

**Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de amoníaco (NH<sub>3</sub>) con alertas tempranas basado en IOT para entornos industriales**

Juan David Ramos Yanez

Freider Bello Prado

Asesor

Oscar Camilo Fuentes Amin

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería-ECBTI

Ingeniería Electrónica

2026

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Álvaro José Salgado Sánchez por su valioso apoyo en el desarrollo de la aplicación móvil, cuya colaboración fue fundamental para alcanzar los objetivos propuestos en este proyecto.

De igual manera, agradezco a Luz Helena Villegas Perneth por su importante contribución en la toma de fotografías, en la edición de video y en la organización física del prototipo, aportando calidad y profesionalismo a la presentación visual del trabajo.

A ambos, mi gratitud por su tiempo, dedicación y compromiso.

## Resumen

El presente proyecto plantea el desarrollo de un sistema de monitoreo de amoníaco (NH<sub>3</sub>) diseñado para mejorar la seguridad industrial en entornos donde este gas se emplea como refrigerante o insumo químico. Debido a su alta toxicidad y a los riesgos asociados con la exposición prolongada, se identifica la necesidad crítica de implementar un sistema de detección temprana que reduzca las afectaciones a la salud de los trabajadores y evite pérdidas económicas ocasionadas por fugas no detectadas. La propuesta integra un sensor MQ-135, pantalla lcd 20x4, un microcontrolador Atmega2560 y un microcontrolador ESP32, los cuales fueron seleccionados por su capacidad de procesamiento y conectividad Wi-Fi nativa, para una arquitectura del Internet de las Cosas (IoT). El sistema permite medir en tiempo real la concentración de amoníaco y generar alertas locales (visuales i o sonoras) y remotas mediante una aplicación móvil desarrollada en Visual stude code. Bajo un enfoque metodológico experimental.

El diseño se proyecta como una solución accesible, viable y escalable que fortalece la seguridad industrial mediante tecnologías de la Industria 4.0, aportando directamente al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 9: Industria, Innovación e Infraestructura.

**Palabras Clave:** Amoníaco (NH<sub>3</sub>), Seguridad industrial, IoT, Sensores de gases, Monitoreo en tiempo real.

## Abstract

This project proposes the development of an ammonia (NH<sub>3</sub>) monitoring system designed to improve industrial safety in environments where this gas is used as a refrigerant or chemical input. Due to its high toxicity and the risks associated with prolonged exposure, there is a critical need to implement an early detection system that reduces the impact on workers' health and prevents economic losses caused by undetected leaks. The proposal integrates an MQ-135 sensor, a 20x4 LCD screen, an Atmega2560 microcontroller, and an ESP32 microcontroller, which were selected for their processing capacity and native Wi-Fi connectivity, for an Internet of Things (IoT) architecture. The system allows for real-time measurement of ammonia concentration and generates local (visual and/or audible) and remote alerts via a mobile application developed in Visual Studio Code. An experimental methodological approach is used.

The design is projected as an accessible, viable and scalable solution that strengthens industrial safety through Industry 4.0 technologies, directly contributing to Sustainable Development Goal (SDG) 9: Industry, Innovation and Infrastructure.

**Keywords:** Ammonia (NH<sub>3</sub>), Industrial safety, IoT, Gas sensors, Real-time monitoring.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	9
Planteamiento del Problema .....	10
Justificación .....	11
Objetivos .....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos.....	13
Marco Conceptual.....	14
Amoníaco (NH <sub>3</sub> ) en Entornos Industriales .....	14
Sensores de Gases y Tecnología MQ-135 .....	14
Internet de las Cosas (IoT).....	15
Seguridad Industrial .....	15
Marco Contextual.....	16
Marco Normativo.....	18
Estado del Arte.....	20
Metodología .....	22
Fase 1 .....	22
Fase 2 .....	23
Fase 3 .....	23
Fase 4 .....	23
Fase 5 .....	23
Fase 6 .....	24
Fase 7 .....	24

Diseño Técnico de Ingeniería .....	25
Selección de Hardware .....	25
Análisis Técnico de los Microcontroladores.....	26
Diagrama de Flujo y Plano Eléctrico .....	27
Plano Eléctrico .....	29
Modelo Matemático (Cálculo de PPM) .....	30
Cálculo de la concentración de $\text{NH}_3$ (PPM).....	31
Construcción de Prototipo.....	34
Algoritmo de Control e Interfaz IoT.....	37
Resultados Obtenidos.....	40
Enlaces Videos de Pruebas Prototipos .....	46
Discusión.....	47
Conclusiones .....	48
Administración del Proyecto.....	50
Presupuesto Detallado.....	50
Cronograma de Actividades (Diagrama de Gantt).....	52
Referencias Bibliográficas .....	53

## Listado de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Comparación Técnica de las Tarjetas Arduino Uno, Nano, Mega y Esp32</i> .....	25
<b>Tabla 2</b> <i>Elementos Usados para la Construcción del Prototipo</i> .....	34
<b>Tabla 3</b> <i>Elementos y Dispositivos Electrónicos</i> .....	50
<b>Tabla 4</b> <i>Herramientas</i> .....	51
<b>Tabla 5</b> <i>Software</i> .....	51
<b>Tabla 6</b> <i>Cronograma de Actividades</i> .....	52

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diagrama de Flujo</i> .....	28
<b>Figura 2</b> <i>Plano Eléctrico</i> .....	29
<b>Figura 3</b> <i>Grafica de las Curvas de Concentración de los Diferentes Gases que Puede Detectar el Sensor Mql35</i> .....	32
<b>Figura 4</b> <i>Integración de Todos los Dispositivos Eléctricos</i> .....	40
<b>Figura 5</b> <i>Esperando Modo</i> .....	40
<b>Figura 6</b> <i>Modo Trabajo</i> .....	41
<b>Figura 7</b> <i>Modo Mantenimiento</i> .....	41
<b>Figura 8</b> <i>Modo Calibración</i> .....	42
<b>Figura 9</b> <i>Calibración R0</i> .....	42
<b>Figura 10</b> <i>Comunicación UART</i> .....	44
<b>Figura 11</b> <i>Notificaciones de Alarmas</i> .....	44
<b>Figura 12</b> <i>Interfax Monitor de NH3</i> .....	45

## Introducción

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es un compuesto químico ampliamente utilizado en sectores industriales como la refrigeración, la industria alimentaria y la producción química, debido a sus propiedades termodinámicas eficientes. su uso implica riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente, especialmente en escenarios donde no se cuenta con sistemas adecuados de monitoreo y control.

Teniendo en cuenta este contexto la industria 4.0 nos permite el uso de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) que ha permitido el desarrollo de soluciones innovadoras orientadas al monitoreo en tiempo real de variables críticas. Esta tecnología facilita la integración de sensores, sistemas embebidos y plataformas de comunicación, mejorando la capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo.

El presente proyecto propone el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de amoníaco basado en IoT, capaz de detectar concentraciones del gas en tiempo real y generar alertas tempranas, contribuyendo a la seguridad industrial y a la prevención de accidentes laborales.

## Planteamiento del Problema

En los sectores de alimento, químico y de refrigeración industrial, el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es ampliamente utilizado como refrigerante debido a su alta eficiencia energética. Sin embargo, su alta toxicidad e inflamabilidad lo convierte en un riesgo ocupacional significativo. Según la ficha de seguridad Química internacional, las exposiciones superiores a 25 ppm pueden generar irritación respiratoria, mientras que concentraciones mayores pueden provocar daños pulmonares severos e incluso la muerte (ICSC:0414. 2013).

Una de las principales causas de accidentes asociados al amoníaco es la falta de sistemas de monitoreo continuo y automatizado, especialmente en pequeñas y medianas empresas, donde predominan métodos tradicionales como inspecciones manuales o detección por medio del olfato. Estos métodos resultan inseguros, ya que dependen de la percepción humana y no permiten una detección temprana ni precisa de fugas provocando el incremento de accidentes laborales y de exposición prolongada del personal a gases tóxicos, afectando los procesos productivos y generando posibles pérdidas de vidas, económicas y sanciones regulatorias.

Actual mente existe sistemas tecnológicos que dan solución a esta problemática, pero muchas de ellas presentan altos costos o limitaciones en su implementación, lo que dificulta su implementación en entornos industriales de menor escala.

De esta problemática surge la necesidad de desarrollar una solución accesible, eficiente y de bajo costo que permita el monitoreo continuo del amoníaco en tiempo real. Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de monitoreo de amoníaco basado en IoT que permita la detección en tiempo real y la generación de alertas tempranas para mitigar riesgos en entornos industriales?

## Justificación

La implementación de un sistema de monitoreo de amoníaco es fundamental para mejorar las condiciones de seguridad en entornos industriales donde este químico es utilizado. De acuerdo con estándares internacionales como ACGIH y la ficha técnica internacional química del amoníaco, el límite permisible de exposición es de 25 ppm en jornadas laborales, lo que evidencia la necesidad de sistemas que permitan medir estas concentraciones de manera continua y confiable.

Los avances tecnológicos nos ofrecen soluciones basadas en IoT que han demostrado ser eficaz en el monitoreo ambiental, permitiendo la adquisición, procesamiento y transmisión de datos en tiempo real. Las investigaciones recientes como la de Yadav, S., Pechetti, J., G, T., & Belwal, M. (2025). Automatic Vehicle Emission Monitoring and Alert System Using Arduino and MQ135 Sensor y la de Revathi, M., Siva Deepika, K. G., Balaji, M., Kumar, J. H., & Sri Venkat, N. O. (2025). IoT-Enabled Smart Robotic System for Borewell Rescues Using ESP32-S3. han evidenciado que el uso de sensores como el MQ-135, combinado con microcontroladores y plataformas de comunicación inalámbrica, permite implementar sistemas de bajo costo con alta funcionalidad.

Este proyecto contribuye a la protección de la salud de los trabajadores expuestos al amoníaco, reduciendo riesgos de problemas respiratorias y accidentes laborales, también permite minimizar pérdidas asociadas a paradas de producción y sanciones regulatoria, Alineándose a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) espáticamente con el ODS 3: Salud y bienestar, ya que busca prevenir afectaciones a la salud mediante el monitoreo y la detección temprana de gases tóxicos en entornos industriales. también se relaciona con ODS 9: Industria, innovación e

infraestructura, porque incorpora tecnologías IoT y sistemas electrónicos para fortalecer la seguridad industrial.

## Objetivos

### Objetivo General

Desarrollar un sistema de monitoreo de amoníaco basado en sensores especializados e IoT para mejorar la seguridad en plantas industriales mediante alertas tempranas visuales, sonoras y notificaciones móviles.

### Objetivos Específicos

Diseñar un sistema de detección de amoníaco con sensores especializados (MQ-135) para medir y visualizar en tiempo real la concentración del gas en un entorno industrial.

Implementar un mecanismo de procesamiento y análisis de datos en un sistema embebido para interpretar los niveles de amoníaco y generar alertas automáticas en caso de fugas.

