

# Implementación de un sistema de comunicación y videovigilancia integrado en un UAV para misiones estratégicas

*Implementation of a video surveillance communication system integrated in a UAV for strategic missions*

Franklin Salazar-Logroño, Carla Chávez-Fuentes, María Sofía Martínez-García y Ángel de Castro  
Universidad Autónoma de Madrid (Madrid)

DOI: <https://doi.org/10.6036/10886>

## 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología de los sistemas de vehículos aéreos conocidos como unmanned aerial vehicle (UAV), ha tenido un desarrollo generalizado en los últimos años, debido a sus amplias aplicaciones militares o civiles por la integración de inteligencia artificial y realidad virtual. Estos sistemas reciben la información del medio en el que se encuentran para operar de forma independiente y autónoma [1]. En Ecuador, la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), se encarga del desarrollo de tecnología en el campo de la aviación, participando activamente en actividades militares de protección interna o externa del estado, ocasionados por el tráfico de drogas y de combustible, entre otros. Por esto, es de vital importancia desplegar UAV's, para el apoyo aéreo de las fuerzas militares con la finalidad de garantizar la seguridad del país. Estos UAV's necesitan un sistema completo de detección, control y comunicaciones de largo alcance que permita una generación de información y una recopilación de datos de forma efectiva [2].

El Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE), ha contribuido con la creación de varios UAV's, en los que destacan los UAV's, FENIX y GAVILAN. Ambos UAV's disponen de sistemas electroópticos para la recopilación de información lo que permite su uso en el control de fronteras y desastres naturales [3]. El UAV Colibrí es el único UAV que equipa un sistema de video remoto para misiones de vigilancia, sin embargo, se ve limitado a un alcance máximo de 4 km [4]. El Grupo de Monitoreo y Reconoci-

miento Electrónico Conjunto (GMREC) del CIDFAE, dispone de plataformas tipo UAV y drones para el reconocimiento de mediano y largo alcance, el UAV Inspire 2 y el UAV Alti son algunos de ellos que cuentan con un sistema de comunicación y un sensor óptico de visión diurna y nocturna [3]. La FAE cuenta con el DRON MATRICE 100, que es la única aeronave dentro de la categoría MINI, usado para la generación de cartografía y proyectos de fotometría [5]. Este tipo de UAV's son mayormente usados para el monitoreo, apoyo a la gestión de riesgos y reconocimientos militares en zonas de difícil acceso con una mayor eficiencia y reducción de costos operativos [3].

Los sistemas UAV comerciales y militares que tiene la FAE tienen un costo que va desde los 20.000 hasta 360.000 dólares, lo que representa una gran barrera para su adquisición para las instituciones académicas y de investigación cuyos recursos económicos son limitados [3]. Muchos sistemas comerciales tienen plataformas cerradas que no permiten usarlos como banco de pruebas ni poder, evaluar los protocolos de comunicación para que sean más fiables y mejorar así el alcance de estas naves [6]. La carencia de un diseño específico para cada uno de los diferentes tipos de UAV, se ha vuelto un gran problema ya que el diseño de estos está relacionado directamente con el uso del UAV [7]. Para evaluar el correcto funcionamiento de un UAV es necesario realizar un análisis de correlación de variables de comunicación del UAV. El análisis del rendimiento de transmisión de los UAV comerciales se realiza con la evaluación de protocolos básicos de enrutamiento como DSR, AODV, OLSR y GRP que se disponen normalmente en el UAV [8].

La presente investigación tiene por objetivo diseñar e implementar un sistema de comunicación de telemetría y videovigilancia en un dron no comercial de

categoría MINI, cuyo diseño y construcción parte desde cero y se utilizará para aplicaciones de monitoreo. El sistema de comunicación diseñado es adaptable a hardware y software libre mediante una comunicación de doble bandas en frecuencias de 915MHz y los 2,4GHz para la transmisión de datos de telemetría y de video [9]. Uno de los puntos más relevantes para la implementación del sistema de comunicación del UAV, es su adecuado dimensionado. La implementación de un sistema de comunicación para el control adecuado del UAV, así como la obtención de imágenes de video de alta definición permitirá establecer las bases para el diseño y construcción de futuras aeronaves de bajo costo para aplicaciones militares que realiza el CIDFAE.

