

SISTEMA DUAL DE MONITOREO AMBIENTAL PARA INTERIORES, BASADO EN RASPBERRY PI Y ARDUINO NANO

*DUAL INDOOR ENVIRONMENTAL MONITORING
SYSTEM BASED ON RASPBERRY
PI AND ARDUINO NANO*

Rodolfo Omar Domínguez García

Universidad de Guadalajara, México
odomi@academicos.udg.mx

Alan Alfonso Ramírez Rosas

Universidad de Guadalajara, México
alanalfonsoram@gmail.com

Miriam González Dueñas

Universidad de Guadalajara, México
miriam.gduenas@academicos.udg.mx

Recepción: 26/noviembre/2024

Aceptación: 24/abril/2025

Resumen

Con la pandemia COVID-19, la vida diaria se vio afectada a tal punto que es necesario evitar las aglomeraciones de personas en interiores, por lo cual es necesario tener el monitoreo de los espacios cerrados. Usando el IoT, podemos generar información que se obtiene de sensores, dando paso a la toma de decisiones para un mejor control de los espacios cerrados. Este trabajo consta de un sistema espejo de monitoreo de la calidad del aire en espacios cerrados, a través de dos sistemas embebidos implementados a través de Raspberry Pi 3B+ y Arduino Nano, dotados de sensores de temperatura, humedad y CO_2 , con el objetivo de tener un monitoreo más confiable y continuo. Adicionalmente, se implementó el microSitio web para la consulta y análisis de las variables ambientales. De esta forma se monitorean entornos cerrados para conocer la calidad del aire, y posteriormente mostrarla de forma gráfica y facilitar su análisis.

Palabras Clave: Arduino Nano, CO_2 , IoT, Medio ambiente, Raspberry Pi.

Abstract

With the COVID-19 pandemic, daily life has been affected to such an extent that it is necessary to avoid crowds of people indoors, so it is necessary to monitor enclosed spaces. By using IoT, it is possible to generate information obtained from sensors, giving way to decision making for better control of enclosed spaces. This work consists of a mirror system for monitoring air quality in enclosed spaces, through two embedded systems implemented through Raspberry Pi 3B+ and Arduino Nano, equipped with temperature, humidity and CO₂ sensors, in order to have a more reliable and continuous monitoring. In addition, the microWeb site has been implemented for consultation and analysis of environmental variables. In this way, closed environments are monitored to know the air quality and then display it graphically and facilitate its analysis.

Keywords: *Arduino Nano, CO₂, Environment, IoT, Raspberry Pi.*

1. Introducción

El monitoreo ambiental puede ser útil para muchos propósitos. Sin embargo, su objetivo central es medir la existencia y concentración de contaminantes en el ambiente, así como el grado de conservación que tienen los recursos naturales en una zona geográfica [T Ariadna, 2021].

En áreas urbanizadas, la mayoría de las personas pasan el 90% de su tiempo en interiores, haciendo que la calidad del ambiente interior sea una gran preocupación [Andrea, 2022]. La adecuada ventilación de ambientes interiores o cerrados es fundamental para controlar posibles exposiciones a virus respiratorios – entre ellos, el causante de la pandemia COVID-19. Sin embargo ¿cómo asegurar que los ambientes que ocupamos están correctamente ventilados o mantienen sistemas de circulación y purificación de aire que nos protegen?

Al ser producido de manera natural por las personas, los ambientes cerrados o pobremente ventilados contarán siempre con mayores concentraciones de partículas y gases como el CO₂ que aquellos con flujos adecuados de aire. Dado que el CO₂ es el gas que se produce con mayor abundancia por el proceso respiratorio, los medidores de concentración de gases y partículas se han convertido

en una herramienta fundamental para el cuidado de la salud. Se utilizan como monitores para evaluar la calidad de aire [TFM, 2023].

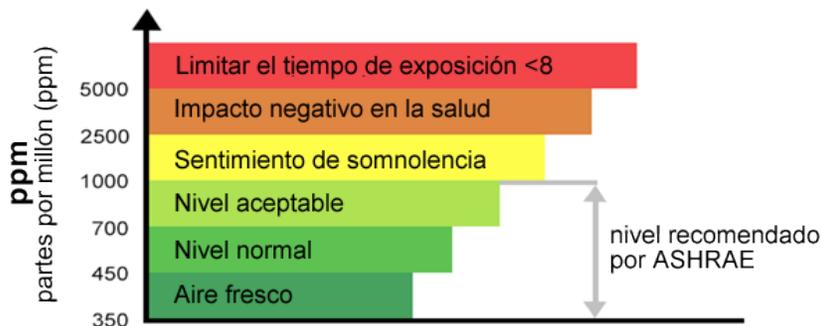
Estos monitores de calidad de aire toman una muestra del aire en ambientes para brindar certeza sobre los valores en partes por millón (*ppm*) de dióxido de carbono y otras partículas que se encuentran en ellos. Al tomar en cuenta el aforo y la diferencia contrastada con la referencia base de 400 *ppm* de CO_2 encontrada en la atmósfera en espacios al aire libre, los monitores de calidad de aire permiten comprender de manera exacta si un espacio es seguro y sano, o no [Unidad Covid-19 UAM, 2021], Tabla 1.

