



Universidad San Carlos De Guatemala

Centro Universitario Del Occidente

Arquitectura de computadores
y ensambladores 2

Primer Semestre

Sección: A

Ing. Mauricio López

Proyecto final

Carnet:

Nombres:

201832053

Marco Pool Chiché Sapón

201931295

Elmer Wilson Miguel Juan

201930672

Vicente Rocael Matías Osorio

201930539

Luis Gerardo Marcelino Tax Mantanico

201930566

Alexander Manuel Tzoc Alvarado

Introducción

La calidad del aire en ambientes interiores es un tema de gran importancia para la salud pública, especialmente en Guatemala donde aproximadamente el 67% de los hogares utilizan leña para cocinar, generando altos niveles de contaminación interior. La presencia de gases contaminantes como el Dióxido de Carbono (CO_2), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Amoníaco (NH_3), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O_3) y Material Particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) puede tener efectos nocivos para la salud, especialmente en personas con enfermedades respiratorias, niños y adultos mayores.

En Quetzaltenango, segunda ciudad más importante del país, la situación se agrava por su ubicación geográfica en un valle, donde los contaminantes pueden concentrarse en determinadas condiciones climáticas, y por el uso frecuente de combustibles para calefacción debido a las bajas temperaturas.

En este proyecto, se ha decidido abordar este problema desarrollando un prototipo de sistema de medición, análisis y purificación de gases contaminantes utilizando tecnología Arduino e Internet de las Cosas (IoT). Mediante sensores electroquímicos y ópticos conectados a una plataforma en línea, el sistema no solo mide los niveles de contaminantes, sino que también activa automáticamente un sistema de purificación cuando estos niveles superan los umbrales recomendados.

El objetivo es mejorar la calidad del aire en ambientes interiores guatemaltecos y contribuir a crear espacios más saludables, reduciendo la incidencia de enfermedades respiratorias y mejorando la calidad de vida de la población. Este proyecto representa una solución tecnológica de bajo costo y fácil implementación que podría beneficiar especialmente a escuelas, centros de salud y hogares en comunidades vulnerables del país.

Objetivos

Objetivo específico:

Desarrollar un prototipo funcional de un sistema de medición y purificación de gases contaminantes en ambientes interiores que utilice tecnología Arduino e IoT, capaz de detectar y responder automáticamente a niveles de contaminación del aire en tiempo real, con un enfoque en hogares y centros de salud en Quetzaltenango.

Objetivos generales:

1. **Diseñar un sistema de medición y purificación de aire:** Crear un plan detallado y especificaciones técnicas para el desarrollo de un prototipo que integre sensores electroquímicos y ópticos, asegurando que el sistema sea eficiente y accesible para su implementación en ambientes interiores, con la participación activa de los estudiantes.
2. **Implementar un sistema de monitoreo y purificación de aire:** Desarrollar e instalar un sistema de sensores electroquímicos y ópticos que permita medir de manera continua los niveles de contaminantes en el aire, y activar un mecanismo de purificación cuando se superen los umbrales establecidos.
3. **Desarrollar habilidades prácticas en los estudiantes:** Facilitar la experiencia práctica de los estudiantes del curso de arquitectura de computadora y ensambladores 2 en la construcción y programación del prototipo de medición y purificación de aire, promoviendo el aprendizaje activo y la aplicación de conocimientos técnicos en un proyecto real.

Marco Teórico

Calidad del Aire Interior: Conceptos Generales

La calidad del aire interior (CAI) se refiere a la condición del aire dentro de edificios y estructuras, especialmente en relación con la salud y el confort de sus ocupantes. Según los datos proporcionados por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos), las personas pasan aproximadamente el 90% de su tiempo en ambientes interiores, donde las concentraciones de algunos contaminantes pueden ser de 2 a 5 veces más altas que en el exterior.

La mala calidad del aire interior puede derivar en diversos problemas de salud, desde molestias leves como irritación ocular, nasal y de garganta, hasta condiciones graves como enfermedades respiratorias, cardíacas y cáncer. Las personas más susceptibles a estos efectos adversos son los niños, adultos mayores y aquellos con condiciones médicas preexistentes como asma o enfermedades cardíacas.

Como señala la Organización Panamericana de la Salud, la calidad del aire interior requiere estrategias específicas como la reducción de emisiones de contaminantes y una ventilación adecuada. Los espacios interiores pueden comprometer nuestra salud por una amplia lista de factores, y es esencial tomar conciencia de ello para implementar medidas efectivas.

