

Desarrollo de un sistema embebido para advertir sobre las condiciones de riesgo de contagio de COVID-19 mediante el monitoreo de la calidad del aire

Yair Romero López, Ricardo Álvarez González,
Rodrigo Lucio Maya Ramírez, Alba Maribel Sánchez Gálvez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
México

yair.romerolope@alumno.buap.mx, {ricardo.alvarez, rodrigo.maya,
alba.sanchez}@correo.buap.mx

Resumen. El impacto súbito y generalizado de la pandemia del COVID-19, ha afectado a las actividades esenciales y presenciales de nuestra vida cotidiana, a pesar de la existencia de nuevas variantes del virus, existe un número significativo de la población vacunada en México, esto ha dado origen a la propuesta del retorno a las actividades presenciales, en sectores educativos, turísticos, profesionales, etc. Por ello se requiere todas las medidas de protección e higiene, además de una planificación muy estricta, para minimizar el riesgo de contagio. La medición de la concentración de dióxido de carbono CO₂ es una estrategia que puede advertir el riesgo de contagio de la enfermedad del coronavirus (COVID-19) en un espacio cerrado donde se encuentre reunido un grupo de personas. El resultado puede proporcionar información, a partir de la cual se puede deducir si la ventilación es adecuada o deficiente, lo que facilitaría la propagación del virus. Esta es la razón por la cual se propone desarrollar un sistema embebido para monitorear la concentración de CO₂ en un espacio cerrado y emitir alarmas cuando se exceda el valor de 1000 ppm y adicionalmente generar un registro diario de los datos, almacenándolos en la nube para su posterior análisis.

Palabras clave: COVID-19, CO₂, sistema embebido, IoT, sensor.

Development of an Embedded System for Warning about COVID-19 Contagion Risk Conditions through Air Quality Monitoring

Abstract. The sudden and widespread impact of the COVID-19 pandemic has affected the essential and face-to-face activities of our daily lives, despite the existence of new variants of the virus, there is a significant number of the population vaccinated in Mexico, this has given rise to the proposal to return to face-to-face activities, in educational, tourist, professional sectors, etc. For this reason, all protection and hygiene measures are required, in addition to very strict planning, to minimize the risk of contagion. The measurement of the concentration of carbon dioxide CO₂ is a strategy that can warn of the risk of

contagion of the coronavirus disease (COVID-19) in a closed space where a group of people is gathered. The result can provide information, from which it can be deduced whether ventilation is adequate or poor, which would facilitate the spread of the virus. This is the reason why it is proposed to develop an embedded system to monitor the concentration of CO₂ in a closed space and issue alarms when the value of 1000 ppm is exceeded and additionally generate a daily record of the data, storing it in the cloud for further analysis.

Keywords: COVID-19, CO₂, embedded system, IoT, sensor.

1 Introducción

En los últimos años, la calidad del aire en interiores ha recibido una atención considerable de gobiernos ambientales, instituciones políticas y la comunidad de científicos internacionales, debido a su estrecha asociación con la salud pública, la comodidad y el bienestar de las personas [1, 2].

Actualmente se puede hacer uso de las tecnologías emergentes para advertir sobre las condiciones de riesgo de contagio del COVID-19, el Internet de las cosas (IoT) muestra un gran potencial para medir datos en tiempo real de un ambiente cerrado que puedan auxiliar a los ocupantes de éstos espacios a tomar decisiones relevantes para tomar medidas necesarias de ventilación y así mitigar los niveles de CO₂ y de esta manera evitar una diseminación del virus en los ocupantes [3].

El Internet de las cosas es un tema ampliamente discutido en el campo de las tecnologías de la comunicación. Esta tecnología puede conectar una cantidad ilimitada de dispositivos y sensores para influir en la forma en que trabajamos y vivimos. IoT encuentra múltiples aplicaciones en escenarios del mundo real mientras automatiza procesos para aumentar la productividad [2].

La información registrada a través de un sensor CO₂ en ambientes cerrados y públicos puede proporcionarnos valiosa información, puede ser vista por expertos en salud pública, funcionarios gubernamentales y legisladores, para tomar medidas de mejora en la salud y el bienestar social [3].

