

IMPLEMENTACIÓN DE SENsoRES DE GAS BUTANO DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO EN UN CONTEXTO ERGONÓMICO

González-Morales Christopher¹, Gallardo-Tovar Gabriela¹, Rodríguez-Bustos Norma^{2*}, Morfin-Magaña Rodrigo², Ríos-Barreto Adrián².

¹Estudiantes del TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

²Profesores del TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

*E-mail: norma.rb@irapuato.tecm.mx

Resumen – La detección oportuna de gases combustibles en los entornos laborales es un factor clave para la prevención de accidentes y la protección de la seguridad industrial. En este trabajo se presenta el diseño, implementación y evaluación de un sistema de detección de gas butano basado en tecnología Arduino, orientado a la identificación temprana de concentraciones potencialmente peligrosas en espacios de trabajo. El sistema integra un sensor MQ-2, así como alertas visuales y auditivas, considerando criterios ergonómicos y los lineamientos establecidos en la normativa mexicana vigente. Las pruebas experimentales se realizaron en distintas áreas de instalaciones académicas, utilizando el dispositivo en modo portátil para evaluar su desempeño bajo condiciones ambientales variables. Las mediciones obtenidas se compararon con los valores límite de exposición establecidos en la NOM-010-STPS-2018, registrándose concentraciones dentro de rangos seguros. Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas controladas con incrementos artificiales de gas para verificar la activación de los sistemas de alerta, observándose una respuesta adecuada ante escenarios de riesgo. Los resultados demuestran que el dispositivo desarrollado es funcional como sistema de alerta temprana y presenta un comportamiento consistente en la detección de gas butano. Asimismo, su diseño permite una fácil integración en programas de seguridad y salud ocupacional. Como trabajo futuro, se plantea su implementación en entornos industriales reales y la incorporación de capacidades de comunicación y análisis de datos para ampliar su alcance y confiabilidad.

Índice de Términos – Arduino, Detección de gas butano, Seguridad industrial, Sensor MQ-2.

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de gases inflamables en los entornos laborales representa uno de los factores de riesgo críticos dentro de la seguridad industrial. Entre ellos, el gas butano, comúnmente utilizado como combustible en procesos industriales, talleres, laboratorios y áreas de mantenimiento, destaca por su alta inflamabilidad y por la posibilidad de generar atmósferas explosivas incluso en concentraciones relativamente bajas. La exposición no controlada a este gas puede derivar en incendios, explosiones y afectaciones a la salud de los trabajadores, lo que subraya la necesidad de implementar sistemas robustos de detección y monitoreo continuo. En México, la normativa en materia de seguridad y salud en el trabajo, como la NOM-002-STPS-2010, que trata sobre las condiciones de seguridad,

prevención y protección contra incendios, y la NOM-026-STPS-2008, que establece colores y señales de seguridad, establecen la obligación de identificar, controlar y minimizar los riesgos asociados con agentes inflamables en los centros de trabajo. A nivel internacional, estándares como NFPA 55 y ISO 7240 complementan las directrices para el manejo seguro de gases combustibles y sistemas de detección. El cumplimiento de estas regulaciones exige no solo controles administrativos y de ingeniería, sino también tecnologías capaces de detectar concentraciones peligrosas antes de que escalen a condiciones críticas.

