Design a System to Monitor Air Quality in the City of Pamplona Norte de Santander

Jose del Carmen Santiago Guevara[1]; Diego Armando Mejía Bugallo[2]; Edwin Mauricio Sequeda Arenas[3]
[1,2] Universidad de Pamplona, Pamplona-Colombia, *josesantiago@unipamplona.edu.co, diego.mejia@unipamplona.edu.co*
[3] Universidad Católica de Pereira, Pereira-Colombia, *edwin.sequeda@ucp.edu.co*.

Abstract– In recent decades, there has been growing concern about air quality, driven by constant industrial and urban growth. This increase is due in part to increased awareness of the adverse impacts of air pollution on human health and ecosystems. This proposal seeks the design of a low-cost monitoring system that allows the measurement of the variables of suspended particles (such as dust and soot) PM10 and PM2.5, nitrogen oxides (NOx), sulfur dioxide (SO2), carbon monoxide (CO) and tropospheric ozone (O3). This system will be made up of three fixed stations located in strategic locations in the city. These stations will in turn be interconnected through a point-to-point link that will be centralized in a local server for storage, processing, validation and analysis of data, which will allow us to monitor these concentrations in real time and report air quality indices. This project seeks to impact and contribute positively to some of the sustainable development goals defined by the UN, also to the objectives and challenges defined by this call, among other results that are proposed, in addition to monitoring concentrations that exceed the maximum permissible limits that generate adverse effects on the respiratory, cardiovascular and neurological health of people.

.

Keywords-- air, atmosphere, pollution, particles, environment.

Diseñar un Sistema para Monitorear la Calidad del Aire en la Ciudad de Pamplona Norte de Santander

Jose del Carmen Santiago Guevara[1]; Diego Armando Mejía Bugallo[2]; Edwin Mauricio Sequeda Arenas[3]
[1,2] Universidad de Pamplona, Pamplona-Colombia, *josesantiago@unipamplona.edu.co, diego.mejia@unipamplona.edu.co*
[3] Universidad Católica de Pereira, Pereira-Colombia, *edwin.sequeda@ucp.edu.co*.

Resumen– ***En las últimas décadas, ha surgido una creciente preocupación por la calidad del aire, impulsada por el constante crecimiento industrial y urbano. Este aumento se debe en parte a una mayor conciencia sobre los impactos adversos de la contaminación atmosférica en la salud humana y en los ecosistemas.***

Con la presente propuesta se busca el diseño de un sistema de monitoreo de bajo costo que permita la medición de las variables de partículas en suspensión (como el polvo y el hollín) PM10 y PM2.5, óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO2), monóxido de carbono (CO) y ozono troposférico (O3). Dicho sistema estará integrado por tres estaciones fijas ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, estas estaciones a su vez estarán interconectadas mediante un enlace punto a punto que se centralizará en un servidor local para el almacenamiento, procesamiento, validación y análisis de los datos, que nos permita hacer un seguimiento en tiempo de real de estas concentraciones e informar los índices de calidad del aire.

Con este proyecto se busca impactar y aportar de manera positiva a algunos de los objetivos de desarrollo sostenible definidos por la ONU, también a los objetivos y retos definidos por la presente convocatoria, entre otros resultados que se plantean, además de vigilar las concentraciones que superen los límites máximos permisibles que generen efectos adversos en la salud respiratoria, cardiovascular y neurológica de las personas.

Palabras clave-- aire, atmosfera, contaminación, partículas, ambiente.

I. Introducción

La calidad del aire en las áreas urbanas es un tema de creciente preocupación debido a sus efectos directos en la salud humana y en el medio ambiente. La ciudad de Pamplona, al igual que muchas otras ciudades, enfrenta desafíos significativos en cuanto a la calidad del aire, especialmente debido a la presencia de fuentes de contaminación como el tráfico vehicular, la industria y otros factores antropogénicos.

Es claro que a la fecha la ciudad no cuenta con estaciones de medición y monitoreo de la calidad del aire por ende tampoco se tiene la disponibilidad de datos en tiempo real. El desconocimiento de la información sobre la distribución de contaminantes específicos en diferentes zonas de la ciudad dificulta la implementación de medidas efectivas para mitigar los impactos negativos en la salud pública y el medio ambiente.

