



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE
2025

Artículo Científico

44 - 55



ARTÍCULO
Científico

Diseño e Implementación de un Robot Móvil para la Detección de Gas Metano en Espacios Confinados y Entornos de Riesgo Industrial

Design and Implementation of a Mobile Robot for Methane Gas Detection in Confined and Industrial Risk Environments

Tomas Javier Escamilla Bello (Autor Corresponsal)
tomasescamillabellocbtis241@gmail.com

ORCID: 0009-0002-1523-1795

Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 241 en Oriental, Puebla, México

María Esther Lara Hernández
lahe3@hotmail.com

ORCID: 0009-0001-4171-1517

Centro Escolar Licenciado Miguel Castulo de Alatríste en Libres, Puebla, México

Aceptación: 11 de Septiembre de 2025

Publicación: 14 de Noviembre de 2025

Resumen

El objetivo fue diseñar e implementar un prototipo de robot móvil controlado de forma remota para la detección preliminar de fugas de gas metano (CH₄), con aplicación en entornos confinados o de riesgo industrial, a fin de reducir la exposición humana; desarrollado con un enfoque tecnológico descriptivo-demostrativo, un diseño experimental controlado en laboratorio y un tipo de investigación aplicada. Se implementó un sistema de detección y transmisión de datos en tiempo real utilizando el sensor MQ-4 y el módulo ESP8266-01, conectado a una placa de Arduino UNO R3 con su microcontrolador ATmega328P, se implementó y verificó el sistema de control de movimiento mediante el puente H L293D y comandos desde una aplicación móvil; se comprobó el funcionamiento estable del sistema de comunicación MQTT, se evaluó su autonomía operativa empleando baterías de litio; se comprobó la respuesta eficaz a los comandos de movimiento programados en lenguaje C++ y la detección de variaciones simuladas de CH₄ mediante la transmisión de datos de manera remota. Se obtuvo un prototipo concepto funcional, económico y replicable. Se proponen mejoras orientadas a la calibración del sensor, la autonomía energética y la integración de algoritmos de navegación autónoma.

Palabras clave: Detección de fugas de gas metano; Robot móvil; Sensor MQ-4; Arduino UNO R3; Comunicación inalámbrica; Protocolo MQTT; Sistema de monitoreo remoto

Abstract

The objective was to design and implement a remotely controlled mobile robot prototype for the preliminary detection of methane gas (CH₄) leaks, intended for use in confined or industrial risk environments to reduce human exposure. The project was developed under a descriptive-demonstrative technological approach, with a controlled experimental design conducted in the laboratory and framed within applied research. A real-time data detection and transmission system was implemented using the MQ-4 sensor and the ESP8266-01 module, connected to an Arduino UNO R3 board with an ATmega328P microcontroller. The motion control system was implemented and verified through the H-bridge L293D and commands issued from a mobile application. The stable operation of the MQTT communication system was confirmed, and its operational autonomy was evaluated using lithium batteries. The system showed an effective response to motion commands programmed in C++, as well as successful remote detection of simulated CH₄ variations. The resulting prototype proved to be functional, low-cost, and replicable. Future improvements are proposed regarding sensor calibration, energy autonomy optimization, and the integration of autonomous navigation algorithms.

Keywords: Methane Gas Leak Detection; Mobile Robot; MQ-4 Sensor; Arduino UNO R3; Wireless Communication; MQTT Protocol; Remote Monitoring System





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE
2025

Artículo Científico

44 - 55



Introducción

El metano (CH_4) es un gas de efecto invernadero altamente peligroso, responsable de aproximadamente 0.5°C del calentamiento global registrado entre 2010 y 2019, lo que equivale a cerca del 47 % del calentamiento neto observado. Desde 2006, sus emisiones han aumentado con rapidez y, en la década de 2020, las tasas de crecimiento atmosférico superan de manera considerable las proyecciones previas. Esta tendencia pone en riesgo el cumplimiento de los objetivos del Compromiso Global sobre el Metano (GMP), un marco voluntario que integra a 155 países y que busca reducir colectivamente las emisiones de CH_4 en un 30 % con respecto a los niveles de 2020 para 2030. Sin embargo, existen opciones técnicas y de comportamiento, inclusive de bajo costo, las cuales podrían reducir de forma significativa estas emisiones si se aplican mediante políticas firmes ([Shindell et al., 2024](#)).

Según el [Global Methane Hub \(s.f.\)](#), naciones con altas emisiones, como Brasil, Canadá, Chile, México y Estados Unidos, han asumido cambios políticos prometedores y compromisos internacionales para abordar la contaminación por metano. Con relación a las emisiones globales de este gas, han mostrado un crecimiento sostenido a lo largo de las últimas décadas. Tras un aumento anual del 0.8 % entre 1990 y 2002, la tasa de crecimiento se aceleró hasta un 2.0 % anual en el periodo comprendido hasta 2008. Posteriormente, en 2009, se registró una breve disminución a causa de la crisis financiera global; no obstante, las emisiones retomaron su tendencia ascendente con un ritmo del 1.1 % anual, alcanzando en 2023 un total de 383.5 millones de toneladas anuales (equivalentes a 10.7 gigatoneladas de CO_2) ([Shan et al., 2025](#)).

Por otra parte, el metano favorece la formación de ozono troposférico, lo cual afecta la salud humana, disminuye la productividad laboral y daña los cultivos. En el ámbito industrial, las principales fuentes de emisión provienen de los sectores de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, residuos, entre otros ([Shindell et al., 2024](#)). El metano también puede encontrarse en espacios confinados subterráneos y producir explosiones, este gas proveniente de fugas en tuberías enterradas tiene propensión a difundirse y acumularse hasta alcanzar concentraciones peligrosas, entre un volumen porcentual de 5 % a 15 %. Dado que la concentración varía exponencialmente con la distancia de la fuga y es probable que se mantenga estable tras cortar el suministro, por lo tanto, resulta crucial monitorizar estos entornos para definir distancias de seguridad y tiempos de respuesta adecuados ([Wang et al. 2024](#)). Al aumentar el número y la escala de los gasoductos, ocasionalmente se producen explosiones de gas en espacios subterráneos adyacentes, sobre todo en las ciudades, donde una gran cantidad de gasoductos subterráneos se distribuyen en zonas densamente pobladas. Con relación, a este tipo de riesgo urbano, el 13 de junio de 2021, 25 personas fallecieron y 138 resultaron heridas cuando un gasoducto tuvo una fuga en el sótano de un edificio cercano y explotó en Shiyan, provincia de Hubei, China ([Li et al., 2023](#)).