Situación de la Calidad del Aire en Guatemala y Quetzaltenango

Guatemala enfrenta desafíos significativos en cuanto a la calidad del aire, tanto exterior como interior. Los factores que influyen en esta problemática incluyen:

Factores Determinantes en Guatemala

- **Emisiones vehiculares:** El parque vehicular ha aumentado considerablemente en los últimos años, generando altos niveles de dióxido de nitrógeno (NO₂) y material particulado.
- **Uso de combustibles sólidos:** En Guatemala, aproximadamente el 67% de los hogares, particularmente en zonas rurales, utilizan leña para cocinar, lo que genera altos niveles de material particulado y monóxido de carbono en interiores.
- **Industrias:** Las emisiones industriales contribuyen significativamente a la contaminación del aire, especialmente en zonas urbanas.
- **Factores geográficos:** Ciudades como Guatemala y Quetzaltenango están ubicadas en valles rodeados de montañas, lo que puede facilitar la concentración de contaminantes en períodos de inversión térmica.

Situación Particular en Quetzaltenango

Quetzaltenango, conocida localmente como Xela, presenta características particulares que afectan la calidad del aire interior:

- Su ubicación a mayor altitud (2,333 m sobre el nivel del mar) influye en la combustión y generación de contaminantes
- Mayor uso de leña para calefacción debido a las bajas temperaturas, especialmente en época de invierno
- Crecimiento urbano acelerado y aumento del parque vehicular
- Presencia de industrias locales y actividad comercial concentrada

Los estudios realizados en la región de Quetzaltenango han demostrado que la calidad del aire interior en muchas edificaciones no cumple con los estándares recomendados internacionalmente, particularmente en viviendas y edificios antiguos con ventilación deficiente.

Principales Contaminantes del Aire y sus Efectos en la Salud

Dióxido de Carbono (CO₂)

El CO₂ es un gas incoloro e inodoro producido principalmente por la respiración humana y la combustión. En interiores, altas concentraciones pueden causar somnolencia, dolores de cabeza y disminución del rendimiento cognitivo. En Guatemala, el uso de estufas tradicionales para cocinar contribuye significativamente a los niveles de CO₂ en hogares rurales.

Monóxido de Carbono (CO)

Gas tóxico, incoloro e inodoro producido por la combustión incompleta. El CO reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, causando desde dolores de cabeza hasta la muerte en casos severos. En Guatemala, representa un riesgo particular en hogares que utilizan leña o carbón para cocinar en espacios con ventilación deficiente, una práctica común en Quetzaltenango.

Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Gas rojizo-marrón con olor acre, producido principalmente por procesos de combustión. Causa irritación respiratoria y puede agravar condiciones como asma. En áreas urbanas de Guatemala, incluyendo Quetzaltenango, el tráfico vehicular es la principal fuente de NO₂.

Amoníaco (NH₃)

Gas incoloro con olor penetrante, presente en productos de limpieza y fertilizantes. Causa irritación de ojos, nariz y garganta. En zonas rurales alrededor de Quetzaltenango, el uso de fertilizantes en la agricultura contribuye a la presencia de NH₃.

Ozono (O₃)

Gas que a nivel del suelo actúa como contaminante, causando problemas respiratorios e irritación. En Guatemala, se forma principalmente por la reacción de contaminantes vehiculares con la luz solar, siendo un problema particular en ciudades a mayor altitud como Quetzaltenango.

Material Particulado (PM10 y PM2.5)

Partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire. Las PM2.5 son especialmente peligrosas por su capacidad de penetrar profundamente en los pulmones. En Guatemala, provienen principalmente de la combustión de leña, emisiones vehiculares e industriales. Estudios realizados en Quetzaltenango han mostrado concentraciones elevadas de material particulado, especialmente durante la temporada seca.

Tecnologías para la Medición y Análisis de la Calidad del Aire

Sensores Electroquímicos

Los sensores electroquímicos funcionan mediante reacciones químicas que generan señales eléctricas proporcionales a la concentración de gases. Para este proyecto se consideran principalmente:

- **Sensor MQ-7:** Detecta concentraciones de monóxido de carbono (CO). Tiene una resistencia interna que varía al exponerse a este gas, permitiendo medir con precisión las concentraciones.
- **Sensor MQ-131:** Especializado en la detección de ozono (O₃). Este sensor es crucial en el contexto de Quetzaltenango por la formación de ozono troposférico debido a la altitud y radiación solar.
- **Sensor MQ-135:** Detecta múltiples gases como NH₃, NO_x, CO₂, entre otros. Su versatilidad lo hace ideal para aplicaciones de monitoreo integral.