Tabla1 CO_2 y ventilación.

Niveles de CO_2 [<i>ppm</i>]	400-600	600 – 800	800 -1000	1000 -
Ventilación	Excelente	Muy Buena	Aceptable	Mala ventilación

Fuente: Unidad Covid-19 UAM, 2021

El CO_2 produce desplazamiento del oxígeno y en concentraciones altas, de más de 30,000 *ppm*, puede producir asfixia. El CO_2 es un gran indicador de la calidad de aire ya que actúa como señal de la renovación de aire. Es sabido que, a partir de concentraciones de más de 800 *ppm* en entornos laborales, se comienzan a producir quejas debido a olores [Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2019]. En la Figura 1, se puede observar las diferentes etapas de afectación conforme se incrementa la concentración de CO_2 .



Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2019

Figura 1 Afecciones a la salud por el CO_2 .

Aunado a esto, la exposición humana a temperaturas ambientales elevadas puede provocar una respuesta insuficiente del sistema termorregulador. El calor excesivo puede alterar nuestras funciones vitales si el cuerpo humano no es capaz de compensar las variaciones de la temperatura corporal. Una temperatura muy elevada produce pérdida de agua y electrolitos que son necesarios para el normal funcionamiento de los distintos órganos [Ministerio de Trabajo y Economía Social, 2020].

Se entiende la humedad, como la cantidad de agua o vapor de agua que está presente en la superficie de un cuerpo o en el aire [S&P, 2018]. Diversas normativas y organismos internacionales hablan sobre los parámetros que se deben cumplir en cuanto a humedad relativa.

En España, el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), sugiere por razones sanitarias mantener la humedad relativa dentro del campo del 40 al 60% en su conjunto, donde el crecimiento de microorganismos es mínimo [S&P, 2018].

Organizaciones internacionales como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) recomienda un nivel de humedad entre el 30 y el 50% en el interior de la casa, en función de la temperatura exterior con niveles que no deben superar el 55% en verano y con unos niveles de entre el 30% y el 40% en los meses de invierno [S&P, 2018].

Actualmente los sistemas para monitorear el medio ambiente toman datos como temperatura, humedad del aire, luz ultravioleta, CO_2 , velocidad del viento, luminosidad, metano y muchas más dependiendo del uso que se le vaya a dar, su utilidad puede ser variada, desde la agricultura, salud hasta información meteorológica.

Este proyecto tiene como meta el monitoreo ambiental de un espacio cerrado determinado en donde se utilizará diversos tipos de tecnología para poder detectar variables ambientales como CO_2 , temperatura y humedad relativa.

Además, se registrarán esos datos en una base de datos la cual se pueda compartir. Esto permitirá hacer estudios y contribuir a soluciones de problemas que se presenten en la zona que se esté monitoreando.

El Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) junto con las redes de sensores inalámbricas (WSN, por sus siglas en inglés), permiten monitorear áreas de interés de parámetros físicos o ambientales, tales como CO_2 , humedad, temperatura, presión, movimiento o gases. Estas tecnologías trabajan de manera conjunta para recabar información y poder almacenarla en una base de datos, teniendo en cuenta la mejor ruta de comunicación mediante redes hasta llegar a su destino.

Para que el proyecto fuese de bajo costo, de fácil implementación y sea más práctico en cuestión de espacios y complejidad, se utilizaron para su construcción primero una Arduino Nano a la cual se conectan sensores que tienen salidas analógicas, segundo una Raspberry Pi a la que se conectan los sensores con salidas digitales. Además, se utiliza como gestor de bases de datos a MariaDB, para almacenar en la Raspberry Pi, los diferentes tipos de datos que los sensores leen y finalmente son transmitidos a la base de datos remota.

Trabajos similares

En [Hamonangan, 2020], desarrollaron un dispositivo para monitorear la calidad del aire en interiores. Para mantener la calidad del aire en interiores, es necesario monitorear periódicamente varios parámetros que pueden afectar la calidad de aire. Acompañado con el desarrollo de sensores y tecnología de monitoreo basado en IoT los cuales ayudan en mucho al diseño de dispositivos de monitoreo de forma automática y periódica. Esto apoya para conducir la investigación en el diseño de un dispositivo que pueda periódicamente monitorear condiciones de la calidad del aire en espacios cerrados. En ese estudio se diseñó un sistema de monitoreo de la calidad del aire usando el ESP32 como controlador y varios sensores para medir la calidad del aire. El resultado es un sistema que puede monitorear temperatura y humedad, partículas de polvo y gases contaminantes. (H_2S , NH_3 , CO , NO_2 y SO_2). En [Krishnan, 2018] proponen una plataforma flexible en la que puedan desplegarse conjuntos de sensores ad hoc. La flexibilidad en la selección de sensores para el conjunto se traduce en flexibilidad en los costos incurridos. Además, la interoperabilidad con otros subsistemas, tales como aire acondicionado y sistemas

