

Sistema IoT de Monitoreo y Alerta Ambiental Basado en STM32

V. Benutti, A. Cafaro, J.M. Fernandez, L. Guiglion, M. Penon. - *Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Paraná*

donatobenutti@alu.frp.utn.edu.ar,
alejandrocafaro@alu.frp.utn.edu.ar,
juanfernandezrosado@alu.frp.utn.edu.ar,
n.edu.ar,
lautaroguiglion@alu.frp.utn.edu.ar,
marcospenon@alu.frp.utn.edu.ar.

Resumen — Se presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo ambiental inteligente basado en un microcontrolador STM32F103C8T6, orientado a la detección temprana de gases inflamables, humo y variaciones térmicas en entornos domésticos. El dispositivo integra sensores DHT11 y MQ-2 para la adquisición de datos ambientales, una interfaz de usuario mediante teclado matricial 4x4 y pantalla LCD 16x2 (I²C), y un módulo GSM SIM800L para el envío de alertas por SMS. La información sensada se procesa en tiempo real y se compara con umbrales configurables por el usuario. Se desarrolló una PCB personalizada y un gabinete impreso en 3D que organiza los módulos electrónicos, optimizando ventilación y separación electromagnética. Las pruebas demostraron un funcionamiento estable en la detección y comunicación, evidenciando la factibilidad del sistema para la prevención de incidentes domésticos y el control remoto de condiciones ambientales.

Abstract — This work presents the development of an intelligent environmental monitoring system based on an STM32F103C8T6 microcontroller, designed for early detection of flammable gases, smoke, and temperature variations in domestic environments. The device integrates DHT11 and MQ-2 sensors for environmental data acquisition, a 4x4 keypad and 16x2 I²C LCD as user interface, and a SIM800L GSM module for SMS alert transmission. Acquired data are processed in real time and compared with user-defined thresholds. A custom PCB and 3D-printed enclosure were developed to ensure component organization, ventilation, and electromagnetic isolation. Experimental tests verified stable operation in sensing and communication, demonstrating the system's feasibility for domestic safety enhancement and remote environmental monitoring.

I. PALABRAS CLAVE

STM32, Monitoreo ambiental, GSM, DHT11, MQ-2, UART, I2C, Sensado inteligente, IoT.

II. INTRODUCCIÓN

La presencia de gases nocivos o incendios en domicilios y comercios son hechos que ocurren desde el comienzo de la historia del hombre y que hasta el día de hoy sigue ocurriendo. Actualmente esto puede deberse a muchos factores, como una pérdida de gas, un cortocircuito que puede provocar un incendio o incluso la presencia de monóxido de carbono que es indetectable por nuestros sentidos. Cualquiera de estos factores pueden afectar a la salud e integridad física de las personas que permanecen en el lugar. Muchas veces la falta de presencia o inclusive dormir por las noches, descuidando nuestras casas puede permitir la rápida expansión de cualquiera de los hechos mencionados.

En la actualidad todavía hay noticias de casas incendiadas por descuidos o fallecimientos por fugas de gases por falta de medios que alerten o impidan estas tragedias antes de que ocurran. Para evitar que se sigan expandiendo los casos similares a los mencionados proponemos un dispositivo que además de prevenir accidentes catastróficos nos permita controlar factores ambientales en nuestras casas para además de estar más seguros poder estar cómodos, todo esto a distancia y al alcance de nuestras manos.

Para lograr el objetivo en este artículo vamos a organizar las ideas de la siguiente manera: primero, se presenta una breve descripción del problema; segundo, se analizan las principales causas y efectos de la presencia de gases o incendios; a continuación, se introduce el funcionamiento y periféricos de nuestro dispositivo; y, finalmente, se discuten las ventajas y desventajas de la implementación de esta idea.

III. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Los hogares y comercios están expuestos a riesgos por la presencia de gases nocivos o incendios originados por fugas, fallas eléctricas o acumulación de monóxido de carbono. Tan solo entre los meses de abril y mayo del año 2023 se registraron entre 40 y 60 incendios en domicilios particulares en distintas provincias de nuestro país [1]. La falta de sistemas de detección y alerta temprana, agrava el peligro, ya que estos incidentes suelen ocurrir sin que las personas los perciban a tiempo. Este problema representa una amenaza directa para la seguridad, la salud y la integridad de quienes habitan o trabajan en estos espacios. Para conocer bien el problema enumeramos algunas de las principales causas de este tipo de incidentes.