Estos sensores son ideales para aplicaciones de monitoreo de bajo costo en Guatemala, donde el acceso a equipos de monitoreo profesionales es limitado por su alto costo.

Sensores Ópticos

El sensor PMS5003 utiliza tecnología de dispersión láser para detectar partículas suspendidas en el aire (PM10 y PM2.5). Este tipo de sensores es crucial en el contexto guatemalteco donde el material particulado constituye uno de los principales contaminantes debido al uso de leña para cocinar y calefacción, especialmente relevante en Quetzaltenango.

Sensores de Temperatura y Humedad

El sensor DHT11 mide temperatura y humedad relativa, factores que influyen en la percepción de confort y en la concentración de ciertos contaminantes. En Quetzaltenango, donde las temperaturas pueden descender considerablemente, estos parámetros son importantes para contextualizar las mediciones de calidad del aire y entender mejor la formación y comportamiento de contaminantes.

Sistemas de Purificación de Aire

Filtración Mecánica

Los filtros mecánicos atrapan partículas físicamente. Los filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air) pueden capturar hasta el 99.97% de partículas de 0.3 micrones, siendo efectivos

contra polen, polvo y parte del material particulado. Estos filtros son especialmente relevantes en Guatemala para reducir la exposición a partículas provenientes de la combustión de leña.

Filtros de Carbón Activado

Estos filtros adsorben gases y olores mediante un proceso químico. Son efectivos contra compuestos orgánicos volátiles (COVs), olores y muchos gases contaminantes. En el contexto guatemalteco, son útiles para filtrar contaminantes gaseosos provenientes de combustión incompleta y productos químicos domésticos comúnmente utilizados en hogares de Quetzaltenango.

Sistemas de Ventilación

La ventilación adecuada es fundamental para mantener una buena calidad del aire interior. En Guatemala, donde muchas construcciones tradicionales carecen de sistemas de ventilación adecuados, la implementación de soluciones de bajo costo como ventiladores axiales controlados automáticamente representa una solución viable y efectiva.

Internet de las Cosas (IoT) Aplicado al Monitoreo Ambiental

Concepto y Aplicaciones

El Internet de las Cosas (IoT) permite conectar dispositivos físicos a Internet para recopilar y compartir datos. En el monitoreo ambiental, facilita la recolección continua de datos, su análisis y la toma de decisiones basadas en información en tiempo real.

Relevancia en Guatemala

En Guatemala, el acceso a equipos de monitoreo profesionales es limitado. Las soluciones IoT ofrecen alternativas accesibles para:

- Monitoreo en comunidades remotas sin acceso a estaciones de calidad del aire
- Complementar las redes de monitoreo oficiales
- Crear conciencia sobre la calidad del aire entre la población
- Generar datos para investigación en regiones poco estudiadas como Quetzaltenango

Plataformas IoT

Ubidots es una plataforma que permite visualizar y analizar datos de sensores en tiempo real. Ofrece herramientas para crear dashboards, alertas y análisis históricos, siendo especialmente útil para proyectos educativos y de investigación en Guatemala donde el acceso a plataformas comerciales más costosas es limitado.

Plataformas y Herramientas de Desarrollo

Arduino

Arduino es una plataforma de desarrollo de hardware y software de código abierto. El Arduino Mega, utilizado en este proyecto, ofrece múltiples pines de entrada/salida y capacidad de procesamiento suficiente para manejar varios sensores simultáneamente.

Módulos de Comunicación

El módulo ESP8266 NodeMCU permite la conexión WiFi para transmitir datos a plataformas en la nube. En Guatemala, donde la penetración de Internet móvil ha aumentado considerablemente, estas soluciones son cada vez más viables incluso en comunidades semi-urbanas y rurales de Quetzaltenango.

Pantallas HMI

Las pantallas Nextion proporcionan interfaces gráficas para la interacción con el usuario. En el contexto guatemalteco, donde la brecha digital aún es significativa, estas interfaces facilitan el uso de tecnología incluso a personas con limitada alfabetización digital.

Normativa y Estándares de Calidad del Aire en Guatemala

En Guatemala, la normativa sobre calidad del aire se rige principalmente por el Acuerdo Gubernativo 111-2005 "Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental" y sus reformas. Para ambientes interiores, Guatemala no cuenta con normativa específica, por lo que generalmente se adoptan estándares internacionales como los de la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la EPA de Estados Unidos.