Por lo tanto, el problema central que motiva este proyecto es la necesidad de desarrollar un sistema integral y localizado para la medición precisa y continua de la calidad del aire en la ciudad de Pamplona. Este sistema debe ser capaz de proporcionar datos en tiempo real, abarcando la medición de contaminantes atmosféricos relevantes específicamente de material particulado PM10 y PM2.5., y permitir un monitoreo detallado de la distribución espacial de la contaminación en la ciudad.

El diseño y la construcción del sistema de medición propuesto representa un desafío multidisciplinario que requiere la integración de conocimientos en áreas como la Ingeniería de Mecatrónica, la Ingeniería Electrónica, La Ingeniería en Telecomunicaciones y la Ingeniería Ambiental.

Además, la implementación exitosa de este sistema no solo contribuirá al conocimiento científico, sino que también tendrá un impacto directo en la toma de decisiones para la gestión ambiental y la protección de la salud pública en la ciudad de Pamplona.

II. PROPÓSITOS DEL PROYECTO

La ejecución del presente proyecto representa un impacto en lo siguiente:

A. Objetivos de Desarrollo Sostenible:

Principalmente se aporta a los objetivos 11 y 13 establecidos por la ONU, “Ciudades y Comunidades Sostenibles” y “Acción por el Clima”. Monitorear la calidad del aire es esencial para el desarrollo urbano sostenible, ya que proporciona datos importantes para planificar y ejecutar políticas ambientales que equilibren el crecimiento económico con la protección del medio ambiente *(Organización de las Naciones Unidas, 2024)*.

B. Retos Institucionales:

Este proyecto se articula con los retos establecidos por la Universidad de Pamplona para "Garantizar la seguridad sanitaria, la salud y el bienestar de la población en el territorio nacional" y "Asegurar la convergencia regional y el ordenamiento del territorio*" (Universidad de Pamplona,2024)*. También se alinea con los objetivos de la convocatoria en "Fomentar el desarrollo de proyectos de interés regional en las diferentes áreas de conocimiento." Y "Articular los procesos de investigación y formación mediante la participación de estudiantes de pregrado y posgrado en proyectos de investigación."

C. Otros Aportes:

Salud Pública: La calidad del aire tiene un impacto directo en la salud de los ciudadanos. Un sistema de monitoreo permitiría identificar y mitigar en la toma de decisiones los riesgos asociados con la contaminación del aire, como enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Ordenamiento Territorial: La información suministrada por el sistema, permitiría a la ciudad la toma de decisiones y acciones político-administrativas y de planificación en términos de sus planes de acción y desarrollo.

Conciencia y Educación: La disponibilidad de datos sobre la calidad del aire fomenta la conciencia ambiental entre los ciudadanos y promueve prácticas más saludables y sostenibles.

Investigación y Desarrollo: Los datos recopilados pueden ser una valiosa fuente de investigación para mejorar las tecnologías de monitoreo y tratamiento de la contaminación del aire.

Respuesta a Emergencias: En caso de eventos que afecten negativamente la calidad del aire, como incendios, fenómenos del clima, entre otros, el sistema proporcionaría información importante para una respuesta rápida y efectiva.

III. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo descriptivo con análisis correlacional, lo que permitirá no solo describir las concentraciones de contaminantes en el aire, sino también evaluar las relaciones entre distintas variables ambientales y la calidad del aire en Pamplona, Norte de Santander.

A. Fuentes de Información:

Datos Primarios: Los datos se obtendrán mediante un sistema de monitoreo directo, con mediciones periódicas y en diferentes condiciones ambientales (diurno/nocturno, variabilidad estacional) para una caracterización más precisa.

Datos Secundarios: Se revisarán estudios previos, bases de datos de instituciones ambientales y registros históricos de calidad del aire, aplicando criterios de selección rigurosos mediante una revisión sistemática de la literatura.

B. Instrumentos de Medición:

Sensores de Partículas: Se utilizarán dispositivos de medición como el sensor PMS5003, capaz de detectar partículas suspendidas PM10 y PM2.5, además de contaminantes como monóxido de carbono, ozono troposférico, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre.

Estaciones Meteorológicas: Las estaciones existentes proveerán datos sobre temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, lo que facilitará la correlación con los niveles de contaminación.