En este sentido, se han reportado en la literatura diversos trabajos relacionados con la detección oportuna de gases en ambientes de trabajo. Por ejemplo, en [1], [2] y [3] se propone la implementación de sistemas de monitoreo bajo el enfoque de industria inteligente, donde los sensores empleados se basan en tecnologías del Internet de las Cosas (IoT). De manera similar, [4] presenta un sistema de detección de butano que utiliza un sensor integrado a una plataforma Arduino para el monitoreo de concentraciones peligrosas. Asimismo, existen investigaciones orientadas al desarrollo y optimización de tecnologías de transducción para mejorar la detección de gas butano. En este ámbito, [5] propone un sensor basado en tecnología láser para configuraciones de trayectoria abierta aplicadas a ductos petroquímicos, mientras que [6] introduce un sensor C₂N diseñado para la detección oportuna del gas. Por su parte, [7] presenta un sensor de resonancia acústica como alternativa para la identificación de concentraciones de butano. Por otro lado, algunos trabajos se enfocan en el desarrollo de nuevas herramientas para el análisis y procesamiento de datos provenientes de los sensores. En [8], los autores emplean una nariz electrónica combinada con redes neuronales para la detección del gas, y [9] propone una aproximación basada en el método de Monte Carlo integrada con sensores convencionales. Finalmente, los estudios de [10] y [11] incorporan soluciones de cloud computing, smartphones y sistemas integrados para el monitoreo y análisis avanzado de información. En este contexto, los sistemas de detección de gas butano, basados en tecnologías como sensores electroquímicos, infrarrojos o semiconductores metálicos (MOS), juegan un papel esencial como primera línea de defensa. La selección adecuada del sensor, su calibración y su integración en un sistema de

monitoreo confiable son factores determinantes para garantizar la eficacia del control preventivo. Sin embargo, diversos estudios señalan que la falta de mantenimiento, la ubicación inadecuada de los detectores y las limitaciones tecnológicas pueden comprometer la detección oportuna, lo que hace necesario investigar y evaluar alternativas adecuadas para diferentes entornos de trabajo.

II. METODOLOGÍA

El presente estudio se centra en el diseño, implementación, puesta en marcha y evaluación funcional de un sensor de detección de gas butano basado en tecnología Arduino, con la finalidad de que dicho dispositivo sirva como plataforma de referencia para estudios relacionados con la seguridad industrial y la prevención de riesgos laborales. El desarrollo del sistema considera el enfoque hombre-máquina-entorno, con el propósito de registrar mediciones de concentración de gas que puedan ser analizadas y comparadas, contribuyendo a la mejora de la seguridad laboral en espacios con posible exposición a gases combustibles. La investigación se clasifica como descriptiva y aplicada, ya que busca, por un lado, implementar una solución tecnológica funcional y, por otro, describir su comportamiento bajo condiciones controladas, tomando como referencia los límites permisibles establecidos en la NOM-010-STPS-2014, relativa a agentes químicos contaminantes del ambiente laboral. El alcance del diseño experimental se limita a una fase de pruebas controladas del dispositivo, realizadas en espacios de un centro educativo de nivel superior. Estas pruebas fueron diseñadas para evaluar el desempeño del sensor en condiciones simuladas, con el fin de validar su funcionalidad antes de una posible implementación en entornos industriales reales. La población objetivo del estudio corresponde a espacios laborales donde se manipulan gases combustibles, tales como talleres, cocinas industriales, áreas de mantenimiento y zonas de producción, considerando gases como butano, propano, metano y vapores de alcohol. No obstante, para fines experimentales, las pruebas se llevaron a cabo en aulas de clase y talleres de ergonomía, donde se utilizan equipos mecánicos y bandas transportadoras, bajo condiciones controladas de seguridad. La muestra del estudio estuvo conformada por un prototipo funcional del sistema de detección de gas, capaz de identificar la presencia de diferentes tipos de gases combustibles. El prototipo fue sometido a pruebas de sensibilidad y tiempo de respuesta ante exposiciones controladas de gas butano. Las mediciones obtenidas fueron comparadas con los valores límite establecidos en la NOM-010-STPS-2014, que define las concentraciones máximas permisibles para ambientes laborales. Con base en dicha normativa, el sensor de gas MQ-2 fue calibrado y configurado para generar alertas visuales y auditivas cuando la concentración de gas detectada supera los niveles permisibles, indicando condiciones de riesgo para la seguridad de los usuarios.