Integrar una plataforma de comunicación inalámbrica (Wi-Fi) para enviar notificaciones a dispositivos móviles de supervisores y personal de seguridad en situaciones de riesgo.

Evaluar el desempeño del sistema en un entorno controlado para validar su efectividad, precisión y latencia en la detección de fugas de amoníaco.

## **Marco Conceptual**

### **Amoníaco (NH<sub>3</sub>) en Entornos Industriales**

El amoníaco (NH<sub>3</sub>) es un compuesto químico ampliamente utilizado en la industria, especialmente en sistemas de refrigeración industrial y producción de alimentos, debido a sus propiedades termodinámicas eficientes y su bajo costo (Zabarce, 2024). Se caracteriza por ser un gas incoloro, de olor penetrante y altamente soluble en agua.

El NH<sub>3</sub> representa un riesgo significativo para la salud humana, ya que exposiciones superiores a 25 ppm pueden generar irritación en las vías respiratorias, mientras que concentraciones más altas pueden provocar daños severos e incluso la muerte (INSST, 2018).

A pesar de que es un químico muy usado muchas industrias no cuentan con sistemas automatizados de monitoreo continuo, lo cual pone en evidencia la necesidad de implementar soluciones tecnológicas basadas en IoT.

### **Sensores de Gases y Tecnología MQ-135**

Los sensores de gases son dispositivos diseñados para detectar la presencia de compuestos químicos en el aire, transformando variables físicas en señales eléctricas interpretables (Todoluzygaz, 2022).

El sensor MQ-135 es ampliamente utilizado para la detección de gases como el amoníaco y compuestos orgánicos volátiles, debido a su bajo costo y facilidad de implementación (Nagy et al., 2020).

Aunque estos sensores son muy usados presentan limitaciones como la sensibilidad cruzada y la necesidad de calibración, lo que implica la implementación de modelos matemáticos para mejorar la precisión de las mediciones.

## **Internet de las Cosas (IoT)**

El Internet de las Cosas (IoT) permite la interconexión de dispositivos electrónicos mediante redes de comunicación, facilitando el monitoreo en tiempo real (Sharma, 2023).

El IoT aplicado en la industria permite integrar sensores y sistemas embebidos para la supervisión de variables críticas, mejorando la toma de decisiones (TME Electronic Components, 2024).

La implementación del IoT en pequeñas industrias presenta limitaciones relacionadas con costos y complejidad técnica.

## **Seguridad Industrial**

La seguridad industrial comprende el conjunto de normas y estrategias orientadas a prevenir riesgos laborales y proteger la salud de los trabajadores (Prysmex, 2022).

En entornos con presencia de gases tóxicos como el amoníaco, la implementación de sistemas de monitoreo es clave para prevenir accidentes y reducir riesgos.

Aunque hay muchas formas tecnológicas para monitorear las concentraciones de químicos como el amónica muchas empresas aún utilizan métodos tradicionales, lo que limita la detección temprana de fugas.

## Marco Contextual

El uso de sustancias químicas peligrosas en entornos industriales representa un desafío importante para la seguridad y salud ocupacional a nivel mundial. En particular, los gases tóxicos como el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) son ampliamente utilizados en sectores como la refrigeración industrial, la industria alimentaria y la producción química, debido a sus propiedades eficientes como refrigerante y materia prima (Zabarce, 2024).

En Colombia, el uso de amoníaco es común en plantas de procesamiento de alimentos, sistemas de refrigeración industrial y empresas del sector químico. Sin embargo, su manipulación implica riesgos significativos, ya que la exposición a este gas puede generar afectaciones a la salud como irritación ocular y respiratoria, quemaduras químicas e incluso daños pulmonares severos en altas concentraciones (INSST, 2018).

De acuerdo con organismos internacionales de higiene industrial, la exposición a sustancias químicas continúa siendo una de las principales causas de enfermedades laborales, especialmente en entornos donde no se cuenta con sistemas de monitoreo continuo (ACGIH, 2026). Esta situación se presenta con mayor frecuencia en pequeñas y medianas empresas, donde los recursos tecnológicos son limitados. La exposición ocupacional a gases como el amoníaco se encuentra regulada por límites permisibles, lo que evidencia la necesidad de implementar mecanismos que permitan su medición constante. No obstante, en muchos entornos industriales aún se emplean métodos tradicionales de detección, como la inspección manual o la percepción olfativa, los cuales no garantizan una detección temprana ni precisa de fugas (Prysmex, 2022). En este contexto, la incorporación de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) ha permitido el desarrollo de soluciones innovadoras orientadas al monitoreo en tiempo real de variables ambientales. Estas tecnologías facilitan la integración de sensores, sistemas embebidos

y plataformas de comunicación, permitiendo mejorar la capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo (Sharma, 2023).

El desarrollo de sistemas de monitoreo de amoníaco basados en IoT representa una alternativa viable para fortalecer la seguridad industrial en Colombia, especialmente en sectores donde el uso de este gas es frecuente. Este tipo de soluciones contribuye a la reducción de accidentes laborales, la protección de la salud de los trabajadores y la optimización de los procesos productivos (León et al., 2023).

## Marco Normativo

El desarrollo del presente proyecto se fundamenta en un conjunto de normas y estándares que regulan la seguridad industrial, la exposición a agentes químicos y el uso de sistemas de monitoreo en entornos laborales. Estas normativas permiten establecer criterios técnicos para la prevención de riesgos asociados al amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

En Colombia, la Resolución 2400 de 1979 establece disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo. Esta norma define lineamientos generales para la prevención de riesgos laborales, incluyendo el control de agentes químicos en el ambiente, lo cual es fundamental en escenarios donde se manipulan sustancias como el amoníaco.

la GTC 45 (Guía Técnica Colombiana) proporciona la metodología para la identificación de peligros y la evaluación y control de riesgos en los lugares de trabajo. Esta guía es clave para determinar los niveles de riesgo asociados a la exposición de gases tóxicos y establecer medidas de control, como la implementación de sistemas de monitoreo continuo.

A nivel internacional, la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) establece los límites de exposición ocupacional para diferentes sustancias químicas. En el caso del amoníaco, define un límite permisible de 25 ppm (TWA) para exposiciones durante una jornada laboral de 8 horas, y un límite de 35 ppm (STEL) para exposiciones de corta duración. Estos valores son utilizados como referencia para la clasificación de niveles de riesgo en el presente proyecto.

las normas NTC-IEC relacionadas con instrumentación electrónica y sistemas de medición establecen criterios de calidad, seguridad y confiabilidad en dispositivos electrónicos

utilizados en entornos industriales. Estas normas son relevantes para el diseño del sistema de monitoreo, garantizando que cumpla con estándares técnicos adecuados.

Estas normativas respaldan el desarrollo del presente proyecto, asegurando que la solución propuesta no solo sea técnicamente viable, sino también alineada con los estándares de seguridad industrial y salud ocupacional, contribuyendo a la prevención de riesgos laborales asociados a la exposición al amoníaco.

## Estado del Arte

Los sistemas de monitoreo de gases contaminantes y la implementación de sistemas de detección temprana con integración de IOT, han sido ampliamente estudiados y documentado en investigaciones científicas reciente, especialmente debido al impacto en la salud humana y la seguridad industrial.

Yadav et al. (2025) desarrollaron un sistema automático para el monitoreo de emisiones vehiculares utilizando Arduino y el sensor MQ-135. El sistema permitió detectar contaminantes en tiempo real y generar alertas cuando los niveles superaban los límites establecidos. Esta investigación demuestra que el sensor MQ-135 puede emplearse en aplicaciones de monitoreo ambiental mediante soluciones de bajo costo y fácil implementación. Aunque el enfoque del estudio estuvo orientado al control de emisiones vehiculares, sus resultados sirven como referencia para el desarrollo del sistema de monitoreo de amoníaco propuesto en este proyecto.

Revathi et al. (2025) implementaron un sistema robótico basado en IoT utilizando el microcontrolador ESP32-S3 para monitoreo y control remoto. Implementaron el uso de tecnologías inalámbricas que permiten transmitir información en tiempo real de manera eficiente y estable. aportando elementos importantes relacionados con la comunicación IoT y la transmisión remota de datos, aspectos importantes para el proyecto mediante el uso del ESP32 y una aplicación móvil de monitoreo.

Shams et al. (2025) desarrollaron un sistema para evaluar la calidad de alimentos utilizando el sensor MQ-135 combinado con técnicas de inteligencia artificial. Mostraron altos niveles de precisión en la detección de compuestos volátiles, evidenciando el potencial del sensor en aplicaciones de monitoreo ambiental. Esta investigación permitió identificar la importancia de

realizar procesos adecuados de calibración para mejorar la confiabilidad de las mediciones obtenidas.

Agudelo y Lozano (2025) diseñaron un prototipo modular para el monitoreo de contaminantes ambientales mediante sensores inalámbricos y tecnología IoT, demostrando que la integración de sensores, sistemas embebidos y comunicación inalámbrica mejora significativamente la adquisición y visualización de datos en tiempo real. Este trabajo se relaciona directamente con este proyecto, ya que ambos utilizan arquitecturas IoT orientadas al monitoreo ambiental y la supervisión remota de variables críticas.

Nagy et al. (2020) analizaron el comportamiento de sensores MQ en la detección simultánea de diferentes gases. Se concluyó que estos sensores presentan sensibilidad cruzada, lo que puede afectar la exactitud de las mediciones cuando existen múltiples gases en el ambiente. Este aspecto representa una de las principales limitaciones del sensor MQ-135 y fue considerado durante el desarrollo del sistema, especialmente en el proceso de calibración y validación experimental.

León et al. (2023) estudiaron la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 aplicadas a la seguridad industrial en pequeñas y medianas empresas. Los resultados evidenciaron que el monitoreo en tiempo real y los sistemas automatizados contribuyen significativamente a la reducción de riesgos laborales y a la mejora de la seguridad operativa, respaldando la importancia de integrar tecnologías IoT en entornos industriales donde existe exposición a sustancias peligrosas como el amoníaco.

## Metodología

El presente proyecto corresponde a un desarrollo tecnológico aplicado, ya que busca diseñar e implementar una solución funcional a una problemática real en el ámbito industrial, tiene un enfoque de investigación cuantitativo, debido a que se analizan variables medibles como la concentración de amoníaco (ppm), la precisión del sensor y el tiempo de respuesta del sistema. El diseño metodológico es experimental, ya que se realizan pruebas en un entorno controlado mediante la exposición a  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Para las pruebas se utilizó como población una planta industrial que utiliza amoníaco como refrigerante, mientras que la muestra corresponde a un entorno controlado en el que se simuló una fuga de amoníaco.