El artículo se estructura de la siguiente manera: en la sección dos se presenta una conceptualización del diseño del sistema de comunicación del UAV, y la transmisión de videovigilancia equipada en el UAV. En la sección tres se presentan los diferentes resultados de las pruebas obtenidos con el sistema de video vigilancia. Por último, en la sección cuatro se presenta las conclusiones alcanzadas en el desarrollo de la investigación.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE AERONAVES NO TRIPULADAS (UAV)

Por lo general el sistema de comunicaciones, consta de tres enlaces llamados: interfaz de control, interfaz de datos e interfaz de video. La mayor cantidad de componentes de alta precisión se encuentra en el UAV, es decir la estación en aire, permitiendo lograr un control adecuado del vuelo. La interfaz de control, la interfaz de datos y la interfaz de video, son totalmente independientes. La estación en tierra es la encargada de enviar los órdenes que deberán ser analizadas y ejecutadas por el UAV con una baja latencia, mediante un mando que se enlaza de forma independiente al autopiloto. En este sentido el UAV, es el encargado de ejecutar la configuración en tiempo real para mantener un vuelo adecuado [6], [9].

## 2.2 SOFTWARE DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL

El software de planificación y control es la parte central del control en tierra del sistema de comunicación del UAV. Los UAV's comerciales ofrecen paquetes propietarios de planificación y control, sin embargo, existen software de código abierto que permiten modificar el código fuente para crear nuevas funcionalidades [10]. El protocolo Micro Air Vehicle Link, (MAVlink) es uno de los softwares de planificación más usados en el área civil. La estructura de la trama enviada por el protocolo MAVLink se basa en los estándares CAN Bus y SAE AS-4. La trama de datos del protocolo MAVLink está compuesta por la cabecera el payload y el checksum. La aplicación de protocolos ligeros como el protocolo MAVlink con un máximo de trama de 263 bytes, hace de este enlaces robusto, para el vuelo de una plataforma UAV, permitiendo integrar sistemas de transmisión de video para aplicaciones de video vigilancia [10], [11].

## 2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Para el diseño del sistema de comunicación se utilizan los elementos de transmisión y recepción de la interfaz de control, la interfaz de datos y la interfaz de video. Un punto importante es la selección de la frecuencia de operación para cada uno de los enlaces. La correcta selección de los dispositivos para enviar y recibir datos de telemetría y control, así como video será uno de los principales puntos de partida para el diseño del sistema de comunicación.

En la Figura 1, se presenta la metodología propuesta para establecer los enlaces del sistema de comunicación. El diseño del sistema de telemetría contempla el enlace de comunicación de la interfaz de control y la interfaz de datos. Por otro lado, se realiza el diseño para el sistema de video, ya que es independiente del sistema de telemetría. La validación de los sistemas diseñados se realiza con la implementación de estos en la estación aire (UAV) y la estación de control en tierra.

## 2.4 DISEÑO DEL ENLACE DE SISTEMA DE TELEMETRÍA

### 2.4.1 SELECCIÓN DE LA FRECUENCIA DE OPERACIÓN

Ecuador cuenta con bandas de uso libre como la frecuencia de operación de 915 MHz, la cual se considera de mayor alcance para enviar y recibir datos en las

plataformas UAV a pesar de los diferentes obstáculos presentes en la trayectoria [3].

### 2.4.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA

Para la selección de los equipos se evaluaron varias alternativas tomando en cuenta características específicas para cada uno de los elementos las cuales destacan: costo de los equipos, dimensiones, peso, rango de medición, exactitud, facilidad de configuración y compatibilidad con la plataforma. Los equipos seleccionados y sus principales características se detallan a continuación:

#### Autopiloto

Una de las principales características que se ha considerado es que sea un sistema de hardware abierto [10], como también las dimensiones, peso y costo fueron relevantes para la selección del controlador de vuelo Pixhawk 2.1, el mismo que trata de un piloto automático flexible usado en la fabricación de UAV comerciales [12]. **Módulo de Tx y Rx de telemetría**

Los módulos de Telemetría (transmisor y receptor de datos para aire y tierra) permiten conectarse a un controlador de vuelo, computadora portátil o tableta [13]. El modelo 3DR, es el que más se adapta a las especificaciones del UAV desarrollado [14].

#### GPS

El módulo de GPS permite obtener de forma precisa el posicionamiento de un objeto mediante protocolos de comunicación que puedes ser modificables, con respaldo de la información en una memoria RAM [15]. El GPS Radio Link M8N SE100, posee una interfaz DC (I<sup>2</sup>C compatible) que proporciona conectividad y permite una sinergia con la mayoría de los módulos de comunicación [16].