A. Características del dispositivo

El sistema fue programado para emitir alertas visuales y sonoras cuando la concentración de gas supera el umbral seguro establecido en la NOM-010-STPS-2018, la cual define los valores límite de exposición a sustancias químicas contaminantes del ambiente laboral. Para asegurar la percepción efectiva de las señales, se consideraron los principios ergonómicos de alcance, visibilidad y audibilidad: el indicador visual (LED) se colocó dentro del campo de visión directa del usuario, mientras que el buzzer se posicionó en un rango auditivo claro, facilitando una respuesta rápida ante emergencias. El diseño del prototipo también contempló la seguridad eléctrica y funcional del sistema. Los componentes electrónicos, montados en una protoboard, fueron ubicados en un espacio ventilado, aislado y protegido, con el fin de evitar acumulación de gas alrededor del dispositivo y reducir riesgos por humedad o polvo. Asimismo, la integración normativa se sustenta en los lineamientos de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), particularmente en la NOM-010-STPS-2018, que promueve el monitoreo continuo de agentes químicos peligrosos. El uso de un sensor automatizado contribuye a la ergonomía ambiental y cognitiva, al disminuir la necesidad de vigilancia constante por parte del trabajador y proporcionar información inmediata, clara y fácilmente perceptible. De esta forma, el sistema fortalece la relación Hombre-Máquina-Ambiente, favoreciendo condiciones más seguras en áreas académicas y laborales donde existe riesgo por gases combustibles.

B. Hardware y Software

El hardware del dispositivo está conformado por una configuración integrada, Fig. 1, que incluye una tarjeta de desarrollo Arduino UNO, una pantalla LCD para la visualización de datos, un zumbador (buzzer) y un diodo LED para la emisión de alertas, así como un sensor MQ-2, encargado de detectar la presencia de gases combustibles, entre ellos el butano.

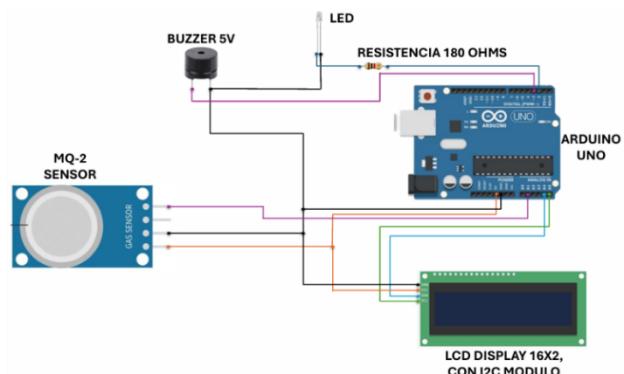


Fig. 1 Configuración del hardware para el dispositivo.

El software fue desarrollado en el entorno Arduino IDE, utilizando las librerías estándar correspondientes a cada componente. Estas librerías permiten gestionar la lectura del sensor, el control de las señales visuales y auditivas, así como la actualización de la información mostrada en la pantalla. El código implementado incluye rutinas de adquisición de datos,

comparación con los umbrales establecidos y activación automática de las alertas de seguridad. El algoritmo realizado se describe en diagrama de flujo de la Fig. 2, donde el sistema opera de manera automática y cíclica, ya que, en ausencia de indicios que superen los niveles establecidos de concentración de gas, el sistema continúa el proceso de monitoreo y evaluación de las condiciones ambientales durante toda la jornada laboral. En caso contrario, cuando se detecta una concentración que excede los valores establecidos como máximos permisibles de concentración, se activan de forma inmediata las alertas visuales y sonoras, con el fin de advertir sobre un posible riesgo.

