Optimización del Alcance de Vuelo en Drones Comerciales de 2.4 GHz mediante Antenas Parabólicas Direccionales: Una Innovación para el Monitoreo Ambiental.

Edgar Alfonso Peña Albarracín

Resumen:

La presente ponencia expone una propuesta de innovación tecnológica orientada a optimizar el alcance de vuelo y la estabilidad de la señal en drones comerciales que operan en la frecuencia de 2.4 GHz, específicamente aquellos utilizados para la captura de imágenes RGB con fines de monitoreo ambiental. La investigación se desarrolló en la región del Sumapaz, particularmente en predios del municipio de Fusagasugá, donde se evaluó la posibilidad de mejorar el rendimiento de drones de bajo costo mediante la implementación de antenas parabólicas direccionales en la estación de control. Esta solución técnica responde a una necesidad identificada en contextos educativos, agrícolas y de investigación, donde la adquisición de drones profesionales es costosa y limita el acceso a tecnologías de teledetección y análisis territorial.

El proyecto parte de dos problemáticas centrales: (1) la limitada distancia de vuelo que ofrecen los drones comerciales operando en 2.4 GHz debido a la saturación del espectro y a las restricciones de diseño, y (2) la inestabilidad del enlace entre el dron y la estación de control, lo cual afecta la capacidad de mantener vuelos largos, registrar imágenes continuas y ejecutar misiones de monitoreo ambiental con precisión. Para superar estas limitaciones, se desarrolló una alternativa accesible basada en la conversión de antenas omnidireccionales tradicionales hacia antenas parabólicas unidireccionales, lo que permite concentrar la señal en una sola dirección y aumentar el alcance efectivo.

La propuesta incluyó la construcción y calibración de tres elementos clave: el rediseño de la antena parabólica, el desarrollo de un trípode de orientación que permitiera mantener el foco hacia el dron durante el vuelo, y la elaboración de una aplicación móvil capaz de calcular en tiempo real el ángulo óptimo de inclinación de la antena según la posición relativa de la aeronave. Este enfoque integral permitió no solo aumentar la distancia de vuelo, sino también garantizar la estabilidad del enlace durante las pruebas de campo.

El proceso de investigación contempló varias fases experimentales. Inicialmente se realizó la adaptación física de las antenas, evaluando la influencia de diferentes materiales metálicos y geometrías en la ganancia de señal. Posteriormente se llevaron a cabo vuelos en condiciones reales en predios de Fusagasugá, registrando parámetros como intensidad de señal, distancia máxima alcanzada, estabilidad del enlace y calidad de las imágenes capturadas. Las pruebas permitieron identificar comportamientos específicos del sistema, como la pérdida significativa de señal cuando no existe un foco directo entre la antena parabólica y el dron, lo que confirma la naturaleza altamente direccional del dispositivo.

Uno de los hallazgos relevantes del proyecto fue la relación entre la altura de vuelo y la precisión del índice de vegetación obtenido mediante imágenes RGB. Se evidenció que vuelos por debajo de los 15 m permiten una mayor fidelidad en la interpretación de patrones de vegetación, debido a que la resolución obtenida es más precisa y el nivel de interferencia atmosférica es menor. Esto se constituye en un aporte práctico para quienes deseen aplicar este tipo de tecnologías en monitoreo agrícola o ambiental.

En cuanto al índice de vegetación, se utilizó un método basado en imágenes RGB, lo que representó un reto debido a que estos sensores no capturan información del espectro infrarrojo cercano, esencial para índices como el NDVI. Sin embargo, mediante técnicas alternativas compatibles con cámaras estándar, se logró obtener un indicador útil para el análisis de zonas verdes y la identificación de áreas con diferente nivel de vigor vegetal. La estabilidad de la señal —lograda gracias a la antena parabólica direccional— permitió capturar series de imágenes continuas que facilitaron el análisis posterior.

El desarrollo de la aplicación móvil fue otro componente fundamental del proyecto. Esta herramienta calcula el ángulo óptimo de inclinación de la antena, permitiendo que el operador pueda ajustar la orientación en tiempo

real, incluso en condiciones de variación de distancia o altura del dron. La app, combinada con el trípode, brindó un sistema completo y práctico que mejora la eficiencia operativa del piloto, reduce las pérdidas de señal y contribuye a mantener el foco de la antena durante la misión.

Los resultados generales del proyecto son altamente favorables. Se logró aumentar de manera significativa la estabilidad de la señal y el alcance de vuelo respecto a las capacidades originales del dron comercial utilizado. La implementación de antenas parabólicas permitió mantener un enlace más firme, lo cual redujo las pérdidas de control y mejoró la calidad de los datos capturados. Este avance evidencia que soluciones de bajo costo pueden generar impactos relevantes en proyectos de monitoreo ambiental, especialmente en territorios como la región del Sumapaz, donde la geografía compleja y las distancias amplias representan un desafío para la captura manual de información.