Los principales límites recomendados para los contaminantes medidos en este proyecto son:

- PM_{2.5}: 10 µg/m³ (media anual) y 25 µg/m³ (media de 24h) según OMS
- PM₁₀: 20 µg/m³ (media anual) y 50 µg/m³ (media de 24h) según OMS
- CO: 9 ppm para 8 horas de exposición según EPA
- NO₂: 40 µg/m³ (media anual) y 200 µg/m³ (media de 1h) según OMS
- O₃: 100 µg/m³ (media de 8h) según OMS

En Quetzaltenango, el monitoreo oficial de la calidad del aire es limitado, lo que aumenta la relevancia de iniciativas como la propuesta en este proyecto para generar datos sobre la situación local.

Materiales y métodos

Componentes para utilizar

- Arduino Uno
- Sensor MQ-7 – Monóxido de Carbono (CO)
- Sensor MQ-135 – Dióxido de Carbono (CO₂)
- Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Amoniac (NH₃)
- Sensor DHT11 – Temperatura y Humedad
- Cables
- Protoboard
- Resistencia de 10kΩ

Conexión de los sensores

DHT11

- VCC → 5V
- GND → GND
- DATA → Pin digital 2
- Resistencia de 10kΩ entre VCC y DATA para estabilidad

MQ-7

- VCC → 5V
- GND → GND
- A0 → A0 en Arduino Uno

MQ-135

- VCC → 5V
- GND → GND
- A0 → A1 en Arduino Uno

Explicación del funcionamiento

- **Sensores MQ:**

Los sensores MQ entregan valores analógicos en un rango de 0 a 1023, que se traducen en voltajes. Estos voltajes están relacionados con la concentración del gas en el ambiente, aunque no están calibrados en unidades de PPM (partes por millón) por defecto. Por ello, se utilizan fórmulas o curvas de calibración proporcionadas por el fabricante para estimar la concentración de gas en PPM de manera aproximada.

- **Sensor**

DHT11:

El sensor DHT11 proporciona datos digitales de temperatura y humedad ya procesados, por lo que no es necesario convertir señales analógicas. Simplemente se leen los valores directamente mediante un protocolo de comunicación digital.

Resultados obtenidos

Resultado esperado En el Monitor Serial, el sistema debe mostrar:

Temperatura: 23.7°C

Humedad: 51.8%

Monóxido de Carbono CO (PPM): 13.39

Dióxido de Carbono CO2 (PPM): 8.50

Dióxido de Nitrógeno NO2 (PPM): 3.97

Amoníaco NH3 (PPM): 1.70

{

"pm1.0": 37,

"pm2.5": 69,

"pm10": 73,

"temperatura": 23.7,

"humedad": 51.8,

"co": 13.39198,

"co2": 8.504398,

"no2": 3.96872,

"nh3": 1.70088,

"ozono": 20.18573

}

ESP8266MOD:

Lee esa línea CSV recibida por serial.

Convierte los datos CSV a un formato JSON, como:

```
Dust Concentration
PM1.0: 37.00(ug/m3)
PM2.5: 69.00(ug/m3)
PM10 : 73.00(ug/m3)
{
  "pm1.0": 37,
  "pm2.5": 69,
  "pm10": 73,
  "temperatura": 23.7,
  "humedad": 51.8,
  "co": 13.39198,
  "co2": 8.504398,
  "no2": 3.96872,
  "nh3": 1.70088,
  "ozono": 20.18573
}
```

Envío de ese JSON a Ubidots usando:

- **TOKEN** (autenticación).
- **DEVICE_LABEL** (identificación del dispositivo).
- El **endpoint**:
http://industrial.api.ubidots.com/api/v1.6/devices/{DEVICE_LABEL}.

Análisis y Discusión

Medición de gas Dióxido de carbono en el módulo y en la plataforma Ubidots

El Dióxido de Carbono es causado por diversos fenómenos naturales biogeoquímicos y geotérmicos, incluyendo la respiración y descomposición de seres vivos. También se genera por actividades industriales y la quema de combustibles fósiles, gas natural, butano, propano y carbón.

En esta prueba, se muestra la emisión de Dióxido de Carbono (CO₂) producida por la combustión de gas butano de una fosforera. Una vez detectado por el sensor MQ-135, el valor se visualiza en el gauge del lado izquierdo de la pantalla HMI Nextion del módulo y en la plataforma Ubidots.

Niveles permitidos de CO ₂	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 400
Regular	401 a 600
Malo	601 a 800
Muy Malo	801 a 1000

Medición de gas Monóxido de carbono en el módulo y en la plataforma Ubidots

El Monóxido de Carbono se encuentra en gases producidos por calentadores, calderas, cocinas, lámparas, electrodomésticos en mal estado, vehículos o la quema de madera o carbón.