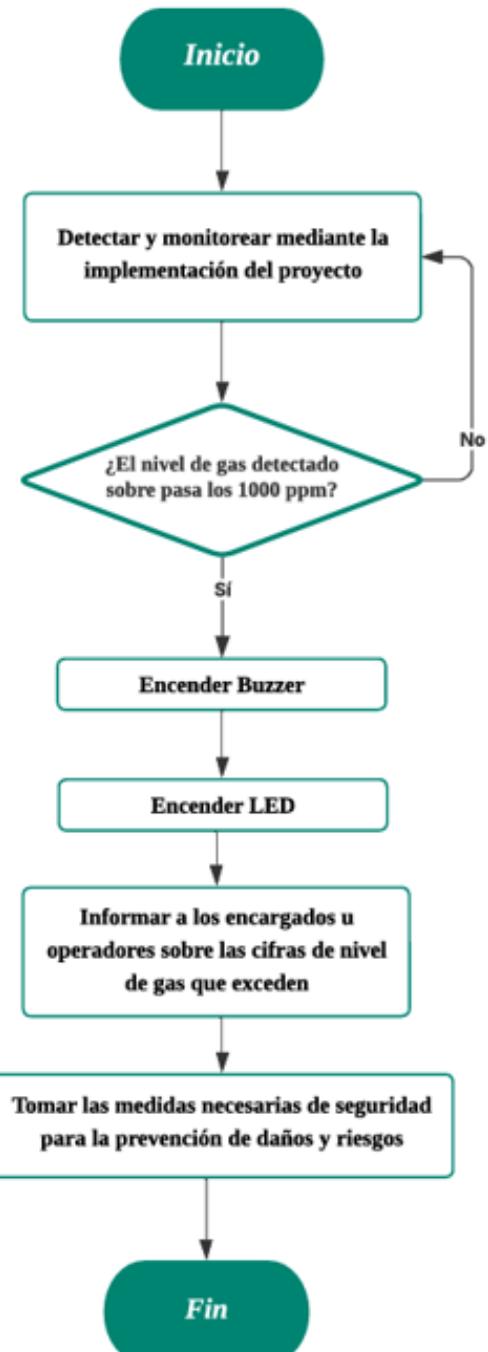


Fig. 2 Algoritmo del dispositivo para la detección oportuna de alta concentración de gases en espacios de trabajo.

La disposición física de los componentes del sistema de detección se definió considerando criterios ergonómicos establecidos en la normativa mexicana vigente en materia de seguridad y salud en el trabajo. En particular, la ubicación del display LCD y de los dispositivos de señalización se alinea con los principios de visibilidad y percepción de señales contemplados en la NOM-025-STPS-2008, relativa a las condiciones de iluminación en los centros de trabajo, asegurando que la información visual y las alertas luminosas puedan ser identificadas de manera clara y oportuna desde las estaciones de trabajo. Asimismo, la colocación de la alarma sonora (buzzer) considera los lineamientos generales de la NOM-011-STPS-2001, referente a la exposición a ruido, procurando que la señal auditiva sea claramente perceptible sin generar niveles que puedan resultar molestos o perjudiciales para los colaboradores. De esta manera, se favorece una respuesta inmediata ante condiciones de riesgo sin comprometer el confort auditivo. La organización y protección de los componentes eléctricos del sistema se diseñó conforme a los principios de prevención de riesgos establecidos en la NOM-036-1-STPS-2018, relacionados con factores ergonómicos, al reducir la probabilidad de posturas forzadas, interferencias con el área de trabajo y contactos accidentales con elementos energizados. Adicionalmente, la señalización visual del estado del sistema se apoya en los criterios de colores y advertencias definidos en la NOM-026-STPS-2008, fortaleciendo la comprensión inmediata de las condiciones de operación. En conjunto, esta alineación normativa permite que el sistema de detección de gas contribuya no solo a la seguridad industrial, sino también a la ergonomía ambiental y cognitiva, al adaptar el entorno de trabajo a las capacidades perceptivas del usuario y facilitar la interacción eficiente entre el trabajador, el dispositivo y el entorno.