mecánicos de ventilación, en el edificio se convierte en un requisito para lograr una integración útil a nivel del sistema. Una plataforma novedosa que contiene nuevo hardware y software se propone en este trabajo para satisfacer los requisitos de calidad ambiental, con una flexibilidad arquitectónica para la interoperabilidad. La plataforma logra conectar y juego de sensores junto con un gasto mínimo de energía para mantener la calidad ambiental del interior. En [Assante, 2019], se presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo basado en IoT para lugares de trabajo en interiores. El sistema de monitoreo accesible remotamente permite a los estudiantes añadir/eliminar sensores a la red, configurar los nodos y la red, tratar con diferentes tipos de sensores y controladores, analizar y postprocesar los datos recogidos. También permite comparar el bienestar medioambiental real. La red implementada y los escenarios didácticos disponibles son discutidos. En [Mogrovejo, 2020] exponen una propuesta de investigación de las condiciones ambientales que será desarrollado en el campus de la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues centrándose específicamente en la medición de la calidad del aire, se tomarán valores de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), temperatura y humedad con el objetivo de informar a la población. En [Rios, 2020] con el objetivo de monitorear los gases más perjudiciales y nocivos para la salud según la organización internacional EPA(monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y material particulado $PM 2.5$) se diseñó e implementó un módulo para el monitoreo de la calidad del aire, para el cual fue necesario, el desarrollo de una red IoT, diseño de tarjetas de acondicionamiento de señales para los sensores escogidos, adquisición de datos correspondiente a los valores monitoreados por los sensores, envió de estos datos de calidad del aire a un sistema de información para su almacenamiento y visualización. En [Thakare, 2023] proponen un enfoque metódico para desarrollar un sistema automatizado de monitoreo ambiental que mejora la confiabilidad y precisión en el análisis de factores cruciales como la temperatura, la humedad y los gases. El sistema emplea una placa Arduino UNO (ATMEGA328/P), cuatro sensores distintos: sensor de gas MQ-2, sensor de humedad, sensor de temperatura (DHTII), sensor ultrasónico (HCSR04) y un módulo Wi-Fi ESP8266, que transmite datos al servicio API de IoT abierto ThingSpeak, donde se analizan y

almacenan en la oficina central para futuras acciones. Por último, en [Herrera, 2023] se presenta un sistema integral de monitoreo de la calidad del aire interior que supere las limitaciones de las soluciones existentes. Este último se llevó a cabo mediante el empleo de técnicas MBSE, con el objetivo de crear un proceso de diseño estructurado y eficiente. El sistema resultante facilitará la evaluación y optimización de los ambientes interiores para garantizar el bienestar y la comodidad de los ocupantes.

2. Métodos

Para la implementación de este dispositivo dual se requirió el diseño conjunto de hardware y software.

Hardware

- Raspberry Pi 3 Model B+ (PI): Una Raspberry es una computadora del tamaño aproximado de $8.5 \times 5.0 \text{ cm}$, cuenta con un procesador de 64 bits quad-core a 1.4 GHz , conexión inalámbrica 2.4 y 5 GHz , bluetooth 4.2 Low Energy, además de conexión por ethernet a 300 Mbits/s [Raspberry P1, 2023], Figura 2.
- Arduino Nano (Nano): Es una pequeña tarjeta basada en el microcontrolador (μC) ATmega328, opera a corriente directa de 5 V y memoria flash 32 KB de las cuales 2 KB son usados para el bootloader, SRAM de 2 KB , EEPROM 1 KB , velocidad de reloj 16 Mhz , 8 entradas analógicas, 22 Entradas/Salidas digitales, 6 de las cuales son PWM [17]. Los datos recopilados por los sensores conectados a esta tarjeta se transmiten al raspberry por el puerto de comunicación serial TX [Arduino, 2023], Figura 3.



Fuente: <https://www.raspberrypi.com/>.

Figura 2 Raspberry Pi 3B+.



Fuente: <https://www.arduino.cc/en/hardware>

Figura 3 Arduino Nano.

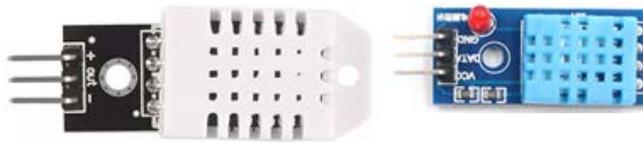
Sensor MG-811

Es un sensor de dióxido de carbono (CO_2) basado en el principio de funcionamiento de células de electrolito sólido. Este suministra un voltaje inversamente proporcional a la concentración de CO_2 del ambiente. La tensión de salida se genera por el contacto de las moléculas de dióxido de carbono con un dispositivo de alta temperatura en el interior del sensor. La salida del módulo es de tipo analógico [ALLDATASHEET.COM, 2023] [Sandbox Electronics, 2023], Figura 4, y cuyas características son:

- Se basa en el principio de electrolito sólido, buena sensibilidad al CO_2 , rango de detección: 350 – 10.000 ppm, consumo $140 \pm 20 mA$, temperatura de funcionamiento: 20 a 50 °C, baja dependencia de temperatura y humedad. Alta estabilidad y repetibilidad. Baja sensibilidad a CO y Alcoholes y buena respuesta.



Fuente: alldatasheet.com.
Figura 4 MG-811.

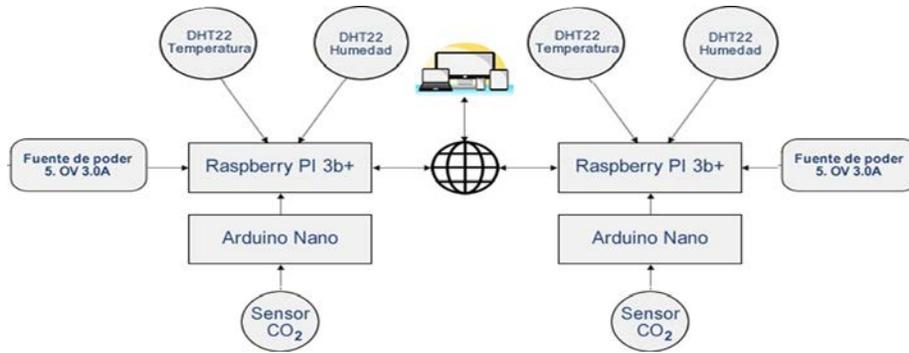


Fuente: alldatasheet.com
Figura 5 DHT22 y DHT11.

- Sensores DHT11 y DHT22: Son sensores digitales de temperatura y humedad relativa de relativo buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones de control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más. [alldatasheet.com, 2023], Figura 5.

Arquitectura del sistema

El sistema para el monitoreo ambiental en interiores consta de dos partes: los dispositivos en sí y el micrositio web, Figura 6.

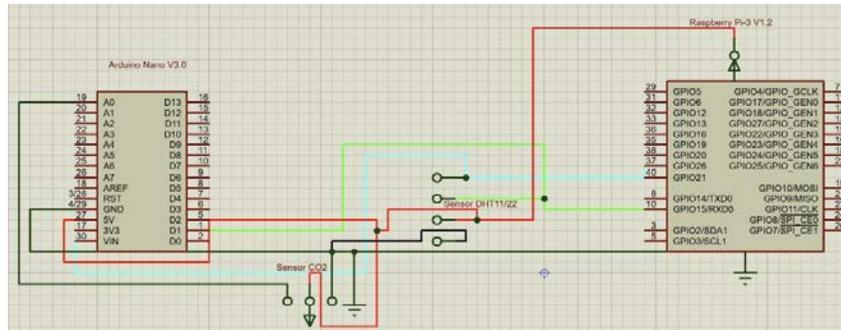


Fuente: elaboración propia

Figura 6 Arquitectura del Sistema de monitoreo ambiental en interiores expandible.

Diseño e implementación del dispositivo embebido

El diseño del sistema embebido se basó en la utilización de una Raspberry Pi 3 (PI) y Arduino Nano (Nano) conectando los sensores de CO_2 , Temperatura y Humedad, en la Figura 7 se puede observar el diagrama esquemático que conecta al sensor de CO_2 con la tarjeta Nano y el de Temperatura y Humedad a la PI.



Fuente: elaboración propia

Figura 7 Diseño esquemático del sistema embebido.

Además, ambas tarjetas se comunican vía serial por el puerto GPIO15 UART/RXD de la PI y el puerto D1/RX de la Nano.

Configurando a la Raspberry PI

Se instaló Raspbian en una MicroSD de 32 GB, de los cuales este utilizó 8 GB para la instalación del sistema, con el lenguaje de programación Python (Thonny Python IDE), seguido de esto se incluyen las librerías como Adafruit® y Matplotlib, y se instaló el gestor de base de datos MariaDB®, en la Figura 8, se muestran los

principales componentes para la puesta en marcha de la PI. En la Figura 9, se observa el diseño del PCB para la conectividad sólida de los sensores y de la tarjeta Arduino Nano. En la Figura 10 se muestra la PCB con sus componentes (DHT11, MG811, Arduino Nano y módulo de conexiones). Se interconectó el módulo de sensores y la Nano con la tarjeta PI vía serial, ya que ésta es responsable de leer el sensor DH11. Además de ser la PI la que controla la lectura de todos los sensores, los almacena en la base de datos local y se encarga de transmitir la información a la base de datos remota cada determinado tiempo. Quedando un prototipo beta, como se puede observar en la Figura 11, para la programación y verificación de su correcta operación.



Fuente: elaboración propia

Figura 8 Configuración de la PI.