2 Propósito y enfoque del proyecto en el combate de los contagios de COVID -19 en espacios cerrados

Actualmente la OMS plantea que el COVID-19, se transmite principalmente a través de microgotas. La inoculación de microgotas en las vías respiratorias deviene de la exposición del hospedador a eventos del paciente (tos, estornudo, carraspeo, etc.) o procedimientos que inducen dispersión de gotitas en el aire.

Para la OMS la mayoría de los contagios se producen a través del contacto cercano, motivo por el cual el distanciamiento entre personas debe ser mínimo de un metro y una ventilación adecuada en espacios cerrados es primordial [4, 5].

El monitoreo de CO₂ es un medio establecido para evaluar si la ventilación es adecuada para el número de personas que ocupan un espacio cerrado. Aunque los niveles de CO₂ oscilan entre 350 y 450 ppm al aire libre, las personas que se reúnen y respiran dentro de un edificio harán que el CO₂ se acumule a niveles mucho más altos a

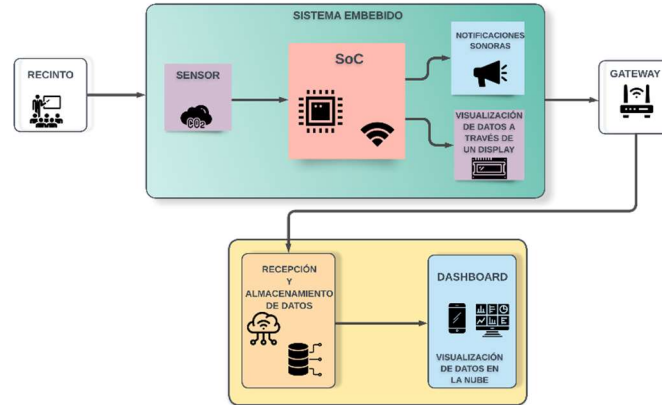


Fig. 1. Diagrama general del Sistema.

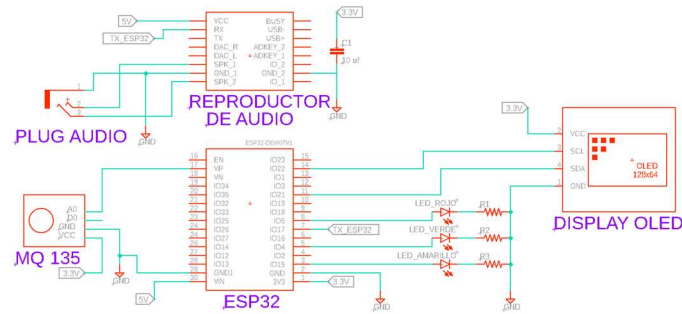


Fig. 2. Diagrama eléctrico del sistema.

menos que se elimine a través de la ventilación. Cuantas más personas ocupen un espacio y más intensa sea su actividad física, más ventilación se requiere para mantener la comodidad de los ocupantes. Se considera que arriba de 1000 ppm del CO₂ en un espacio cerrado podría ayudar a facilitar a una transmisión de COVID-19 [6].

A pesar de existir nuevas variantes del virus, el medio de propagación es el mismo, por lo cual la detección de niveles elevados de CO₂ se puede emplear como método efectivo de riesgo de transmisión de cualquier cepa del virus [5].

Además, la cantidad de personas y la naturaleza de sus actividades dentro de un espacio pueden afectar la calidad del aire y la presencia de partículas infecciosas a lo largo del tiempo. En este trabajo se propone medir las concentraciones de CO₂ en interiores utilizando sensores de bajo costo como una forma de estimar el riesgo de transmisión de COVID-19 en interiores [7].

3 Estado del arte

En el mercado encontramos una amplia variedad de sistemas de monitoreo de la calidad el aire sin embargo varios sistemas de monitoreo basados en IoT carecen de la gene- ración de notificaciones sonoras de voz para alertar a los usuarios finales sobre

los niveles óptimos de convivencia y sin riesgo de un contagio masivo en el lugar a monitorizar [8]. Los dispositivos que cuentan con conectividad a la nube tienen costos altos o incluso para algunos es necesario adquirir algún complemento para la conexión a internet.