C. Procesamiento y validación de datos

La información recopilada generará una base de datos estructurada, la cual será validada mediante asignación de códigos y análisis espacio-temporal para la identificación de valores extremos o inconsistentes. Se utilizarán técnicas estadísticas avanzadas, como análisis de tendencias temporales y correlaciones multivariadas, para reducir el margen de error en los datos..

D. Calibración de la red

El proceso de calibración implicará:

Pruebas de repetitividad para garantizar la estabilidad de las mediciones, comparación con redes existentes mediante coeficientes de determinación (R^2) y capacitación del personal en validación y gestión de datos, asegurando la operatividad y fiabilidad del sistema.

E. Procedimiento:

Diseño del Sistema: Se definirán los sensores y componentes adecuados, asegurando su compatibilidad con el software de análisis.

Recolección de Datos: Las estaciones de monitoreo serán instaladas en ubicaciones estratégicas, con transmisión continua de datos en tiempo real.

Análisis Estadístico: desarrollar software estadístico para analizar los datos recolectados.

Interpretación de Resultados: Los niveles de contaminantes se compararán con normativas ambientales y su impacto en la salud pública, permitiendo generar reportes y recomendaciones.

F. Descripción de actividades:

Revisión Bibliográfica y Definición de Parámetros: Establecimiento de contaminantes a medir, rangos de referencia y estándares de calidad del aire.

Diseño del Sistema: Desarrollo conceptual del monitoreo y selección de sensores.

Desarrollo de Prototipo: Construcción y pruebas de calibración en laboratorio.

Implementación Piloto: Instalación del sistema en campo con pruebas preliminares.

Análisis de Datos: Aplicación de métodos estadísticos para evaluar la precisión y efectividad del sistema.

Optimización: Ajustes en el diseño con base en resultados obtenidos.

Escala y Despliegue: Expansión del sistema a una red completa de monitoreo urbano.

Divulgación de Resultados: Publicación de hallazgos y difusión en la comunidad científica.

Evaluación Continua: Revisión y actualización del sistema para asegurar su eficiencia a largo plazo

Capacitación: Formación de usuarios y autoridades para interpretación y uso de la información generada.

VI. Avances del proyecto

A. Fases principales:

1. Diseño técnico e implementación de la estación de monitoreo.
2. Creación de la red de interconexión y la estación base para comunicación entre estaciones.
3. Desarrollo del software para captura, almacenamiento y presentación de información ambiental.

Actualmente, el proyecto ha avanzado en la primera fase, con los siguientes progresos:

B. Diseño Circuital:

Se definió para el proyecto el uso del sensor PMS5003, este es un tipo de sensor de concentración de partículas digital y universal, utilizado para medir la cantidad de partículas suspendidas en el aire, es decir, la concentración de partículas, y para presentar estos datos a través de una interfaz digital.

Este sensor puede integrarse en diversos instrumentos y equipos destinados a mejorar la medición de la concentración de partículas suspendidas en el aire y otros aspectos ambientales, asegurando la precisión y la puntualidad en la recopilación de datos de concentración *(Digi-Key, 2025).*

El sensor es capaz de detectar partículas finas en un rango de tamaño desde 0.3 µm hasta 10 µm, lo que incluye varios tipos comunes como polvo, polen, esporas de moho, humo y otras partículas suspendidas en el aire. La concentración de estas partículas se mide en microgramos (µg) por metro cúbico de aire.

El PMS5003 utiliza un láser interno y un fotodiodo para medir la cantidad de luz dispersada por las partículas en el aire, lo que le permite calcular su concentración. Este método, conocido como detección de la dispersión de luz, es altamente eficaz para evaluar la calidad del aire *(Echevarría, 2025).*

El sensor está equipado con una interfaz de comunicación serie para conectarse a microcontroladores como Arduino. Además, cuenta con un ventilador interno que ayuda a atraer activamente el aire hacia el sensor.