Por otro lado, las explosiones producidas por metano en espacios confinados representan un riesgo para industrias como la minería, extracción del petróleo y gas, así como para los procesos de oxicorte. Por ello, la detección de metano en minas subterráneas es esencial para prevenir los riesgos de la actividad minera, ya que este gas, presente en los depósitos de carbón, es altamente inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones, representando una amenaza significativa para las operaciones y la vida humana ([Tutak et al. 2024](#)). Asimismo, existen precedentes de fuga de gas en el sector de construcción naval de un astillero debido a numerosos registros de fugas de gas causados por conexiones de mangueras y sopletes, así como daños en las mangueras durante las operaciones de oxicorte. Se ha documentado que el pasado 8 de abril de 2024, se detectó una fuga de metano con concentraciones explosivas, originada por una manguera de soldadura dañada ([Calık, 2025](#)).

Al respecto, un sistema autónomo, equipado con sensores, emerge como una tecnología prometedora para realizar un monitoreo preliminar eficiente y de bajo costo del CH_4 . Estos sistemas permiten identificar de forma remota áreas con concentraciones elevadas de metano, incluso en fugas subterráneas reales, áreas difíciles de detectar, optimizando el uso de recursos al dirigir inspecciones más precisas solo a las secciones sospechosas. Al implementar esta tecnología autónoma mejora la seguridad, permitiendo una respuesta más rápida ante fugas, reduce costos operativos y minimiza el riesgo de exposición humana durante las inspecciones en campo ([Iwaszenko et al. 2021](#)).

Un robot móvil es un tipo de sistema autónomo, el cual es controlado mediante software, este se diseña para que se desplace dentro de su entorno y ejecute tareas predefinidas sin necesidad de la constante participación humana. Al contrario de los robots industriales fijos, los robots móviles pueden actuar en espacios sujetos a variaciones y con áreas desconocidas, haciendo uso de sensores para analizar el entorno, y algunos también contienen algoritmos de inteligencia artificial para facilitar su toma de decisiones. El funcionamiento de un robot móvil se basa en un ciclo continuo de tres etapas: la percepción obtenida mediante sensores; la planificación, que implica el procesamiento de información y el cálculo de trayectorias y la acción cuyo movimiento se genera a través de



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE
2025

Artículo Científico

44 - 55



actuadores. Estos sistemas pueden clasificarse según su tipo de locomoción, con ruedas, patas, orugas, entre otros; y se utilizan ampliamente en aplicaciones como la vigilancia, la logística, las labores de rescate y la asistencia personal, debido a su capacidad para desplazarse de manera autónoma, evitar obstáculos y adaptarse a los cambios del entorno ([Raj & Kos, 2022](#)).

Los sensores son parte esencial del ensamblaje de un robot móvil ([Raj & Kos, 2022](#)); entre los diferentes tipos de sensores se encuentran los sensores MQ, una familia de sensores de gas semiconductores con un costo accesible, estos son utilizados para la medición de la calidad del aire, son capaces de detectar una variedad de gases contaminantes. El sensor MQ-4 está específicamente diseñado para detectar CH_4 , siendo su valor de resistencia de referencia (R_0) definido como la resistencia en aire limpio ante una concentración de 1000 partes por millón (ppm) de CH_4 . Cabe resaltar que, los sensores MQ permiten la detección en tiempo real, integrados en sistemas de reducido costo basados en plataformas como Arduino, facilitando el monitoreo continuo y la adquisición inmediata de datos, lo cual es fundamental para generar alertas tempranas y apoyar la toma de decisiones en contextos de salud pública y control ambiental. La librería de código abierto desarrollada para los sensores MQ, disponible en GitHub, estandariza la medición en ppm y permite que los datos obtenidos sean consistentes y comparables, optimizando así la implementación de redes de sensores inalámbricos para la vigilancia ambiental en tiempo real ([Carrillo-Amado, 2020](#)).

Actualmente, existen estudios que demuestran la viabilidad de un robot móvil para la detección de CH_4 . En Indonesia, el sistema de detección de metano de bajo costo utiliza los sensores TGS2611 y MQ-4, integrados en un sistema de adquisición de datos web simple ([Rahma et al., 2024](#)). En India, el desarrollo de sistemas de alerta temprana contra incendios que integran la detección de CH_4 y notificaciones remotas ([Hasan Shuvo & Chowdhury, 2024](#)). Por otro lado, en el mismo país, un robot móvil de detección de gas y videovigilancia remota, integrando el mismo sensor MQ-4, reduce el riesgo de exposición humana a las minas subterráneas, lo cual reitera su importancia en el sector industrial ([Pavith Ashwin et al., 2024](#)).

Los estudios antes mencionados validan el uso de sensores de CH_4 y comunicación para emergencias, poniendo de relevancia el diseño de un robot móvil para detección de CH_4 en entornos de difícil acceso. Su diseño está orientado para operar en ambientes peligrosos, salvaguardando la salud humana al eliminar la necesidad de exposición directa a fugas de CH_4 . Además, se propone su conexión a un sistema de interacción remota mediante una aplicación móvil, permitiendo el control a distancia, la visualización de datos en tiempo real y la recepción de alertas instantáneas sobre la ubicación y concentración del CH_4 . Esta combinación se enfoca en proporcionar una respuesta rápida y efectiva, estableciendo una solución versátil para el monitoreo constante de CH_4 en espacios confinados o de riesgo industrial.

De ello se desprende la siguiente pregunta de investigación: ¿Es factible diseñar e implementar un prototipo controlado remotamente, basado en MQ-4 y ESP8266-01, que detecte y reporte en tiempo real incrementos significativos de CH_4 en condiciones simuladas de espacios confinados, funcionando como herramienta preliminar de inspección para reducir la exposición humana?

Por consiguiente, el objetivo general fue diseñar e implementar un prototipo de robot móvil controlado de forma remota para la detección preliminar de fugas de gas metano, con aplicación en entornos confinados o de riesgo industrial, a fin de reducir la exposición humana.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Diseñar y construir un prototipo funcional de robot móvil equipado con sensores de gas metano y sistema de control remoto.
2. Implementar un sistema de detección en tiempo real mediante el sensor MQ-4 y la transmisión de datos con el módulo ESP8266-01.
3. Implementar el código de control de movimiento utilizando un puente H L293D y comandos enviados desde una aplicación móvil.
4. Verificar el funcionamiento del sistema de comunicación entre el robot y la aplicación móvil, corroborando la transmisión y recepción de datos en tiempo real.