Algunas causas posibles son:

- Fugas de gas por instalaciones defectuosas o mal mantenimiento.
- Cortocircuitos eléctricos provocados por sobrecarga o cableado en mal estado.
- Acumulación de monóxido de carbono debido a una mala ventilación o fallas en calefactores.
- Uso inadecuado de artefactos eléctricos o de gas.
- Ausencia de sistemas de detección y alarma temprana.

IV. ARQUITECTURA Y COMUNICACIÓN

A. Arquitectura del sistema

El esquema ordenador realizado cuenta con un “cerebro” y periféricos que se comunican con este mismo. El “cerebro” es una placa de microcontrolador STM32F103C8T6, también conocida como “Bluepill” debido a su color azul. Por otra parte, el sistema cuenta con dos periféricos sensores, cuyas mediciones son representadas de forma visual mediante una pantalla. Además, el usuario puede interactuar con el micro mediante un teclado matricial 4x4, mediante el cual se seleccionan las diferentes opciones con las que cuenta el menú:

- Estado actual.
- Seteo de temperatura umbral.
- Envío de SMS de alerta.
- Reset del sistema.

Como una de las opciones del menú lo indica, también este sistema incorpora comunicación GSM con el teléfono celular del usuario, alertando de si se superan los umbrales seguros de temperatura o gases. La figura 1 representa el diagrama en bloque del sistema implementado.

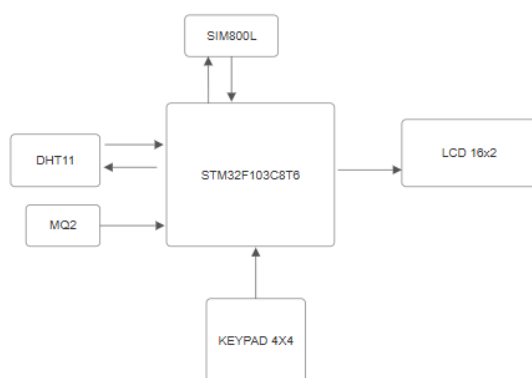


Fig. 1. Esquema ordenador del sistema.

B. Dispositivos utilizados

- *Microcontrolador*

La placa STM32F103C8T6 cuenta con un ARM Cortex-M3 a 72 MHz [2], además de una gran variedad de prestaciones que la hacen ideal para la comunicación con varios periféricos. A su vez, esta placa presenta una buena relación de costo-rendimiento, ya que por un precio bajo se puede obtener una gran capacidad de cómputo.

- *Sensores*

Dado que nuestro sistema necesita sensar valores de temperatura y humedad, el sensor DHT11 [3] representó una opción asequible y con precisión suficiente para la realización de este proyecto. En cuanto a la detección de gases en el ambiente, el módulo medidor MQ2 [4] fue elegido para desempeñar esta función, siendo el indicado en relación a precisión-precio.

- *Interacción usuario-sistema*

El sistema de comunicación visual utilizado es una pantalla LCD 16x2 con módulo I2C integrado [5], de tal manera que el usuario pueda visualizar e interactuar con el sistema, eligiendo la opción que desee del menú. Con respecto a cómo se logra esta comunicación, un teclado matricial 4x4 está a disposición de la persona para así poder elegir o establecer valores, dependiendo de qué opción ésta haya elegido.

- *Sistema de alerta*

La manera más eficiente de informar al usuario sobre posibles peligros en su hogar es mediante un mensaje SMS a su teléfono celular, en caso de que se hayan superado los valores de umbral que esta haya preestablecido. El módulo idóneo para cumplir esta función es el SIM800L, el cual requiere un chip interno capaz de conectarse a la red 2G, así como de una antena que efectúe la comunicación. Se establece una comunicación bidireccional UART entre el módulo y la placa, posibilitando que el usuario establezca los valores de umbral mediante un SMS.

- *Módulo GSM*

Con el objetivo de brindar una notificación inmediata al usuario ante situaciones de riesgo en el hogar, se implementó un sistema de envío de mensajes SMS mediante el módulo SIM800L. Este dispositivo permite la comunicación móvil a través de una interfaz UART bidireccional con la placa de control, posibilitando tanto la transmisión automática de alertas como la recepción de comandos para la configuración de los umbrales de alarma.