El proyecto se fundamenta en la implementación de un prototipo funcional orientado a la medición y monitoreo de las concentraciones de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en el ambiente. La metodología adoptada permite evaluar variables cuantificables como la concentración del Amoníaco en partes por millón (ppm), la efectividad en la generación de alertas visuales, la comunicación UART entre el Arduino Mega y el ESP32, así como el funcionamiento de la aplicación móvil para monitoreo remoto. El proyecto se ejecutó en un periodo comprendido entre el 1 de marzo y el 11 de abril, equivalente a 6 semanas de trabajo, organizadas de forma secuencial y parcialmente simultánea, tal como se presenta en la tabla 6 cronograma de actividades. Para el desarrollo, el proceso se estructuró en siete fases:

### Fase 1

Análisis y selección de hardware: Durante la primera semana se realizó la revisión bibliográfica y la evaluación comparativa de diferentes plataformas de desarrollo, considerando criterios como capacidad de procesamiento, número de entradas y salidas, resolución del ADC y consumo energético. Como resultado, se seleccionó el Arduino Mega 2560 como unidad

principal de procesamiento y el ESP32 como módulo de comunicación inalámbrica para la implementación del sistema IoT.

## **Fase 2**

**Diseño del sistema:** En esta fase se desarrolló el diseño del circuito electrónico, el diagrama de flujo y el modelo matemático del sistema. Se definieron los módulos de adquisición, procesamiento y visualización de datos. Asimismo, se establecieron las bases para el acondicionamiento de señal del sensor MQ-135 y la arquitectura general del sistema.

## **Fase 3**

**Construcción e implementación del prototipo:** Durante esta fase se llevó a cabo la construcción física del sistema, incluyendo la compra de materiales, el montaje de los componentes y las pruebas de ensamble. Se integraron el Arduino Mega, el sensor MQ-135, la pantalla LCD, los módulos de relé y el ESP32, garantizando la correcta conexión eléctrica y funcional del sistema.

## **Fase 4**

**Programación y calibración del sistema:** En esta fase se desarrolló la programación del sistema, incorporando las funciones para la lectura del sensor, el procesamiento de datos y la generación de alertas. Adicionalmente, se realizó el proceso de calibración del sensor MQ-135, incluyendo el precalentamiento de 24 horas y la obtención del valor de referencia  $R_0$  mediante múltiples mediciones en condiciones de aire limpio.

## **Fase 5**

**Pruebas experimentales y comunicación:** El sistema fue evaluado en un entorno controlado mediante la exposición a amoníaco disuelto en agua ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), analizando parámetros como la estabilidad de las mediciones, la activación de alertas y la comunicación UART entre el

Arduino Mega y el ESP32. Estas pruebas permitieron validar el comportamiento del sistema bajo diferentes niveles de concentración de gas.

### **Fase 6**

Desarrollo de la interfaz IoT: En las últimas semanas se desarrolló la aplicación móvil para la visualización remota de los datos, permitiendo el monitoreo en tiempo real de la concentración de  $\text{NH}_3$ . La comunicación se realizó mediante el ESP32, utilizando protocolo HTTP y formato JSON para la transmisión de datos. La aplicación fue diseñada con una interfaz amigable, incluyendo indicadores de estado, actualización automática, visualización en tiempo real y alarmas cuando las concentraciones sean peligrosas.

### **Fase 7**

Documentación y conclusiones: Se realizó la documentación técnica del proyecto, el análisis de resultados y la elaboración de conclusiones, consolidando toda la información obtenida durante el desarrollo y validación del sistema.

## Diseño Técnico de Ingeniería

### Selección de Hardware

Para la selección de unidad de procesamiento central, se evaluaron diferentes tarjetas de desarrollo. La Tabla 1 resume la comparativa técnica que justifica la elección del Arduino mega.

**Tabla 1**

*Comparación Técnica de las Tarjetas Arduino Uno, Nano, Mega y Esp32*

Características	Arduino Uno	Arduino Nano	Arduino Mega 2560	Esp32
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega328P	ATmega2560	Tensilica Xtensa LX6
Frecuencia de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz	240 MHz
Memoria Flash	32 KB	32 KB	256 KB	4 MB
SRAM	2 KB	2 KB	8 KB	520 kb
EEPROM	1 KB	1 KB	4 KB	NO
Entradas digitales	14	14	54	34
Entradas analógicas	6	8	16	18
Salidas PWM	6	6	15	16
Voltaje de operación	5 V	5 V	5 V	3,3
Consumo energético	19 – 30 mA	45 – 55 mA	70 – 90 mA	80 – 240 mA
Tamaño físico	Mediano	Pequeño	Grande	Pequeño
Compatibilidad con sensores MQ	Alta	Alta	Alta	Mediana
Capacidad para múltiples sensores	Limitada	Limitada	Alta	Limitada
Facilidad de integración con IoT	Buena	Buena	Excelente (con módulos externos)	Excelente (módulos wifi, bluetooth integrados)
Costo aproximado	59.000 cop	19.000 cop	70.000 cop	28.000 cop
Adecuado para sistemas complejos	Moderado	Moderado	Alto	Alto

*Nota.* Autoría propia. Listado de características tarjetas de Arduino y Esp32. Características

tomadas de Arduino Official Store (store.arduino.cc); Mercado

libre([https://www.mercadolibre.com.co/tarjeta-de-desarrollo-esp32-esp-32-esp322-wifi-bluetooth/p/MCO2076324932#polycard\\_client=search-](https://www.mercadolibre.com.co/tarjeta-de-desarrollo-esp32-esp-32-esp322-wifi-bluetooth/p/MCO2076324932#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=6&type=product&tracking_id=6efe01b4-4aad-4556-bc4a-63fb3a5c2709&wid=MCO552275895&sid=search)

[desktop&search\\_layout=grid&position=6&type=product&tracking\\_id=6efe01b4-4aad-4556-bc4a-63fb3a5c2709&wid=MCO552275895&sid=search](https://www.mercadolibre.com.co/tarjeta-de-desarrollo-esp32-esp-32-esp322-wifi-bluetooth/p/MCO2076324932#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=6&type=product&tracking_id=6efe01b4-4aad-4556-bc4a-63fb3a5c2709&wid=MCO552275895&sid=search))

## **Análisis Técnico de los Microcontroladores**

Con base a la información de la tabla 1, se determinó que la arquitectura más adecuada para el desarrollo del sistema de monitoreo de amoníaco corresponde a una solución compartida entre dos controladores, en la cual el Arduino Mega 2560 actúa como unidad principal de procesamiento, mientras que el ESP32 se utiliza como módulo de comunicación IoT. La elección del Arduino Mega 2560 como microcontrolador principal es por su mayor capacidad de memoria, disponibilidad de pines de entrada y salida, y estabilidad en la adquisición de señales analógicas. En comparación con las otras tarjetas evaluadas, el Arduino Mega dispone de 256 KB de memoria Flash y 8 KB de SRAM, lo que permite ejecutar algoritmos más complejos y gestionar múltiples dispositivos de manera simultánea sin comprometer el rendimiento del sistema. Cuenta con 16 entradas analógicas y 54 pines digitales, lo cual facilita la integración de sensores, actuadores, pantallas y elementos de control, característica fundamental en sistemas de monitoreo industrial, este microcontrolador presenta un convertidor analógico-digital (ADC) más estable y confiable para la lectura de sensores de tipo MQ, como el MQ-135, cuya señal requiere precisión y consistencia para una correcta interpretación de la concentración de gases. Esta característica resulta determinante, ya que pequeñas variaciones en la lectura pueden afectar significativamente los cálculos de concentración en partes por millón (ppm). Por otra parte, aunque el ESP32 ofrece una mayor capacidad de procesamiento, así como conectividad WiFi y Bluetooth integradas, su uso como unidad principal no fue seleccionado debido a ciertas limitaciones en aplicaciones de adquisición analógica. En particular, su ADC presenta menor linealidad y mayor susceptibilidad al ruido, lo que puede generar inestabilidad en la medición de sensores analógicos. Su operación a 3.3 V implica la necesidad de adaptar niveles de voltaje cuando se trabaja con dispositivos que operan a 5 V, incrementando la complejidad del diseño.

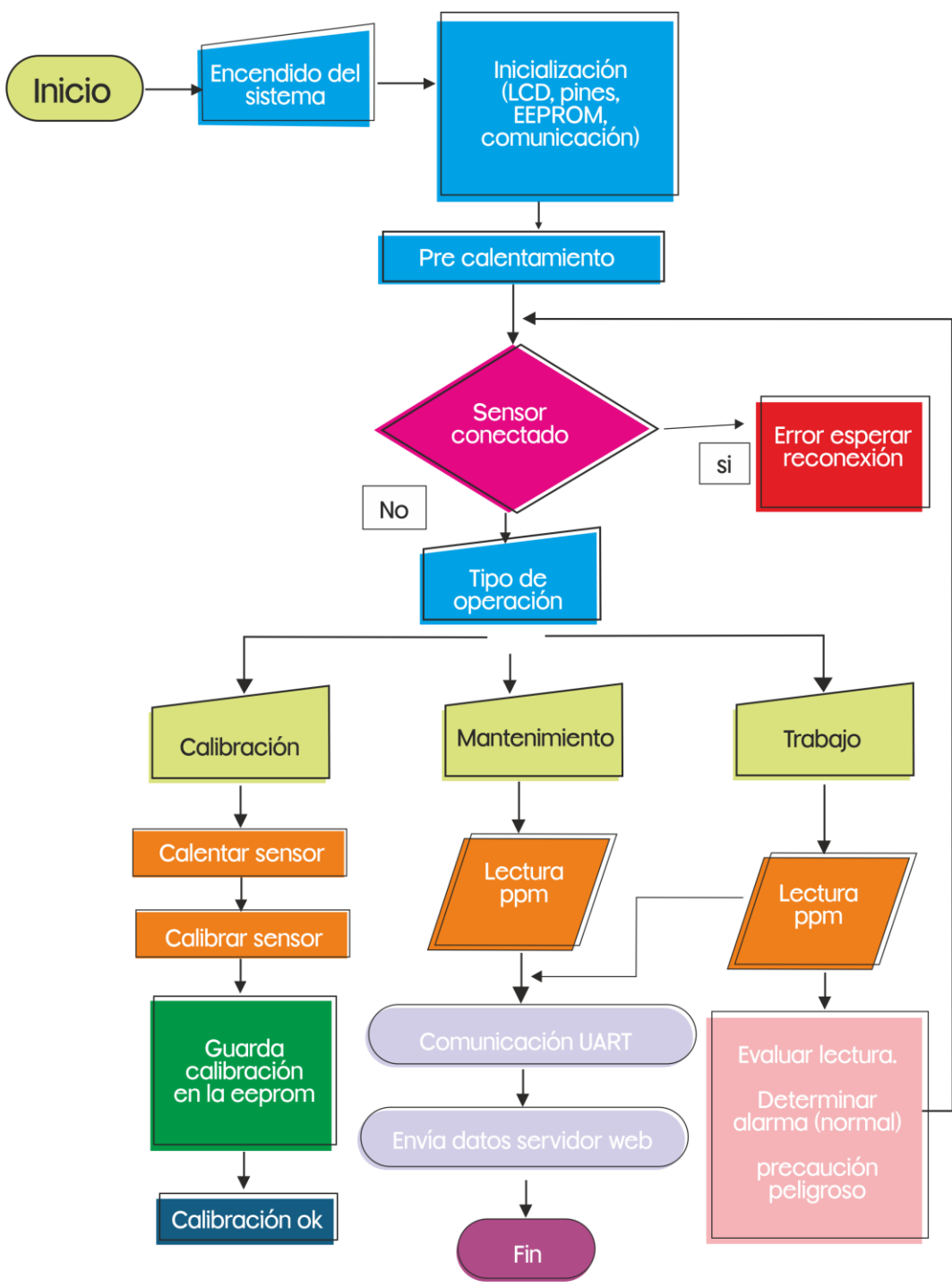
Teniendo en cuenta esas características el ESP32 se integra como un módulo dedicado exclusivamente a la transmisión de datos, aprovechando sus capacidades de conectividad inalámbrica. De esta manera, el Arduino Mega se encarga de la adquisición, procesamiento y toma de decisiones, mientras que el ESP32 gestiona el envío de la información a un servidor web mediante protocolos de comunicación HTTP sobre redes WiFi.