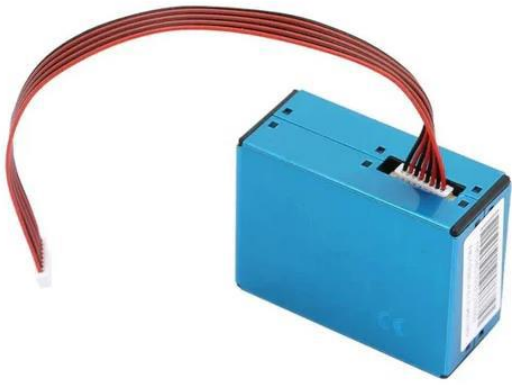

Fig. 1 Sensor PMS5003
Fuente: [4].

Características:

- Tasa cero de falsas alarmas. (Digital universal particle concentration sensor, 2022)

- Respuesta en tiempo real. (Digital universal particle concentration sensor, 2022)

- Datos correctos. (Digital universal particle concentration sensor, 2022)

- Diámetro mínimo de partícula distinguible: 0,3 micrómetros. (Digital universal particle concentration sensor, 2022)

- Alto rendimiento anti interferencias debido a la estructura patentada de seis blindajes laterales. (Digital universal particle concentration sensor, 2022)

- Dirección opcional de entrada y salida de aire para adaptar las diferentes. (Digital universal particle concentration sensor, 2022)

- Diseño. (Digital universal particle concentration sensor, 2022)

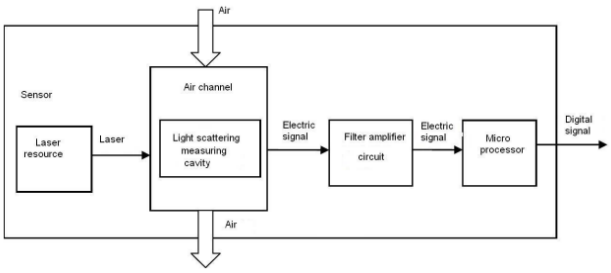

Fig. 2 Prototipo Fase de Sensor
Fuente: [3].

B. Prototipado

Mediante el diseño ilustrado en la figura 3, se adelantan pruebas de laboratorio que arrojan resultados prometedores que permitirá a futuro el desarrollo de las fases 2 y 3 del proyecto.

En la actualidad el proyecto está en fase inicial con pruebas de laboratorio que partir del primer semestre de 2025 iniciará el despliegue en campo, dicho despliegue en términos generales abordará el despliegue de la red telemática, la implementación de servidores y el desarrollo de software para el manejo y presentación de los resultados.

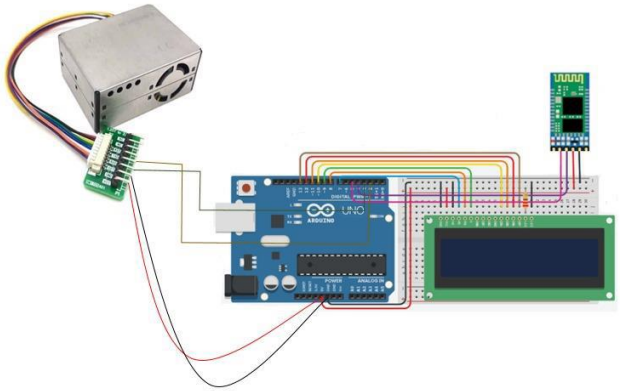

Fig. 3 Prototipo Fase de Sensor
Fuente: Propia

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Expresamos agradecimiento a la Universidad de Pamplona por su apoyo institucional y por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Su compromiso con la excelencia académica y el desarrollo científico fue clave para el éxito de este proyecto.

REFERENCIAS

1. Organización de las Naciones Unidas. (2024, 5 de abril). *Naciones Unidas*. https://www.un.org/es/

2. Universidad de Pamplona. (2024, 5 de abril). *Convocatoria internacional Banco de proyectos 2024*. https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/2024/pag_contenido/13022024/conv_int_bancoproyecto2024.jsp

3. Adafruit Industries LLC. (2025, 16 de enero). *Hoja de datos del manual de la serie PMS5003*. Digi-Key. https://www.digikey.jp/htmldatasheets/production/2903006/0/0/1/pms5003-series-manual.html

4. Echevarría. (2025, 16 de enero). *Calidad del aire: Tutorial de uso de PMS5003 con Arduino*. TECNEU. https://www.tecneu.com/blogs/tutoriales-de-electronica/calidad-del-aire-tutorial-de-uso-de-pms5003-con-arduino