El módulo fue alimentado mediante una fuente DC-DC dedicada, diseñada específicamente para mantener una tensión estable dentro del rango recomendado por el fabricante (3,7 V – 4,4 V), asegurando condiciones adecuadas de operación. En las etapas iniciales se obtuvieron resultados satisfactorios, logrando el envío y recepción de mensajes SMS de manera confiable.

Sin embargo, en fases posteriores se presentaron dificultades recurrentes de conexión, impidiendo establecer la comunicación de forma estable. A pesar de que se mantuvieron todos los parámetros eléctricos dentro de los límites seguros, el módulo dejó de responder correctamente a los comandos AT, sin que se pudiera determinar con certeza la causa del fallo. Este comportamiento sugiere la necesidad de realizar un análisis más profundo o considerar alternativas de comunicación en futuras versiones del sistema.

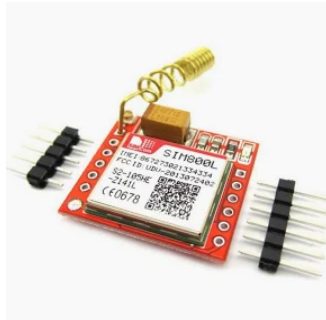


Fig 2. Módulo SIM800L.

V. DESARROLLO DE HARDWARE

A. Diseño de PCB

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, se diseñó una placa de circuito impreso (PCB) que integra todos los componentes y conexiones necesarias. En ella se dispusieron los pines correspondientes a la interfaz I2C, utilizada para la comunicación con la pantalla LCD, así como los pines destinados al teclado matricial 4x4 (R1–R4 y C1–C4). Además, se realizó el ruteo de las pistas hacia los sensores de humo (MQ2) y temperatura/humedad (DHT11), garantizando una conexión ordenada y eficiente entre los periféricos y el microcontrolador.

La elección de una PCB en lugar de una protoboard se fundamenta en la necesidad de lograr un montaje más robusto y confiable, evitando problemas frecuentes de ruido eléctrico, falsos contactos o desconexiones ocasionados por cables sueltos o inestables. De este modo, se obtiene una mayor fidelidad y estabilidad en el funcionamiento del sistema, especialmente al dejar el dispositivo armado de forma permanente, como se observa en la Figura 3.

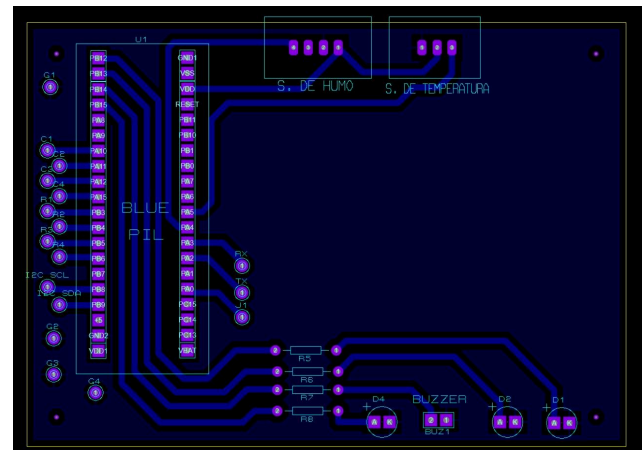


Fig. 3. Diseño de PCB.

En el diseño de la placa puede observarse un área libre que, a primera vista, podría considerarse un espacio “ineficiente”. Sin embargo, dicha zona fue planificada intencionalmente para la futura incorporación de un módulo ESP32, el cual originalmente se preveía integrar con la placa Blue Pill (STM32F103C8T6). La función de este módulo sería recibir los datos obtenidos por el microcontrolador y transmitirlos a una página web en tiempo real, permitiendo la visualización remota de las variables ambientales.

No obstante, durante las pruebas se detectó un inconveniente en el canal de comunicación UART3 que, como se detalla en [2, pág. 30] los pines PB10 y PB11 son los correspondientes para la misma. Este inconveniente que impidió establecer la conexión entre ambos dispositivos. Pese a los intentos de diagnóstico, el origen del problema no pudo determinarse completamente. Aun así, se decidió mantener el espacio reservado en la PCB con el propósito de facilitar una implementación futura del ESP32 una vez que se logre resolver el inconveniente mencionado.

