



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY  
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Diseño e implementación de un sistema de bajo costo orientado a la  
medición de ruido y material particulado.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Autores:**

**Bryan Andrés Fajardo Moscoso  
Geovanny Alejandro Peñafiel Aguirre**

**Director:**

**Ing. Jaime Sebastian Burbano Villavicencio, Mgt.**

**CUENCA, ECUADOR**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Mónica y Daniel, que han sido pilares fundamentales en mi formación personal, junto con sus enseñanzas y consejos me han permitido afrontar las dificultades y perseguir mis sueños, así como establecer mis principios y valores. A mis familiares, que han formado parte de este proceso de inicio a fin, donde me han depositado su confianza y aliento para seguir adelante y culminar mis estudios. A mis mascotas, que en las largas noches y en los tiempos de virtualidad han sido mi mejor compañía.

Bryan Andrés Fajardo Moscoso.

Este trabajo de investigación les dedico a mis padres, Geovanny y Sandra, por ser mi guía y darme la posibilidad de estudiar esta profesión, y, a mis hermanas María Belén y María José, que, con su apoyo, he conseguido culminar esta etapa de mi vida, superando los obstáculos hasta alcanzar mis objetivos. A mis profesores, por ser la guía en las diferentes materias y por el continuo desafío con el que me incitaban a dar mi máximo potencial. A mis amigos de la jorga, y, a los amigos que he conocido en la facultad con quienes he disfrutado los mejores momentos y quienes me han hecho caer en cuenta mis errores para corregirlos e ir por buen camino. A mi constante compañía, Nacho y Lula que siempre me esperaban al volver a casa.

Geovanny Alejandro Peñafiel Aguirre.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi agradecimiento al IERSE y a la Universidad del Azuay por el apoyo en la realización de este trabajo. Asimismo, expreso mi agradecimiento al Ing. Jaime Burbano y al Ing. Carlos Zeas, ya que su paciencia, enseñanza y apoyo fue de suma relevancia en esta investigación. A mi compañero Geovanny, cuya colaboración y dedicación fue fundamental en este trabajo. Finalmente, agradezco a mis amigos, compañeros y profesores que fueron parte de esta etapa.

Bryan Andrés Fajardo Moscoso.

Agradezco a mis profesores, a los Ingenieros Jaime Burbano Villavicencio y Carlos Zeas Carrillo, por ser mi guía constante en este trabajo, y, por haber compartido su conocimiento para culminar esta carrera. A mi amigo, y compañero de tesis, Bryan Fajardo Moscoso, quien ha sido un pilar fundamental para el desarrollo de este trabajo, y en la carrera de Ingeniería Electrónica. A mis padres, hermanas y familia por su guía y apoyo continuo. Y a mis amigos, por su valioso tiempo que me han dedicado.

Geovanny Alejandro Peñafiel Aguirre.

## **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BAJO COSTO ORIENTADO A LA MEDICIÓN DE RUIDO Y MATERIAL PARTICULADO.**

El crecimiento del parque automotor y las actividades industriales, han incrementado la contaminación acústica y material particulado (MP). Aunque las mediciones tradicionales usan sensores certificados y precisos, su alto coste dificulta su despliegue a gran escala. En ese sentido, este estudio propone el uso de sensores de bajo costo como alternativa a los modelos establecidos. Para demostrar su viabilidad, se han comparado y validado cinco dispositivos: INMP441 y SPH0645LM4H (ruido ambiental); y HPM115C0-004, PMS5003 y SPS30 (MP), entre el mismo y diferentes fabricantes. Las mediciones recolectadas fueron calibradas por métodos de regresiones simples y multivariantes, redes neuronales y Random Forest, para luego ser evaluadas en un ambiente realista. Los resultados demostraron un mejor rendimiento del micrófono INMP441, con una variabilidad menor a 1 dB(A), mientras, la precisión de los sensores de MP mejoró con el modelo de Random Forest, caracterizando las concentraciones con un margen de error inferior a  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Palabras clave:** Ruido ambiental, Material particulado, Monitoreo ambiental, Sensores de bajo costo, Validación y calibración.

## DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A LOW-COST SYSTEM TARGETED TO THE MEASUREMENT OF NOISE AND PARTICULATE MATTER.

The growth of automobiles and industrial activities has increased noise pollution and particulate matter (PM). Although, traditional monitoring use certified and accurate sensors, their high cost makes it difficult to use them in a large scale. In that sense, this study proposes the use of low-cost sensors as an alternative to the established models. To demonstrate their feasibility, five devices have been compared and validated: INMP441 and SPH0645LM4H (environmental noise); and HPMA115C0-004, PMS5003 and SPS30 (PM), from the same and different manufacturers. The collected measurements were calibrated by simple and multivariate regression methods, neural networks and Random Forest, and then evaluated in a realistic environment. The results showed a better performance of the INMP441 microphone, with a variability of less than 1 dB(A), while the accuracy of the MP sensors improved with the Random Forest model, characterizing the concentrations with a margin of error of less than  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Keywords:** Environmental noise, Particulate matter, Environmental monitoring, Low-cost sensors, Validation and calibration.