Esta separación de funciones permite optimizar el desempeño del sistema, evitando que las tareas de comunicación interfieran con el procesamiento en tiempo real. reduce la probabilidad de fallos asociados a sobrecarga de recursos y mejora la estabilidad general del sistema. Esta combinación del Arduino Mega 2560 y el ESP32 permite implementar una solución robusta, escalable y confiable, adecuada para aplicaciones de monitoreo en tiempo real, donde la precisión en la medición y la continuidad en la transmisión de datos son factores críticos.

### **Diagrama de Flujo y Plano Eléctrico**

Figura 1

Diagrama de Flujo



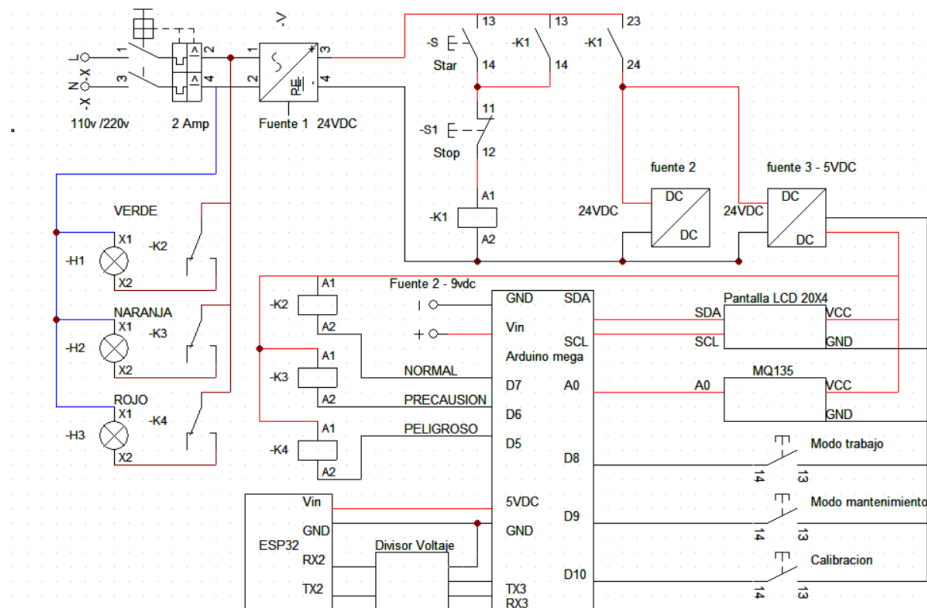
Nota. Elaboración propia. Diagrama de flujo de la operación del sistema de monitoreo. Creada desde Corel draw.

Este diagrama de flujo se realizó con el fin de representar de manera clara, ordenada y visual el funcionamiento del sistema de detección de amoníaco, permitiendo describir cada una de las etapas del proceso, desde la inicialización del dispositivo hasta la lectura, procesamiento de datos y activación de alertas. Además, facilitando la comprensión de la lógica del programa, ayuda a reducir errores durante el desarrollo.

## Plano Eléctrico

**Figura 2**

*Plano Eléctrico*



*Nota.* Elaboración propia. Este plano eléctrico representa las conexiones del prototipo en cade simu.

El plano eléctrico se realizó con el propósito de representar de manera clara y detallada la conexión de todos los componentes del sistema, permitiendo identificar cómo se integran elementos como el sensor, la tarjeta Arduino, la pantalla LCD, pulsadores y los otros dispositivos eléctricos que componen el prototipo. Facilitando el montaje físico del circuito, reduce errores de

conexión, asegura el correcto funcionamiento del sistema y también permite tenerlo como soporte técnico para reparación o mantenimiento de futuras fallas facilitando su comprensión.

### Modelo Matemático (Cálculo de PPM)

Los sensores MQ-135 tienen una resistencia interna que varían en función de la concentración de gas presente en el ambiente. Para obtener la concentración de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en partes por millón (ppm), se implementa un modelo matemático que relaciona la lectura analógica del sistema con la resistencia del sensor y su curva característica. Teniendo en cuenta la curva característica del sensor proporcionada por la datashedt del sensor.

Primero calculamos la resistencia del sensor  $R_s$

A partir de la lectura analógica del Arduino (ADC), primero se obtiene el voltaje de salida  $V_{out}$ , y luego se calcula  $R_s$  usando el divisor de voltaje:

$$R_s = R_L \left( \frac{V_c}{V_{out}} - 1 \right)$$

Donde:

$R_L$ : resistencia de carga

$V_c$ : voltaje de alimentación (5V)

$V_{out}$ : voltaje leído desde el pin analógico

Y el voltaje se obtiene de:

$$V_{out} = \frac{ADC}{1023} \cdot V_c$$

Calculamos la resistencia  $R_0$

Esta resistencia  $R_0$  corresponde al valor de referencia del sensor MQ-135 en condiciones de aire limpio, y se utiliza como base para comparar las variaciones de la resistencia del sensor

( $R_s$ ) en presencia de gases, permitiendo así estimar la concentración de amoníaco mediante relaciones matemáticas derivadas de la curva característica del dispositivo.

Según la hoja de datos del MQ-135, en aire limpio se usa la siguiente ecuación.

$$\frac{R_s}{R_0} = k$$

Donde:

$k$  es una constante  $\approx 3.6$  (valor típico para MQ-135 en aire limpio)

Despejamos  $R_0$ .

$$R_0 = \frac{R_s}{k}$$

Para obtener una mayor precisión se toman varias muestras para obtener un promedio el cual es el valor final de  $R_0$

$$R_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R_{s_i}}{k}$$

Donde:

$k \approx 3.6$  en aire limpio para el MQ-135

$n$ : número de muestras

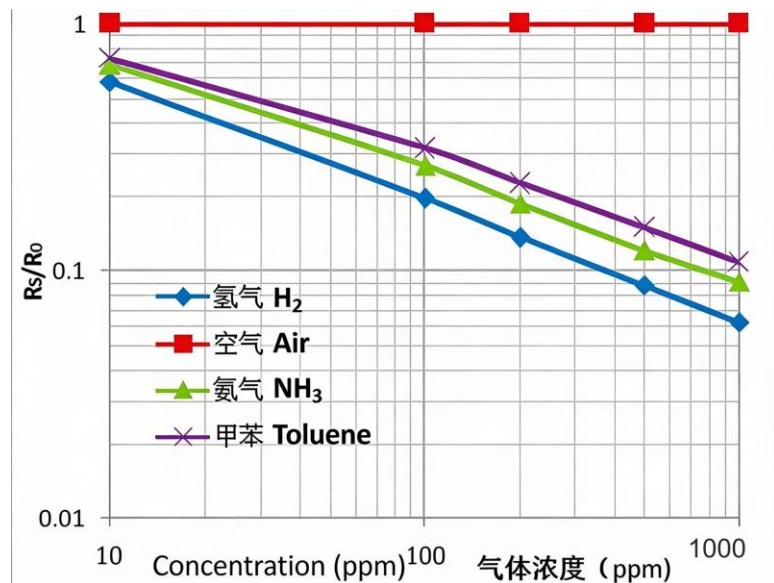
A este cálculo lo conocemos como el proceso de calibración el cual es fundamental para calcular correctamente la concentración de amoníaco en ppm. Cuyo proceso se debe realizar antes de instalar el dispositivo y en donde el aire no tiene presencia de otros gases especialmente amoniaco y con precalentamiento de la resistencia del sensor entre 12 y 24 horas.

### **Cálculo de la concentración de $\text{NH}_3$ (ppm)**

**Figura 3**

*Grafica de las Curvas de Concentración de los Diferentes Gases que Puede Detectar el Sensor*

*Mq135*



*Nota.* Para el cálculo matemático se usó la curva del NH<sub>3</sub>. Tomado de. ALLDATASHEET. Por Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co, 2026, datasheet MQ135.

Teniendo en cuenta la gráfica de la figura 3 escogemos la curva del amoníaco (NH<sub>3</sub>) representada con el color verde:

$$\text{Punto1: } ppm = 10, R_s/R_0 = 0.7$$

$$\text{Punto2: } ppm = 1000, R_s/R_0 = 0.09$$

Pasamos a logaritmos (base 10)

$$\log(0.7) = 0.1549$$

$$\log(0.09) = -1.0458$$

$$\log(10) = 1, \log(1000) = 3$$

Calculamos la pendiente  $m$

$$m = \frac{-1.0458 - (-0.1549)}{3 - 1} = \frac{-0.8909}{2} = -0.4455$$

Calculamos  $b$

$$b = \log(0.7) - m \cdot \log(10)$$

$$b = -0.1549 - (-0.4455) = 0.2906$$

La relación entre la concentración de gas y la razón  $R_s/R_0$  sigue una ley de potencia basada en la curva del fabricante:

$$ppm = 10^{\left(\frac{\log_{10}(R_s/R_0) - b}{m}\right)}$$

$$\text{Ecuación final: } ppm = 10^{\left(\frac{\log(R_s/R_0) - 0.2906}{-0.4455}\right)}$$

Este modelo matemático implementado permite integrar el sensor MQ-135 al sistema de monitoreo, garantizando una estimación funcional de la concentración de  $\text{NH}_3$ , mediante un proceso que incluye la conversión de voltaje, el cálculo de la resistencia del sensor, la calibración con respecto a aire limpio y la aplicación de una relación no lineal basada en la curva característica del dispositivo.