Comprobar la autonomía operativa y el consumo energético del prototipo durante su funcionamiento continuo en condiciones controladas.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE
2025

Artículo Científico

44 - 55



Método

Enfoque metodológico

El estudio adopta un enfoque tecnológico descriptivo-demostrativo, orientado al diseño, construcción e implementación de un prototipo de robot móvil destinado a la detección remota de fugas de gas metano. Este enfoque permite integrar conocimientos de electrónica, programación y robótica aplicada a entornos confinados o de riesgo industrial, con el fin de comprobar la viabilidad funcional del sistema propuesto.

Diseño de estudio

Se aplicó un diseño experimental controlado en laboratorio, centrado en el desarrollo y evaluación funcional del prototipo.

Tipo de estudio

El estudio corresponde a una investigación aplicada, dado que busca resolver un problema técnico específico, la detección remota de gas metano, mediante el desarrollo de un prototipo funcional con potencial de implementación práctica en línea con lo mencionado por [Castro Maldonado \(2023\)](#). Además, es de nivel descriptivo, pues se centra en la observación del comportamiento y desempeño del sistema, sin realizar comparaciones estadísticas inferenciales.

Técnicas de recolección de datos

Se utilizaron técnicas de observación directa y registro instrumental de variables funcionales. Durante las pruebas, se recopilaron datos del comportamiento del sensor MQ-4, estabilidad de la comunicación inalámbrica y respuesta del sistema de movilidad ante los comandos de control. Las lecturas se visualizaron y registraron mediante el monitor serial del Arduino IDE y la aplicación móvil implementada para la interacción con el robot.

Instrumentos

Los instrumentos tecnológicos empleados fueron:

- Placas Arduino UNO R3/Microcontrolador ATmega328P: unidad central de procesamiento y control ([Arduino, 2025](#)).
- Sensor de gas MQ-4: detección de metano ([Hanwei Electronics, s.f.](#)).
- Módulo ESP8266-01: comunicación inalámbrica Wifi mediante protocolo MQTT ([Ai-Thinker Team, 2017](#)).
- Puente H L293D: control de los motores ([Texas Instruments, 2016](#)).
- Módulo HC-05: comunicación inalámbrica bluetooth ([AG Electrónica SAPI de CV, 2024](#)).
- Motorreductores DC (x4): locomoción del robot ([Adafruit Industries, s.f.](#)).
- Baterías Li-ion 3.7 V / 1200 mAh: alimentación del sistema.
- Broker local: servidor MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) que gestiona la comunicación entre los dispositivos.
- Aplicación móvil: interfaz de usuario para control remoto. Se empleó el aplicativo de licencia gratuita denominado Bluetooth RC Car APK para Android. ([Andi.Co, 2024](#)).
- El firmware se desarrolló en Arduino IDE (C++), permitiendo la lectura continua del sensor, el envío de datos a la app móvil y la recepción de comandos ('F', 'B', 'L', 'R', 'S') para el control direccional del robot.

Procedimiento

El proceso incluyó tres fases:

1. Diseño electrónico y mecánico del robot móvil.
2. Integración del sistema de detección y comunicación inalámbrica.
3. Validación funcional mediante pruebas controladas de movimiento, comunicación y respuesta del sensor MQ-4 ante concentraciones simuladas de gas metano.

Cada fase se documentó con observaciones técnicas y registros de desempeño operativo.

Análisis de datos

Los datos se procesaron mediante análisis descriptivo, comparando la estabilidad de las lecturas, la respuesta del sensor y la precisión del movimiento en cada prueba. Con relación a las pruebas, estas se realizaron en un laboratorio controlado, simulando condiciones de espacios confinados para verificar la estabilidad del sistema antes de su despliegue en entornos reales. No se realizó calibración metrológica del sensor ni validación en campo; por tanto, los datos se interpretan como indicativos de viabilidad técnica, más que como mediciones certificadas.



Resultados

Diseño del Prototipo del Robot Móvil

Con relación al objetivo específico uno, se diseñó y construyó un prototipo funcional de robot móvil equipado con sensores de gas metano y sistema de control remoto.

Tabla 1

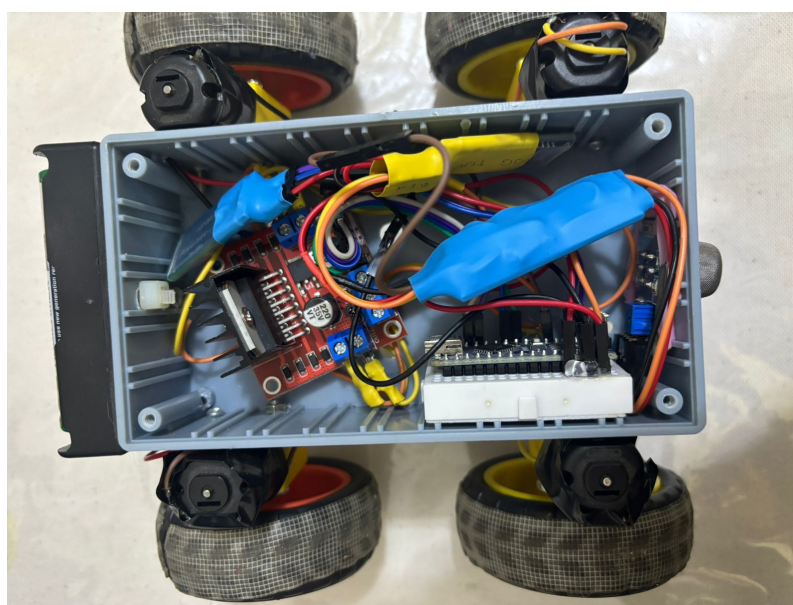
Componentes Estructurales y Electrónicos del Prototipo

Cant.	Componente	Función principal	Modelo / Especificación técnica
02	Placas Arduino UNO R3	• Monitoreo del sensor de gas • Control de movimiento	Microcontrolador ATmega328P
01	Sensor de gas	Detección de metano	MQ-4, 200-10,000 ppm
01	Módulo de comunicación Wifi	Transmisión inalámbrica de datos del sensor	ESP8266-01 (protocolo MQTT)
01	Controlador de motores	Dirección y velocidad	Puente H L293D
01	Módulo de comunicación Bluetooth	Control de movimiento	HC-05
04	Motorreductores	Movimiento de ruedas	DC 6V, torque medio
02	Baterías recargables	Fuente de energía	Li-ion 3.7V / 1200 mAh
01	Chasis y estructura	Soporte mecánico	Acrílico ligero / aluminio

En la Tabla 1 se presentan los componentes estructurales y electrónicos empleados en el desarrollo del prototipo robótico móvil especializado en la detección de fugas de gas metano. La estructura mecánica se fabricó con materiales ligeros y resistentes, seleccionados por su disponibilidad y facilidad de montaje, lo que permitió obtener un sistema funcional y fácilmente replicable.