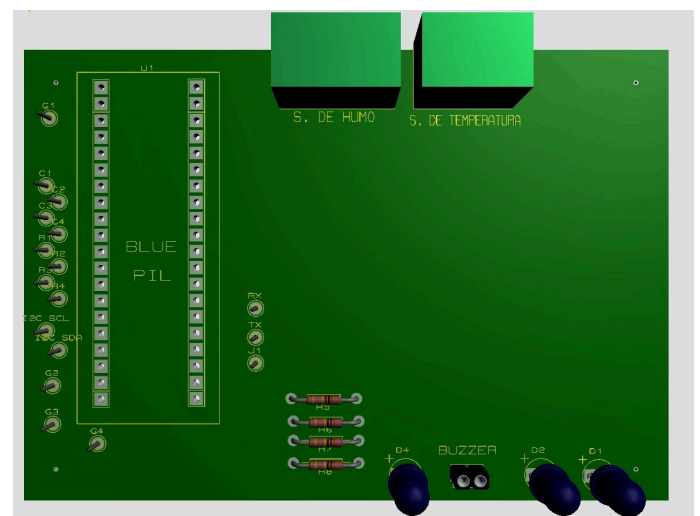


Fig. 4. Diseño 3D de la PCB.

B. Diseño de Gabinete

El gabinete del sistema fue diseñado utilizando el software Autodesk Fusion 360, priorizando criterios de funcionalidad, robustez y accesibilidad para el montaje de los diferentes módulos electrónicos. Está conformado por dos partes principales: una base estructural y una tapa superior desmontable, ambas impresas en 3D con material PLA.

La base aloja los principales componentes del sistema: la placa de desarrollo STM32F103C8T6, el módulo GSM SIM800L, los sensores ambientales DHT11 y MQ-2, así como la fuente de alimentación. Se incorporó una separación interna entre la sección de sensado y la de comunicaciones, con el objetivo de reducir interferencias electromagnéticas y térmicas. Esta disposición también facilita el mantenimiento, el reemplazo de módulos y la ventilación natural del conjunto.

En las paredes laterales del gabinete se diseñaron aberturas específicas para los sensores, permitiendo una correcta exposición al ambiente sin comprometer la protección mecánica:

- Una abertura circular para el módulo MQ-2, que asegura un flujo de aire suficiente para la detección de gases.
- Una ranura rectangular para el sensor DHT11, optimizando la circulación del aire y la estabilidad térmica de la medición.

La tapa superior incluye los alojamientos para la pantalla LCD 16×2 con interfaz I²C y para el teclado matricial 4×4, los cuales constituyen la interfaz principal de usuario. Se añadieron refuerzos estructurales y columnas de sujeción con tornillos M3, asegurando un ensamblaje firme y la alineación precisa de las piezas.

El diseño contempla además perforaciones inferiores para el paso de cables y orificios de ventilación que previenen la acumulación de calor dentro del recinto. La impresión en PLA negro (cuerpo) y PLA blanco (tapa) fue seleccionada por motivos tanto estéticos como funcionales, favoreciendo la lectura del display y la visibilidad del teclado y los sensores ambientales.

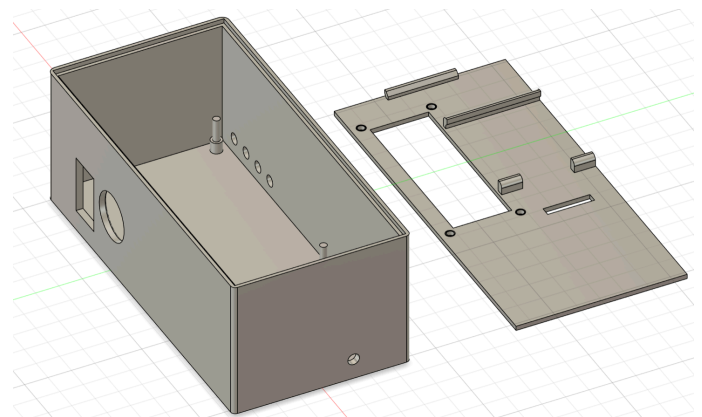


Fig. 5. Diseño del gabinete impreso en 3D, mostrando la separación interna para el módulo GSM, la placa STM32.