## Construcción de Prototipo

**Tabla 2**

*Elementos Usados para la Construcción del Prototipo*

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Característica</b>
Fuente	1	Simen Logo 110/220 v – 24 voltios
Fuente dc-dc	1	Fuente de 24 voltios a 9 voltios
Fuente dc-dc	1	Fuente de 24 voltios a 5 voltios
Borneras	3	Borneras de resorte riel din
Rele	1	Rele 24 voltios 14 pines
Base relé	1	Base relé 14 pines
Pantalla lcd	1	Pantalla lcd 20x4
Pulsador	3	Pulsador N.O. sneider
Pulsador doble	1	Pulsador N.O. y N.C sneider
Microcontrolador	1	Arduino mega
Microcontrolador	1	Esp32
Divisor de voltaje	1	5vdc a 3,3vdc
Jumpers	8 mts	Jumpers
Sensor de gases	1	Sensor MQ135
Caja hermética	1	Caja hermética 220x170x90 mm
Caja hermética	1	100x100x50 mm
Riel DIN	30 cm	Riel DIN
Tarjeta shield	1	Tarjeta shield de tronillos para Arduino mega
Totalizador	1	Totalizador sneider 2 amperios
Presostopa	3	Presostopa de ½
Modulo Rele	3	Modulo relé 5 voltios
Luz piloto	3	Luz pilotada sneider (verde, naranja, roja)
Sujetador de riel	4	Sujetador para tarjetas electrónicas
Termo encogibles	2 mts	Aislador de cables (diferentes diámetros)
Separador adhesivo	10	Fijador de tarjetas electrónicas

*Nota.* Autoría propia. Estos elementos con características industriales para generar robustez al prototipo.

La construcción del prototipo se desarrolló con base en los elementos especificados en la Tabla 2 y el plano eléctrico presentado en la figura 2, el cual define la arquitectura general del sistema, incluyendo la distribución de potencia, control y adquisición de datos. En primera instancia, se implementó el sistema de protección eléctrica mediante un dispositivo de 2 A, cuya función es salvaguardar los componentes ante posibles condiciones de sobre corriente o

cortocircuito. Posteriormente, se estableció la alimentación principal a partir de una fuente con entrada de 110/220 V AC y salida de 24 V DC, encargada de energizar el circuito de control y los módulos auxiliares. A partir de esta fuente de 24 V DC, se estructuró el sistema de control de arranque y parada utilizando pulsadores industriales: un pulsador normalmente abierto (Start) y un pulsador normalmente cerrado (Stop). Estos dispositivos gobiernan la activación de un relé de 24 V, el cual actúa como elemento de enclavamiento, permitiendo habilitar o interrumpir la operación del sistema de manera segura. Para la adecuación de niveles de tensión requeridos por los distintos dispositivos electrónicos, se incorporaron dos convertidores DC-DC. El primero reduce la tensión de 24 V a 9 V DC para alimentar el Arduino Mega a través de su pin Vin, mientras que el segundo convierte la tensión a 5 V DC para la alimentación de la pantalla LCD 20x4 y el sensor de gases MQ-135. Esta configuración asegura compatibilidad eléctrica y estabilidad en el funcionamiento de cada módulo. El sistema de control central está basado en el microcontrolador Arduino Mega, el cual se encarga de la adquisición, procesamiento y visualización de los datos. La señal analógica proveniente del sensor MQ-135 es leída a través del pin A0, permitiendo la medición de la concentración de gases. Adicionalmente, la comunicación con la pantalla LCD se realiza mediante el protocolo I2C, utilizando las líneas SDA y SCL, lo que optimiza el uso de pines y simplifica el cableado.

Para la interacción con el usuario, se implementaron tres modos de operación seleccionables mediante entradas digitales del microcontrolador, Modo de trabajo; operación normal del sistema con monitoreo continuo. Modo de mantenimiento; permite pruebas o revisión del sistema sin activar alarmas. Modo de calibración; utilizado para ajustar el comportamiento del sensor MQ-135.

Estos modos se seleccionan mediante pulsadores conectados a pines digitales, garantizando flexibilidad en la operación del sistema.

Para comunicación serial entre el Arduino Mega y el Esp32 mediante interfaz UART. se implementó un divisor de voltaje en la línea de transmisión hacia el ESP32 Debido a la diferencia de niveles lógicos (5 V del Arduino y 3.3 V del ESP32), evitando posibles daños en el dispositivo. El sistema de señalización se implementó mediante tres luces piloto (verde, naranja y roja), controladas a través de módulos de relé de 5 V, indicando los estados de operación: normal, precaución y peligro, respectivamente. El montaje físico se realizó sobre riel DIN dentro de una caja hermética, garantizando protección mecánica y ambiental. Se emplearon borneras de conexión para facilitar la organización del cableado, así como separadores y sujetadores para la fijación de tarjetas electrónicas. El uso de termo encogibles y canalización adecuada permitió mejorar el aislamiento y la seguridad del sistema.

Por último, se llevó a cabo la verificación integral del sistema mediante pruebas funcionales, validando, la correcta lectura del sensor MQ-135, La visualización de datos en la pantalla LCD, la respuesta de los indicadores luminosos, la conmutación de los modos de operación

La programación se desarrolló teniendo en cuenta el diagrama de flujo del sistema y el modelo matemático del sensor, lo cual permitió una correcta interpretación de las mediciones. El uso del plano eléctrico facilitó la reducción de errores de conexión, optimizó el proceso de montaje y garantiza una base sólida para futuras labores de mantenimiento o mejoras del sistema.

### Algoritmo de Control e Interfaz IoT

La programación del sistema fue desarrollada con el objetivo de garantizar la adquisición, procesamiento, visualización y transmisión de datos correspondientes a la concentración de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), utilizando como elemento sensor el MQ-135. Para ello, se implementó una arquitectura distribuida basada en dos plataformas: el microcontrolador Arduino Mega 2560, encargado del procesamiento local y control del sistema, y el módulo ESP32, destinado a la comunicación inalámbrica y envío de datos a un servidor remoto.

Se diseñó la lógica de control en el Arduino Mega, estableciendo en la función de inicialización la configuración de los periféricos necesarios, tales como la comunicación serial, la interfaz I2C para la pantalla LCD 20x4, y la definición de pines de entrada y salida. Asimismo, se implementó la lectura de un valor de calibración almacenado en la memoria EEPROM, correspondiente al parámetro R0 del sensor MQ-135, el cual es fundamental para la correcta interpretación de las mediciones. En caso de no existir un valor válido almacenado, se asigna un valor por defecto que permite la operación inicial del sistema.

Como parte del acondicionamiento del sensor, se incorporó una etapa de precalentamiento, necesaria para estabilizar su funcionamiento, durante la cual se informa al usuario mediante la pantalla LCD el tiempo restante antes de iniciar la operación. Posteriormente, el sistema entra en un estado de espera hasta que el usuario seleccione uno de los modos de funcionamiento disponibles a través de pulsadores físicos.

El software fue estructurado en tres modos de operación: calibración, mantenimiento y trabajo. El modo de calibración permite obtener el valor de referencia R0 del sensor, mediante un proceso de calentamiento prolongado y la toma de múltiples muestras, cuyo promedio es

utilizado para calcular dicho parámetro. Este valor es posteriormente almacenado en la memoria EEPROM, asegurando su persistencia incluso ante la desconexión del sistema.

En el modo de mantenimiento, el sistema realiza la lectura continua de la concentración de  $\text{NH}_3$  y la presenta en la pantalla LCD sin activar señales de alarma, permitiendo así la verificación del funcionamiento del sensor y del sistema en general. Por su parte, el modo de trabajo corresponde a la operación normal del sistema, en la cual se realiza la medición del gas y se clasifica el nivel de concentración en tres estados: normal, precaución y peligro. Esta clasificación se basa en umbrales predefinidos y se refleja tanto en la pantalla como en indicadores luminosos controlados mediante salidas digitales.

La adquisición de datos del sensor MQ-135 se realiza a través de una entrada analógica del Arduino. Para mejorar la estabilidad de las mediciones, se implementó un método de promediado de múltiples lecturas, reduciendo así el efecto del ruido. A partir de la lectura analógica, se calcula la resistencia del sensor ( $R_S$ ), la cual es posteriormente normalizada respecto al valor  $R_0$ . Esta relación es utilizada en un modelo matemático basado en una función logarítmica, que permite convertir la señal en una estimación de la concentración de amoníaco en partes por millón (ppm).

Se implementaron rutinas de validación para detectar posibles fallos en el sensor, tales como desconexión o lecturas fuera de rango. En caso de detectarse una anomalía, el sistema muestra un mensaje de error en la pantalla, envía una señal de alerta mediante la comunicación serial y detiene temporalmente la operación hasta que la condición sea corregida.

La comunicación entre el Arduino Mega y el ESP32 se estableció mediante protocolo UART, permitiendo el envío de los valores de concentración de gas en formato de texto. El ESP32, por su parte, fue programado para conectarse a una red WiFi y transmitir los datos a un

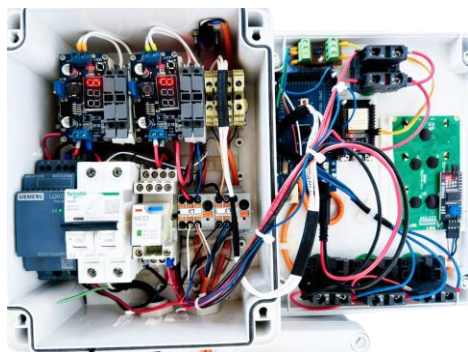
servidor web mediante el protocolo HTTP utilizando solicitudes de tipo POST. Los datos son estructurados en formato JSON, facilitando su integración con plataformas web o bases de datos. Asimismo, se implementó un mecanismo de verificación de conexión WiFi, que permite al ESP32 reconectarse automáticamente en caso de pérdida de señal, garantizando así la continuidad en la transmisión de datos. El uso de un cliente seguro permite la comunicación con servidores que utilizan protocolo HTTPS, asegurando la integridad de la información transmitida.

La integración del sistema permitió validar el correcto funcionamiento de cada uno de sus componentes, evidenciando la adecuada adquisición de datos, su procesamiento, visualización local y transmisión remota. La programación desarrollada presenta una estructura modular y robusta, facilitando su mantenimiento, escalabilidad y posible integración con sistemas de monitoreo en tiempo real.

## Resultados Obtenidos

**Figura 4**

*Integración de Todos los Dispositivos Eléctricos*



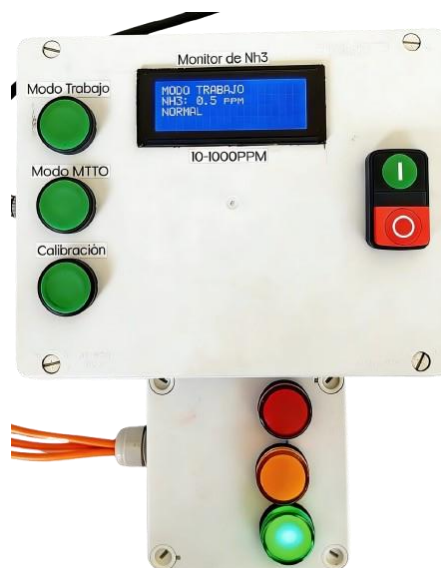
*Nota.* Elaboración propia. Organización de los elementos eléctricos según el plano.