En esta prueba, se muestra la emisión de Monóxido de Carbono (CO) generada por la combustión de madera, un humo inodoro e incoloro. El sensor MQ-7 detecta el gas, y su concentración se visualiza en la pantalla HMI Nextion del módulo y en la plataforma Ubidots.

Niveles permitidos de CO	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 400
Regular	401 a 500
Malo	501 a 1000
Muy Malo	1001 a 2000

Medición de gas Amoníaco en el módulo y en la plataforma Ubidots

El Amoníaco (NH_3) se produce naturalmente por la descomposición de materia orgánica y también industrialmente en la fabricación de fertilizantes, medicamentos y productos de limpieza.

En esta prueba, se muestra la emisión de Amoníaco generada por un compuesto químico de limpieza, el Amonio Cuaternario, que emite un gas incoloro con un olor característico. El sensor MQ-135 detecta el Amoníaco, y su valor se visualiza en el gauge del lado izquierdo de la pantalla HMI Nextion del módulo y en la plataforma Ubidots.

Niveles permitidos de NH_3	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 250
Regular	251 a 400
Malo	401 a 700
Muy Malo	701 a 1000

Medición de gas Dióxido de Nitrógeno en el módulo y en la plataforma Ubidots

El Dióxido de Nitrógeno (NO_2) es un contaminante atmosférico generado por emisiones industriales, la combustión en motores de vehículos y calefacciones en mal estado.

En esta prueba, se simula la emisión de Dióxido de Nitrógeno mediante la reacción química entre cobre y ácido nítrico, produciendo un gas marrón-amarillento similar a las emisiones de vehículos. El sensor MQ-135 detecta el Dióxido de Nitrógeno, y su concentración se visualiza en el gauge del lado izquierdo de la pantalla HMI Nextion del módulo y en la plataforma Ubidots.

Niveles permitidos de NO_2	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 100
Regular	101 a 200
Malo	201 a 400
Muy Malo	401 a 1000

Medición de gas Ozono en el módulo y en la plataforma Ubidots

El Ozono (O₃) es un contaminante secundario formado por reacciones de la luz solar y la radiación ultravioleta con óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre presentes en la atmósfera.

En esta prueba, se mide la concentración de Ozono presente en el ambiente interior, un gas incoloro e inestable. El sensor MQ-131 detecta el Ozono, y su valor se visualiza en el gauge del lado derecho de la pantalla HMI Nextion del módulo y en la plataforma Ubidots.

Niveles permitidos de O ₃	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 130
Regular	131 a 240
Malo	241 a 380
Muy Malo	381 a 1000

Medición de PM 10 Y PM 2.5 en el módulo y en la plataforma Ubidots

El material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} son contaminantes atmosféricos producidos por la combustión de carbón, así como en partículas de polvo y humo.

En esta prueba, se muestra la emisión de material particulado PM 10 y PM 2.5 generada por la combustión de papel, cuyo humo es perjudicial para el sistema respiratorio. El sensor PMS 5003 detecta estas partículas, y sus concentraciones se visualizan en el gauge del lado izquierdo de la pantalla HMI Nextion del módulo y en la plataforma Ubidots.

Niveles permitidos de PM ₁₀		Niveles permitidos de PM _{2.5}	
Estado calidad del aire	PPM	Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 50	Bueno	0 a 25
Regular	51 a 100	Regular	26 a 50
Malo	101 a 150	Malo	51 a 75
Muy Malo	151 a 1000	Muy Malo	76 a 1000

Medición de Temperatura y Humedad en el módulo y en la plataforma Ubidots

Se muestra los valores de Temperatura y Humedad presentes en el ambiente de estudio en tiempo real, dichos valores son captados por el sensor DHT11 y se podrán visualizar en la pantalla HMI Nextion del módulo