III. DESARROLLO

En esta sección se describen las condiciones bajo las cuales se llevaron a cabo las pruebas del dispositivo de detección de gas. Las pruebas se realizaron siguiendo una metodología cuantitativa la cual consta de 5 etapas, las cuales son descritas en la Tabla 1, mismas que abarcan desde el diseño hasta la interpretación de resultados.

Tabla 1. Etapas del proceso metodológico con enfoque cuantitativo

Etapa	Descripción	Ejemplo aplicado al proyecto
Diseño experimental	Se definieron las variables a medir y se establecieron condiciones controladas para las pruebas.	Configuración del sensor MQ-2 con un nivel determinado de gas butano para medir el tiempo de respuesta y la sensibilidad del sistema.

Recolección de datos	Obtención de datos de concentración de gas mediante la observación y registros generados por el sistema Arduino.	Registro del concentrado de gas y el tiempo en que se activan las alertas visuales y auditivas.
Análisis de resultados	Procesamiento de datos para identificar patrones, promedios y desviaciones que permitan evaluar la eficacia del prototipo.	Cálculo de promedios de concentrado de gas y tiempo que dictaminen la confiabilidad del dispositivo.
Validación	Contraste de los resultados con normativas y literatura técnica para asegurar la pertinencia ergonómica y normativa.	Comparación de los valores obtenidos con los límites de exposición establecidos en la NOM-010-STPS-2014.
Interpretación y mejora	Revisión de los hallazgos para identificar posibles mejoras en la calibración y diseño del dispositivo.	Ajuste de sensibilidad del sensor para optimizar los datos obtenidos.

Las mediciones se realizaron en diferentes áreas de las instalaciones académicas, por lo que el sensor no fue instalado de manera fija, sino que se empleó en modo portátil para su evaluación en distintos entornos. Las pruebas se efectuaron en aulas de clase y en diversos laboratorios, incluyendo zonas con ventilación limitada, como áreas donde operan bandas transportadoras. Esta variabilidad permitió analizar el comportamiento del dispositivo en condiciones ambientales contrastantes. En la Fig. 3, se presentan imágenes representativas de los espacios evaluados durante la fase experimental.



Fig. 3 Ubicación del registro de las mediciones. a) Aulas de clase, b) interior de cabina, c) banda transportadora, d) mesa hexagonal.

En cada uno de los espacios evaluados se realizó al menos una medición de concentración de gas, la cual fue registrada y almacenada para su posterior comparación con los valores establecidos en la normativa vigente. Durante esta etapa, el dispositivo se utilizó de manera portátil, permitiendo efectuar múltiples mediciones en distintas ubicaciones dentro de cada área con el fin de obtener una evaluación representativa de las condiciones ambientales. En la Fig. 4 se muestra el dispositivo desarrollado para la adquisición de datos durante las pruebas experimentales. Cabe destacar que, aunque en esta fase el sistema fue empleado de forma portátil, en una implementación operativa se recomienda su instalación fija en el área a monitorear, siguiendo principios ergonómicos para la correcta ubicación de sensores y sistemas de alerta, con el objetivo de garantizar una detección oportuna y una adecuada percepción de las señales en condiciones de trabajo inseguras.

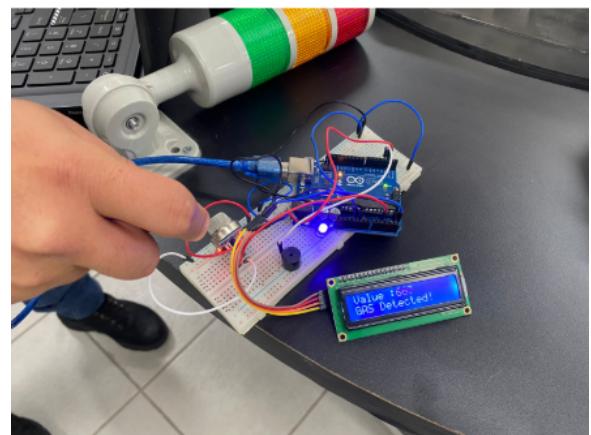


Fig. 4 Utilización del dispositivo sensor de concentración de gas

Las mediciones obtenidas en los distintos espacios evaluados permiten analizar el desempeño del dispositivo bajo condiciones reales de operación y contrastar los valores registrados con los límites permisibles establecidos en la NOM-010-STPS-2018. A partir de estos datos, es posible evaluar la