Actualmente en la literatura se destacan diferentes sistemas embebidos relacionados a la calidad del aire en espacios cerrados, un ejemplo del desarrollo de estos sistemas es el propuesto en el artículo [9], en el cual se presenta el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de la calidad del aire mediante el sensado del CO₂, se puede apreciar que no se obtiene un registro de las mediciones realizadas y carece de notificaciones sonoras de voz al existir un riesgo al presentarse un nivel alto de partículas de CO₂ en el ambiente.

A nivel comercial existen diversos productos en el mercado, donde los monitores de CO₂ se conectan a la nube para el envío de datos, un ejemplo de ello es el sistema comercial [10], este sistema cuenta con una aplicación móvil para observar los datos adquiridos del monitor, además de contar con una pantalla en el monitor para poder visualizar los datos, la aplicación cuenta con registros de las mediciones obtenidas de días anteriores, sin embargo se observa que carecen de alarmas para advertir las condiciones de riesgo de contagio de COVID-19 a las personas que se encuentren en el recinto.

La mayoría de los sistemas desarrollados comercialmente y con bajos costos, no siguen los procedimientos de calibración adecuados ni las pruebas de confiabilidad antes del despliegue de los sensores IAQ (Indoor air quality) en las ubicaciones objetivo [8].

4 Desarrollo

Se desarrolla un sistema embebido para monitorear la concentración de CO₂ en un espacio cerrado y así emitir alarmas sonoras de voz cuando se excedan los parámetros establecidos, adicionalmente se lleva un registro diario de los datos, almacenándolos en la nube para su posterior análisis.

El proyecto está dividido en dos bloques fundamentales mostrados en la figura 1 los cuales se describen a continuación:

- Sistema embebido.
- Recepción, almacenamiento y visualización de los datos obtenidos en la nube.

4.1 Sistema embebido

El diagrama eléctrico del sistema embebido mostrado en la Figura 2 está conformado por cuatro bloques fundamentales:

- **Sensor de CO₂:** Módulo que incluye un sensor de gas el cual detecta las partes por millón del CO₂ en el ambiente, en este caso se hace uso del MQ135 debido a su bajo costo y sus altas prestaciones para la detección de partículas nocivas para el ser humano, este sensor cuenta con la capacidad de detección de 10-1000 ppm de CO₂ [11].

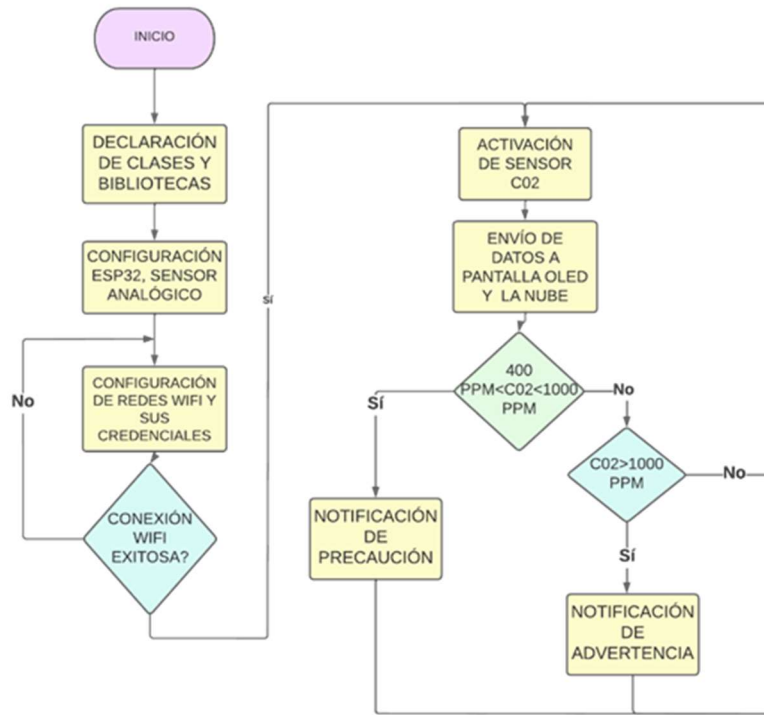


Fig. 3. Algoritmo implementado en el módulo electrónico ESP32.