Figura 1

Vista de los Componentes del Robot Móvil



La Figura 1, muestra los componentes principales utilizados en el diseño y desarrollo del prototipo, proporcionando una visión clara de la interacción entre los distintos elementos del sistema.

Sistema de Detección del Gas Metano

Con relación al objetivo específico 2, se implementó un sistema de detección en tiempo real mediante el sensor MQ-4 y la transmisión de datos con el módulo ESP8266-01. El sensor fue conectado a una placa Arduino UNO R3 (monitoreo del sensor de gas), encargada de recepcionar y procesar las señales analógicas obtenidas. El código de programación, escrito en C++, leyó continuamente los valores del sensor, expresados en partes por millón (ppm), y los transmitió en tiempo real mediante el módulo de comunicación ESP8266-01, configurado bajo el protocolo MQTT.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE

2025

Artículo Científico

44 - 55

Diseño e Implementación de un Robot Móvil para la Detección de Gas Metano en Espacios Confinados y Entornos de Riesgo Industrial

Maria Esther Lara Hernández

ORCID: 0009-0001-4171-1517

Tomas Javier Escamilla Bello

ORCID: 0009-0002-1523-1795

<https://revista.scienceevolution.com>



Tabla 2

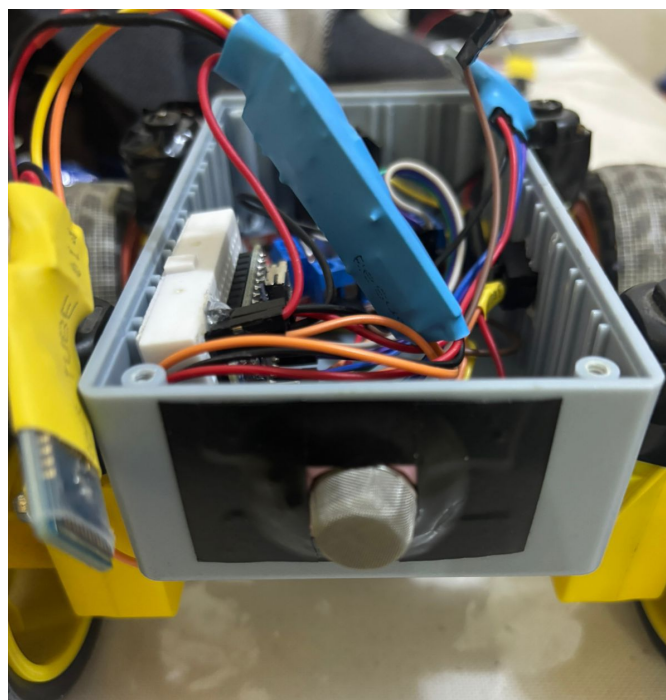
Desempeño Funcional del Sensor de Metano

Condición ambiental	Concentración de metano (ppm)	Lectura promedio del sensor (A1)	Tiempo de respuesta (s)	Observación
Aire limpio (control)	< LOD (~1.8-2.3)	120 ± 15	-	Línea base en aire ambiente; fuera del rango útil del MQ-4.
Exposición leve	≈320 ± 40 (~280-360)	≈220 ± 10	7 - 9	Incremento leve, sin saturación del ADC.
Exposición media	~960-1080	~370-395	9 - 11	Respuesta estable, deriva < ±2 %.
Exposición alta	~4800-5300	~760-800	11 - 13	Señal alta sostenida; sin saturación del ADC.
Recuperación	< LOD (~1.8-2.3)	125 → 120 en ~60 s	30 - 40	Retorno a línea base (T90); ligera histéresis.

En la Tabla 2, se reporta el desempeño funcional del sensor de metano, durante la prueba controlada, el sistema detectó variaciones en la concentración de gas con precisión, confirmando la sensibilidad del sensor y la estabilidad del procesamiento de datos.

Figura 2

Vista del Sistema de Detección de Gas



En la Figura 2 se observa el sistema de detección de gas metano, en la parte frontal se visualiza el sensor MQ-4, el cual detectó las fugas de gas de manera remota con precisión y rapidez, además, localizó la fuente del peligro.

Programación del Control de Movimiento

Con relación al objetivo específico 5, se implementó el código de control de movimiento utilizando un puente H L293D y comandos enviados desde una aplicación móvil.

La placa Arduino UNO R3 (control de movimiento) para movilidad del robot garantizó la conexión a los cuatro motores integrados en las cuatro ruedas. Asimismo, el uso del puente H L293D permitió un control estable y eficiente de los motores. De esta forma, la combinación Arduino-Bluetooth, efectuada mediante el Módulo HC-05, permitió la interacción remota fiable del robot. El sistema también mostró estabilidad en la dirección y velocidad, así como en su capacidad para realizar maniobras básicas con precisión durante las pruebas de movilidad.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE
2025

Artículo Científico

44 - 55

Diseño e Implementación de un Robot Móvil para la Detección de Gas Metano en Espacios Confinados y Entornos de Riesgo Industrial

Maria Esther Lara Hernández

ORCID: 0009-0001-4171-1517

Tomas Javier Escamilla Bello

ORCID: 0009-0002-1523-1795

<https://revista.scienceevolution.com>



Tabla 3

Respuesta del Sistema de Movilidad

Comando enviado	Función esperada	Respuesta observada	Tiempo de ejecución (s)	Precisión (%)
F (Forward)	Avanzar	Movimiento recto estable (deriva < 2 cm en 1 m)	0.23	96
B (Backward)	Retroceder	Reversa controlada y estable	0.25	95
L (Left)	Giro a la izquierda	Correcto, ángulo $90^\circ \pm 6^\circ$	0.32	93
R (Right)	Giro a la derecha	Correcto, ángulo $90^\circ \pm 6^\circ$	0.31	93
S (Stop)	Detenerse	Respuesta inmediata (frenado rápido, sin oscilación)	0.18	98

En la Tabla 3, se describen los resultados del sistema de movilidad, los datos demostraron estabilidad en la tracción de las cuatro ruedas y precisión en la dirección. Un total de cinco comandos, F (Forward) para avanzar, B (Backward) para retroceder, L (Left) para girar a la izquierda, R (Right) para girar a la derecha y S (Stop) para detener el movimiento del robot móvil. Se corroboró que el código de control programado en lenguaje C++, funcionó correctamente dentro del entorno Arduino IDE, esta codificación permitió el funcionamiento de los motores a través del módulo H L293D, en términos de dirección y velocidad.