**Figura 5**

*Esperando Modo*



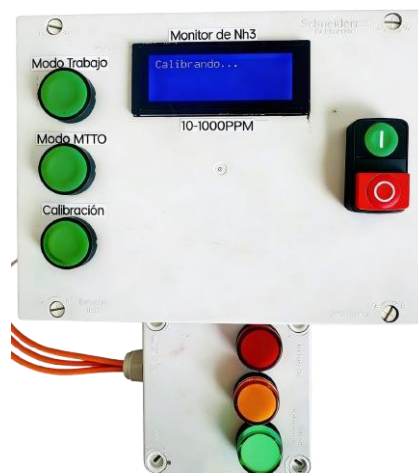
*Nota.* Elaboración propia. Es una pausa que hace el programa para que el usuario ingrese el modo a utilizar.

**Figura 6***Modo Trabajo*

*Nota.* Elaboración propia. Este modo genera las alarmas visuales dependiendo de la concentración de NH<sub>3</sub> asociadas.

**Figura 7***Modo Mantenimiento*

*Nota.* Elaboración propia. Este modo no genera alarmas y puede ser usado para realizar mantenimientos.

**Figura 8***Modo Calibración*

*Nota.* Elaboración propia. Este modo realiza varias muestras para calcular  $R_0$ .

**Figura 9***Calibración  $R_0$* 

*Nota.* Elaboración propia. esta parte muestra el resultado de  $R_0$ .

Las pruebas experimentales realizadas al sistema de monitoreo de amoníaco permitieron validar su funcionamiento en un entorno controlado mediante la exposición a  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Los resultados obtenidos evidencian el cumplimiento de los objetivos planteados, especialmente en la detección, procesamiento y notificación de concentraciones de  $\text{NH}_3$  en tiempo real.

En la figura 4, se observa la integración física de todos los dispositivos, lo que permitió verificar la correcta conexión y funcionamiento del sistema. La organización de los componentes garantizó estabilidad en la operación y facilidad en el mantenimiento.

La figura 5 muestra el estado inicial del sistema, donde se evidencia que se detiene el programa para permitirle al usuario seleccionar el modo de operación sin errores.

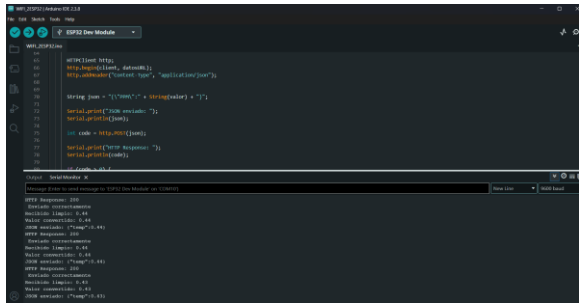
En la figura 6, correspondiente al modo de trabajo, el sistema logró detectar concentraciones de amoníaco en un rango aproximado de 0,2 ppm a 200 ppm, activando correctamente los estados definidos: Normal:  $< 25$  ppm, Precaución: 25 – 150 ppm, Peligro:  $> 150$  ppm. Durante estas pruebas, el sistema presentó un tiempo de respuesta promedio de 2 segundos para la activación de alertas visuales, lo que permite una reacción oportuna ante condiciones de riesgo.

En la figura 7, el modo de mantenimiento permitió visualizar datos sin activar alarmas, facilitando la verificación del sistema sin interferencias operativas.

La figura 8 y 9 evidencian el proceso de calibración del sensor MQ-135, donde se obtuvo un valor de referencia R0 estable mediante múltiples muestras, garantizando una mejor precisión en las mediciones.

**Figura 10**

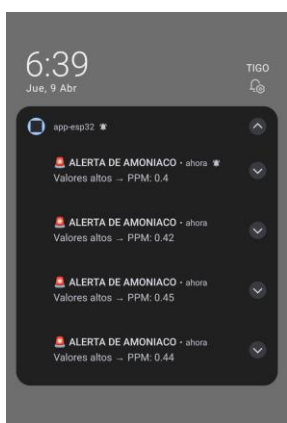
*Comunicación UART*



*Nota.* Elaboración propia. En esta parte muestra las lecturas de PPM enviadas por el Arduino mega vía UART al ESP32.

**Figura 11**

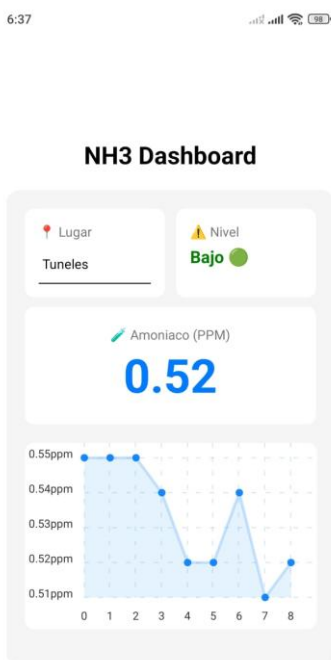
*Notificaciones de Alarmas*



*Nota.* Elaboración propia. Notificaciones recibidas en la app.

## Figura 12

### Interfax Monitor de NH<sub>3</sub>



*Nota.* Elaboración propia. Elementos que muestra la Interfax de la APP.

En la figura 10, se valida la comunicación UART entre el Arduino Mega y el ESP32, logrando una transmisión de datos continua y sin pérdidas significativas.

la figura 11, se evidencian las notificaciones automáticas generadas por la aplicación cuando se superan los niveles permisibles, confirmando la efectividad del sistema de alertas remotas.

La figura 12 muestra la interfaz de la aplicación móvil, la cual permitió visualizar en tiempo real los valores de concentración de NH<sub>3</sub>, con una latencia promedio menor a 2 segundos.

El sistema presentó una operatividad superior al 95% durante las pruebas, demostrando su funcionalidad, estabilidad y capacidad para el monitoreo continuo de amoníaco en tiempo real.

## **Enlaces Videos de Pruebas Prototipos**

Prueba funcional del prototipo:

<https://youtube.com/shorts/JwmzQmBqzqU?feature=shared>.

Prueba de detección y alarma visuales, del amoniaco

(NH<sub>3</sub>):<https://youtube.com/shorts/Jl8vZZuvaC8?si=SEPhu-Bz2iHpLhfL>.

## Discusión

Los resultados obtenidos son consistentes con las investigaciones previas como la de Yadav et al. (2025), quienes demostraron la viabilidad del uso del sensor MQ-135 para el monitoreo de gases en tiempo real. En ambos casos, se evidencia que estos sensores permiten desarrollar soluciones funcionales de bajo costo para la detección de contaminantes. A diferencia del trabajo de Yadav et al. (2025), el sistema desarrollado en este proyecto incorpora una arquitectura IoT mediante el uso del ESP32, lo que permite la transmisión de datos en tiempo real hacia una aplicación móvil, ampliando su funcionalidad hacia el monitoreo remoto. El estudio de Revathi et al. (2025), utilizan sistemas IoT más avanzados, pero este proyecto ofrece una solución más accesible y de menor complejidad, aunque con limitaciones en términos de precisión y robustez del sensor. Los resultados obtenidos coinciden con lo planteado por Nagy et al. (2020), quienes indican que los sensores MQ presentan sensibilidad cruzada, lo que puede afectar la exactitud de las mediciones. Esta situación se evidenció parcialmente en el sistema desarrollado, lo que resalta la importancia de realizar procesos adecuados de calibración. Este proyecto aporta una solución funcional, económica y escalable, que puede ser implementada en pequeñas y medianas industrias, contribuyendo a mejorar la seguridad industrial mediante el monitoreo continuo de gases tóxicos.

## Conclusiones

El desarrollo del sistema de monitoreo de amoníaco basado en tecnología IoT permitió cumplir el objetivo general del proyecto, al diseñar e implementar una solución capaz de medir la concentración de  $\text{NH}_3$  en tiempo real y generar alertas tempranas, contribuyendo a la mejora de la seguridad en entornos industriales.

Se logró diseñar e integrar un sistema de detección utilizando el sensor MQ-135, el cual permitió obtener mediciones funcionales en partes por millón (ppm). implementando un sistema de procesamiento mediante el microcontrolador Arduino Mega, logrando interpretar las señales del sensor y activar alertas visuales de manera eficiente. De igual forma, la integración del módulo ESP32 permitió la transmisión de datos hacia una aplicación móvil, cumpliendo con el objetivo del sistema.

Los resultados experimentales evidenciaron que el sistema presenta un tiempo de respuesta promedio de 2 segundos, así como una correcta clasificación de los niveles de riesgo (normal, precaución y peligro), lo que demuestra su funcionalidad en condiciones controladas. Esto confirma que la solución desarrollada es viable para aplicaciones de monitoreo continuo en entornos industriales.

Se identificaron algunas limitaciones, principalmente asociadas al sensor MQ-135, el cual presenta sensibilidad a múltiples gases, lo que puede afectar la precisión de las mediciones. Además, las pruebas fueron realizadas en un entorno controlado, por lo que su comportamiento en condiciones reales puede variar debido a factores ambientales.

Para mejoras a futuro se propone la implementación de sensores más especializados para amoníaco, así como la incorporación de técnicas de calibración avanzada, uso de controladores lógicos programables (PLC) que permitan mejorar la exactitud de las mediciones y la robustez

del sistema. se sugiere ampliar el sistema hacia plataformas en la nube más seguras que permitan almacenamiento histórico y análisis predictivo de los datos.

Este proyecto demuestra el potencial de las tecnologías IoT aplicadas al monitoreo ambiental, ofreciendo una solución accesible, escalable y funcional que puede ser implementada en pequeñas y medianas industrias para fortalecer la seguridad industrial y prevenir riesgos asociados a la exposición a gases tóxicos.

## Administración del Proyecto

### Presupuesto Detallado

**Tabla 3**

*Elementos y Dispositivos Electrónicos*

Ítems	Elemento	Cantidad	Precio	Total
1	Fuente Simen Logo 110/220 v – 24 voltios	1	\$479.000	\$ 480.000
2	Fuente de 24 voltios a 9 voltios	1	\$19.500	\$ 19.500
3	Fuente de 24 voltios a 5 voltios	1	\$19.500	\$ 19.500
4	Borneras de resorte riel din	4	\$6.400	\$ 32.000
5	Rele 24 voltios 14 pines	1	\$36.650	\$ 36.650
6	Base relé 14 pines	1	\$30.350	\$ 30.350
7	Pantalla lcd 20x4	1	\$37.000	\$ 37.000
8	Pulsador N.O. sneider	3	\$13.800	\$ 69.000
9	Pulsador N.O. y N.C sneider	1	\$125.000	\$ 125.000
10	Arduino mega	1	\$90.000	\$ 90.000
11	Esp32	1	\$24.114	\$ 24.114
12	Divisor de voltaje 5vdc a 3,3vdc	1	\$14.000	\$ 14.000
13	Cable #20	8 mts	\$2.000	\$ 11.101
14	Sensor MQ135	1	\$15.900	\$ 15.900
15	Caja hermética 220x170x90 mm	1	\$11.900	\$ 11.900
16	Caja hermética 100x100x50 mm	1	\$76.900	\$ 76.900
17	Riel DIN	1mtr	\$15.000	\$ 15.000
18	Totalizador sneider 2 amperios	1	\$50.000	\$ 50.000
19	Presos topa de ½	3	\$175.542	\$ 12.000
20	Modulo relé 5 voltios	3	\$11.000	\$ 33.000
21	Luz pilotada sneider (verde, naranja, roja)	3	\$3.931	\$ 39.314
22	Sujetador para tarjetas electrónicas riel din	4	\$3.000	\$ 19.430
23	Juego de termo encogibles	1	\$89.100	\$ 89.100
24	Juego Fijador de tarjetas electrónicas	1	\$16.767	\$ 16.767
25	Juego de terminales crimpado macho y hembra	1	\$25.000	\$ 25.000
26	Juego de terminales tubulares	1	\$52.900	\$ 52.900
	TOTAL			\$ 1.272.500

*Nota.* Autoría propia. Presupuestó de los elementos usados para el ensamble del prototipo. Precio tomado de Mercado libre (<https://www.mercadolibre.com.co/>); temu (<https://www temu.com/>).