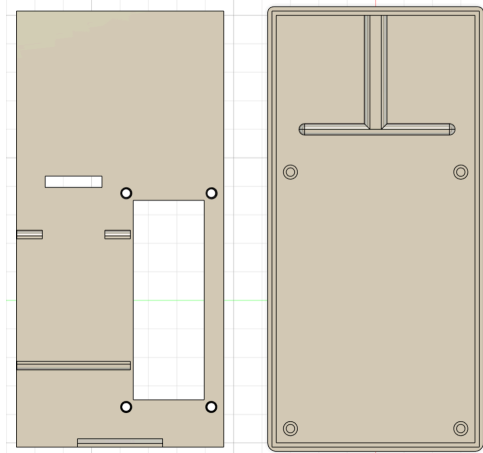


Fig. 6. Vista superior del diseño con separaciones..

C. Diseño Final

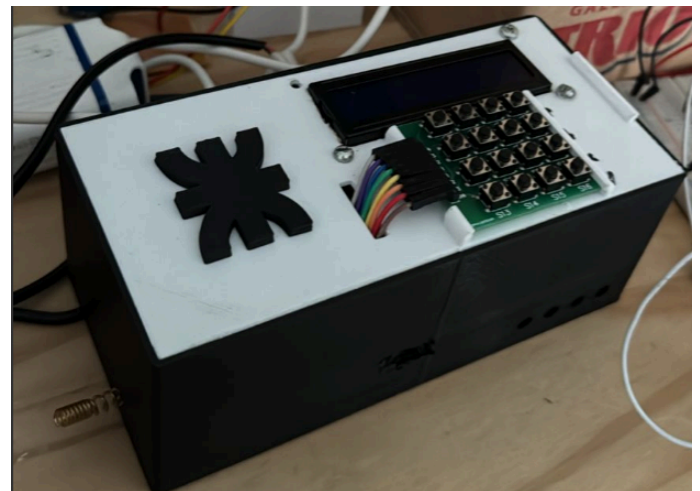


Fig. 7. Gabinete final montado.

En la fotografía se observa el sistema completamente ensamblado, integrando el gabinete impreso en 3D con todos los módulos electrónicos. En la parte superior se ubican la pantalla LCD 16×2 y el teclado matricial 4×4, conformando la interfaz principal de usuario. El cuerpo

del gabinete aloja internamente la placa STM32F103C8T6, el módulo GSM SIM800L y los sensores DHT11 y MQ-2, distribuidos según el diseño estructural previamente descrito. Esta disposición garantiza una correcta ventilación, una conexión ordenada de los periféricos y una presentación estética y funcional del dispositivo.

VI. FLUJO DEL PROGRAMA

El desarrollo del programa que debía ser cargado a la placa se realizó utilizando el software STM32CubeIDE, el cual fue desarrollado por la misma empresa que fabricó el microcontrolador utilizado. Este programa presenta una gran portabilidad, ya que un código hecho para una placa específica puede ser utilizado para programar una placa diferente, realizando sólo unos pequeños cambios de configuración relacionados al hardware de cada placa. La capacidad de poder reutilizar códigos hechos para ciertas placas en otras diferentes es gracias a la “capa de abstracción de hardware” o “hardware abstraction layer”, también conocida como HAL.

En cuanto al diagrama de flujo del programa que fue desarrollado, la figura 8 esquematiza al mismo.

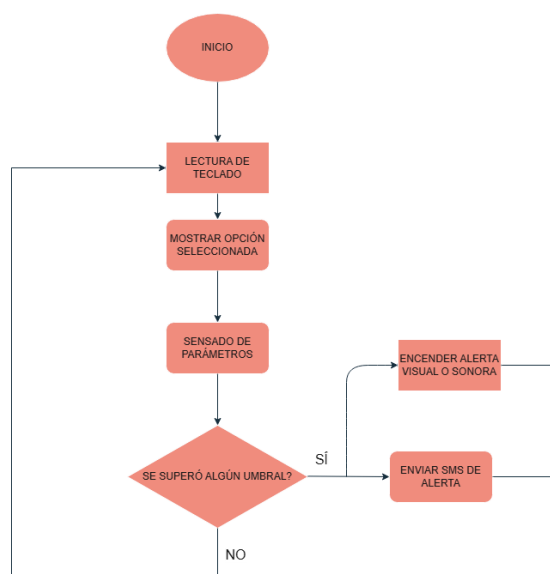


Fig. 8. Diagrama de flujo del programa.