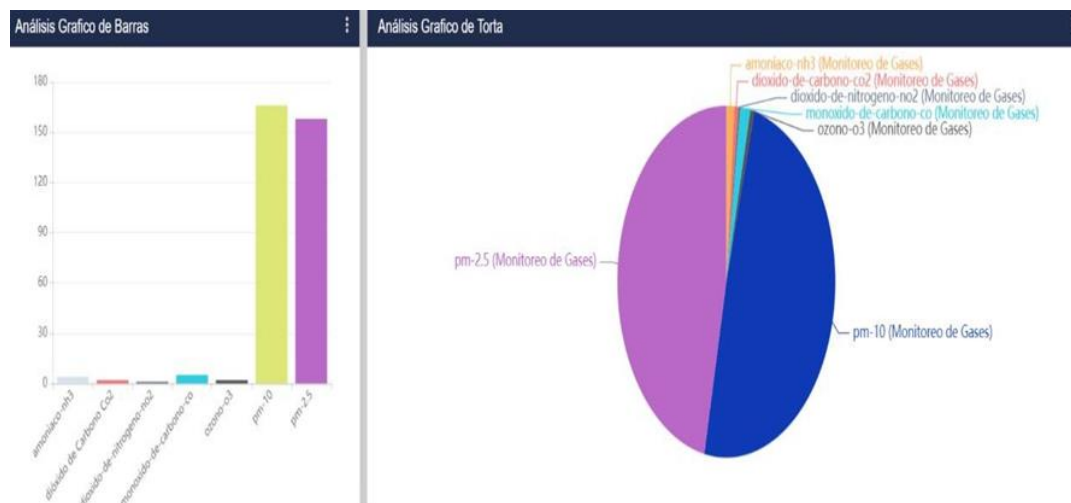
Se puede visualizar mediante la plataforma Ubidots la recepción de datos del sensor DHT11 cuando detecta la presencia de Temperatura y Humedad en el ambiente.



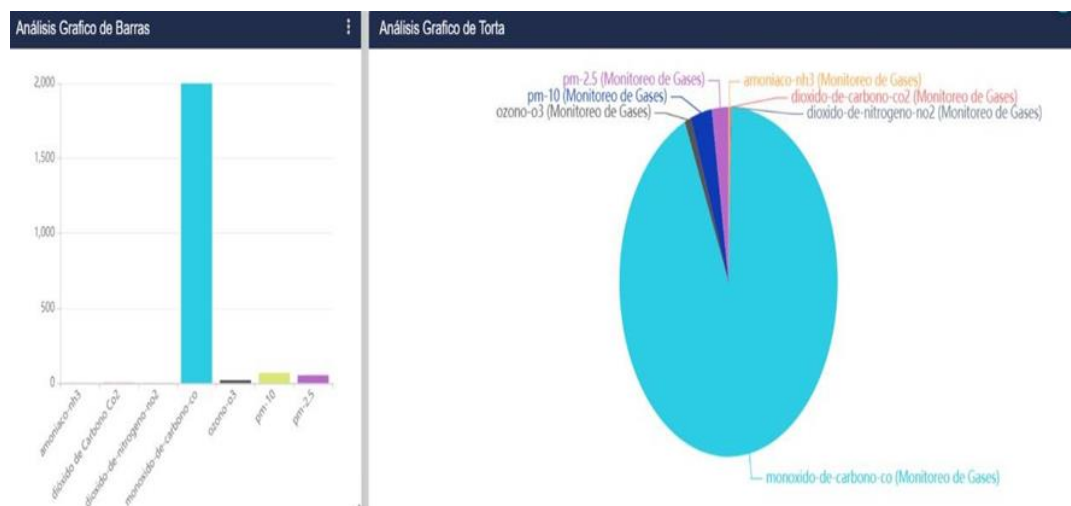
Representación del Análisis de estudio en la plataforma Ubidots mediante Gráfica de Barras y Gráfica Circular

En esta sección se realiza cuatro tipos de análisis para observar el monitoreo de dichos gases en tiempo real, en los cuales se basa este proyecto y así determinar qué tipo de gas prevalece en el ambiente de estudio.

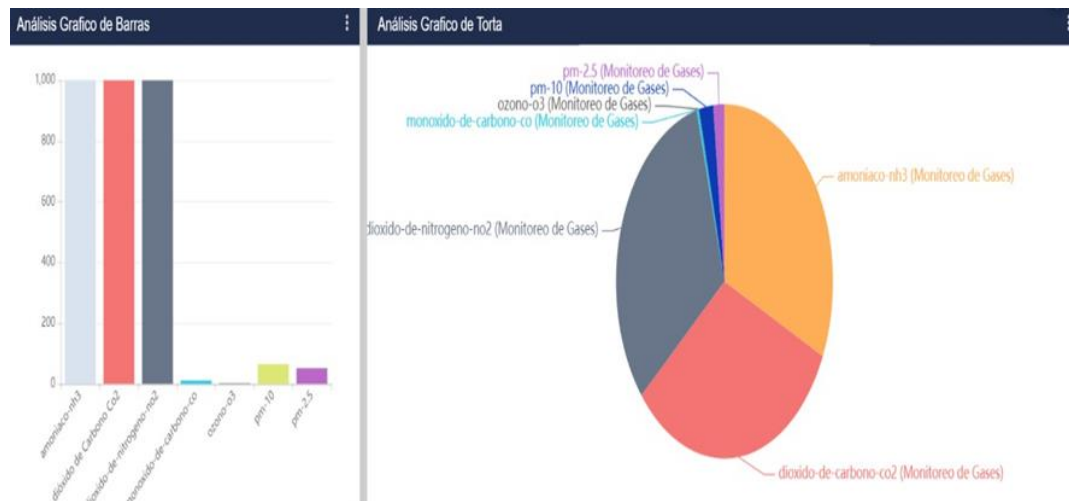
Se puede visualizar el primer análisis de estudio que se realiza en la plataforma Ubidots, donde se puede observar que el material particulado PM10 y PM 2.5 prevalecen, mientras los demás gases como el Amoniac, Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Ozono mantienen un nivel muy bajo