- **Tarjeta de desarrollo ESP 32:** Tarjeta de control electrónica que contiene el SoC (System on a Chip) y el firmware correspondiente, al igual que la respectiva etapa electrónica para el envío de información inalámbrica vía WiFi, este SoC es una excelente opción para el desarrollo de sistemas embebidos con conectividad IoT ya que el soporte de la comunidad científica y académica se ha centrado en este dispositivo que se dirige a una amplia variedad de aplicaciones industriales y médicas [12, 13].
- **Display electrónico:** Dispositivo el cual notifica de forma visual los datos obtenidos a través del dispositivo que exhibe el resultado en una pantalla de tecnología OLED SSD130 ya que tiene ventaja de tener un consumo bajo debido a que solo se enciende el pixel necesario y no requieren de luz de fondo y tienen una mejor visibilidad en ambientes luminosos, como bajo el sol en comparaciones de otros exhibidores [14].
- **Notificaciones sonoras:** Adicionalmente el sistema embebido cuenta con notificaciones mediante voz, para advertir las condiciones en el cual se encuentra la calidad del aire y el riesgo que implica, se hace uso de un DFplayer mini reproductor mp3 con salida de audio a unas bocinas con plug 3.5 mm, este dispositivo fue seleccionado ya que es un módulo electrónico de fácil implementación y con la capacidad de reproducción de pistas de audio en los formatos más comunes, cómo lo son MP3, WMA y WAV [15].

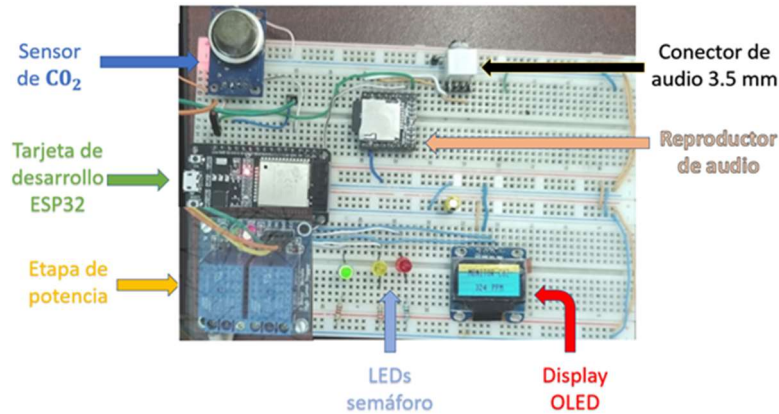


Fig. 6. Sistema embebido desarrollado en una placa de prototipado electrónico.

4.2 Módulo electrónico ESP32

Actualmente el SoC de ESP32 es una excelente opción para el desarrollo de sistemas que van desde redes de sensores de bajo consumo hasta las tareas más exigentes, como la codificación de voz, la transmisión de música y la decodificación de MP3, redes de sensores industriales, etc. [13].

Además de contar con conectividad inalámbrica Bluetooth y WiFi en un solo módulo. De igual manera el costo de estos dispositivos es accesible y sus funcionalidades son amplias para el desarrollo de proyectos de IoT con prestaciones de bajo consumo [8].

4.3 Algoritmo implementado para el envío de datos

El envío de datos llevado a cabo por el ESP32 se realiza mediante la creación de un algoritmo con el lenguaje de programación Python haciendo uso del interprete MicroPython, esto debido a la fácil integración de protocolos de comunicación usados en redes IoT [16]. En la figura 3 podemos apreciar el algoritmo programado en MicroPython.

4.4 Envío de datos haciendo uso del protocolo de comunicación MQTT

Se han desarrollado varios protocolos y métodos para la comunicación de datos en el campo de IoT. En el presente trabajo se utilizará el protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport), el modelo es mostrado en la figura 4, basado en una comunicación de publicación-suscripción.

El componente que produce la información pública la información, por lo que se le denomina *Publisher*, el cual es nuestro caso es el sistema embebido. El interesado en recibir la información publicada se denomina suscriptor.

