCCIÓN

La acumulación de gases en espacios cerrados representa un riesgo significativo para la seguridad y salud de los habitantes, especialmente en entornos residenciales donde el Gas Licuado de Petróleo (GLP) es ampliamente utilizado como fuente de energía. Además, la presencia de dióxido de carbono (CO₂) en concentraciones elevadas puede generar condiciones de hipoxia, afectando el bienestar de las personas. Según el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en México se reportan numerosos incidentes relacionados con fugas de gas, explosiones e intoxicaciones, muchas de ellas con consecuencias fatales. La falta de sistemas efectivos de monitoreo y

mitigación en los hogares agrava este problema, aumentando la vulnerabilidad de la población ante estos peligros. En respuesta a esta problemática, el presente proyecto propone el desarrollo de un sistema de detección y mitigación de riesgos por acumulación de gases en entornos residenciales. Este sistema integra sensores de gas LP, CO₂ y humedad para monitorear continuamente la calidad del aire y detectar condiciones peligrosas. En caso de identificar niveles críticos de estos gases, el sistema enviará una alerta al usuario a través de un dispositivo móvil y activará mecanismos automatizados para mitigar el riesgo. Estos mecanismos incluyen la apertura de una ventana mediante un actuador lineal y la activación de un extractor que facilitará la ventilación del espacio, reduciendo la concentración de gases peligrosos. El diseño del sistema considera principios de automatización, Internet de las Cosas (IoT) y control inteligente, permitiendo una respuesta rápida y eficiente ante situaciones de riesgo. Además, se busca que el sistema sea accesible y adaptable a diferentes tipos de viviendas, promoviendo su implementación a nivel doméstico.

Este documento presenta el desarrollo del proyecto, abordando los fundamentos teóricos, el diseño del sistema, la metodología de implementación y la evaluación de su desempeño en entornos controlados. Con esta propuesta, se pretende contribuir a la reducción de accidentes domésticos relacionados con la acumulación de gases, mejorando la seguridad en los hogares y promoviendo el uso de tecnologías inteligentes para la prevención de riesgos.

A. Gases peligrosos en espacios cerrados

GLP es una mezcla de hidrocarburos, predominantemente compuesta por propano (C₃H₈) y butano (C₄H₁₀), y en menor medida por propileno (C₃H₆) y butilenos (C₄H₈). Estos componentes son hidrocarburos alifáticos saturados, caracterizados por enlaces simples entre átomos de carbono, lo que les confiere una alta estabilidad química. El CO₂ es un gas inodoro e incoloro que se genera como subproducto de la respiración humana y de procesos de combustión. En espacios cerrados con ventilación insuficiente, este gas puede acumularse progresivamente, especialmente en áreas bajas debido a su mayor densidad en comparación con el aire. El CO se produce por la combustión incompleta de materiales que contienen carbono, como madera, carbón, gasolina y gas natural. En espacios cerrados con ventilación deficiente, el CO puede acumularse rápidamente hasta alcanzar niveles peligrosos.

B. Causas de la acumulación de gases en espacios cerrados

La acumulación de gases peligrosos como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y gas licuado de petróleo (GLP) en espacios cerrados responde a diversos factores interrelacionados que comprometen seriamente la seguridad y la salud de los ocupantes. Uno de los factores más determinantes es la ventilación inadecuada, común en construcciones con un diseño arquitectónico deficiente o sin previsión de aberturas suficientes para el recambio de aire. A esto se suman sistemas de ventilación mecánica obsoletos, mal calibrados o directamente inactivos. En estas condiciones, los gases tienden a acumularse, alcanzando concentraciones peligrosas. El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) ha documentado que, en zonas urbanas de alta densidad, la mala ventilación contribuye significativamente al deterioro de la calidad del aire interior.

Otra causa importante corresponde a fallas en instalaciones y equipos de combustión, especialmente en viviendas y espacios industriales donde se utilizan calentadores, estufas o sistemas de calefacción alimentados con GLP. Equipos mal mantenidos, envejecidos o instalados sin supervisión técnica adecuada son una fuente común de fugas y combustión incompleta, lo que favorece la liberación de gases tóxicos como el CO. La Comisión Nacional de Seguridad (CNS) en México ha registrado múltiples incidentes relacionados con este tipo de fallas, destacando la necesidad de inspecciones periódicas y mantenimiento preventivo.

A esto se suman las actividades y prácticas inadecuadas por parte de los usuarios. Muchas veces, la manipulación incorrecta de aparatos de combustión, el almacenamiento inadecuado de cilindros de gas y la falta de conocimiento sobre protocolos de seguridad generan condiciones peligrosas sin que los usuarios sean conscientes de ello.

La Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) ha identificado que la falta de capacitación en el manejo de combustibles y equipos de gas es un factor de riesgo recurrente, tanto en el ámbito laboral como en el doméstico. Prácticas como dejar encendidos equipos defectuosos o utilizar cocinas de gas en espacios sin ventilación representan escenarios de alto riesgo que podrían evitarse mediante medidas educativas y protocolos de prevención.

C. Influencia de temperatura y humedad relativa en la dinámica de gases peligrosos en ambientes confinados

La temperatura y la humedad relativa son factores ambientales críticos que influyen significativamente en la calidad del aire en espacios cerrados. Su interacción afecta la concentración y el comportamiento de gases como el dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de carbono (CO) y el gas licuado de petróleo (GLP), lo que puede representar riesgos para la salud y la seguridad de los ocupantes. La temperatura ambiental influye directamente en la densidad y la presión de los gases. A temperaturas más altas, las moléculas de gas se mueven más rápidamente, lo que puede aumentar la presión en espacios confinados. En el caso del CO₂ y el CO, temperaturas elevadas pueden incrementar su difusión en el ambiente, facilitando su dispersión. La humedad relativa afecta la percepción térmica y la comodidad de los ocupantes, pero también tiene implicaciones en la concentración de contaminantes gaseosos. Niveles elevados de humedad pueden favorecer la proliferación de microorganismos y la formación de compuestos orgánicos volátiles, mientras que una humedad demasiado baja puede reseca las mucosas respiratorias, haciéndolas más susceptibles a infecciones.

D. Riesgos asociados y medidas de prevención

La acumulación de CO₂ en niveles superiores a 1,000 ppm puede provocar somnolencia y disminución del rendimiento cognitivo. Concentraciones elevadas de CO son altamente tóxicas y pueden ser mortales, mientras que el GLP, al ser más pesado que el aire, tiende a acumularse en áreas bajas, representando riesgo de explosión. Para mitigar estos riesgos, es necesario implementar sistemas de ventilación que renueven el aire interior y eliminen contaminantes (Ciccotti, 2020). La Norma Oficial Mexicana NOM-016-STPS-1993 establece lineamientos para la ventilación en centros de trabajo. También se debe mantener la temperatura entre 20°C y 24°C en invierno, y entre 23°C y 26°C en verano, con una humedad relativa entre 30% y 60%, según las recomendaciones de ASHRAE. Por ello se debe utilizar sensores para medir constantemente los niveles de gases, temperatura y humedad, permitiendo una respuesta rápida ante cualquier anomalía. Y asegurar el correcto funcionamiento de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado para prevenir la acumulación de contaminantes.

II. METODOLOGÍA

El sistema de seguridad en el hogar está diseñado para detectar niveles anormales de humedad, gas LP y CO₂ en

el ambiente, generando una alerta en el dispositivo móvil del usuario y tomando medidas automáticas para mitigar el riesgo. Al detectar un peligro, el sistema abre una ventana mediante un actuador lineal y activa un extractor para eliminar los gases acumulados. La información de los sensores es enviada a una plataforma web donde el usuario puede visualizar los niveles en tiempo real y recibir notificaciones en caso de emergencia.

Se identificaron los materiales necesarios, incluyendo sensores, actuadores y componentes electrónicos adecuados. Se definió la estructura en la que se montará el sistema, considerando estabilidad y accesibilidad. Se exploraron diferentes opciones para la programación de la ESP32, optando por Thonny debido a su compatibilidad y facilidad de depuración. Además, se determinó que la comunicación entre la ESP32 y la página web se realizará mediante una base de datos en la nube, permitiendo el monitoreo remoto. La selección se basó de los materiales en criterios de calidad, compatibilidad y costo. A continuación, se deja un espacio para incluir la lista de materiales empleados en el proyecto.

Construcción de la estructura

Se diseñó y construyó una estructura de madera donde se instalaría la ventana, el actuador lineal, el extractor y los sensores. La estructura debe permitir una correcta fijación de los componentes, asegurando estabilidad y un funcionamiento eficiente. Se realizaron cortes y ensamblajes precisos para facilitar la integración del sistema electrónico. Se deja un espacio para incluir imágenes del proceso de construcción junto con sus explicaciones detalladas.