Evaluación del Funcionamiento de Comunicación entre el Robot y el App

Con relación al objetivo específico 4, se verificó el funcionamiento del sistema de comunicación entre el robot y la aplicación móvil, verificando la transmisión y recepción de datos en tiempo real.

Tabla 4

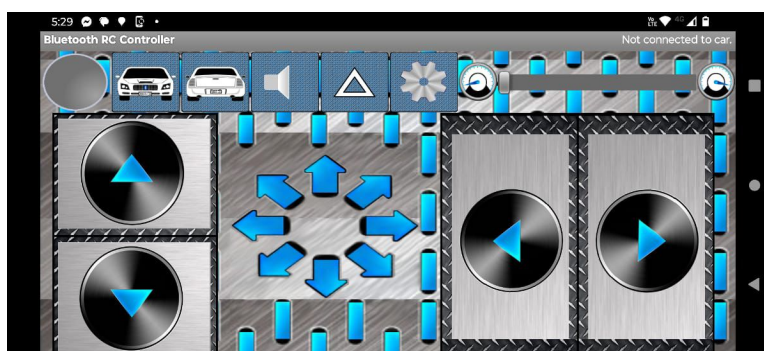
Comunicación y Transmisión de Datos

Prueba	Parámetro evaluado	Resultado	Observación técnica
Enlace WiFi-MQTT	Latencia promedio	85 ± 20 ms	Bróker local; Quality of Service (QoS) 0; sin cortes visibles durante las pruebas.
Transmisión de datos	Pérdida de paquetes	0.3 % (600 mensajes / 10 min)	Con QoS1 ≈ 0 %; se observaron 2 microcortes por interferencia.
Alcance operativo	Distancia máxima	28 m interior (2 muros); 55 m a cielo abierto (LOS)	RSSI ≈ -72 dBm al límite interior; reconexión automática <2 s.
Visualización móvil	Actualización de lectura	Sí, en tiempo real (1 Hz)	Desfase extremo-a-extremo ≈ 120 ms; ver lecturas en Windows/Linux/macOS.

La Tabla 4 describe los datos del sistema, comunicación y transmisión de datos, de esta manera se verificó que el módulo ESP8266-01 es eficiente en el envío y recepción de datos en tiempo real. Durante las pruebas, el módulo envió las lecturas del sensor MQ-4 a través de un bróker local MQTT, implementando en un equipo de cómputo, permitiendo la visualización de los datos desde cualquier dispositivo conectado a internet (Windows, Linux, Ubuntu o macOS). Además, el enlace inalámbrico mantuvo baja latencia y conexión estable, garantizando que la información del sensor se recibiera sin interrupciones. Se registró una latencia promedio de 85 ± 20 ms y Quality of Service (QoS, nivel de fiabilidad de entrega) 0, sin interrupciones visibles. El alcance operativo alcanzó 28 m en interiores y 55 m en línea de vista (LOS, Line of Sight), con un RSSI (Received Signal Strength Indicator, intensidad de señal recibida) de -72 dBm moderada y una actualización de lectura en tiempo real a 1 Hz. Este desempeño es adecuado para entornos confinados o interiores donde la conectividad Wi-Fi es estable y las distancias de desplazamiento son reducidas.

Figura 3

Vista del Aplicativo móvil para Control Remoto





En la Figura 3 se muestra el aplicativo móvil Bluetooth RC Car APK para Android implementado para el control de forma remota del prototipo.

Autonomía Operativa y el Consumo Energético del Prototipo

Con relación al objetivo específico 5, se comprobó la autonomía operativa y el consumo energético del prototipo.

Tabla 5

Autonomía y Consumo Energético

Condición de operación	Duración continua (min)	Voltaje promedio (V)	Estado del sistema
Reposo (stand-by)	260	7.8	Estable
Movimiento continuo	65	7.3	Consumo normal
Detección activa + transmisión	200	7.6	Estable, sin sobrecalentamiento
Baterías agotadas	—	< 6.4	Desconexión automática

La Tabla 5 detalla la autonomía y consumo energético del robot móvil, demostrando su capacidad en diferentes condiciones de operación: en reposo, movimiento continuo y detección activa + transmisión.

Figura 4

Vista del Sistema de Energía del Prototipo



En la Figura 4 se muestra el prototipo encendido, el cual funcionó alimentándose de la energía proporcionada por las 2 pilas de iones de litio recargables implementadas, con una capacidad de 1200 mAh (miliamperios hora), según normativa estándar GB/T 26125-2011 de 3.7 V ([República de China, 2011](#)).

Discusión

El estudio demostró la viabilidad de diseñar e implementar un prototipo funcional de robot móvil controlado de forma remota para la detección preliminar de fugas de CH_4 , cumpliendo con el objetivo general planteado. Los resultados obtenidos validan el cumplimiento de los objetivos específicos: se logró la construcción del robot con los componentes electrónicos y estructurales planificados en el objetivo específico uno; se implementó un sistema de detección y transmisión de datos en tiempo real utilizando el sensor MQ-4 y el módulo ESP8266-01, en conformidad con el objetivo específico dos; se desarrolló y verificó el sistema de control de movimiento mediante el puente H L293D y comandos desde una aplicación móvil, dando cumplimiento al objetivo específico tres; se comprobó el funcionamiento estable del sistema de comunicación MQTT, según el objetivo específico cuatro; y se evaluó la autonomía operativa del prototipo alimentado por baterías de litio, como se detalla en el objetivo específico cinco. Se comprobó que los comandos del prototipo respondieron con eficacia a los comandos programados de movimiento y además, el robot móvil detectó variaciones simuladas de CH_4 , generando la transmisión de datos de manera remota.