El *Broker* se asegura de que el suscriptor reciba todos los datos que se han publicado sin ninguna pérdida, en nuestro caso la aplicación IoT denominada *ThingSpeak*. MQTT es un sistema de publicación y suscripción basado en temas denominados *Topics*. Esto

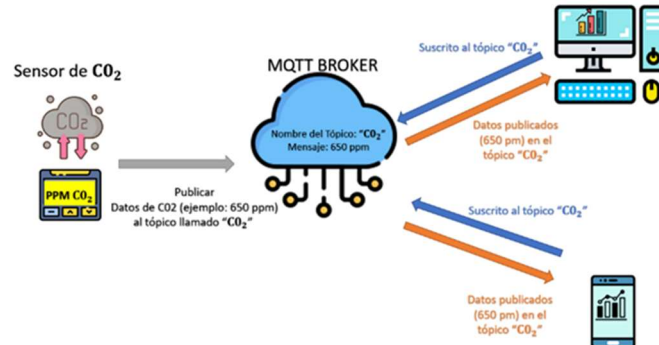


Fig. 4. Modelo de comunicación empleado.



Fig. 5. Dashboard generada en el software ThingSpeak.

significa que el *Publisher* produce la información sobre un *Topic* que puede ser suscrito por cualquier dispositivo suscriptor [17].

4.5 Recepción, almacenamiento y visualización de los datos obtenidos

Se hace uso de la plataforma IoT *ThingSpeak*, la cual se conecta con el sistema embebido mediante un protocolo de comunicación inalámbrica MQTT [17], de este modo, se llevará a cabo la recepción y almacenamiento de los datos obtenidos. Se podrá descargar las distintas mediciones llevadas a cabo en un archivo con extensión .CSV.

Los datos obtenidos se presentan a través del *dashboard* mostrado en la figura 5, indicando de manera gráfica las mediciones de CO₂ realizadas.

5 Pruebas y resultados

Para corroborar el correcto funcionamiento del sistema se realizaron pruebas con el prototipo mostrado en la figura, el cual se colocó en un aula de clases con las siguientes dimensiones, 6 x 4 x 2.5 m:

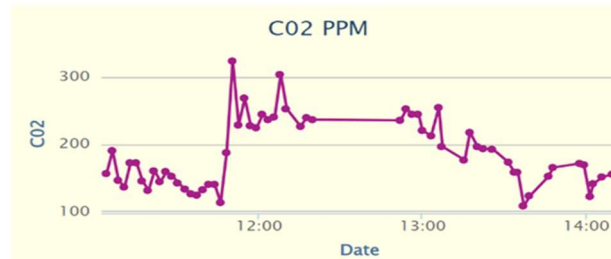


Fig. 7. Gráfica mostrada en el software *ThingSpeak*.

Tabla 1. Formato de la tabla generada a partir de las mediciones obtenidas.

Fecha	PPM Sensadas
2022-06-24 16:48:10 UTC	187
2022-06-24 16:50:23 UTC	323
2022-06-24 16:52:35 UTC	350
2022-06-24 16:54:48 UTC	396
2022-06-24 16:57:00 UTC	410
2022-06-24 16:59:12 UTC	412
2022-06-24 17:01:24 UTC	421
2022-06-24 17:03:37 UTC	408
2022-06-24 17:05:48 UTC	400

- Aula con ventanas y puertas abiertas, una ventilación de aire considerablemente buena y sin ocupantes.
- Aula con ventanas y puertas cerradas, una ventilación de aire considerablemente mala y con cinco ocupantes.
- Aula con ventanas y puertas abiertas, una ventilación de aire considerablemente buena y con cinco ocupantes.

Los resultados obtenidos y graficados en la dashboard del software *ThingSpeak* son mostrados en la figura 7, en las primeras horas de 11:00 a 12:00 existe una buena ventilación y no hay ocupantes por lo cual los niveles de CO_2 son bajos.

Posteriormente se observa una alza de las mediciones de ppm del CO_2 ya que la ventilación era deficiente y existían cinco ocupantes en el aula.

Finalmente se mantienen los mismos cinco ocupantes pero se ventila el recinto y las ppm del CO_2 bajan gradualmente.

5.1 Notificaciones de audio

El sistema embebido contiene un conector hembra de 3.5 mm, conectado a un módulo reproductor de audio, donde se reproducen pistas en formato MP3. Se cuentan con dos diferentes audios para indicar los siguientes niveles de calidad del aire y el posible riesgo existente de un contagio de COVID-19:

- $400 < CO_2 \leq 1000$ PPM : ¡Precaución!, la calidad del aire empieza a ser crítica, por la seguridad de los asistentes considere ventilar el recinto y minimizar el número de ocupantes.
- $CO_2 > 1000$ PPM : ¡Advertencia!, Ambiente no óptimo para la convivencia, el dióxido de carbono sobrepasa los niveles de riesgo, favor de desalojar y ventilar el recinto, gracias.