Programación de la ESP32

Se llevó a cabo en micro Python, compilador Thonny, utilizando librerías especializadas para la lectura de sensores y el control de los actuadores. Se configuraron los parámetros de resolución de los sensores para asegurar mediciones precisas. Se estableció conexión con la base de datos para el almacenamiento de la información obtenida y su posterior visualización en página web. En la Figura 1 se aprecia el inicio del código realizado en Thonny:

```

Thorny - C:\Users\Emanuel\Downloads\Ventana 3.py @ 165 : 1
File Edit View Run Tools Help
<untitled> - Ventana 3.py
1 import network
2 import urequests
3 import time
4 import machine
5 import ujson
6 import ustruct
7 import math
8 from machine import Pin, I2C, ADC
9
10 import ens160
11 import dhtx0
12
13 # WiFi y Firebase
14 SSID = "Redmi 10C"
15 PASSWORD = "Jaguales189"
16 FIREBASE_URL = "https://labview-f96cb-default-rtdb.firebaseio.com"
17 FIREBASE_SECRET = "BohTgKBel4ddJMA0e6xbbUyTePyxQ7qy8VXJhNZe"
18
19 # Pines para sensores y actuadores
20 sensor_pin = ADC(Pin(33)) # MQ2 en GPIO34
    
```

Figura 1. Código de programación. Fuente: Elaboración propia.

Armado del circuito

Se ensambló el circuito conectando los sensores de humedad, gas LP y CO2 a la ESP32. Se integraron relés para el control del actuador lineal y del extractor. Se verificó la correcta conexión de cada componente y se realizaron pruebas de continuidad para garantizar el funcionamiento del sistema. A continuación, se muestra el diagrama esquemático del sistema en la Figura 2.

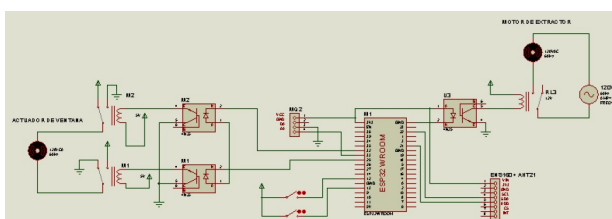


Figura 2. Diagrama esquemático del sistema. Fuente: Elaboración propia.

III. RESULTADOS

Se evaluó la precisión de los sensores, la respuesta del actuador y extractor ante condiciones de riesgo, y la correcta transmisión de datos a la página web. Se realizaron ajustes y optimizaciones para mejorar el rendimiento del sistema antes de su implementación final. El desarrollo del sistema de detección y mitigación de gases en entornos residenciales ha dado como resultado una solución efectiva para la prevención de accidentes domésticos relacionados con la acumulación de gas LP y CO2. A lo largo de las pruebas realizadas en entornos controlados, se logró validar el correcto funcionamiento del sistema en términos de precisión de detección, tiempos de respuesta y eficacia en la ventilación automática.

Desde el punto de vista técnico, el sistema demostró una alta sensibilidad en la detección de gases peligrosos.

Se realizaron pruebas con diferentes concentraciones de gas LP y CO2, utilizando un rango de calibración basado en normativas de seguridad. Los sensores seleccionados (MQ-2 para gas LP y ENS-160 + AHT2X para CO2 y humedad) mostraron tiempos de respuesta inferiores a los 10 segundos para concentraciones peligrosas, permitiendo una detección temprana.

El microcontrolador utilizado (ESP32) permitió la transmisión eficiente de datos hacia la plataforma móvil, asegurando la conectividad en tiempo real mediante protocolos de comunicación IoT. La integración con una aplicación móvil permitió que los usuarios recibieran alertas instantáneas cuando los niveles de gas excedían los umbrales de seguridad establecidos.

IV. DISCUSIÓN

El sistema de mitigación también presentó resultados satisfactorios. El actuador lineal empleado para la apertura de ventanas mostró una respuesta inmediata tras la detección de un nivel crítico de gas, con un tiempo de operación inferior a los 10 segundos. Asimismo, el extractor de aire logró reducir la concentración de gas LP, mejorando significativamente la ventilación y reduciendo el riesgo de ignición.

El proyecto ha demostrado ser una alternativa viable para mejorar la seguridad en los hogares, especialmente en aquellos donde se utilizan estufas, calentadores de gas y sistemas de combustión. La automatización de la detección y respuesta ante acumulaciones peligrosas de gases representa un avance significativo en la prevención de accidentes domésticos.

Uno de los principales logros del proyecto es su accesibilidad y escalabilidad. El sistema fue diseñado con componentes de bajo costo y fácil implementación, lo que permite su adaptación a diferentes tipos de viviendas. Además, la integración con tecnologías IoT brinda la posibilidad de futuras mejoras, como la recopilación de datos históricos para analizar tendencias y prevenir posibles fallas en instalaciones de gas.