Fuente: elaboración propia

Figura 9 Diseño del PCB del módulo de sensores y Arduino nano.



Fuente: elaboración propia.

Figura 10 Módulo de sensores y Arduino nano.



Fuente: elaboración propia

Figura 11 Prototipo beta.

Programación e inicio del sistema dual

El sistema está diseñado para arrancar de manera automática, ya que es un dispositivo cerrado de no fácil acceso, inmediatamente después de ser conectado a la toma de corriente o cuando haya cualquier interrupción de energía eléctrica, se inicia el programa basado en Python para su operación, esto se logra agregando a crontab-e esta línea, Figura 12.

```
@reboot sleep 180; sh /home/pi/Desktop/ESTACION_2/launcher.sh >
/home/pi/Desktop/ESTACION_2/error 2>&1.
```

Fuente: elaboración propia

Figura 12 Inicio del programa de forma automática.

Se pone un retardo de 180 s para el arranque del programa, ya que el sensor de CO_2 necesita al menos 3 min de calentamiento para iniciar el envío de lecturas más adecuadas. El archivo launcher.sh manda a correr el programa MONITOREO.py en python para que el sistema monitoree las variables medioambientales y este es su contenido, Figura 13.

```
#!/bin/sh
# launcher.sh, inicia la consola desde la carpeta raíz
cd /
cd home/pi/ESTACIONES/
python MONITOREO.py
cd /
```

Fuente: elaboración propia

Figura 13 Ejecución del script launcher.sh.

La programación se hizo en dos partes una para la Nano y la otra para la PI. Un fragmento del código para la programación de la Nano usando C, se puede ver en la Figura 14, que lee los datos del sensor CO_2 y los transmite hacia la Raspberry mediante el puerto TX de la Nano y son recibidos mediante el puerto RX de la PI.

```
#include <Wire.h>           // incluye librería para bus I2C
#include <CO2Sensor.h>      // incluye librería para sensor CO2
CO2Sensor co2Sensor (A1, 0.99, 100); // asigna el pto para sensor analógico
void setup() {
  Wire.begin();           // inicializa bus I2C           // inicializa el sensor BH1750
  Serial.begin(9600);     // inicia la comunicación serial
  co2Sensor.calibrate ();
}
void loop() {
  int co2 = co2Sensor.read();
  Serial.println(co2);    // imprime a pantalla la lectura
  delay(60000);          // demora de 60 seg.
```

Fuente: elaboración propia

Figura 14 Código de inicialización de la Nano y sus sensores.

Una vez que se capturan estos datos, se procede a leer los sensores digitales mediante los puertos digitales de la PI. Esta información se almacena en la base de

datos local previamente instalada. Se muestra en la Figura 15, el inicio del código en Python para programar la PI y leer el sensor de humedad y temperatura.

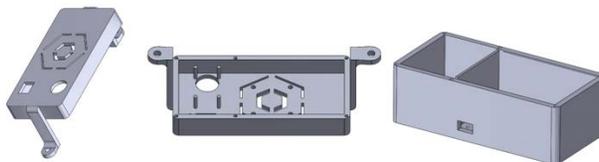
```
import os
import serial
import string
import time,datetime
import Adafruit_DHT
import functools
import mysql.connector as cn
from mysql.connector import Error
#CONEXION ARDUINO POR PUERTO SERIAL TX-RX
arduino = serial.Serial('/dev/ttyS0', 9600)
#CONFIGURACION SENSOR T Y H
sensor = Adafruit_DHT.DHT11
pin = 26
#CONEXION BASE LOCAL
dbl = cn.connect(host="127.0.0.1",user='ESTACION2',password='CUVALLES',db="MONITOREO2",
auth_plugin='mysql_native_password')
#CREACION DE CURSOR
cursor1= dbl.cursor()
output = ""
def measure_temp():
    temp = os.popen('vcgencmd measure_temp').readline()
    return(temp.replace("temp=", "").replace("'C\n", ""))
while True:
    print ('-----')
    tiempo=datetime.datetime.now()
    print(tiempo.strftime('%d/%m/%Y %H:%M:%S'))
    print("TEMPERATURA CPU: ",measure_temp())
    print ('-----')
    temp_cpu=measure_temp()
    if dbl.is_connected():
        print("BASE LOCAL CONECTADA")
    #Lectura de co2
    read=arduino.readline()
    dato=read.decode('utf-8',errors="ignore")
```

Fuente: elaboración propia

Figura 15 Código de inicialización de la PI y su sensor.

Prototipo final

El diseño de la carcasa donde están alojados los componentes del dispositivo, fueron hechos bajo el programa de diseño SolidWorks® y fueron impresos utilizando una impresora 3D, Figura 16.



Fuente: elaboración propia

Figura 16 Carcasa impresa en una impresora 3D.

Se implementaron dos prototipos finales del sistema de monitoreo ambiental para espacios cerrados, como se puede observar en la Figura 17.