capacidad del sistema para identificar concentraciones potencialmente peligrosas de gas butano y verificar la activación adecuada de las alertas de seguridad. En la siguiente sección se presentan y analizan los resultados experimentales, junto con su interpretación normativa y su relevancia para la seguridad en los entornos evaluados.

III. RESULTADOS

Las mediciones correspondientes a cada locación se realizaron en distintas posiciones dentro de un mismo espacio, con el fin de evaluar posibles variaciones en la concentración de gas. A partir de estas lecturas se calcularon valores promedio, los cuales se presentan en la Tabla 2 para cada una de las áreas evaluadas dentro de las instalaciones académicas. Las mediciones obtenidas mostraron variaciones menores entre puntos de muestreo, lo que indica una distribución relativamente homogénea del ambiente durante el periodo de prueba.

Tabla 2 Medición promedio registrada en cada locación.

Área evaluada	Medición registrada
Aula de clases	54 ppm
Interior Cabina	74 ppm
Banda transportadora	99 ppm
Mesa Hexagonal	131 ppm

Los valores registrados por el sensor oscilaron entre 54 ppm y 131 ppm, encontrándose en todos los casos por debajo de los límites permisibles establecidos por la NOM-010-STPS-2018 para la exposición a gases combustibles. Estos resultados no representan un riesgo para la seguridad de los ocupantes, lo cual es consistente con las condiciones esperadas en entornos académicos que no manejan de forma directa fuentes continuas de gas butano. Adicionalmente, se realizaron pruebas controladas para verificar la correcta respuesta del dispositivo ante incrementos en la concentración de gas. Para ello, se aumentó de manera artificial la presencia de gas mediante el uso de un encendedor, alcanzando concentraciones de hasta 800 ppm. En estas condiciones, el sistema activó de manera adecuada la alarma visual, confirmando la correcta detección del umbral configurado. Al superar concentraciones cercanas a 900 ppm, se activó la alarma auditiva, evidenciando el funcionamiento escalonado del sistema de alertas. Cabe destacar que, de acuerdo con la NOM-010-STPS-2018, concentraciones del orden de 1000 ppm representan una condición que amerita la evacuación del área. En este sentido, los resultados obtenidos demuestran que el dispositivo responde de forma anticipada a escenarios potencialmente peligrosos, lo que valida su utilidad como sistema de alerta temprana para la prevención de riesgos asociados a la presencia de gas butano en espacios de trabajo.

IV. CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió diseñar, implementar y evaluar un sistema de detección de gas butano basado en tecnología