Otro logro importante es la confiabilidad del sistema. Durante las pruebas de estrés, se verificó que el algoritmo

de detección minimiza las falsas alarmas, lo que evita activaciones innecesarias y mejora la experiencia del usuario. Asimismo, la independencia del sistema respecto a la red eléctrica (gracias a la incorporación de una batería de respaldo) garantiza su funcionamiento incluso en casos de corte de energía.

V. CONCLUSIONES

La seguridad en el hogar es una prioridad que muchas veces se pasa por alto hasta que ocurre un accidente. Las fugas de gas y la acumulación de dióxido de carbono representan un riesgo latente en muchos hogares, y las consecuencias pueden ser fatales. Este proyecto ha demostrado que la tecnología puede ser una aliada fundamental para prevenir estos peligros y brindar tranquilidad a las familias. El sistema desarrollado ofrece una solución innovadora y accesible para la detección temprana de gases peligrosos. A diferencia de otros sistemas de alarma tradicionales, este no solo alerta al usuario cuando se detecta una condición de riesgo, sino que también actúa de manera inmediata para reducir el peligro. La combinación de sensores inteligentes, una comunicación en tiempo real y mecanismos automatizados de ventilación permiten una respuesta rápida y efectiva, evitando intoxicaciones, explosiones y otros accidentes domésticos.

Uno de los principales beneficios de este proyecto es su facilidad de implementación. Los componentes utilizados son accesibles y eficientes, lo que significa que cualquier hogar puede adaptarlo sin necesidad de realizar grandes modificaciones en su infraestructura. Además, su conectividad con dispositivos móviles permite que los usuarios tengan un control total sobre la seguridad de su hogar desde cualquier lugar, lo que brinda un nivel de comodidad y confianza que otros sistemas no ofrecen. El impacto de este sistema no solo se limita a la seguridad, sino que también promueve una cultura de prevención y modernización en los hogares. La tecnología inteligente está transformando todos los aspectos de nuestra vida, y la seguridad del hogar no debe quedarse atrás. Con este sistema, se demuestra que es posible integrar soluciones innovadoras que protejan a las personas sin que estas tengan que intervenir manualmente en una situación de emergencia.

Además, este proyecto sienta las bases para futuras mejoras y aplicaciones. Con la incorporación de tecnologías como el aprendizaje automático y el análisis de datos, este sistema podría evolucionar aún más,

permitiendo predicciones de riesgo basadas en patrones de uso y condiciones ambientales. Esto abriría la puerta a una seguridad aún más avanzada, donde el hogar no solo reacciona a los peligros, sino que también los anticipa.

En definitiva, este sistema mecatrónico no solo representa un avance en la seguridad doméstica, también es una inversión en tranquilidad y bienestar. La prevención es la clave para evitar tragedias, y con esta solución, cualquier hogar puede estar protegido de manera eficiente, inteligente y accesible. Este proyecto no solo es una excelente opción, sino una necesidad en un mundo donde la seguridad debe ir de la mano con la innovación.

REFERENCIAS

Ciccotti, M. (2020). Toxic industrial chemicals and civil protection. Methods of analysis for damage estimation as a result of accidental releases and not, export profiles and stockpiles of antidotes.

García Jaimes, C., & Moreno Codina, T. (2023). Análisis para determinar el riesgo y vulnerabilidad del medio físico construido de la Región XIII, Toluca.

García, A. E. D. (2014). Guía de estudio de fundamentos de sistemas digitales (Doctoral Dissertation, Universidad Nacional de Educación a Distancia).

Gangrade, S., Vamsi, B., Prasanna, Raj, S., & Dhariwal, J. (2023, January). Empirical Studies Assessing the CO2 Levels in Indoor Spaces. In *International Conference on Research into Design* (pp. 197-206). Singapore: Springer Nature Singapore.

Hakki, S. O. Y. (2021). ESP8266 and ESP32 series of SoC microcontrollers. *Programmable Smart Microcontroller Cards*, 110.

López-Atamoros, L. G., Fernández-Villagómez, G., Cruz-Gómez, M. J., & Durán-de-Bazúa, C. (2010). Integración de una Base Nacional de Datos de Accidentes durante el Transporte de Gas LP (BNDAT@ GLP) 1998-2009: Sustento para un estudio de evaluación de riesgo. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(2), 99-112.

Morales Torres, O. D., & Muñoz León, C. H. (2005).
Diseño de un sistema automático de seguridad para evitar
fugas de gas natural en el hogar.

Yu, C., & Crump, D. (2011). Standards for evaluating
indoor air. *Indoor and Built Environment*, 20(4), 389-392.

Naranjo Rubio, C. M., & Estrada Moreno, L. F. (2022).
Medición Ocupacional del Nivel de Oxígeno en Espacios
Confinados en Lugares de Trabajo en Colombia (Doctoral
dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios).