

Técnicas IoT en un prototipo remoto de monitoreo de calidad del aire

<https://doi.org/10.51378/ilia.vi1.8497>

K. D. Paises ¹, J. C. Sierra ¹, D. O. Vásquez ¹, U. A. Zavaleta ¹, O. A. Valencia ¹

¹Departamento de Electrónica e Informática, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, El Salvador

E-mail: ovalencia@uca.edu.sv

Resumen — Un dispositivo IoT de monitoreo de calidad de aire puede ser una alternativa viable para conocer los riesgos a la salud que se pueden tener por consecuencia de contaminantes de aire. Para el desarrollo de la investigación se buscó crear un prototipo remoto como alternativa de bajo costo a estaciones especializadas de monitoreo, por lo que se eligieron módulos de desarrollo de código abierto, sensores de bajo costo que pudieran cumplir con las funciones necesarias para las mediciones que se buscaba obtener y un servidor de IoT de acceso gratuito y así para poder compartir los resultados con la comunidad universitaria. Se presenta además una descripción teórica de conceptos, que se consideran importantes para la comprensión del desarrollo de la investigación, donde se aclaran los modelos de comunicación del IoT, los tipos de redes, acerca de las redes wifi, la aplicación del big data, plataformas y módulos IoT, conceptos sobre la calidad de aire y su efecto en la salud. Esto con el fin de mostrar dichas mediciones y la presentación de parámetros de medición de los sensores y datos relacionados a la ubicación mediante el sensor GPS.

Palabras Clave— Big data, calidad del aire, emisiones contaminantes, métodos de cifrado, modelo de comunicación, módulos IoT

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia la humanidad ha buscado en su vida el bienestar y comodidad en la Tierra. La actividad diaria de la ciudad genera una gran cantidad de sustancias que modifican la composición natural del aire que se respira, el deterioro de la calidad del aire por la presencia de sustancias contaminantes tiene un efecto negativo en la salud humana y del medio ambiente, la contaminación del aire ha presentado un problema ambiental para la salud de la humanidad. Por esta razón, el presente trabajo intenta explorar el funcionamiento de las partes principales que componen un prototipo de dispositivo IoT capaz de monitorear la calidad de aire mediante un módulo Node MCU, sensores que capturan valores reales y válidos conectados a la nube.

II. MARCO TEÓRICO

A. Internet de las cosas (IoT)

El término internet de las cosas (IoT) es una evolución en la manera en que interactúan las personas y el sin número de dispositivos electrónicos que existen en la actualidad y que están por venir, con el propósito de que se cree una comunicación entre dispositivos y el usuario. Conectar todos estos dispositivos a una red, permitirá la mejora en diferentes

áreas como: automatización, precisión, domótica entre otros [1].

IoT describe la red de objetos físicos (cosas) que llevan incorporados sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. Estos dispositivos van desde objetos domésticos comunes hasta herramientas industriales sofisticadas.

- *Comunicaciones “dispositivo a la nube”*: en un modelo de comunicación de dispositivo a la nube, el dispositivo de la IoT se conecta directamente a un servicio en la nube, por ejemplo, un proveedor de servicios de aplicaciones para intercambiar datos y controlar el tráfico de mensajes. Este enfoque suele aprovechar los mecanismos de comunicación existentes (las conexiones wifi o Ethernet cableadas tradicionales) para establecer una conexión entre el dispositivo y la red IP, que luego se conecta con el servicio en la nube.



Fig. 1. Ejemplo del modelo de comunicación de “dispositivo a puerta de enlace” [2]

B. Introducción a las redes

Las redes de ordenadores son un fenómeno relativamente reciente que, están teniendo un desarrollo vertiginoso, su evolución va acompañada del ámbito tecnológico (hardware y software) y, sobre todo, de Internet. Aunque es una tecnología compleja, su desarrollo siempre ha sido transparente para el usuario y fácil de integrar, por lo que hoy en día son pocos los hogares sin conexión a Internet y las empresas o centros educativos que no funcionan a través de una LAN [3]. Una red es un grupo de dispositivos informáticos interconectados, cada una de estas tiene una parte física y una parte lógica. La parte física está formada por todos los elementos materiales (hardware) y medios de transmisión, mientras que la parte lógica (software) son los

programas que gobiernan o controlan esa transmisión y la información o datos que es transmitida [4].