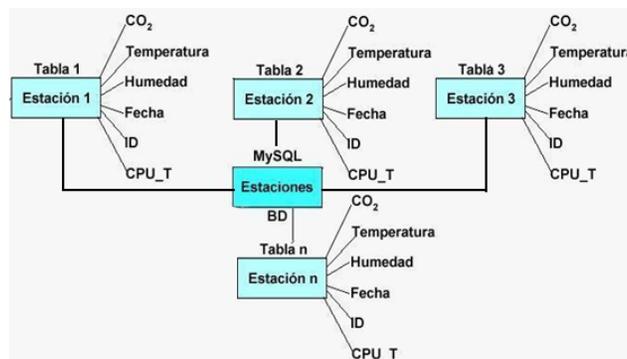


Fuente: elaboración propia

Figura 17 Prototipos.

Diseño de la base de datos

Se implementaron dos bases de datos (BD): una local en MariaDB y una remota en MySQL. En la Figura 18, se muestra el esquema de la base de datos y como se ve puede ser escalada al agregarle otro dispositivo más.



Fuente: elaboración propia

Figura 18 Esquema de la base de datos.

La base de datos en MySQL se llama “Estaciones” y está compuesta de tablas que reciben por nombre Estacion1, Estacion2, Estacion3 y así sucesivamente hasta EstacionN. Cada tabla EstacionX, está compuesta por los siguientes campos: CO_2 , Temperatura, Humedad, ID, Fecha, CPU_t. Que es la información que se almacena tanto en la base de datos local como la remota, para su procesamiento y monitoreo. Se programó de tal manera que los datos obtenidos de los diferentes sensores se pudieran observar aproximadamente cada minuto, además un sensor como el de CO_2 puede necesitar hasta 15 segundos para completar un ciclo de lectura, al mismo

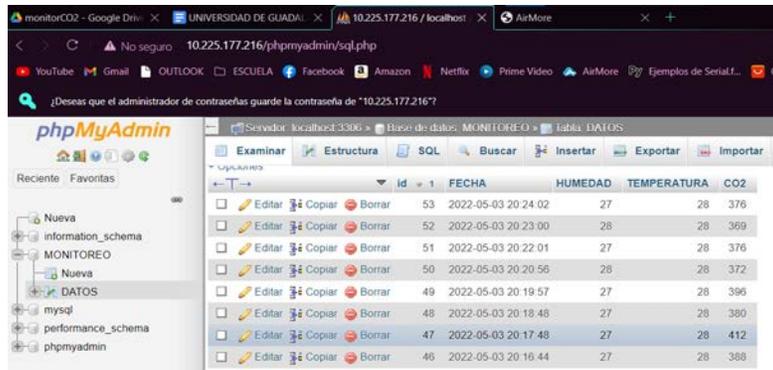
tiempo los cambios de estas variables medioambientales no son tan frecuentes por lo cual se guardan en la BD local cada minuto (Figura 19), a través de la consola de la Pi.

```
16/05/2023 10:45:59
TEMPERATURA CPU: 49.9
-----
BASE LOCAL CONECTADA
Co2 en el aire: 392
Humedad del aire: 22
Temperatura del aire: 24
-----
16/05/2023 10:47:03
TEMPERATURA CPU: 49.4
-----
BASE LOCAL CONECTADA
Co2 en el aire: 392
Humedad del aire: 22
Temperatura del aire: 24
-----
16/05/2023 10:48:08
TEMPERATURA CPU: 49.4
-----
BASE LOCAL CONECTADA
Co2 en el aire: 396
Humedad del aire: 22
Temperatura del aire: 24
-----
```

Fuente: elaboración propia

Figura 19 Muestreo de la lectura de los sensores.

Además, se lanzan de manera automática los datos almacenados en la BD local a la BD remota cada minuto. En la Figura 20, se puede observar los datos que se están almacenando en la base de datos remota.



	id	FECHA	HUMEDAD	TEMPERATURA	CO2
<input type="checkbox"/>	53	2022-05-03 20:24:02	27	28	376
<input type="checkbox"/>	52	2022-05-03 20:23:00	28	28	369
<input type="checkbox"/>	51	2022-05-03 20:22:01	27	28	376
<input type="checkbox"/>	50	2022-05-03 20:20:56	28	28	372
<input type="checkbox"/>	49	2022-05-03 20:19:57	27	28	396
<input type="checkbox"/>	48	2022-05-03 20:18:48	27	28	380
<input type="checkbox"/>	47	2022-05-03 20:17:48	27	28	412
<input type="checkbox"/>	46	2022-05-03 20:16:44	27	28	388

Fuente: elaboración propia

Figura 20 Base de datos MySQL.

