

OXIGENIX: SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE PURIFICADO

Martin Javier Espinoza Quintanilla, Valeria Michelle Espinoza Quintanilla,
Vanessa Marlen Espinoza Quintanilla

Unidad Académica Multidisciplinaria Región Altiplano, UASLP, Matehuala, S. L. P.,
México
a359650@alumnos.uaslp.mx, a385958@alumnos.uaslp.mx, vane21marlen@gmail.com.

RESUMEN

Oxigenix es un purificador de aire portátil en formato de collar, desarrollado para reducir la exposición a partículas PM_{2.5} en entornos urbanos, cuyas concentraciones frecuentemente superan los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). El dispositivo integra sensores biométricos, para monitorear la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en sangre, ajustando de manera automática el flujo de aire según las condiciones fisiológicas del usuario. Emplea filtros HEPA y de carbón activado para la retención de partículas finas y compuestos gaseosos. Oxigenix constituye una alternativa innovadora y portátil para mejorar la calidad del aire inhalado y apoyar la salud de personas.

Palabras claves: Purificador, Monitoreo, Biométricos.

ABSTRACT

Oxigenix is a portable air purifier in a collar format, designed to reduce exposure to PM_{2.5} particles in urban environments, where concentrations frequently exceed the limits recommended by the World Health Organization (WHO). The device integrates biometric sensors to monitor heart rate and blood oxygen saturation, automatically adjusting the airflow according to the user's physiological conditions. It employs HEPA and activated carbon filters for the removal of fine particles and gaseous compounds. Oxigenix represents an innovative and portable solution to improve inhaled air quality and support human health.

Key words: Purifier, Monitoring, Biometric.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye actualmente uno de los principales desafíos ambientales y sanitarios a nivel global [1]. De acuerdo con estimaciones recientes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), más del 99 % de la población mundial respira aire que excede los límites recomendados de calidad, particularmente en relación con las partículas finas menores a 2.5 micrómetros de diámetro (PM_{2.5}, *Particulate Matter*) [2]. La exposición prolongada a estos contaminantes se asocia con un incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias crónicas, cardiovasculares y neurológicas, así como con un

aumento en la mortalidad prematura [3]. En consecuencia, resulta fundamental desarrollar estrategias y tecnologías que mitiguen los efectos de la contaminación del aire sobre la salud humana [4]. En este contexto, se propone Oxigenix, un sistema portátil de purificación de aire con formato de collar, concebido para proporcionar protección individual frente a contaminantes atmosféricos en entornos urbanos. Este dispositivo integra sensores ambientales y biométricos que permiten la monitorización en tiempo real de parámetros como la concentración de partículas (PM_{2.5}), compuestos orgánicos volátiles (VOC), dióxido de carbono (CO₂) y variables fisiológicas del usuario. Mediante un sistema de control basado en microcontrolador (ATmega328P), el dispositivo ajusta dinámicamente el flujo de purificación en función de las condiciones ambientales y del estado del usuario.

A diferencia de las soluciones convencionales, como mascarillas o purificadores estáticos, Oxigenix representa un avance en el campo de los dispositivos portátiles de salud ambiental, orientado hacia la personalización y automatización del proceso de purificación. Este artículo presenta el diseño, implementación y validación funcional del sistema, destacando su contribución tecnológica frente a las soluciones existentes y su potencial impacto en la mejora de la calidad de vida en ambientes contaminados. Asimismo, en los resultados se verificó la operación de los sensores, el ventilador y el microcontrolador, así como la autonomía del sistema de 10 a 14 horas. La evaluación del sistema se centró en la verificación cualitativa del flujo de aire a través de los filtros, estableciendo las bases para futuras cuantificaciones de eficiencia y análisis comparativos con otros dispositivos.

2. TEORÍA

La contaminación atmosférica urbana constituye una de las principales amenazas para la salud pública a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), las concentraciones de material particulado fino menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) no deben exceder los 5 µg/m³ como promedio anual; sin embargo, en diversas zonas urbanas de México los valores superan regularmente los 25 µg/m³ [5]. Este exceso se asocia con un aumento en los casos de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y neurológicas, además de reducir la esperanza de vida en las poblaciones expuestas. En este contexto, la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021 establece límites y métodos para evaluar la calidad del aire ambiente, reforzando la necesidad de desarrollar soluciones personales de purificación adaptadas a entornos urbanos.

Las partículas PM_{2.5}, debido a su diámetro aerodinámico reducido, pueden penetrar profundamente en el sistema respiratorio y alcanzar el torrente sanguíneo, generando estrés oxidativo e inflamación sistémica. Además de las partículas sólidas, el aire urbano contiene contaminantes gaseosos como los compuestos orgánicos volátiles (VOC), derivados de solventes, combustibles y productos domésticos, así como gases traza como el dióxido de carbono (CO₂) y el ozono (O₃), los cuales, en concentraciones elevadas, afectan la función pulmonar y la capacidad respiratoria [6].