**Tabla 4***Herramientas*

Ítems	Herramientas	Cantidad	Costo
1	Taladro 3/8Pulg Percutor 20V	1	\$279.000
2	Copa cierra de 7/8	1	\$30.900
3	Pela cable	1	\$109.000
4	Soplador de aire caliente	1	\$64.000
5	Crimpadora	1	\$69.000
6	Sierra circular motor tool	1	\$44.900
Total			\$ 596.800

*Nota.* Autoría propia. Listado de las herramientas usadas.

**Tabla 5***Software*

Ítems	Software	Aplicación en el proyecto	Precio
1	Cade Simu	Diseño del plano eléctrico	\$0
2	Arduino IDE	Programación Arduino mega y Esp32	\$0
3	Corel draw	Diseño diagrama de flujo	\$0
4	Visual stude code	Programación app	\$0
5	Excel	Calculo presupuesto	\$0
6	Expo go	Pruebas virtuales aplicación	\$0

*Nota.* Autoría propia. Listado de softwares usados.

### Cronograma de Actividades (Diagrama de Gantt)

El desarrollo del proyecto está planificado para ejecutarse en un periodo de 6 semanas que van desde el 1 de marzo hasta el 11 de abril del 2026, estructurado en 7 fases que describen la metodología.

**Tabla 6**

*Cronograma de Actividades*

Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Revisión bibliográfica y selección del microcontrolador	■				
Diseño del circuito y diagrama de flujo, modelo matemático.		■			
construcción del prototipo compra de materiales y pruebas de ensamble		■	■	■	
programación del microcontrolador principal y calibración del sistema.		■	■		
Pruebas experimentales del prototipo en entorno controlado y comunicación UART			■	■	
desarrollo de la interfaz IOT.				■	■
documentación y conclusiones	■	■	■	■	■

*Nota.* Autoría propia.

### Referencias Bibliográficas

- ACGIH, (2026). Amoniaco. <https://www.acgih.org/ammonia/>
- Agudelo Méndez, O. H., & Lozano Bernal, J. D. (2025). Diseño de un prototipo modular diferenciado para monitoreo de niveles contaminantes medioambientales bajo la implementación de sensores inalámbricos y tecnología IoT (Trabajo de grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería.
- Distron. (2025). Cómo detectar fugas de amoniaco. Distron. Documentación técnica de seguridad industrial.
- Homecenter. (2026). Caja hermética 100x100x50 mm.  
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/725785/caja-de-paso-plastica-ip66-217-x-217-x-116-mm/725785/>.
- Homecenter. (2026). Caja hermética 220x170x90 mm.  
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/643817/caja-hermetica-10x10-halux/643817/>.
- Homecenter. (2026). Copa cierra de 7/8. <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/624370/sierra-copa-bimetalica-diametro-7-8-mandril-de-3-8/624370/>
- Homecenter. (2026). Pela cable. <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/581679/pinza-quitacab-cortad-para-cable-alambre-de-1936-cm/581679/>
- Homecenter. (2026). Taladro 3/8Pulg Percutor 20V.  
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/491436/taladro-3-8pulg-percutor-20v-2vel/491436/>

INSST, (2018). ISCS:0414: Ficha técnica internacional del NH3.

[https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=0414&p\\_version=2  
&p\\_lang=es](https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0414&p_version=2&p_lang=es)

León Ganchozo, M., Navarrete Gómez, R., Franco Moreira, G., & Risco Chacon, J. (2023).

Implementación De Tecnologías De La Industria 4.0 Para La Seguridad Industrial De Pymes. Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria.

Mercado Libre (2026). Juego de termo encogibles.

[https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU2428002630?pdp\\_filters=item\\_id:MCO2431381622&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO2431381622&action=whatsapp](https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU2428002630?pdp_filters=item_id:MCO2431381622&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO2431381622&action=whatsapp).

Mercado Libre (2026). Luz pilotada sneider (verde, naranja, roja).

[https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2046163044?pdp\\_filters=item\\_id:MCO3540339932&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO3540339932&action=whatsapp](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2046163044?pdp_filters=item_id:MCO3540339932&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO3540339932&action=whatsapp).

Mercado Libre (2026). Modulo relé 5 voltios.

[https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO39068320?pdp\\_filters=item\\_id:MCO2889693656&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO2889693656&action=whatsapp](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO39068320?pdp_filters=item_id:MCO2889693656&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO2889693656&action=whatsapp).

Mercado Libre (2026). Presos topa de ½. [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1767000847-mxuteuk-cable-co-12-prensaestopas-12-npt-de-diametro-de-9-_JM?matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&action=whatsapp)

[1767000847-mxuteuk-cable-co-12-prensaestopas-12-npt-de-diametro-de-9-  
\\_JM?matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&action=whatsapp](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1767000847-mxuteuk-cable-co-12-prensaestopas-12-npt-de-diametro-de-9-_JM?matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&action=whatsapp).

Mercado Libre (2026). Riel DIN.

[https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU2409174399?pdp\\_filters=item\\_id:MCO142](https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU2409174399?pdp_filters=item_id:MCO142)

8276889&matt\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1428276889&action=whatsapp.

Mercado Libre (2026). Sensor MQ135.

[https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2040274134?pdp\\_filters=item\\_id:MCO453623474&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO453623474&action=whatsapp](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2040274134?pdp_filters=item_id:MCO453623474&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO453623474&action=whatsapp).

Mercado Libre. (2026). Arduino mega.

[https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2043372276?pdp\\_filters=item\\_id:MCO1988128524&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1988128524&action=whatsapp](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2043372276?pdp_filters=item_id:MCO1988128524&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1988128524&action=whatsapp).

Mercado Libre. (2026). Base relé 14 pines. [https://www.mercadolibre.com.co/base-rele-14-](https://www.mercadolibre.com.co/base-rele-14-pines-relevo-industrial-vcp-riel-din/p/MCO52621271#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=2bdf519a-df8f-485e-8799-69f35d63ff55&wid=MCO2957405220&sid=search)

[pines-relevo-industrial-vcp-riel-din/p/MCO52621271#polycard\\_client=search-desktop&search\\_layout=grid&position=1&type=product&tracking\\_id=2bdf519a-df8f-485e-8799-69f35d63ff55&wid=MCO2957405220&sid=search](https://www.mercadolibre.com.co/base-rele-14-pines-relevo-industrial-vcp-riel-din/p/MCO52621271#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=2bdf519a-df8f-485e-8799-69f35d63ff55&wid=MCO2957405220&sid=search).

Mercado Libre. (2026). Borneras de resorte riel din. [https://www.mercadolibre.com.co/bornera-](https://www.mercadolibre.com.co/bornera-riel-din-16mm-100a-x-5-unds/up/MCOU2605798447#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=2e2ba821-f9d1-4790-9d71-17626b926cc2&wid=MCO580400194&sid=search)

[riel-din-16mm-100a-x-5-unds/up/MCOU2605798447#polycard\\_client=search-desktop&search\\_layout=grid&position=1&type=product&tracking\\_id=2e2ba821-f9d1-4790-9d71-17626b926cc2&wid=MCO580400194&sid=search](https://www.mercadolibre.com.co/bornera-riel-din-16mm-100a-x-5-unds/up/MCOU2605798447#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=2e2ba821-f9d1-4790-9d71-17626b926cc2&wid=MCO580400194&sid=search)

Mercado Libre. (2026). Crimpadora. [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1778237188-](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1778237188-pistola-calor-aire-caliente-electrica-calentadora-220v-_JM?pdp_filters=item_id:MCO1778237188#polycard_client=recommendations_pdp-pads-up&reco_backend=recomm_platform_base_pads_ron_MERGE&reco_model=search_rec)

[pistola-calor-aire-caliente-electrica-calentadora-220v-\\_JM?pdp\\_filters=item\\_id:MCO1778237188#polycard\\_client=recommendations\\_pdp-pads-up&reco\\_backend=recomm\\_platform\\_base\\_pads\\_ron\\_MERGE&reco\\_model=search\\_rec](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1778237188-pistola-calor-aire-caliente-electrica-calentadora-220v-_JM?pdp_filters=item_id:MCO1778237188#polycard_client=recommendations_pdp-pads-up&reco_backend=recomm_platform_base_pads_ron_MERGE&reco_model=search_rec)

os\_backend\_merge&reco\_client=pdp-pads-  
 up&reco\_item\_pos=2&reco\_backend\_type=low\_level&reco\_id=d68e04df-b4ce-440b-  
 8eac-  
 144065de1469&is\_advertising=true&ad\_domain=PDPDESKTOP\_UP&ad\_position=3&  
 ad\_click\_id=OThiYzE3NTAtZTM0ZC00ODEyLTkzNzctMmU0YjViYjVIMzll

Mercado Libre. (2026). Esp32.

[https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2040114192?pdp\\_filters=item\\_id:MCO597176188&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO597176188&action=whatsapp](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2040114192?pdp_filters=item_id:MCO597176188&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO597176188&action=whatsapp).

Mercado Libre. (2026). Fuente de 24 voltios a 5 voltios.

[https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2047858289?pdp\\_filters=item\\_id:MCO1274755299&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1274755299&action=whatsapp](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2047858289?pdp_filters=item_id:MCO1274755299&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1274755299&action=whatsapp).

Mercado Libre. (2026). Fuente de 24 voltios a 9 voltios.

[https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2047858289?pdp\\_filters=item\\_id:MCO1274755299&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1274755299&action=whatsapp](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2047858289?pdp_filters=item_id:MCO1274755299&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1274755299&action=whatsapp).

Mercado Libre. (2026). Fuente Simen Logo 110/220 v – 24 voltios.