3. Resultados

El Sistema de monitoreo ambiental para interiores, está soportado por un micrositio web diseñado para gestionar la información que los sensores generan y almacena en la BD. Fue desarrollado con tecnologías actuales como – PHP, Java

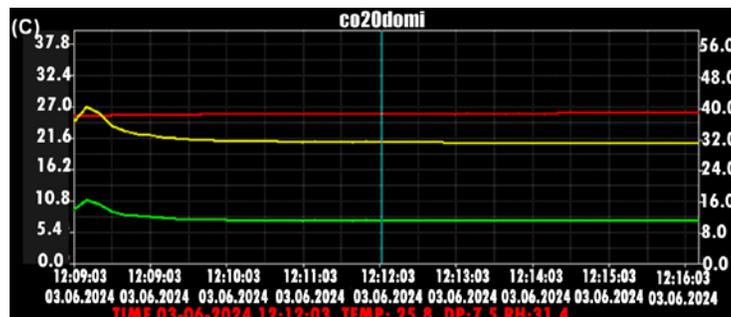
Script, con las librerías SweetAlert y jQuery y para el UI Frameworks - Bootstrap, lo que permite mostrar de forma gráfica los valores esperados, así como a través de imágenes que son indicadores de los valores de Temperatura, Humedad relativa y CO2, de los sistemas en espejo. Como se puede observar en la Figura 21, el micrositio muestra las lecturas que los dispositivos hacen en el interior de un laboratorio, el micrositio permite escoger qué dispositivo se desea monitorear o presenta la lectura de ambos de un tipo de variable y su promedio. Así también permite ver la temporalidad de las lecturas basado en horas, días o semanas.



Fuente: elaboración propia

Figura 21 Página inicial del micrositio donde se ven lecturas de ambos dispositivos.

La Figura 22, muestra las lecturas de Temperatura y Humedad relativa, hecha en el laboratorio con un dispositivo industrial Data-Logger DT-171, para compararlas con la Figura 23 que muestra datos del sistema dual y se puede observar que tiene lecturas semejantes. Además, presentan una lectura extra que es la temperatura del SOC, de la PI. Todos estos datos se pueden verificar en el siguiente link: <https://ravalles.ujai.com.mx/>. En la Figura 24, se muestran los prototipos finales, completamente funcionales y en operación.



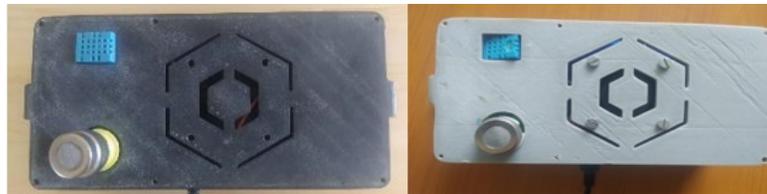
Fuente: elaboración propia

Figura 22 Datos obtenidos con el Data Logger DT-171, amarillo HR, rojo TEMP.



Fuente: elaboración propia

Figura 23 Datos obtenidos con el sistema dual.



Fuente: elaboración propia

Figura 24 Prototipos finales.

4. Discusión

La implementación del dispositivo dual, permitió hacer comparaciones con otros dispositivos mencionados en la literatura encontrándose que, la diferencia con los dispositivos mencionados en el estado del arte, es que éste es exclusivo para interiores y es dual haciendo más robusto el monitoreo, además, de que por su naturaleza de ser para interiores usar WiFi y una fuente de poder convencional, es un prototipo totalmente implementado y funcional y cuenta con un micrositio para su monitoreo y es escalable. Además, en [Hamonangan, 2020] usan un ESP32, como dispositivo principal, el sensor de CO_2 es un MQ-136 y en este trabajo se usó el MG811, ya que según la literatura comercial es uno de los sensores más precisos de CO_2 . Además, del uso de otro tipo de bases de datos y de canales de comunicación.

5. Conclusiones

El desarrollo e implementación del sistema dual para el monitoreo del medio ambiente en interiores, utilizando dos placas de diferentes tecnologías, lo hace de bajo precio, rápido desarrollo y fácil prototipado. Esto permite obtener resultados de forma ágil. La unión de ambas plataformas crea una nueva plataforma más potente y práctica, ya que ambas se complementan, lo que permite aumentar sus

capacidades significativamente. Una ventaja del sistema que integra una Pi y una Nano es que el sistema es dinámico ya que puede seguir creciendo o modificándose, tan solo quitando o poniendo nuevos sensores sin necesidad de rehacer circuitería, modificando y/o agregando código nuevo. Además, al sumar ambas tarjetas, se cuenta con un mayor número de puertos de propósito general (PPG), lo que permite la fácil integración de una serie de sensores digitales y/o analógicos de una forma mucho más práctica. Esto logra integrar un dispositivo capaz de detectar diferentes variables del entorno sin la necesidad de más circuitería y evita crear un host para la base de datos local, ni agregar hardware para la transmisión de los datos.