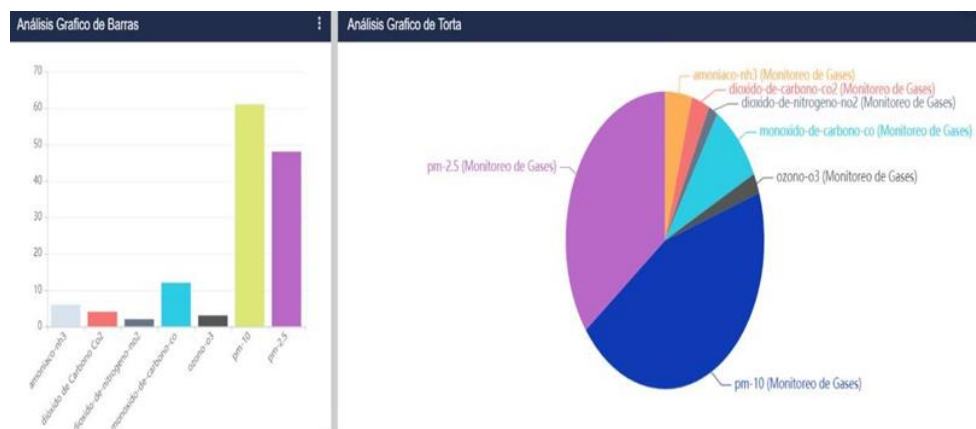
Se puede visualizar el segundo análisis de estudio que se realiza en la plataforma Ubidots, donde se puede observar que el material particulado PM10 y PM2.5 prevalecen, además se observa un leve incremento en la sección del Monóxido de Carbono, mientras los demás gases como el Amoníaco, Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno y Ozono mantienen un nivel muy bajo.



Se puede visualizar el tercer análisis de estudio que se realiza en la plataforma Ubidots, donde se puede observar que el Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno y Amoníaco prevalecen en su totalidad, mientras los demás gases como el Monóxido de Carbono, Ozono, PM 10 y PM 2.5 mantienen un nivel muy bajo.

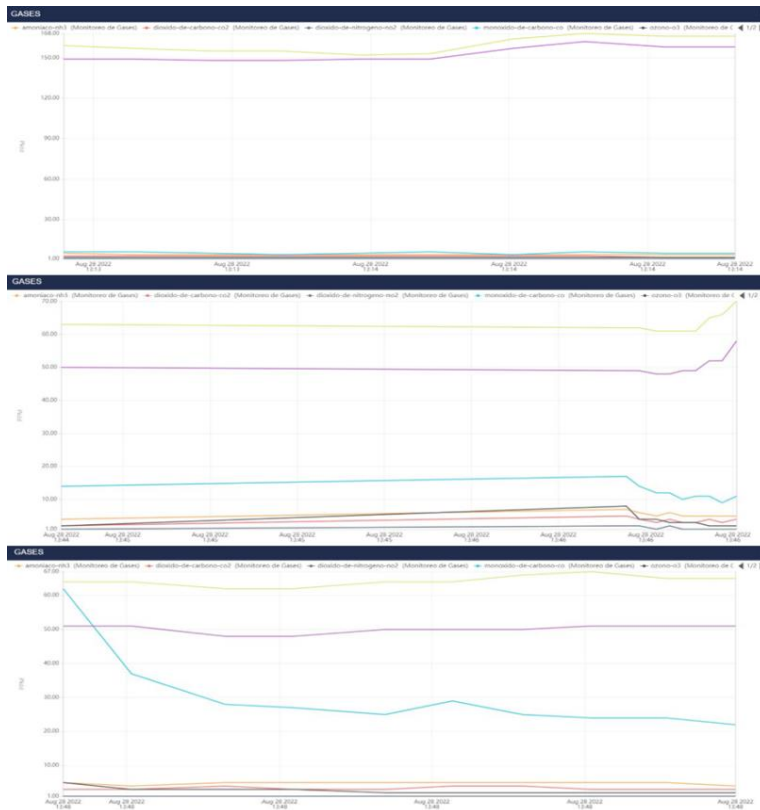


Se puede visualizar el cuarto análisis de estudio que se realiza en la plataforma Ubidots, donde se puede observar que el Monóxido de Carbono prevalece en su totalidad, mientras los demás gases como el Amoníaco, Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno, Ozono, PM 10 y PM 2.5 mantienen un nivel muy bajo



Representación del Análisis de estudio en la plataforma Ubidots mediante Gráfica General.