La purificación del aire se basa en la eliminación de partículas y gases mediante mecanismos físicos, químicos o fotoquímicos. Entre las tecnologías más utilizadas se encuentran los

filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air), capaces de retener partículas mayores a 0.3 μm con una eficiencia mínima del 99.97 %, gracias a mecanismos combinados de impacto inercial, interceptación y difusión browniana. Estos filtros se complementan con filtros de carbón activado, cuya estructura microporosa permite la adsorción de gases y VOC, incluyendo CO_2 y O_3 , mediante procesos físicos y químicos [7]. En los últimos años, han surgido tecnologías complementarias como la ionización bipolar, que genera iones positivos y negativos capaces de aglutinar partículas y neutralizar microorganismos; la radiación UV-C, utilizada para la inactivación bacteriana y viral; y la fotocatalisis basada en dióxido de titanio (TiO_2), que degrada compuestos orgánicos bajo irradiación ultravioleta. Estas innovaciones conforman el estado del arte de la purificación inteligente, proporcionando bases teóricas para el desarrollo de sistemas compactos y eficientes como Oxigenix.

La adaptación de estos mecanismos a dispositivos portátiles enfrenta limitaciones técnicas importantes, tales como la gestión del flujo de aire, la generación de ruido y la optimización de la autonomía energética. En este sentido, Oxigenix integra un sistema de control basado en microcontrolador ATmega328P, que regula el flujo del ventilador mediante modulación por ancho de pulso (PWM) en función de los datos obtenidos por sensores ambientales de PM, VOC y CO_2 , junto con el sensor biométrico MAX30102, que mide la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno del usuario. Esta retroalimentación en tiempo real permite ajustar automáticamente la intensidad de purificación según la calidad del aire y el estado fisiológico, configurando así un sistema inteligente y adaptativo orientado a la protección personalizada en entornos contaminados.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Descripción Técnica del Sistema

El sistema Oxigenix integra un mecanismo dual de purificación de aire compuesto por un filtro HEPA y un filtro de carbón activado, orientado a la eliminación de partículas sólidas y contaminantes gaseosos, respectivamente. Ambos componentes están dispuestos en serie dentro de una boquilla de entrada, impulsados por un ventilador centrífugo de flujo controlado mediante modulación por ancho de pulso (PWM).

El dispositivo incorpora un conjunto de sensores ambientales y biométricos para el monitoreo en tiempo real de la calidad del aire y las condiciones fisiológicas del usuario. Para la detección de material particulado, se utilizó el PMS5003 (Figura 1), basado en dispersión láser, que permite cuantificar concentraciones de $\text{PM}_{1.0}$, $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} . Este sensor funciona mediante la emisión de un haz de luz láser dentro de una cámara, donde las partículas en el aire dispersan la luz hacia un fotodiodo receptor. La cantidad y el patrón de luz dispersada permiten calcular con alta precisión la concentración de partículas en microgramos por metro cúbico, información fundamental para activar el sistema de filtrado en función de la contaminación detectada.



Figura 1: Sensor PMS5003: principio de dispersión láser para detección de partículas $\text{PM}_{2.5}$

La medición del dióxido de carbono (CO_2) se realiza con el sensor MH-Z19B (Figura 2), basado en tecnología de óxido metálico (MOX). Este sensor mide cambios en la conductividad eléctrica causados por la presencia de gases, proporcionando índices de calidad del aire interior en términos de VOC y dióxido de carbono equivalente (eCO_2).



Figura 2: Sensor MH-Z19B: medición de CO_2 mediante tecnología de óxido metálico

Complementariamente, el sensor MLX90614 (Figura 3) se utilizó para registrar la temperatura térmica.



Figura 3: Sensor MLX90614: detección de temperatura infrarroja sin contacto

Además, el sensor DHT22 (Figura 4) aporta información ambiental esencial, midiendo con alta precisión la temperatura, humedad relativa y presión barométrica a través de sensores capacitivos y piezoeléctricos. Estos datos son relevantes para entender las condiciones ambientales que afectan la calidad del aire y el funcionamiento óptimo del purificador.

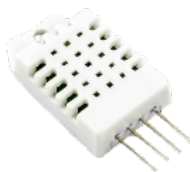


Figura 4: Sensor DHT22: medición de temperatura y humedad ambiental

En cuanto a la monitorización biométrica, Oxigenix incluye el sensor MAX30102 (Figura 5), que utiliza fotopleletismografía para medir la saturación de oxígeno en sangre (SpO_2) y la frecuencia cardíaca. Este sensor combina LEDs rojo e infrarrojo con un fotodiodo que detecta la absorción variable de luz a través de la piel, reflejando los cambios en el volumen sanguíneo. Esta información permite evaluar el estado fisiológico del usuario y detectar posibles alertas de salud.

Finalmente, el MPU6050 (Figura 6), un sensor MEMS que integra un acelerómetro y giroscopio de tres ejes, proporciona datos sobre el movimiento y orientación del usuario. Esto permite ajustar el funcionamiento del purificador según la actividad, optimizando el consumo energético y la experiencia de uso.

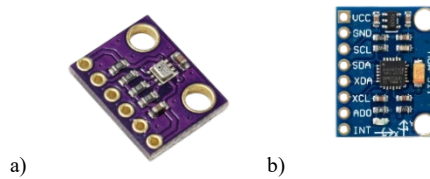


Figura 5: Sensores MPU6050 (acelerómetro-giroscopio) y MAX30102 (biométrico)

El microcontrolador ATmega328P (Figura 6) constituye el núcleo de procesamiento y control del sistema, encargado de la adquisición, procesamiento y gestión de señales provenientes de los diversos sensores ambientales y biométricos integrados. Basado en una arquitectura AVR de 8 bits RISC, el ATmega328P opera a una frecuencia máxima de 20 MHz, permitiendo un manejo eficiente de interrupciones y comunicación serial (UART, SPI, I2C), fundamentales para la sincronización y el control en tiempo real. Las señales analógicas provenientes de sensores como el PMS5003, MH-Z19B, MiCS-2614 y BME280 son convertidas a señales digitales mediante el ADC (convertidor analógico-digital) interno de 10 bits del microcontrolador, garantizando una resolución adecuada para la cuantificación precisa de las variables ambientales. Los sensores digitales, como el SGP30, MAX30102 y MPU6050, se comunican a través de protocolos I2C y UART, facilitando un flujo continuo de datos para su análisis.

El ATmega328P ejecuta algoritmos de procesamiento de señales y filtrado digital para validar y calibrar las lecturas, implementando técnicas de promedio móvil y detección de anomalías para asegurar la fidelidad de los datos. Con base en estos datos, el microcontrolador controla mediante señales PWM la velocidad del ventilador y activa el sistema de filtración según niveles preestablecidos de contaminación y parámetros biométricos. Asimismo, se implementan estrategias de control adaptativo que ajustan dinámicamente la operación del dispositivo en función del ambiente y el estado fisiológico del usuario, optimizando el consumo energético para prolongar la autonomía entre 10 y 14 horas. La gestión energética se complementa con el control de modos de suspensión y activación selectiva de sensores para reducir el consumo en condiciones de baja contaminación o inactividad.

La programación del sistema se desarrolla en lenguaje C/C++, utilizando un entorno de desarrollo integrado compatible con AVR, que permite el manejo eficiente de interrupciones, temporizadores y comunicaciones, así como la integración de rutinas de control en tiempo real. Este diseño asegura una respuesta rápida y confiable ante cambios en la calidad del aire o las condiciones del usuario.

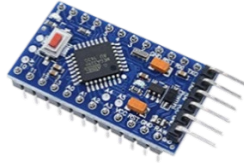


Figura 6: Microcontrolador ATmega328P: unidad central de procesamiento del sistema

La carcasa se fabricó mediante impresión 3D utilizando polímeros técnicos como PETG o ABS, seleccionados por su resistencia al impacto, estabilidad dimensional y tolerancia a la temperatura generada por los componentes internos (Figura 7).



Figura 7: Diseño 3D del dispositivo Oxigenix con sistema modular interno

Internamente, el dispositivo se estructura de forma modular, con compartimentos diferenciados para el sistema de filtración, la unidad de ventilación, la batería recargable de polímero de litio, la placa de control basada en ATmega328P, los sensores, y la interfaz de usuario. El sistema de flujo de aire consiste en una entrada inferior y una salida superior orientada hacia la zona de respiración. Un ventilador centrífugo silencioso mueve el aire a través de un sistema dual de filtros: HEPA para partículas y carbón activado para gases. La velocidad del ventilador es controlada mediante señal PWM.

Como parte de su interfaz de usuario, Oxigenix incorpora una pantalla OLED de 0.96 pulgadas, basada en el controlador SSD1306, comunicada mediante protocolo I2C. Esta pantalla permite mostrar información clave como:

- Índices de calidad del aire (PM2.5, VOC, eCO₂)
- Frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno del usuario
- Estado de carga de la batería
- Nivel de intensidad del ventilador
- Indicaciones de alerta (como mala calidad del aire o necesidad de recarga)

El uso de una pantalla OLED fue elegido por su bajo consumo energético, alto contraste y excelente visibilidad en condiciones de poca luz. Además, su integración fue posible sin comprometer el perfil delgado del dispositivo.

3.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Debido a la naturaleza exploratoria del desarrollo, la metodología se orientó a la validación funcional básica más que a una caracterización experimental completa. En esta etapa, los

resultados obtenidos se limitaron a pruebas funcionales preliminares enfocadas en verificar la correcta operación de los sensores, el flujo de aire y la respuesta general del sistema.

El prototipo mostró un funcionamiento estable del microcontrolador ATmega328P, una lectura continua de los sensores ambientales y biométricos, así como una adecuada respuesta del ventilador bajo control PWM. El sistema de alimentación logró mantener una autonomía aproximada de entre 10 y 14 horas, cumpliendo con el objetivo de portabilidad planteado en el diseño.

Aunque no se cuenta con valores cuantitativos de eficiencia de filtrado ni comparaciones con dispositivos comerciales, las observaciones cualitativas indican que el flujo de aire a través del filtro HEPA y de carbón activado fue constante.

4. LIMITACIONES.

La interpretación de los resultados debe enmarcarse en el contexto de una validación funcional, cuyo objetivo principal fue verificar la integración y operatividad básica de los módulos del sistema Oxigenix.

El estudio no incluyó ensayos cuantitativos de eficiencia para evaluar la remoción de contaminantes específicos (PM_{2.5}, VOC, CO₂, O₃), ni mediciones biométricas validadas frente a equipos médicos certificados. Esta carencia impidió establecer métricas de rendimiento precisas, desviaciones estándar o porcentajes de remoción, los cuales son esenciales para una caracterización exhaustiva del sistema.

Las pruebas realizadas permitieron identificar posibles áreas de mejora, como la limitación del flujo de aire en condiciones de alta resistencia del filtro y la ausencia de calibración cruzada con sensores de referencia.

5. CONCLUSIONES.

El desarrollo de Oxigenix demostró la viabilidad de un sistema portátil de purificación de aire que combina monitoreo ambiental y biométrico en tiempo real. La integración de sensores de calidad del aire (PMS5003, MH-Z19B, SGP30, MiCS-2614, BME280) y de parámetros fisiológicos (MAX30102, MPU6050) en un diseño compacto y autónomo permitió validar el principio de funcionamiento del sistema bajo condiciones reales, asegurando una adquisición de datos estable. La monitorización de variables biométricas permitió ajustar dinámicamente la operación del ventilador, optimizando la eficiencia energética; sin embargo, el impacto fisiológico en el usuario requiere un análisis adicional. La caracterización del prototipo delimitó sus parámetros operativos ideales, identificando que su máximo rendimiento se alcanza en condiciones de contaminación moderada y observándose una saturación acelerada de los filtros ante concentraciones extremas de contaminantes. Para futuras investigaciones se propone realizar comparativas directas con purificadores comerciales y validar los sensores frente a instrumentación calibrada, así como incrementar el número de réplicas experimentales para robustecer las estimaciones de reproducibilidad y desviación estándar.

La propuesta tecnológica de Oxigenix representa un avance frente a soluciones convencionales como purificadores estáticos o mascarillas, al combinar portabilidad, autonomía de hasta 14 horas y capacidad de monitoreo en tiempo real. Estos resultados respaldan la relevancia del dispositivo como una alternativa innovadora para la protección personal frente a contaminantes urbanos.

6. REFERENCIAS

- [1]. World Health Organization, WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, WHO, Geneva, 1–25 (2021). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- [2]. Zhang, Z., et al., “Effects of PM_{2.5} exposure and air temperature on risk of cardiovascular disease mortality: A meta-analysis,” *Environmental Health Perspectives*, vol. 133, no. 8, 2025. DOI: 10.1289/EHP11750874.
- [3]. Roy, R., & D’Angiulli, A., “Air pollution and neurological diseases, current state and future directions,” *Frontiers in Neuroscience*, vol. 18, 2024. DOI: 10.3389/fnins.2024.1351721
- [4]. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter, EPA/600/R-19/188, U.S. EPA, Research Triangle Park, NC, 1–500 (2019). <https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-particulate-matter>
- [5]. I. Gutiérrez-Ávila, et al., “Daily exposure to PM_{2.5} and 1.5 million deaths: A time-stratified case-crossover analysis in the Mexico City Metropolitan Area,” *Environmental Health Perspectives*, vol. 131, no. 8, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1289/EHP11750874>
- [6]. World Health Organization (WHO), “Ambient (outdoor) air quality and health,” 24-Oct-2024. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-%28outdoor%29-air-quality-and-health>
- [7]. Lillo-Ródenas, M. A., Cazorla-Amorós, D., and Linares-Solano, A., “Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH: an insight into the chemical activation mechanism,” *Carbon*, vol. 41, no. 2, pp. 267–275, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(02\)00398-3](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(02)00398-3)