A pesar de haberse empleado componentes de bajo costo, se demostró la efectividad del prototipo, como plataforma concepto. La arquitectura basada en Arduino proporcionó una base flexible y



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE
2025

Artículo Científico

44 - 55



ampliamente documentada para el control central. Con relación a ello, [Magableh et. al \(2023\)](#), confirmó que el bajo costo de los componentes de Arduino y el ecosistema de código abierto facilitan el desarrollo personalizable y escalable de sistemas de monitoreo de investigación ambiental adaptados a diversos contextos.

Por otro lado, el uso del puente H L293D permitió un manejo estable y eficiente de los cuatro motorreductores, facilitando maniobras básicas con precisión. La elección del protocolo MQTT sobre el módulo ESP8266-01 resultó clave para lograr una comunicación inalámbrica con baja latencia, permitiendo la visualización remota de datos y el control en tiempo real desde la aplicación móvil. Aunque las lecturas del sensor MQ-4 reportadas en las pruebas fueron estables, es importante mencionar que este sensor, requiere de calibración y compensación por factores ambientales como humedad y temperatura para que pueda proporcionar mediciones cuantitativas precisas y confiables en entornos reales.

En Indonesia, [Rahma et al. \(2024\)](#) confirmó la factibilidad de integrar sensores de la familia MQ, el mismo sensor seleccionado para el prototipo de este estudio, es decir, el MQ-4, el cual fue incorporado en sus sistemas de adquisición de datos para monitoreo del CH₄. También, en India, del mismo modo que el sistema de alerta desarrollado por [Hasan Shuvo & Chowdhury \(2024\)](#), el presente prototipo demostró su utilidad al combinar la detección de gas con notificaciones remotas para mitigar los riesgos. En esa misma línea, en China, [Peng \(2024\)](#) diseñó un sistema de bajo costo para monitorizar la calidad del aire interior, empleando una red de sensores inalámbrica que integró al sensor MQ-4, MQ-7 y MQ-135 para detectar metano, monóxido de carbono y amoníaco respectivamente. El sistema incorporó adquisición, transmisión y procesamiento de datos, e identificó valores atípicos para ofrecer una solución precisa de gestión de la calidad del aire. Sin embargo, este estudio avanzó sobre esos antecedentes al integrar la movilidad controlada remotamente, lo que, como señalan [Raj & Kos \(2022\)](#), es una característica fundamental de los robots móviles para operar en entornos dinámicos. Esta capacidad de desplazamiento permitió detectar la presencia del gas; potencialmente, rastrear la fuente de la fuga, una funcionalidad que supera a los sistemas fijos.

Mientras que, en el ámbito industrial, en India, [Pavith Ashwin et al. \(2024\)](#) desarrollaron *MineGuard*, un robot móvil de vigilancia operado manualmente, equipado con un sensor MQ-4 y un módulo ESP32-CAM para la detección de metano y monitoreo por video en minas subterráneas. Su sistema, controlado vía Wi-Fi, evidenció la viabilidad de usar robots móviles para la detección remota de gases, reduciendo la exposición humana en entornos peligrosos y operando en terrenos difíciles, lo que coincide con el objetivo de inspección preliminar planteado en nuestro prototipo. La arquitectura propuesta también se alineó con la necesidad, señalada por [Iwaszenko et al. \(2021\)](#), de sistemas autónomos para realizar monitoreos preliminares que reduzcan la exposición humana.

El prototipo representa una solución de bajo costo y rápida implementación para la inspección preliminar de fugas de metano. Se planteó como una alternativa más segura a la inspección manual directa, especialmente en espacios confinados o con atmósferas potencialmente peligrosas (bajo O₂, alta humedad). La plataforma es modular, permitiendo la futura incorporación de subsistemas más avanzados como cámaras (térmicas/IR), fuentes de energía mejoradas, o tal como instan [Qiao et al. \(2024\)](#) la integración de algoritmos de navegación autónoma (SLAM) para aportar mayor precisión y robustez en la localización y el mapeo. Con relación a este tipo de tecnología, en Indonesia, [Kamarudin et al. \(2018\)](#) propusieron un enfoque SLAM-GDM que combina el algoritmo Hector SLAM con el modelado de distribución de gases Kernel DM+V, permitiendo la localización de fuentes de gas en entornos inicialmente desconocidos. Las pruebas que efectuaron los investigadores dentro de un edificio mostraron algo muy útil: el sistema es capaz de encontrar de dónde viene el gas con un pequeño margen de error, de menos de metro y medio, y proporciona la información al momento; esto lo logran sin necesidad de poseer un plano del lugar o conocer con exactitud dónde está ubicado el robot.

[Yue \(2025\)](#) advirtió que este tipo de robot evita que las personas requieran ingresar a revisar lugares que podrían ser peligrosos, previniendo accidentes y preservando su seguridad, debido a que las fugas de gas metano en los edificios pueden causar explosiones muy graves.

Entre las principales fortalezas de este estudio se encuentran el diseño modular y replicable del prototipo, el uso de hardware y software de código abierto que abarata costos y fomenta la colaboración, y la integración exitosa de subsistemas de movilidad, detección y comunicación de manera funcional. Aunque el estudio presenta limitaciones a considerar, como la falta de calibración metrológica del sensor MQ-4 y la ausencia de validación en entornos de campo con fugas reales y cuantificadas de CH₄, debido a que este estudio solo se puso a prueba en condiciones controladas de laboratorio, y los datos reportados en las tablas de resultados son indicativos de funcionalidad pero no de precisión cuantitativa. La autonomía limitada de las baterías, la dependencia de una red WiFi para



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE
2025

Artículo Científico

44 - 55



la comunicación, lo que restringe su alcance operativo, y la navegación basada únicamente en control remoto, sin capacidades de autonomía ni evitación de obstáculos, son otras de las limitaciones detectadas.