C. Red wifi

Una red inalámbrica es aquella que tiene la capacidad de comunicarse entre dispositivos con otra red, no necesita de elementos físicos para lograrlo, y lo realiza por medio de ondas electromagnéticas. La transmisión y recepción de datos en este tipo de redes se realiza mediante el uso de antenas. En la mayoría de los casos el emisor suele tener una única antena, pero existen casos en los que puede tener más de una antena. Normalmente una antena actúa de emisora y otra antena actúa de receptora, sin embargo, hay antenas capaces de actuar en ambos modos, tanto transmitiendo información como recibiendo [5].

- **Seguridad wifi:** actualmente, uno de los principales desafíos con esta tecnología es la seguridad, ya que es fácil de implementar y la mayoría de las redes inalámbricas son instaladas por administradores de redes o sistemas sin tener en cuenta la seguridad [6]. Por ello es necesario la protección de las comunicaciones entre el *router* y los adaptadores inalámbricos, esto se consigue mediante unos métodos de cifrado que se han ido aplicando desde los inicios de la seguridad sobre redes, y que con el pasar de tiempo se han actualizado.

Tabla 1. Tabla comparativa de cifrado WEP, WPA y WPA2 [7]

Sistema de encriptación	WEP	WPA	WPA2
Estándar	802.11b	802.11g	802.11i
Algoritmo	RC4	RC4TKIP	AES Rijndael
Características	Protección a redes inalámbricas vulnerables	IV extendido Llaves dinámicas (TKIP) Incluye MAC del emisor	Número algoritmo de mayor complejidad Tramas convertidas por operaciones musicales
Longitud de claves	64 (40) o 128 (104) bits	128 a 256 bits	128 a 256 bits
Vulnerabilidad	IV muy corto Llaves estáticas Claves cortas Chequeo de integridad independiente de datos cifrados	Autenticación por <i>handshake</i> auditable Claves en diccionario o reconocibles por atacante	Claves conocidas Rondas cortas en información muy confidencial Uso de claves en diccionario o conocidas por atacante
Ataques conocidos	FMS, por estadística de IV, muy exitoso, obteniendo gran cantidad de tramas con IV	Por fuerza bruta comparando claves con <i>handshake</i> , éxito dependiente de tener la clave en el diccionario	Por fuerza bruta muy lenta comparando directamente con la red de claves de diccionario, muy poco éxito en bastante tiempo de ataque

D. Big Data

Big data es el conjunto de datos o combinaciones de conjuntos de datos cuyo tamaño (volumen), complejidad (variabilidad) y velocidad de crecimiento (velocidad) dificultan su captura, gestión, procesamiento o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales, tales como base de datos relacionales y estadísticas convencionales o paquetes de visualización, dentro del tiempo necesario para que sean útiles [8].

E. Plataformas IoT

Las plataformas y herramientas de IoT se consideran el componente más importante del ecosistema de IoT. Estas logran conectar de manera eficiente los diversos software necesarios para proporcionar Internet en un dispositivo determinado con el hardware que lo compone. Para lograrlo, utiliza una gran cantidad de protocolos de comunicación distintos. Las plataformas llenan la brecha entre los sensores del dispositivo y las redes de datos, pero la utilidad de una plataforma IoT va más allá de la integración de hardware y software, también puede realizar otros tipos de funciones. Ingresar datos de IoT recopilados en sistemas específicos de visualización, almacenamiento de datos, transferir los mismos datos a otros dispositivos conectados, entre otros [9].

ADAFRUIT IO: La nube de Adafruit, Adafruit IO, es un servicio dirigido principalmente al mercado de fabricantes. Si bien Adafruit IO es más limitado que los principales actores en los servicios en la nube, es muy fácil de usar y hay una opción gratuita que lo convierte en una excelente manera de probar los conceptos y prototipos de IoT [10] ayuda a reducir las emisiones contaminantes y mejorar así la calidad del aire que respiramos.

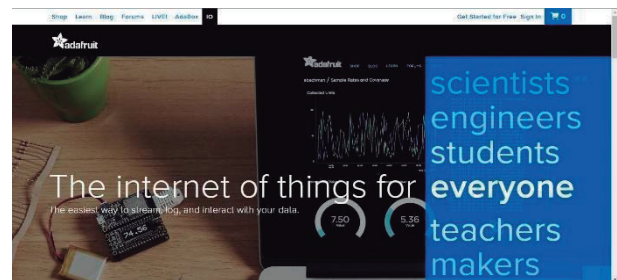


Fig. 2. Plataforma Adafruit

F. Módulos IoT

- **Monóxido de Carbono (CO):** el monóxido de carbono (CO) es un gas venenoso, incoloro, inodoro e insípido, pero que puede causar la muerte cuando se lo respira en niveles elevados. El CO es un peligro industrial común resultante de la quema incompleta de material que contiene carbono como gas natural, gasolina, queroseno, petróleo, propano, carbón o madera. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua o calefones y los aparatos domésticos

Los módulos IoT están probados en la industria del Internet de las Cosas. Embarcados fácilmente integrados en

Arduino, así como en multitud de dispositivos IoT de la vida cotidiana: desde un reloj hasta un sensor de riego, desde soluciones Smart Cities hasta la industria de la locomoción.

- *NodeMCU ESP8266*: NodeMCU ESP8266, visto en la fig. 3, es una plataforma de desarrollo similar a Arduino especialmente orientada al Internet de las cosas (IoT). La placa NodeMcu v2 ESP8266 tiene como núcleo al SoM ESP-12E que a su vez está basado en el SoC wifi ESP8266, integra además el convertor USB-Serial TTL CP2102 y conector micro-USB necesario para la programación y comunicación a PC. NodeMcu v2 ESP8266 está diseñado especialmente para trabajar montado en protoboard o soldado sobre una placa.

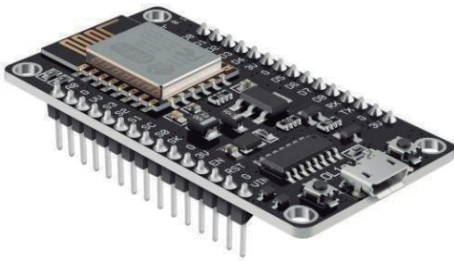


Fig. 3. Módulo NodeMCU ESP8266 [11]

G. Calidad del aire

Según la Organización Mundial de la Salud, en 2021, la contaminación del aire representó un peligro significativo para la salud ambiental. Sus informes e informes de advertencia de incumplimiento de los límites de protección de la salud por contaminantes atmosféricos en el aire que respiramos se mantienen sin cambios. Dos informes de la OMS de 2014, que fueron confirmados en 2016, determinaron que el 92 % de la población mundial vivía en áreas donde no se cumplían las pautas de calidad del aire, y estimaron que la contaminación del aire troposférico local en ciudades o áreas rurales circundantes en todo el mundo, y causa 3 millones muertes prematuras cada año. Dada la magnitud del problema, es importante analizar las causas y desarrollar políticas y concienciar a la población para que queman combustible, como las estufas u hornillas de la cocina o los calentadores a kerosene, también pueden producir CO si no están funcionando bien. Los carros detenidos con el motor encendido también despiden CO [12].

- *Material particulado (PM 2.5 y PM 10)*: según la EPA, el material particulado (también llamado partículas PM) es una mezcla de partículas sólidas y gotitas líquidas en el aire. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín y el humo, son lo suficientemente grandes como para verse a simple vista o en negro. Otros son tan pequeños que solo pueden detectarse con un microscopio electrónico [13]. El material particulado respirable presente en la atmósfera de las ciudades en forma sólida o líquida se puede dividir, según su tamaño, en dos grupos principales. A las de diámetro

aerodinámico igual o inferior a los 10 μm se las denomina PM10 y a la fracción respirable más pequeña, PM2,5. Estas últimas están constituidas por aquellas partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2.5 μm , es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano [14].

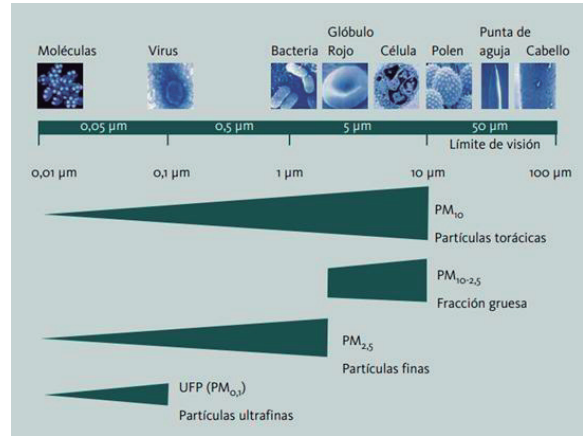


Fig. 4. Distintos tipos de partículas según su tamaño [15]

III. RESULTADOS

A. Diagrama de conexión

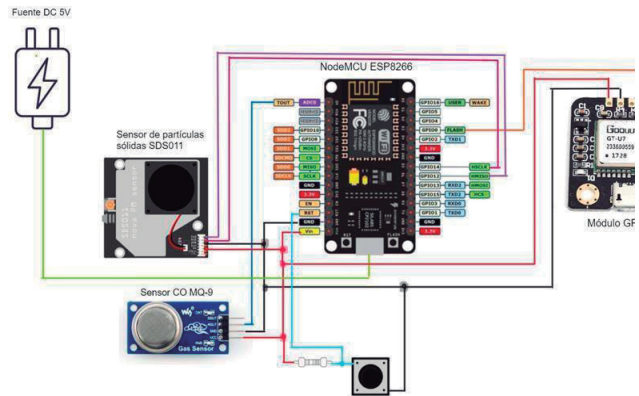


Fig. 5. Diagrama de conexión del sistema

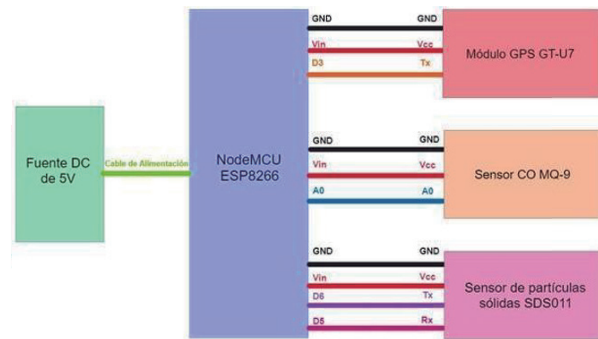


Fig. 6. Diagrama de conexión simplificado

B. Interfaz de usuario

Para la presentación de los datos obtenidos por el prototipo se creó la interfaz de usuario vista en la fig. 7. El lado izquierdo de la interfaz fue diseñado para presentar los datos relacionados a la ubicación del prototipo, en la parte superior izquierda, un mapa que indica mediante puntos el registro de la posición que marca el prototipo con base a sus coordenadas y en la parte inferior del mapa se tiene un registro de texto, este contiene las coordenadas y el tiempo en el que se reciben los datos al servidor.



Fig. 7. Interfaz del usuario final en Adafruit.IO (modo oscuro)

C. Experimentos

Se han desarrollado una serie experimentos en los cuales se observará cuantitativamente el efecto que tiene en las variables censadas por el prototipo. Estos experimentos fueron seleccionados de manera tal que se acerquen lo más posible a lo realizado cotidianamente por los estudiantes dentro del taller. Con esto en mente se debe aclarar que los tiempos en los cuales se realizaron dichos experimentos fueron de una duración corta y con las medidas de salud pertinentes en cada uno de ellos.

- *Uso de esmeril:* en el proceso de manufactura de circuitos en placa impresa se utilizan herramientas de esmerilado para darle forma a la placa de cobre final, ya con el circuito impreso. Al ser un proceso de pulido se desprenden pequeñas partes del material para reducirlo a la forma o tamaño deseado, como consecuencia se crean partículas de diferentes diámetros, cuando son lo suficientemente pequeñas logran quedar suspendidas en el aire y existe la posibilidad de que entren en las vías respiratorias. Este es el caso de las partículas conocidas como PM 2.5 y PM 10, el prototipo utilizado en este trabajo fue diseñado para medir estas partículas y así obtener mediciones acerca de la cantidad de partículas generadas, el tiempo de disipación y su impacto al ser humano.

Para esta prueba se realizó el esmerilado de placas de cobre de forma continua durante aproximadamente 10 minutos con pausas intercaladas en ese intervalo de tiempo, para simular un uso normal en el taller por estudiantes o

personal de la institución. Se tomaron en cuenta dos condiciones al realizar la prueba, con ventanas del taller abiertas y cerradas, esto para observar si hay diferencias significativas al tener un flujo de aire restringido o libre dentro del espacio del taller, cabe mencionar que el taller es un espacio que se puede considerar reducido, al menos para un taller. Se dividieron los resultados en las variables medidas por el prototipo (PM 10, PM 2.5 y CO) y también se realizaron comparaciones entre los casos de ventanas abiertas, cerradas y de las tres variables en conjunto para cada caso.

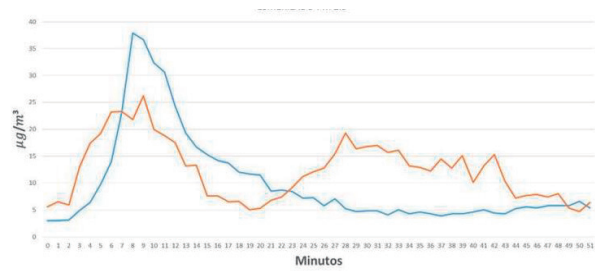


Fig. 8. Datos prueba esmerilado PM 2.5 comparación ventanas abiertas y ventanas cerradas. Fuente: elaboración propia

En la fig. 8 se hace la comparación entre el comportamiento de la concentración de partículas PM 2.5 para ambos casos del experimento, se observan diferencias considerables entre ambas gráficas. Para el caso de ventanas cerradas se tiene un valor máximo mayor de 37.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el tiempo que tardan en disiparse las partículas es mayor en este caso (30 minutos), esto debido a que el flujo de aire es mínimo al tener las ventanas cerradas causando que las partículas no tengan como dejar el espacio del taller. 30 minutos de exposición a este nivel de contaminación puede ser de alto riesgo para un ser humano, por lo que se sugiere que bajo ninguna circunstancia se trabaje con esta herramienta en este tipo de condiciones.

Trabajando con ventanas abiertas el valor máximo es menor (26.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y el tiempo de disipación de las partículas se reduce (17 minutos), esto debido a que el flujo de aire ayuda a que las partículas se movilen más rápido disminuyendo su concentración. El valor máximo medido supera el recomendado por la OMS y su exposición durante ese tiempo es dañino para la salud. Para hacer trabajo con el esmeril en el taller se deben tener las ventanas abiertas para disminuir las afectaciones negativas a la salud y se sugiere igualmente utilizar la protección necesaria para realizar este trabajo, en especial el uso de mascarillas.



Fig. 9. Datos prueba esmerilado PM 10 comparación ventanas abiertas y ventanas cerradas

En la fig. 9 se observa la comparación entre el comportamiento de ambos experimentos (ventanas abiertas y ventanas cerradas) para el caso de PM10. El cambio de comportamiento no es mucho en cada caso al observar las tendencias, aunque el nivel máximo de concentración es una diferencia de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aproximadamente, además del tiempo que tarda en disiparse las partículas es diferente. Para el caso de ventanas cerradas se obtiene un valor máximo de 775.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el tiempo de disipación es de 40 minutos. Esto se debe a que cuando las ventanas están cerradas, hay muy poco flujo de aire, lo que significa que las partículas no tienen posibilidad de escapar del área de trabajo. Por esta razón es recomendable una ventilación natural o forzada, evitando una concentración de este tipo de partículas en el taller.

Al momento de realizar el experimento con las ventanas abiertas, el máximo valor fue de 565.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ valor que supera el límite establecido por la OMS, pero el tiempo de disipación es menor (20 minutos) debido a que tiene un mejor flujo de aire. Igualmente, no es recomendable permanecer en este espacio en estas condiciones sin protección respiratoria, pero sí es notablemente menos dañino que en el caso de trabajar con las ventanas cerradas.

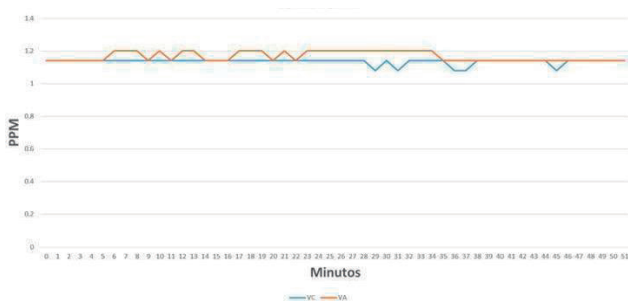


Fig. 10. Datos prueba esmerilado CO comparación ventanas abiertas y ventanas cerradas

Para la comparación de la concentración de CO, mostrada en la fig. 10, no hay factores significativos de diferencia entre ambas gráficas. Este proceso no implica reacciones químicas que tengan la posibilidad de generar este gas, por ende, las gráficas se mantienen cercanas a un valor central independientemente del caso que se esté estudiando. Como la sugerencia que se dio en la sección pasada, se debe

conocer qué reacciones puede tener un material que se quiera trabajar en el esmeril antes de proceder a utilizarlo para tomar las precauciones necesarias para un trabajo seguro, pero en la mayoría de materiales comúnmente trabajados en el taller no implican aumentos peligrosos en la concentración del gas CO.

El término aerosol se aplica a la mezcla heterogénea de partículas sólidas o líquidas en un medio gaseoso, cuyo tamaño va desde 0,002 μm (algunas moléculas) hasta 100 μm , esto significa que pueden permanecer en suspensión por un tiempo de al menos 1 hora, algunos autores incluyen la condición de que deben ser capaces de observarse o medirse.

- *Uso de aerosol:* una práctica común al finalizar la elaboración de placas es aplicar una base de esmalte en la parte inferior del circuito para evitar que las pistas de cobre queden expuestas y hagan cortocircuito al ser manipuladas teniendo contacto con la piel o superficies conductivas. En algunos casos es necesario pintar piezas del chasis para el montaje de las placas. Por estas razones se realizaron pruebas para determinar la cantidad de contaminantes generados en esta actividad e igualmente las afectaciones al personal que esté presente en el espacio en ese momento. Para esta prueba se utilizó pintura de aerosol común, se aplicó una capa de pintura a piezas dentro del taller durante 5 minutos con pausas intercaladas en ese intervalo de tiempo, tratando de simular así el uso cotidiano de aerosoles dentro del taller por parte de estudiantes o el personal de la universidad.

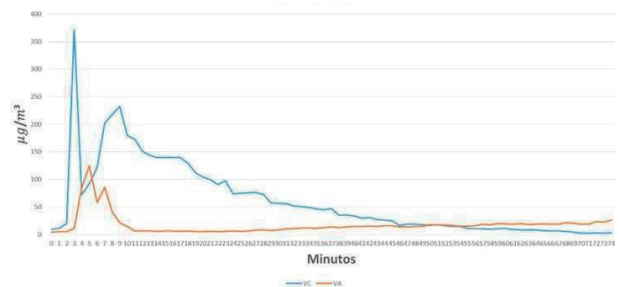


Fig. 11. Datos prueba aerosol PM 2.5 comparación ventanas abiertas y ventanas cerradas

En la fig. 11 se observa la comparación entre el comportamiento de ambos experimentos (ventanas abiertas y ventanas cerradas) para el caso de PM 2.5, es muy notorio el cambio de comportamiento en cada caso. Para el caso de ventanas cerradas se obtiene un valor máximo de 371.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el tiempo de disipación es de 40 minutos, esto se debe a que cuando las ventanas están cerradas, el flujo de aire es mínimo, lo que significa que las partículas no tienen posibilidad de escapar del espacio de trabajo. Esta cantidad de tiempo podría ser considerablemente dañina para el ser humano, por lo que es recomendable que al utilizar aerosoles se trabaje en espacios donde el aire pueda circular libremente y no se mantenga retenido en un espacio cerrado.

Cuando se tiene las ventanas abiertas el máximo valor es de $124.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que aún supera el límite establecido por la OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pero el tiempo de disipación es mucho más rápida (10 minutos), confirmando que en un espacio donde el aire circular libremente disminuye las posibilidades de dañar la salud del ser humano. Para este caso lo recomendable es usar equipo de protección respiratoria.

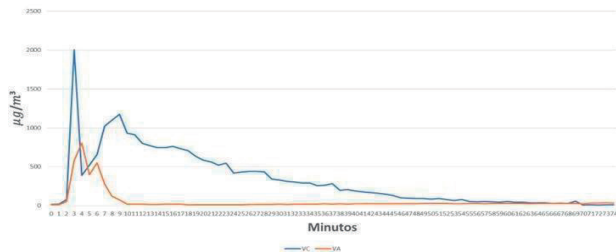


Fig. 12. Datos prueba aerosol PM 10 comparación ventanas abiertas y ventanas cerradas

En la fig. 12 se graficó la comparación entre el comportamiento de ambos experimentos (ventanas abiertas y ventanas cerradas) para el caso de PM10. El cambio de comportamiento es muy notorio en cada caso al observar las tendencias. Para el caso de ventanas cerradas se obtiene un valor máximo de $1999.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el tiempo de disipación es de 50 minutos. Esto se debe a que cuando las ventanas están cerradas, hay muy poco flujo de aire, lo que significa que las partículas no tienen posibilidad de escapar del área de trabajo. Este período puede ser bastante dañino para el aparato respiratorio, si bien no pasa del valor límite de tiempo al cual puede estar expuesto (una hora) si sobrepasa por mucho el límite de corta exposición ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por lo que no se recomienda trabajar en espacios aislados sin las protecciones necesarias.

Al momento de realizar el experimento con las ventanas abiertas el máximo valor fue de $805.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que, aunque supera el límite establecido por la OMS, el tiempo de disipación es lo suficiente rápido (6 minutos), por lo que al igual que en el caso de las partículas PM 2.5 se confirma que en una habitación donde el aire circula libremente se reduce la posibilidad de poner en peligro la salud de las personas. En este caso se recomienda utilizar equipos de protección respiratoria, como mascarillas con filtros.

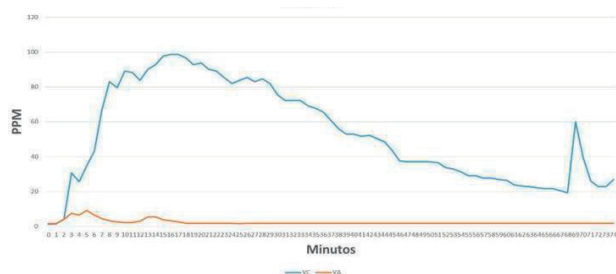


Fig. 13. Datos prueba aerosol CO comparación ventanas abiertas y ventanas cerradas

La fig. 13 muestra una comparación del comportamiento de ambos experimentos (ventanas abiertas y cerradas) para CO. Observando las tendencias, el cambio de comportamiento es muy notorio. Para el caso de ventanas cerradas se obtiene un valor máximo de 98.6 ppm y el tiempo de disipación es de más de 50 minutos, esto se debe a que con las ventanas cerradas hay muy poco flujo de aire y ninguna partícula puede escapar del área de trabajo. No se recomienda trabajar en interiores ya que este tiempo puede causar daños que van mermando al sistema respiratorio.

Al momento de realizar el experimento con las ventanas abiertas el máximo valor fue de 9.6 ppm que aunque supera el límite establecido por la OMS, el tiempo de disipación es lo suficiente rápido al ser tan solo 6 minutos. Al igual que en PM2.5 y PM10 los datos de CO confirman que el riesgo para la salud se reduce en habitaciones con libre circulación de aire. Además, se recomienda utilizar el equipo respiratorio adecuado.

IV. CONCLUSIONES

La implementación de un dispositivo IoT remoto para el monitoreo de la calidad de aire en un espacio donde se trabaja con muchas herramientas en un día normal de uso, es de suma importancia para conocer los riesgos a la salud que se puede tener por consecuencia de la contaminación del aire. Para este trabajo se buscó crear un prototipo como alternativa de bajo costo a sensores más especializados, debido a esto se optó por el uso de módulos de desarrollo de código abierto, sensores de bajo costo que pudieran cumplir con las funciones necesarias para las mediciones que se buscaba obtener y un servidor de IoT de acceso gratuito y amigable con nuevos usuarios. También se tenía interés en la posibilidad de publicar los datos obtenidos en las mediciones de forma sencilla, para poder compartir los resultados con la comunidad universitaria y discutir posibles recomendaciones para mejorar las condiciones de trabajo en el espacio de taller donde se realizaron las pruebas.

El uso del microcontrolador ESP8266 permite una gran flexibilidad con respecto a la transmisión y recolección de datos. Integrado en él se tiene un módulo wifi que permite de forma sencilla una conexión a internet que puede ser utilizada en diversas plataformas para almacenar o recibir información. Para la recolección de datos cuenta con múltiples pines digitales que pueden ser utilizados como entradas/salidas o pines de comunicación, también se tiene un convertidor análogo a digital con una resolución de 10 bits, que permite el ingreso de datos analógicos en forma de variaciones de voltaje. Al usar este microcontrolador en conjunto con los sensores se logró crear un prototipo con un costo muy reducido y con la capacidad que se buscaba obtener, logrando un envío constante de datos a una plataforma de IoT cada minuto, las 24 horas del día con fallas de comunicación mínimas.