[https://www.mercadolibre.com.co/unidad-de-fuente-100240-vca-a-24-vcc-13-a-siemens-logo/up/MCOU3567811168#polycard\\_client=search-desktop&search\\_layout=grid&position=7&type=product&tracking\\_id=c203b9be-177a-4c7f-a981-96e7d81113c9&wid=MCO3319030076&sid=search](https://www.mercadolibre.com.co/unidad-de-fuente-100240-vca-a-24-vcc-13-a-siemens-logo/up/MCOU3567811168#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=7&type=product&tracking_id=c203b9be-177a-4c7f-a981-96e7d81113c9&wid=MCO3319030076&sid=search)

Mercado Libre. (2026). Pantalla lcd 20x4. [https://www.mercadolibre.com.co/display-cdr03-](https://www.mercadolibre.com.co/display-cdr03-20x4-i2c-azul-modulo-soldado-compatible-arduino/p/MCO29445730#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=4&type=product&tracking_id=75491bbe-6cf0-498a-885f-704c78b1b318&wid=MCO3266639376&sid=search)

[20x4-i2c-azul-modulo-soldado-compatible-](https://www.mercadolibre.com.co/display-cdr03-20x4-i2c-azul-modulo-soldado-compatible-arduino/p/MCO29445730#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=4&type=product&tracking_id=75491bbe-6cf0-498a-885f-704c78b1b318&wid=MCO3266639376&sid=search)

[arduino/p/MCO29445730#polycard\\_client=search-](https://www.mercadolibre.com.co/display-cdr03-20x4-i2c-azul-modulo-soldado-compatible-arduino/p/MCO29445730#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=4&type=product&tracking_id=75491bbe-6cf0-498a-885f-704c78b1b318&wid=MCO3266639376&sid=search)

[desktop&search\\_layout=grid&position=4&type=product&tracking\\_id=75491bbe-6cf0-](https://www.mercadolibre.com.co/display-cdr03-20x4-i2c-azul-modulo-soldado-compatible-arduino/p/MCO29445730#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=4&type=product&tracking_id=75491bbe-6cf0-498a-885f-704c78b1b318&wid=MCO3266639376&sid=search)

[498a-885f-704c78b1b318&wid=MCO3266639376&sid=search.](https://www.mercadolibre.com.co/display-cdr03-20x4-i2c-azul-modulo-soldado-compatible-arduino/p/MCO29445730#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=4&type=product&tracking_id=75491bbe-6cf0-498a-885f-704c78b1b318&wid=MCO3266639376&sid=search)

Mercado Libre. (2026). Pulsador N.O. sneider.

[https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU3016234158?pdp\\_filters=item\\_id:MCO154](https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU3016234158?pdp_filters=item_id:MCO1541586193&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1541586193&action=whatsapp)

[1586193&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1541586193&actio](https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU3016234158?pdp_filters=item_id:MCO1541586193&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1541586193&action=whatsapp)

[n=whatsapp.](https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU3016234158?pdp_filters=item_id:MCO1541586193&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1541586193&action=whatsapp)

Mercado Libre. (2026). Pulsador N.O. y N.C sneider.

[https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2051000600?pdp\\_filters=item\\_id:MCO174848](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2051000600?pdp_filters=item_id:MCO1748481183&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1748481183&action=whatsapp)

[1183&matt\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1748481183&action=w](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2051000600?pdp_filters=item_id:MCO1748481183&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1748481183&action=whatsapp)

[hatsapp.](https://www.mercadolibre.com.co/p/MCO2051000600?pdp_filters=item_id:MCO1748481183&matt_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO1748481183&action=whatsapp)

Mercado Libre. (2026). Rele 24 voltios 14 pines. [https://www.mercadolibre.com.co/rele-14-](https://www.mercadolibre.com.co/rele-14-pines-relevo-industrial-plug-in-faston-24vac-vcp/p/MCO52279713#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=2&type=product&tracking_id=842d6667-aef4-476e-85a6-f775d63b01c9&wid=MCO2945163538&sid=search)

[pines-relevo-industrial-plug-in-faston-24vac-](https://www.mercadolibre.com.co/rele-14-pines-relevo-industrial-plug-in-faston-24vac-vcp/p/MCO52279713#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=2&type=product&tracking_id=842d6667-aef4-476e-85a6-f775d63b01c9&wid=MCO2945163538&sid=search)

[vcp/p/MCO52279713#polycard\\_client=search-](https://www.mercadolibre.com.co/rele-14-pines-relevo-industrial-plug-in-faston-24vac-vcp/p/MCO52279713#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=2&type=product&tracking_id=842d6667-aef4-476e-85a6-f775d63b01c9&wid=MCO2945163538&sid=search)

[desktop&search\\_layout=grid&position=2&type=product&tracking\\_id=842d6667-aef4-](https://www.mercadolibre.com.co/rele-14-pines-relevo-industrial-plug-in-faston-24vac-vcp/p/MCO52279713#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=2&type=product&tracking_id=842d6667-aef4-476e-85a6-f775d63b01c9&wid=MCO2945163538&sid=search)

[476e-85a6-f775d63b01c9&wid=MCO2945163538&sid=search.](https://www.mercadolibre.com.co/rele-14-pines-relevo-industrial-plug-in-faston-24vac-vcp/p/MCO52279713#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=2&type=product&tracking_id=842d6667-aef4-476e-85a6-f775d63b01c9&wid=MCO2945163538&sid=search)

Mercado Libre. (2026). Sierra circular motor tool. [https://www.mercadolibre.com.co/sierra-](https://www.mercadolibre.com.co/sierra-circular-motor-tool-corte-herramienta/up/MCOU2598432983#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=127056e8-3bae-4c48-a3aa-caae385bb407&wid=MCO566836385&sid=search)

[circular-motor-tool-corte-herramienta/up/MCOU2598432983#polycard\\_client=search-](https://www.mercadolibre.com.co/sierra-circular-motor-tool-corte-herramienta/up/MCOU2598432983#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=127056e8-3bae-4c48-a3aa-caae385bb407&wid=MCO566836385&sid=search)

[desktop&search\\_layout=grid&position=1&type=product&tracking\\_id=127056e8-3bae-](https://www.mercadolibre.com.co/sierra-circular-motor-tool-corte-herramienta/up/MCOU2598432983#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=127056e8-3bae-4c48-a3aa-caae385bb407&wid=MCO566836385&sid=search)

[4c48-a3aa-caae385bb407&wid=MCO566836385&sid=search](https://www.mercadolibre.com.co/sierra-circular-motor-tool-corte-herramienta/up/MCOU2598432983#polycard_client=search-desktop&search_layout=grid&position=1&type=product&tracking_id=127056e8-3bae-4c48-a3aa-caae385bb407&wid=MCO566836385&sid=search)

- Mercado Libre. (2026). Soplador de aire caliente. [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1778237188-pistola-calor-aire-caliente-electrica-calentadora-220v-\\_JM?pdp\\_filters=item\\_id:MCO1778237188#polycard\\_client=recommendations\\_pdp-pads-up&reco\\_backend=recomm\\_platform\\_base\\_pads\\_ron\\_MERGE&reco\\_model=search\\_recos\\_backend\\_merge&reco\\_client=pdp-pads-up&reco\\_item\\_pos=2&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_id=d68e04df-b4ce-440b-8eac144065de1469&is\\_advertising=true&ad\\_domain=PDPDESKTOP\\_UP&ad\\_position=3&ad\\_click\\_id=OThiYzE3NTAtZTM0ZC00ODEyLTkzNzctMmU0YjViYjVlMzll](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1778237188-pistola-calor-aire-caliente-electrica-calentadora-220v-_JM?pdp_filters=item_id:MCO1778237188#polycard_client=recommendations_pdp-pads-up&reco_backend=recomm_platform_base_pads_ron_MERGE&reco_model=search_recos_backend_merge&reco_client=pdp-pads-up&reco_item_pos=2&reco_backend_type=low_level&reco_id=d68e04df-b4ce-440b-8eac144065de1469&is_advertising=true&ad_domain=PDPDESKTOP_UP&ad_position=3&ad_click_id=OThiYzE3NTAtZTM0ZC00ODEyLTkzNzctMmU0YjViYjVlMzll)
- Nagy, A. S., Polanco Risquet, A., Martínez de la Cotera, O. L., & Carralero Ibargollen, O. (2020). Medición simultánea de gases con sensores MQ. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*.
- Prysmex. (2022). Seguridad industrial: prevención y control en entornos laborales.
- Revathi, M., Siva Deepika, K. G., Balaji, M., Kumar, J. H., & Sri Venkat, N. O. (2025). IoT-Enabled Smart Robotic System for Borewell Rescues Using ESP32-S3. 2025 12th International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology - Signal and Information Processing (ICETET - SIP), Emerging Trends in Engineering & Technology - Signal and Information Processing (ICETET - SIP), 2025 12th International Conference On, 1–5. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1109/ICETETSIP64213.2025.11156253>
- Rossell, A. (2024). Automatización industrial: herramientas y técnicas.

- Shams, M. Y., Darwesh, M. R., Bhatnagar, R., Al-Sattary, N. S. A., Salama, A. A., & Ghoname, M. S. (2025). Non-Destructive Detection of Fillet Fish Quality Using MQ135 Gas Sensor and Neutrosophic Logic-Enhanced System. *Neutrosophic Sets & Systems*, 80, 540–563.
- Sharma, A. (2023). *Comunicación inalámbrica: fundamentos y aplicaciones*.
- Soto Vergel, Á. J., Herrera Rubio, J. E., & Cardozo Sarmiento, D. O. (2022). Medición de parámetros en líneas de transmisión con sistemas embebidos. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando El Conocimiento*.
- Temu (2026). Juego Fijador de tarjetas electrónicas. <https://share temu.com/LaEffviC9uA>.
- Temu (2026). Sujetador para tarjetas electrónicas riel din. <https://share temu.com/MNjuMAs8vQA>.
- Temu. (2026). Cable #20. <https://share temu.com/1iUd4RWobWA>.
- Temu. (2026). Juego de terminales crimpado macho y hembra. <https://share temu.com/4VDXIncagDA>.
- Temu. (2026). Juego de terminales tubulares [https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU3365880256?pdp\\_filters=item\\_id:MCO3022593670&att\\_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO3022593670&action=whatsapp](https://www.mercadolibre.com.co/up/MCOU3365880256?pdp_filters=item_id:MCO3022593670&att_tool=15401541#origin=share&sid=share&wid=MCO3022593670&action=whatsapp).
- TME Electronic Components. (2024). No solo Wi-Fi: estándares de comunicación inalámbrica en IoT. *Revista Española de Electrónica*.
- Todoluzygás. (2022). *Detectores de gases: funcionamiento y aplicaciones*.
- Yadav, S., Pechetti, J., G, T., & Belwal, M. (2025). Automatic Vehicle Emission Monitoring and Alert System Using Arduino and MQ135 Sensor. 2025 6th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), *Inventive Research in*

Computing Applications (ICIRCA), 2025 6th International Conference On, 264–269.

<https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1109/ICIRCA65293.2025.11089669>

Zabarce, A. (2024). Amoniac (NH<sub>3</sub>): Propiedades químicas y físicas.