Para superar las limitaciones identificadas y avanzar en el desarrollo de esta tecnología, se recomienda realizar una calibración rigurosa del sensor MQ-4 (o considerar sensores más precisos como los láser) contra concentraciones conocidas de metano, y caracterizar su respuesta ante cambios de temperatura y humedad; llevar a cabo pruebas de validación en entornos realistas o semirreales, para evaluar el rendimiento del sistema fuera del laboratorio; implementar algoritmos de navegación autónoma básica (por ejemplo, seguimiento de waypoints o coordenadas para ubicar puntos de referencia) y sensores de ultrasonido o infrarrojos para la detección y evitación de obstáculos, reduciendo la dependencia del control remoto constante; como ya se ha desarrollado en Indonesia, [Iotham et al. \(2024\)](#) crearon un sistema de medición de gas en interiores utilizando un dron (nano-UAV) y un robot terrestre (UGV) equipados con sensores heterogéneos a diferentes alturas. Su estudio demostró que la dispersión del gas puede ser mapeada, aunque los resultados se ven influenciados por la dirección del viento, la masa de gas, la sensibilidad de los sensores y las turbulencias del dron.

También se recomienda explorar el uso de fuentes de energía con mayor densidad energética (como baterías LiPo) o sistemas de carga automática para extender la autonomía operativa.

Además, se exhorta investigar la integración de sensores adicionales (como cámaras térmicas) para correlacionar la detección de gas con imágenes visuales y mejorar la identificación de la fuente de la fuga, como el estudio desarrollado en Suecia por [Arain et al. \(2020\)](#), los cuales presentaron un sistema robótico autónomo (ARMEx) equipado con un sensor remoto de metano TDLAS para realizar mapas de distribución de gas mediante tomografía. Este sistema, evaluado en un entorno interior de 120 x 30 m², demostró que las estrategias autónomas superan a la teleoperación por expertos humanos en la generación de mapas de gas más precisos y con menor número de configuraciones de muestreo.

En conjunto, los resultados de este estudio amplían el panorama de las soluciones tecnológicas accesibles para la detección remota de metano, demostrando la viabilidad de un robot móvil como herramienta preliminar de inspección. Aunque el robot móvil presentado necesita la incorporación de mejoras para su despliegue en el ámbito industrial, se ha propuesto como una plataforma concepto y deja sentadas las bases para desarrollar sistemas con más autonomía, precisión y confiabilidad, proporcionando una contribución para espacios confinados y de riesgo industrial.

Conclusiones

El estudio confirmó la viabilidad técnica de diseñar e implementar un prototipo funcional de robot móvil para la detección preliminar de fugas de CH₄. El sistema cumplió de forma satisfactoria los objetivos del estudio, demostrando estabilidad y funcionamiento confiable en condiciones de laboratorio. Asimismo, se logró integrar exitosamente los subsistemas del robot móvil, incluyendo los módulos de movilidad, detección y comunicación inalámbrica. Además, el uso de componentes de bajo costo, tales como Arduino UNO R3, sensor MQ-4 y módulo ESP8266-01, demostró que es posible desarrollar una plataforma eficiente y económica. Entre los hallazgos, el robot móvil mostró transmisión de datos en tiempo real, control remoto estable y detección precisa de concentraciones simuladas de CH₄. El sistema respondió correctamente a los comandos de movimiento y mantuvo conectividad confiable mediante el protocolo MQTT.

Con respecto a su aplicabilidad práctica, el

prototipo constituye una herramienta experimental viable para el monitoreo preliminar de metano en entornos industriales o confinados. Por otra parte, su diseño modular y replicable permite adaptarlo a distintos escenarios de vigilancia.

Entre las limitaciones identificadas del prototipo, se encontraron la falta de calibración metrológica del sensor MQ-4, la ausencia de pruebas de validación en campo con fugas reales, la autonomía energética limitada, así como la dependencia de red Wi-Fi.

Las recomendaciones propuestas para futuras investigaciones integran la incorporación de sensores adicionales o de mayor precisión, como los ópticos o láser, la implementación de algoritmos de navegación autónoma (como SLAM), el mejoramiento de la autonomía con baterías de mayor capacidad o sistemas de recarga automática, la validación del sistema en entornos reales, así como la caracterización de su respuesta ante variables ambientales.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE
2025

Artículo Científico

44 - 55



Se concluye que el prototipo presentado aporta una solución tecnológica accesible para la vigilancia y mitigación de emisiones de metano, promueve la seguridad humana al reducir la exposición directa en inspecciones manuales, sienta las bases para desarrollos futuros en robótica móvil aplicada al monitoreo de gases contaminantes en espacios reducidos. Cabe resaltar que, el diseño propuesto se orienta al monitoreo preliminar en espacios confinados, de acceso restringido o de riesgo industrial, no a la detección doméstica ni al reemplazo de dispositivos certificados de seguridad industrial.

Referencias

Adafruit Industries. (s. f.). *DC gearbox motor "TT Motor" 200RPM 3-6VDC (Product ID: 3777)* [PDF]. Recuperado el 05 de Septiembre de 2025, <https://www.digikey.com/htmldatasheets/product/3190302/0/0/1/3777.pdf>

AG Electrónica SAPI de CV. (2024). *Módulo transceptor inalámbrico Bluetooth HC-05* [PDF]. <https://agelectronica.lat/pdfs/textos/H/HC-05-BT-MODULE-COMPATIBL.PDF>

AI-Thinker team. (2017). *ESP-01 WiFi module: Technical data* [PDF]. Shenzhen Anxinke echnology Co., Ltd. https://aithinker-static.oss-cn-shenzhen.aliyuncs.com/docs/media_old/esp-01_product_specification_en.pdf

Andi.Co. (2024). *Bluetooth RC Car APK para Android*. Softonic. <https://bluetooth-rc-car.softonic.com/android>

Araín, M. A., Hernandez Bennetts, V., Schaffernicht, E. & Lilienthal, A. J. (2020). Sniffing out fugitive methane emissions: autonomous remote gas inspection with a mobile robot. *The International Journal of Robotics Research*, 40(4-5), 782-814. <https://doi.org/10.1177/0278364920954907>

Arduino. (2025). *Arduino® UNO R3 user manual (SKU: A000066)* [PDF]. <http://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A00066-datasheet.pdf>

Carrillo-Amado, Y. R., Califa-Urquiza, M. A. & Ramón-Valencia, J. A. (2020). Calibración y estandarización de mediciones de calidad del aire usando sensores MQ. *Respuestas*, 25(1), 70-77. <https://doi.org/10.22463/0122820X.2408>

Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K. & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>