5.2 Tabla de datos obtenidos

Los datos se almacenarán en la cuenta enlazada al software de *ThingSpeak*, donde tendremos acceso a la dashboard y a una tabla de datos con la información obtenida del sensor, se puede observar en la Tabla 1 que $CO_2 > 400$ ppm en este momento se activa la notificación sonora de precaución lo cual le indica a los ocupantes ventilar el área para reducir los niveles de CO_2 , posteriormente se observa una reducción de las ppm. Se pueden visualizar los valores obtenidos por el sensor en la Tabla 1 dicha información es almacenada en un archivo con formato .CSV.

6 Conclusiones

El sistema en esta etapa de desarrollo funcionó satisfactoriamente ya que cuenta con una conexión a internet del sistema embebido con una base de datos en donde se almacena la información adquirida del sensor de CO_2 , de esta manera se obtiene un parámetro para evaluar un posible riesgo mayor de contagio de COVID-19, esto será benéfico para trabajos en el futuro en donde se haga una trazabilidad del comportamiento de los niveles de CO_2 y su correlación con algunos factores, cómo lo son el clima, la hora, el número de ocupantes, etc.

El sistema embebido diseñado puede ser implementado en lugares cerrados, por ejemplo, en aulas de clase o en oficinas de edificios públicos donde la generación de notificaciones sonoras de voz pueda advertir sobre un nivel de riesgo de manera oportuna a los ocupantes del lugar.

Referencias

1. Organización panamericana de la salud (2022) www.paho.org/es/temas/calidad-aire
2. Sultana, S.: A comparison study of air pollution detection using image processing, machine learning and deep learning approach. *Global journal of computer science and technology*, vol. 19, no. 1 (2019)
3. Saini, J., Dutta, M., Marques, G.: *Internet of things for indoor air quality monitoring*. Springer International Publishing (2021) doi: 10.1007/978-3-030-82216-3
4. Bejarano, D.: Modos de transmisión y diseminación interhumana del virus SARS-CoV-2. *Revista de salud publica del Paraguay*, vol. 1, no. 11 (2021)
5. Organización mundial de la salud (2022) www.who.int/es/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants
6. O’Keeffe, J.: Air cleaning technologies for indoor spaces during the COVID-19 pandemic (2020) ncceh.ca/content/blog/air-cleaning-technologies-indoor-spaces-during-covid-19-pandemic

7. United States environmental protection agency.: Particulate Matter (PM) Pollution (2022) www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics
8. Peng, Z., Jimenez, J. L.: Exhaled Co2 as a COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities. *Environmental Science and Technology Letters*, vol. 8, no. 5, pp. 392–397 (2021) doi: 10.1021/acs.estlett.1c00183
9. Cordero-Picadp, K., Monge-Sanabria, R. N., Segura-Vargas, C. D., Morales-Hernández, S.: Diseño interdisciplinario de un sistema de sensado de CO2 para enfrentar la pandemia en los espacios cerrados del Tecnológico de Costa Rica (2022) <https://doi.org/10.18845/tm.v35i5.6189>
10. Domodesk (2022) www.domodesk.com/1520-medidor-co2-y-calidad-del-aire-con-8-funciones-wifi.html
11. Technical data MQ-135 gas sensor (2022) pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/1307647/WINSEN/MQ135.html
12. Beningo, J.: Cómo seleccionar y usar el módulo ESP32 con Wi-Fi/Bluetooth adecuado para una aplicación de IoT industrial (2022) www.digikey.com.mx/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module
13. Espressif Systems. Esp32 serie (2022) www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
14. DFPLayer Mini (2022) picaxe.com/docs/spe033.pdf
15. SSD1306 Technical data (2022) cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf
16. Python for microcontrollers (2022) micropython.org
17. Nettikadan, D., Subodh-Raj, M. S.: Smart community monitoring system using thingspeak Iot platform. *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, pp. 13402–13408 (2018)