Cuando se inicia el programa, primero se lee el teclado para detectar si el usuario presionó alguna tecla de opción. De ser este el caso, se muestra en la pantalla el texto relacionado a la opción escogida. Luego de esto se sensan los parámetros (temperatura, humedad y presencia de gases) para luego compararlos con un valor de umbral previamente establecido por el usuario. Si alguno de los valores medidos supera a su valor umbral, se generan señales de alerta visuales y sonoras, a la vez que se envía un SMS al teléfono celular del usuario para informarle de la situación.

TRABAJO FUTURO

A partir de la experiencia obtenida durante el desarrollo del sistema y de los resultados alcanzados, fue posible identificar diversas oportunidades de mejora orientadas a optimizar el rendimiento, la estabilidad y las prestaciones generales del prototipo. Una de las principales líneas de avance consiste en la incorporación de un módulo de comunicación más moderno, con soporte 4G LTE o NB-IoT, en reemplazo del actual módulo GSM de tecnología 2G. Esta actualización permitiría disponer de una conexión más estable, con menor latencia y mayor cobertura, garantizando una transmisión de datos confiable en diferentes entornos. De manera complementaria, también se considera la posibilidad de integrar un módulo WiFi que habilite la comunicación directa con plataformas en la nube. Esto posibilitaría que el usuario acceda al historial y al estado de los sensores desde una aplicación móvil o interfaz web, ampliando considerablemente la capacidad de monitoreo remoto del sistema.

Otra mejora importante apunta a incorporar una comunicación bidireccional completa, que permita al usuario no solo recibir alertas, sino también modificar parámetros del sistema a distancia, como los valores umbral, los modos de operación o las condiciones de alarma. De este modo, se eliminaría la necesidad de realizar configuraciones de forma presencial y se lograría un sistema más flexible y adaptable a distintas situaciones. Además, se propone incluir un sistema de alimentación de respaldo, basado en baterías recargables o celdas Li-Ion, que garantice el funcionamiento básico del dispositivo ante cortes de energía. Esta característica resultaría especialmente útil en viviendas deshabitadas o en contextos donde la continuidad del monitoreo sea esencial.

En conjunto, la incorporación de estas mejoras permitiría evolucionar el diseño hacia un sistema de monitoreo ambiental más robusto, autónomo y conectado, en sintonía con las tendencias actuales de la Internet de las Cosas (IoT) y la automatización inteligente del hogar, transformando el prototipo en una solución más completa y adaptable a las necesidades reales de los usuarios.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Mg. Ing. E. Sergio Burgos por su acompañamiento durante las etapas iniciales del proyecto y por la asistencia brindada ante dudas fundamentales relacionadas con la programación del STM32 y la configuración de periféricos. Su orientación fue de gran ayuda para encaminar el desarrollo práctico y afianzar los conceptos aplicados.

También se expresa el agradecimiento a los docentes de la cátedra, Ing. Raúl Caballero e Ing. Gustavo Maggiolo, por la orientación académica y el soporte teórico ofrecido durante la cursada, que resultaron esenciales para

comprender y aplicar los principios del diseño de sistemas embebidos sobre los que se fundamenta este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] S. Romero, "Solo el 10% de los hogares argentinos tienen seguro de hogar contra incendios: ¿estás protegido?," *El Tribuno*, Jun. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.eltribuno.com/nota/2023-6-13-15-47-0-solo-el-10-de-los-hogares-argentinos-tienen-seguro-de-hogar-contra-incendios-estas-protegido>. [Accessed: Nov. 1, 2025].
- [2] STMicroelectronics, "STM32F103C8 Datasheet – 32-bit ARM Cortex-M3 Microcontroller," Rev. 17, July 2024. [Online]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>
- [3] OSEPP, "DHT11 – Digital Temperature and Humidity Sensor Datasheet," AllDataSheet, 2024. [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2193416/OSEPP/DHT11.html>. [Accessed: Nov. 1, 2025].
- [4] Hanwei Electronics, "MQ-2 Gas Sensor Datasheet," Pololu, 2017. [Online]. Available: <https://www.pololu.com/file/0j309/mq2.pdf>. [Accessed: Nov. 1, 2025].
- [5] STMicroelectronics, "AN4221 – I²C protocol used in the STM32 bootloader," Application Note, Rev. 6, Geneva, Switzerland, 2022. [Online]. Available: [I2C protocol used in the STM32 bootloader - Application note](#).