



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Implementación de arquitecturas de despliegue remoto de firmware para optimizar la
operatividad de redes de sensores inalámbricos**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor:

Mateo Francisco Estévez Vélez

Director:

Ing. Jaime Sebastián Burbano Villavicencio, Mgt.

CUENCA, ECUADOR

2025

DEDICATORIA

A mis padres Catalina y Fernando, quienes me inculcaron los valores fundamentales que me han permitido ser quien soy. Ustedes me enseñaron la importancia de la responsabilidad y cultivaron en mí un profundo sentido de la curiosidad.

A mi querida hermana Andrea, por su apoyo constante, cariño incondicional y por ser siempre un ejemplo a seguir. A mis abuelitos Rodrigo y Laura, Fausto y Leonor, a quienes llevo siempre en mi corazón, por su cariño inigualable y por sus enseñanzas que me han marcado profundamente.

A mis amigos Nicolás Bárcenas, Paula Abril, Paula Orellana, Diego Aguirre, Evelyn Ochoa, Francisco Gálvez, William Goercke, Berenice Guerrero y Daniela Mendoza, con quienes compartí risas, desafíos y momentos inolvidables que hicieron de esta etapa de mi vida algo realmente especial.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a la Universidad del Azuay por la excelente formación que me ha otorgado y al IERSE por darme la oportunidad de contribuir al desarrollo tecnológico con este trabajo. Mi agradecimiento también a los docentes de la Escuela de Ingeniería Electrónica, por impulsar mi aprendizaje y crecimiento profesional.

Quiero expresar un especial agradecimiento al ingeniero Jaime Burbano, quien aceptó la dirección de este trabajo. Su retroalimentación y guía constante fueron cruciales para la elaboración del mismo. Además, agradezco a los ingenieros Carlos Zeas y Bryan Fajardo por su valioso apoyo, especialmente durante la fase experimental de la investigación.

IMPLEMENTACIÓN DE ARQUITECTURAS DE DESPLIEGUE REMOTO DE FIRMWARE PARA OPTIMIZAR LA OPERATIVIDAD DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS

Las actualizaciones remotas de firmware (*FOTA*) en redes de sensores inalámbricos (*WSN*) favorecen la adaptabilidad y mantenimiento de nodos distribuidos; sin embargo, incrementan el consumo energético, introducen nuevos vectores de ataque y plantean desafíos de escalabilidad. En este trabajo se diseñan e implementan dos arquitecturas *FOTA*: una basada en soluciones comerciales y otra independiente que integra múltiples tecnologías abiertas. Ambas soluciones son puestas a prueba a partir de experimentos que cuantifican su consumo energético y latencias en la comunicación. Con base en los resultados experimentales y tomando en cuenta sus aptitudes en ciberseguridad, escalabilidad y flexibilidad tecnológica, se propone una metodología comparativa fundamentada en el Proceso Analítico Jerárquico (*AHP*). Como resultado, se obtiene un puntaje que cuantifica el impacto de cada arquitectura propuesta sobre la operatividad de una *WSN*, demostrando que la arquitectura independiente supera a la comercial, al presentar menores latencias en la comunicación y un menor consumo energético.

Palabras clave: *FOTA*, *WSN*, *IoT*, *AHP*, Cloudflare, AWS

IMPLEMENTATION OF FOTA ARCHITECTURES TO OPTIMIZE OPERABILITY IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Firmware Over The Air (*FOTA*) updates enhance the adaptability and maintenance of distributed nodes in Wireless Sensor Networks (*WSNs*); however, they also increase energy overheads, introduce new vulnerabilities and present scalability challenges. This study designs and implements two *FOTA* architectures: one based on commercial solutions, and an independent architecture that integrates various open technologies. Both architectures are evaluated through experiments measuring energy consumption and communication latency. Taking the experimental results and each architecture's capabilities in cybersecurity, scalability and technological flexibility into consideration, a comparison methodology using the Analytic Hierarchy Process (*AHP*) is proposed. As a result, a score quantifying the impact of each architecture on a *WSN*'s operability is obtained, demonstrating the superiority of the independent solution over the commercial one by presenting lower energy consumption and reduced communication latency.

Keywords: *FOTA*, *WSN*, *IoT*, *AHP*, Cloudflare, AWS