Los sensores de material particulado permiten obtener mediciones de uno de los contaminantes que afectan

directamente la respiración causando el ingreso de elementos desconocidos al torrente sanguíneo mediante las vías respiratorias, este tipo de contaminación no es tan notoria como otro tipo de gases que pueden ser percibidos por el olfato o por la vista, al emitir un olor o color característico. Por estas razones se puede estar dentro de una zona peligrosamente afectada por estos materiales y pasar desapercibido hasta el momento que se puedan sentir malestares o dificultad de respirar, por ende, la importancia de tener algún método de cuantizar esta contaminación. Aquí ratifica la importancia del sensor SDS011 que implementa tecnologías de dispersión láser para medir la cantidad de partículas que se encuentran en un determinado espacio, el uso de esta tecnología permite un sensor compacto, de bajo consumo energético y de costo reducido. En los resultados de este trabajo se validó que este sensor puede ser implementado rápidamente mediante líneas de programación indicadas en una librería dedicada exclusivamente a este sensor y con un diagrama de conexión sencillo, obteniendo resultados de mediciones satisfactorias, como se pudo observar al momento de analizar los datos recolectados en los experimentos.

El gas CO es un gas contaminante presente en la mayoría de reacciones químicas asociadas a la combustión, por eso la presencia de este gas se puede asociar al uso de motores de combustión interna, como en vehículos, generadores de emergencia, etc. o actividades que impliquen la quema de otros materiales combustibles, como cocinas de gas, quema de basura, cocinas de leña, etc. Es importante conocer los niveles de este gas, con mayor énfasis en lugares donde se realicen prácticas que impliquen algún tipo de reacción química, como en el caso de la grabación de circuitos en placa de cobre, debido a que en concentraciones muy altas este gas puede tener consecuencias muy graves para la salud y caso extremos puede ser mortal. En el prototipo diseñado para este trabajo se agregó un sensor dedicado a este gas MQ-9, para este sensor se tuvo que recurrir a herramientas de cálculo y la calibración manual del dispositivo, lo que vuelve su implementación ligeramente complicada sin los conocimientos necesarios. Al momento de realizar los experimentos, en especial en el caso de uso de aerosoles, se obtuvieron mediciones congruentes a lo que estaba

sucediendo en el espacio del taller. Durante la exposición a los químicos que componen una pintura en aerosol se obtuvo un aumento significativo de la concentración de gas CO. Estas mediciones se pueden utilizar para mejorar el sistema de ventilación del taller o buscar otras alternativas para evitar la exposición en cantidades peligrosas a este gas, como el uso de equipo de protección personal.

V. REFERENCIAS

- [1] D. Hanes, G. Salgueiro. & R. Barton. *IOT Fundamentals*. Indianapolis: Cisco press. 2017.
- [2] K. Rose., S. Eldridge. & L. Chapin. *La internet de las cosas*. Reston: The Internet Society. 2015.
- [3] A. Ruiz. *Redes LAN*. España: Aula Mentor. 2019.
- [4] M. Hernández. *Introducción a redes*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 2018.
- [5] Gobierno de España. *Seguridad en redes Wifi*. 2019.
- [6] W. Bellido. *Hacking de Red Inalámbrica Wifi*. Información, tecnología y sociedad. 2013.
- [7] J. E. Sánchez. *Seguridad Actual en redes Wifi*. Universidad Politécnica de Madrid. 2021.
- [8] Digital eye observatory. (2021). ¿Qué es el big data? [Online]. Available: <http://www.digitaleye.uma.es/que-es-big-data>.
- [9] Oasys. (2017). Qué es IoT Platform y su importancia en la Industria. [Online]. Available: <https://oasys-sw.com/que-es-iot-platform-industria/>.
- [10] O. Yanez, private communication, May 2002.
- [11] Naylamp Mechatronics. (2016). NodeMCU v2 ESP8266 WiFi. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>.
- [12] EPA. (1997). Proteja su vida y la de su familia: Evite el envenenamiento con monóxido de carbono [Online]. Available: https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/co_factsheet_sp.pdf.
- [13] EPA. (2022). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medio ambiente [Online]. Available: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>.
- [14] J. Jiménez & C. Linares. (2008). *Ecologistas en acción*. [Online]. Available: <https://www.ecologistasenaccion.org/?p=17842>.
- [15] Organización Mundial de la Salud. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. OMS. 2005.