Arduino, orientado a fortalecer la seguridad industrial y la prevención de riesgos laborales en entornos con posible exposición a gases combustibles. Los resultados obtenidos durante la fase experimental demuestran que el dispositivo es capaz de realizar mediciones consistentes y detectar variaciones en la concentración de gas dentro de diferentes áreas, cumpliendo con los criterios de funcionamiento establecidos. Las pruebas realizadas en instalaciones académicas mostraron que las concentraciones registradas se mantienen por debajo de los límites permisibles definidos en la NOM-010-STPS-2018, lo cual era esperable dadas las características del entorno. No obstante, las pruebas controladas con incrementos artificiales de gas permitieron validar la correcta respuesta del sistema ante escenarios de riesgo, evidenciando la activación adecuada de alertas visuales y auditivas conforme a los umbrales configurados. Este comportamiento confirma la viabilidad del dispositivo como un sistema de alerta temprana para la detección oportuna de condiciones inseguras. Desde una perspectiva ergonómica, la disposición del sensor y de los elementos de señalización contribuye a mejorar la interacción Hombre–Máquina–Ambiente, al facilitar la percepción inmediata de las alertas y reducir la necesidad de vigilancia constante por parte del trabajador. Asimismo, la alineación del diseño con la normativa vigente refuerza su aplicabilidad como herramienta de apoyo en programas de seguridad y salud ocupacional. Como trabajo futuro, se plantea la instalación fija del sistema en entornos industriales reales, tales como talleres, cocinas industriales o áreas de mantenimiento, con el fin de evaluar su desempeño bajo condiciones de operación continua y presencia constante de fuentes de gas. Adicionalmente, se propone la integración de módulos de comunicación inalámbrica que permitan el registro y análisis remoto de datos, así como la implementación de técnicas de procesamiento y análisis de información para mejorar la discriminación entre diferentes tipos de gases. Finalmente, se considera relevante ampliar el estudio hacia la validación metrológica del sensor y la comparación con equipos comerciales certificados, con el objetivo de fortalecer su confiabilidad y alcance en aplicaciones de seguridad industrial.

REFERENCIAS

- [1] N. S. Kumar, G. Chandrasekaran y K. P. Rajamanickam, «An Integrated System for Smart Industrial Monitoring System in the Context of Hazards Based on the Internet of Things.,» *International Journal of Safety and Security Engineering*, pp. 123-127, 2021.
- [2] B. K. Mohammed, M. B. Mortatha, A. S. Abdalrada y H. T. S. ALRikabi, «A comprehensive system for detection of flammable and toxic gases using IoT.,» *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, pp. 702-711, 2021.
- [3] H. B. Salameh, M. Dhainat y E. Benkhelifa, «An End-to-End Early Warning System Based on Wireless Sensor Network for Gas Leakage Detection in Industrial Facilities.,» *IEEE Systems Journal*, pp. 1-9, 2020.
- [4] R. Ortiz y P. Cedeño, «Sistema Electrónico Automatizado Para La Detección De Niveles De Concentración De Gas Butano Y Monóxido De Carbono.,» *Revista De Iniciación Científica*, pp. 58-66, 2024.

- [5] M. Jiang, X. Wang, Y. Wang, J. Wang, X. Wang y L. Bao, «A open-path alkane gases analyzer based on mid infrared TDLAS,» de *Proc. SPIE 12968, AOPC 2023: Optic Fiber Gyro*, 2023.
- [6] A. Wasfi, M. Sulieman, Z. Sefelnasr, A. Alteneiji, A. Shafiqurrahman, A. Alharairi y F. Awwad, «Detection of butane and propane gases via C2N sensors: first principles modeling.,» *Dental Science Reports*, 2023.
- [7] M. Febrina, «Design and Development of Gas Sensor Based On Acoustic Resonance.,» *KnE Engineering*, 2016.
- [8] I. Morsi, «Electronic Nose System and Artificial Intelligent Techniques for Gases Identification.,» *InTech*, 2010.
- [9] J. Lee, Y. Kim, I. Kim, S.-B. Hong y H. Yun, «Comparative Analysis of Ultrasonic and Traditional Gas-Leak Detection Systems in the Process Industries: A Monte Carlo Approach.,» *Processes*., 2023.
- [10] F. Prasetya y A. Putra B, «IoT-Based Propane and Butane Pressure Measurement.,» *Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, pp. 86-95, 2023.
- [11] J. B. A. Gomes, J. J. P. C. Rodrigues, R. A. L. Rabelo, S. Tanwar y J. a. K. S. Al-Muhtadi, «A novel Internet of things-based plug-and-play multigas sensor for environmental monitoring.,» *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*., 2021.