Además, el análisis de materiales y geometrías de las antenas abre la puerta a futuras investigaciones relacionadas con el rendimiento de metales como aluminio, cobre o hierro en el diseño de antenas direccionales. Esta línea de trabajo podría generar aportes adicionales al campo de las telecomunicaciones aplicadas a aeronaves no tripuladas.

En síntesis, la propuesta presentada demuestra que es posible potenciar el uso de drones comerciales mediante innovaciones técnicas accesibles, mejorando su desempeño sin necesidad de recurrir a equipos de alto costo. El proyecto articula electrónica, diseño, programación, pruebas de campo y análisis ambiental, mostrando un enfoque interdisciplinario que puede replicarse en instituciones educativas, proyectos comunitarios y sistemas de monitoreo ambiental.

La experiencia evidencia que la democratización tecnológica no depende únicamente de la disponibilidad de recursos económicos, sino también de la creatividad, el ingenio y la capacidad de adaptar tecnologías existentes a las necesidades del territorio.

Palabras clave:

Drones, Antenas direccionales, Monitoreo ambiental, 2.4 GHz

Conclusiones:

La conversión de antenas omnidireccionales a antenas parabólicas direccionales demostró ser una estrategia efectiva para aumentar el alcance de vuelo y mejorar la estabilidad del enlace en drones comerciales que operan en la frecuencia de 2.4 GHz. Esta modificación técnica de bajo costo ofrece mejoras significativas sin necesidad de adquirir equipos profesionales de alto valor económico.

La estabilidad de la señal depende de manera crítica del foco directo entre la antena parabólica y el dron. Cuando se pierde dicha alineación, el enlace presenta inestabilidad, lo que confirma la naturaleza altamente direccional del sistema y la importancia de mantener un seguimiento constante durante el vuelo.

Las pruebas evidenciaron que vuelos por debajo de los 15 metros permiten obtener imágenes RGB con mayor precisión para el cálculo del índice de vegetación. Esta relación entre altura y calidad de datos es fundamental para optimizar el monitoreo ambiental, especialmente en predios rurales y periurbanos.

El desarrollo del trípode de soporte y la aplicación móvil para calcular el ángulo óptimo de orientación fortalecen la operatividad del sistema y facilitan el trabajo del piloto durante las misiones de vuelo. Estas herramientas complementarias contribuyen a asegurar un enfoque constante y a maximizar la eficiencia del enlace direccional.

El proyecto demuestra que la innovación técnica aplicada a drones de uso comercial puede democratizar el acceso a tecnologías de teledetección y análisis ambiental. Esto resulta especialmente valioso para instituciones educativas, comunidades rurales y proyectos de investigación con recursos limitados.

Los hallazgos abren nuevas posibilidades de investigación, particularmente en el análisis comparativo del rendimiento de distintos metales y geometrías en antenas parabólicas. Este campo puede generar desarrollos adicionales en telecomunicaciones aplicadas a aeronaves no tripuladas.

Bibliografía:

Aldana, J. F., & Sánchez, P. (2020). Aplicaciones de drones en agricultura de precisión: revisión y perspectivas futuras. Revista Colombiana de Tecnología Agropecuaria, 12(2), 45–58.

Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., & Fereres, E. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47(3), 722–738. https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2010457

Bogdan, M., & Ciochina, S. (2022). Antenna design and optimization for wireless communication systems. Springer.

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79–97. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013

González, E., & Rojas, C. (2019). Fundamentos de radiofrecuencia y sistemas de telecomunicaciones inalámbricas. Ediciones UTP.

Jensen, J. R. (2015). Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (4th ed.). Pearson.

Khan, R., & Smith, L. (2021). Performance analysis of 2.4 GHz communication links for UAV applications. Journal of Wireless Systems Engineering, 9(1), 33–48.

Molina, C., & Vargas, D. (2021). Diseño y análisis de antenas parabólicas para sistemas de comunicación. Editorial Académica Española.

Pix4D. (2020). Vegetation indices using RGB imagery: Technical guide. Pix4D Publications.

Sánchez, A., & Duarte, O. (2018). Evaluación de enlaces inalámbricos en UAV para misiones de monitoreo ambiental. Ingeniería y Desarrollo, 36(2), 50–63. https://doi.org/10.14482/inde.36.2.8982

Taddei, A., & Silva, L. (2019). Drones y teledetección ambiental: principios, métodos y aplicaciones. Universidad de São Paulo Press.