Çalik, F. (2025). The Evaluation of Methane Gas Explosion Risk in Confined Spaces – A Case Study in the Ship Building Industry. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 37(2), 144-152. <https://doi.org/10.7240/jeps.1600904>

Global Methane Hub. (s. f.). *Meet the moment on methane*. Recuperado el 01 de septiembre de 2025, de <https://www.globalmethanehub.org/>

Hanwei Electronics. (s. f.). *Technical data MQ-4 gas sensor* [PDF]. Recuperado el 01 de septiembre de 2025 <https://cdn.sparkfun.com/assets/e/f/c/7/d/MQ-4.pdf>

Hasan Shuvo, M. & Chowdhury, S. (2024). IoT Based Fire Detector System Using MQ-4 and LM35 Sensor. *2nd International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)*, IEEE, 400-403. <https://doi.org/10.1109/ICSCSS60660.2024.10625187>

Iwaszenko, S., Kalisz, P., Słota, M. & Rudzki, A. (2021). Detection of Natural Gas Leakages Using a Laser-Based Methane Sensor and UAV. *Remote Sensing*, 13(3), 510. <https://doi.org/10.3390/rs13030510>

Jotham, A. F., Jimananda, A. S., Adhiwangsa, F., Jati, A. N. & Shiddieqy, H. A. (2024). Gas Density Sensors Integration on Heterogeneous Mobile Robots. *8th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, IEEE, 250-255. <https://doi.org/10.1109/ICITISEE63424.2024.10730001>

Kamarudin, K., Shakaff, A. Y., Bennetts, V. H., Mamduh, S. M., Zakaria, A., Visvanathan, R., Ali Yeon, A. S. & Kamarudin, L. M. (2018). Integración de SLAM y mapeo de distribución de gas (SLAM-GDM) para la localización en tiempo real de fuentes de gas. *Advanced Robotics*, 32(17), 903-917. <https://doi.org/10.1080/01691864.2018.1516568>

Li, Y., Qian, X., Zhang, S., Sheng, J., Hou, L. & Yuan, M. (2023). Assessment of gas explosion risk in underground spaces adjacent to a gas pipeline. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 131, 104785. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104785>

Magableh, M., Marie, Z., Mohamed, R.R., Bin Ibrahim, M.H., Jusoh, J.A. & Kumar, R. (2023). Using Arduino Iot Modules As A Low Cost Environmental Research Monitoring System. *International Conference on Computer Science and Emerging Technologies (CSET)*, IEEE, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CSET58993.2023.10346624>



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.4

OCTUBRE - DICIEMBRE
2025

Artículo Científico

44 - 55

Diseño e Implementación de un Robot Móvil para la Detección de Gas Metano en Espacios Confinados y Entornos de Riesgo Industrial

Maria Esther Lara Hernández

ORCID: 0009-0001-4171-1517

Tomas Javier Escamilla Bello

ORCID: 0009-0002-1523-1795

<https://revista.scienceevolution.com>



Pavith Ashwin, G. K., Ramasamy, A. H. H., Raj, P. P., Manikandan, M. & Kumar, K. (2024). Mine Guard: Manually Controlled Surveillance Robot with Gas Detection for Mine Safety. *4th International Conference on Ubiquitous Computing and Intelligent Information Systems (ICUIS)*, *IEEE*, 830–835.

<https://doi.org/10.1109/ICUIS64676.2024.10866498>

Peng, Y. (2024). Design of Indoor Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Network. *2024 6th International Conference on Frontier Technologies of Information and Computer (ICFTIC)*, *IEEE*, 1149–1153.

<https://doi.org/10.1109/ICFTIC64248.2024.10913063>

Qiao, J., Guo, J. & Li, Y. (2024). Simultaneous localization and mapping (SLAM)-based robot localization and navigation algorithm. *Applied Water Science*, *14*(151).

<https://doi.org/10.1007/s13201-024-02183-6>

Rahma, M. A., Suweni Muntini, M. & Sugriwan, I. (2024). Methane (CH₄) Detection System Using The TGS2611 Sensor and MQ-4 Sensor. *Journal of Physics: Conference Series*, 3rd International Symposium on Physics and Applications 2023 (ISPA 2023). 2780.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2780/1/012034>

Raj, R. & Kos, A. A. (2022). A comprehensive Study of Mobile Robot: History, Developments, Applications, and Future Research Perspectives. *Applied Sciences*, *12*(14), 6951.

<https://doi.org/10.3390/app12146951>

República de China. (2011). *GB/T 26125-2011* [PDF].

<https://www.chinesestandard.net/PDF-EN/GBT26125-2011EN-P09P-H7528H-132738.pdf>

Shan, Y., Tian, T., Li, R., Guan, Y., Ou, J., Guan, D. & Hubacek, K. (2025). Global methane footprints growth and drivers 1990-2023. *Springer Nature*, *16*(8184).

<https://doi.org/10.1038/s41467-025-63383-5>

Shindell, D., Sadavarte, P., Aben, I., Bredariol, T. d. O., Dreyfus, G., Höglund-Isaksson, L., Poulter, B., Saunio, M., Schmidt, G. A., Szopa, S., Rentz, K., Parsons, L., Qu, Z., Faluvegi, G. & Maasakkers, J. D. (2024). The methane imperative. *Frontiers in Science*, *2*, 1349770.

<https://doi.org/10.3389/fsci.2024.1349770>

Texas Instruments. (2016). *L293, L293D quadruple half-H drivers (SLRS008D)* [PDF].

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293d.pdf?ts=1763062891487&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FL293D

Tutak, M., Krenicky, T., Pirník, R., Brodny, J. & Grebski, W. W. (2024). Predicting Methane Concentrations in Underground Coal Mining Using a Multi-Layer Perceptron Neural Network Based on Mine Gas Monitoring Data. *Sustainability*, *16*(19), 8388.

<https://doi.org/10.3390/su16198388>

Wang, X., Hou, T., Gao, W., Yu, K., Zhang, T. & Tan, Y. (2024). Experimental study on the diffusion process of natural gas from buried pipelines to underground confined spaces. *Natural Gas Industry B*, *11*(5), 603–615.

<https://doi.org/10.1016/j.ngib.2024.09.002>

Yue, C., Chen, L., Li, Z., Feng, B. & Xu, R. (2025). Research on the hazards of gas leakage and explosion in a full-scale residential building. *Defence Technology*, *43*, 168–181.

<https://doi.org/10.1016/j.dt.2024.06.014>