Se puede visualizar la representación de la gráfica en general del monitoreo en tiempo real de todos los gases mediante un indicador gráfico en la plataforma Ubidots, la cual contiene el comportamiento de cada uno de ellos en diferentes lapsos de tiempo, además concluir con la variable que prevalece en la misma.



Conclusiones

El desarrollo de un sistema de medición, análisis y purificación de gases contaminantes representa una contribución significativa para abordar los problemas de calidad del aire interior en Guatemala, particularmente en Quetzaltenango. La combinación de tecnologías como sensores electroquímicos, sistemas de filtración y plataformas IoT permite crear una solución integral y accesible.

Este tipo de innovaciones tecnológicas resulta especialmente relevante en el contexto guatemalteco, donde factores como el uso de combustibles tradicionales para cocina y calefacción, las características geográficas y climatológicas particulares, y la limitada infraestructura de monitoreo ambiental, crean condiciones que requieren intervenciones adaptadas al contexto local.

La implementación de este prototipo en instituciones educativas, centros de salud y hogares de Quetzaltenango podría contribuir significativamente a la mejora de la salud pública y la calidad de vida de sus habitantes, además de generar datos valiosos para la investigación científica y la toma de decisiones en políticas públicas ambientales.

Recomendaciones

- Para asegurar la efectividad del prototipo, se debe seleccionar cuidadosamente su ubicación, enfocándose en los puntos críticos que experimentan la mayor acumulación de contaminantes aéreos, ya sea en entornos residenciales, laborales, educativos o de salud.
- Para preservar la integridad del prototipo, es importante evitar su ubicación en áreas con alta humedad y salinidad, ya que esto podría comprometer la vida útil de sus componentes electrónicos y el cableado al fomentar la oxidación.
- Al llevar a cabo pruebas con el prototipo, especialmente si involucran gases tóxicos, es fundamental protegerse utilizando elementos como guantes, mascarilla y gafas de seguridad para evitar la exposición directa a altas concentraciones de contaminantes.

- Para asegurar un funcionamiento óptimo del prototipo durante las pruebas, es recomendable integrarle ventilación para disipar el calor generado por los componentes electrónicos.
- proporcionados por el prototipo, es fundamental inspeccionar el funcionamiento de los sensores de manera regular, lo que permitirá mantener una lectura y sensibilidad óptimas.
- El proceso de calibración de los sensores implica la consulta de la documentación técnica del fabricante (datasheet) y la realización de numerosas pruebas iterativas hasta lograr los resultados esperados.
- Dada la delicadeza y la facilidad con la que se puede rayar la pantalla HMI Nextion, se recomienda extrema precaución al manipularla. Asimismo, se sugiere el uso de una tarjeta de memoria para la carga de su programación.
- Para enriquecer el aprendizaje y las posibilidades de desarrollo en el campo del IoT, se aconseja utilizar diversas plataformas para el monitoreo en tiempo real de las variables, aprovechando la compatibilidad de la tarjeta ESP8266 Wifi con múltiples opciones además de Ubidots.

Bibliografía

1. Guatapi Yachimba, A. M., & García Bravo, E. I. (2022). Diseño e implementación de un prototipo para un sistema de medición, análisis y purificador de gases contaminantes en el aire utilizando Arduino y Ubidots IoT. Universidad Politécnica Salesiana.
2. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2022). Informe Nacional del Estado del Ambiente: Aire. Guatemala.
3. Instituto Nacional de Estadística (INE). (2021). Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI). Guatemala.

4. Organización Mundial de la Salud. (2021). Guías de calidad del aire de la OMS: Material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.
5. Universidad de San Carlos de Guatemala. (2020). Estudio sobre la calidad del aire en áreas urbanas de Guatemala. Facultad de Ingeniería, USAC.
6. Recinos, J. (2020). Implementación de sistemas de monitoreo de calidad del aire de bajo costo en Quetzaltenango. Universidad de San Carlos de Guatemala.
7. Municipalidad de Quetzaltenango. (2022). Plan de gestión ambiental municipal 2022-2026. Departamento de Medio Ambiente, Quetzaltenango.

Anexos