Por otro lado, la disponibilidad de una base de datos local hace a esta plataforma poderosa en el almacenamiento de datos, así como en la transmisión de la información vía Wi-Fi. Este tipo de prototipado (unión de Pi + Nano) permite el desarrollo de dispositivos de una forma más rápida y económica, incrementando de manera significativa las capacidades de monitoreo, control, almacenamiento y transmisión de datos. El presente sistema es fácil de escalar y puede ser ampliado. Con esto se ha podido obtener los resultados finales que se han presentado y esto permite evaluar la medición de la calidad del aire en espacios cerrados lo cual puede ayudar en diferentes aspectos tales como el cumplimiento de la legislación, mejora la gestión de los recursos produciendo un ahorro en costos, reduce el riesgo de accidentes medioambientales, entre otros.

Se usaron sensores DTH11 y DTH22, la experiencia indica que por un lado son sensores muy baratos, de rápida adquisición y fácil programación, pero por el otro lado son bastante inexactos por lo que hay que probar con varios de estos sensores para obtener lecturas confiables con respecto al sensor Data-Logger DT-171.

Para trabajos futuros se sugiere usar el sensor de CO2 MHZ-16, ya que más fácil de calibrar, más económico y requiere menor tiempo de calentamiento para enviar lecturas adecuadas y es bastante preciso. También, se sugiere sustituir el sensor DHT11/22 por el sensor de temperatura y humedad relativa SHT31 ya que permite realizar mediciones muy precisas a bajo costo. El sensor SHT31 posee mejores prestaciones respecto a los sensores DHT11 y DHT22, como mejor resolución,

mayor precisión y un empaque más compacto. Así también, el uso de la Nube para almacenar los datos, de esa forma no depender de un servidor local, que puede sufrir fallas como apagones, fallas de comunicación, entre otros.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Arduino, Arduino Nano. <https://www.arduino.cc/en/hardware>. [Accedido: 27-octubre-2023].
- [2] Assante, D., & Fornaro, C. An educational iot-based indoor environment monitoring system. In 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), pp. 1475-1479. IEEE. American University in Dubai, Dubai, UAE, 2019.
- [3] Benedicto Alonso, A. Calidad del Aire en Espacios Interiores, Respirar aire limpio, sin moléculas químicas perjudiciales para la salud, Universidad Europea de Canarias, Trabajo de Fin de Grado, Tutor: Fernando Martínez Soto, 2022.
- [4] Calidad de aire interior. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2019. <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2/>.
- [5] DTH11 Datasheet (PDF). <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1440068/ETC/DHT11.html>. [Accedido: 20-nov-2023].
- [6] El Blog de la ventilación eficiente. Humedad ideal: salud y confort térmico, Publicado por S&P, 2018. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-ideal-confort-termico/>.
- [7] Hamonangan, N., Hizriadi, T., Kasmir, A., Nurmayadi, T. F. Design of Indoor Air Quality Monitoring Systems. 4th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM), 2020.
- [8] Herra, W., Rabhi, A., Mastouri, H., Radoine, H., Hadraoui, E., and Ennawaoui, A. Design of indoor environmental quality monitoring system using Model-Based Systems Engineering, 2023 7th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt), Agadir - Essaouira, Morocco, pp. 497-502, 2023, doi: 10.1109/CiSt56084.2023.10410006.

- [9] Ivette, A., López, J., F. economipedia. Monitoreo ambiental, 2023. <https://economipedia.com/definiciones/monitoreo-ambiental.html>.
- [10] Krishnan, K. R., Duc Chinh, P., H. S., K., and Wai, T. K. Flexible Indoor Environmental Quality Monitoring for Interoperable Subsystems in Buildings. 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Palermo, Italy, pp. 1-5, 2018. doi: 10.1109/EEEIC.2018.8494596.
- [11] MG811 Datasheet (PDF). <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/172004/ETC2/MG811.html>.
- [12] Ministerio de Trabajo y Economía Social. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2020. <https://www.insst.es/materias/riesgos/riesgos-fisicos/ambiente-termico>.
- [13] Mogrovejo Romero, D. G. Sistema de adquisición y registro de datos de CO, CO₂, temperatura y humedad en el campus de la Universidad Católica de Cuenca, sede Azogues, 2020.
- [14] Raspberry PI, Raspberry Pi 3 Model B, (2023). [En línea]. Disponible: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>.
- [15] Ríos Hernández, R. E. Prototipo de monitoreo de calidad de condiciones ambientales a bajo costo con tecnologías IOT, 2020. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/772.
- [16] Sandbox Electronics, MG-811 CO₂, Sensor Module, (2023). [En línea]. Disponible: <https://sandboxelectronics.com/?p=147>.
- [17] TFM. Mantener el balance: el dióxido de carbono y la calidad de aire, 2023. <https://www.tfm.pe/noticias/mantener-el-balance-el-dioxido-de-carbono-y-la-calidad-de-aire#>.
- [18] Thakare, Y. N., Karandikar, A. M., Butram, V., Rokade, A., Wankhade, U. A., and Honade, S. IoT-Enabled Environmental Intelligence: A Smart Monitoring System, 2023 3rd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA), Bengaluru, India, pp. 37-42, 2023. doi: 10.1109/ICIMIA60377.2023.10425808.