#### Sensor de velocidad del aire

Los sensores de velocidad del aire son capaces entregar la altitud y proveer dicha

PARÁMETRO	VALOR
PRx (dBm)	10
PTx (dBm)	20
Lc Tx (dB)	0.25
GTx (dBi)	2.5
GRx (dBi)	3
Lc Rx (dB)	0.25
Sensibilidad en el receptor	-117 dBm
Frecuencia de operación	915 MHz - 0.915 GHz

Tabla 1: Parámetros de potencia para el cálculo de la fiabilidad del enlace

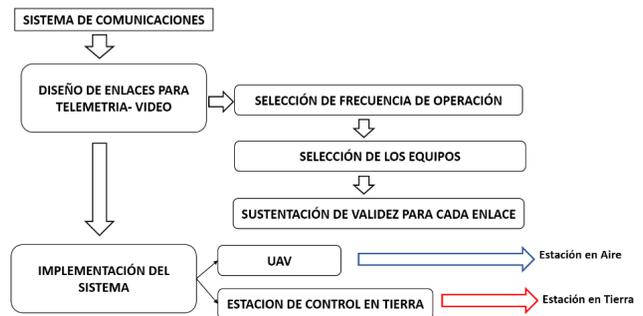


Figura 1 Diagrama de flujo para el diseño del sistema de comunicación.

información para el autopiloto, esta información es indispensable para misiones de largo alcance. El sensor de velocidad de aire digital Holybro para controlador de vuelo Pixhawk dispone de compensaciones en la salida radiométrica del sensor de velocidad de aire, por lo que es ideal para el desarrollo del prototipo [17].

### 2.4.3. VALIDACIÓN DEL ENLACE DE TELEMETRÍA

Para la validación del sistema es necesario calcular el balance de potencia y así poder conocer las pérdidas del transmisor y el receptor en espacio libre [10]. En la Tabla I, se presenta los parámetros determinados para realizar el cálculo de la viabilidad de la correlación de telemetría del sistema propuesto.

Primero, la pérdida de espacio libre se calcula en base a la frecuencia de operación de 915 MHz y la distancia mínima de 2 km que separa el UAV de la estación de control en tierra, eq. 1 [18]:

$$PEL (dB) = 92.4 + 20 \text{ Log}(f) + 20 \text{ Log}(d) \quad (1)$$

Dónde:

f = Frecuencia de operación (GHz)

d = Distancia entre UAV y la estación de control en tierra (km)

Sí f = 915 MHz y d = 2 Km

Entonces reemplazando al eq. 1, se obtiene:

$$PEL (dB) = 92.4 + 20 \text{ Log}(0.915 \text{ GHz}) + 20 \text{ Log}(2 \text{ km})$$

$$PEL (dB) = 97.64 \approx 98$$

La viabilidad del enlace se calcula con la eq. 2 [18].

$$PRx (dBm) = PTx (dBm) - Lc Tx (dB) + GTx (dBi) - PEL (dB) + GRx (dBi) - Lc Rx (dB) \quad (2)$$

Dónde:

PRx (dBm) = Potencia de Recepción

PTx (dBm) = Potencia del Transmisor

Lc Tx (dB) = Pérdidas en el Transmisor (Cables y Conectores)

GTx (dBi) = Ganancia de la antena Transmisora

PEL (dB) = Pérdida en el Espacio Libre

GRx (dBi) = Ganancia de la antena Receptora

Lc Rx (dB) = Pérdidas en el Receptor (Cables y Conectores)

Obteniendo:

$$PRx(dBm) = -73 (dBm)$$

Para que el enlace sea viable la potencia que llega a la estación de control tiene que ser mayor.

$$PRx(dBm) > S(dBm)$$

$$-73 (dBm) > -117 (dBm)$$

Donde:

$PRx$  = Potencia de Recepción

$S$  = Sensibilidad del receptor

Remplazando los valores obtenidos en el margen del enlace eq. 3 se obtiene [33] [35]:

$$M = PRx(dBm) - S(dBm) \quad (3)$$

$$M = 44 (dBm)$$

$$44 dBm > 10 dBm$$

La viabilidad del enlace es adecuada porque es mayor que el mínimo considerado, esto quiere decir que la señal del receptor se enviará a la estación de control de tierra.

## 2.5 DISEÑO DEL ENLACE DEL SISTEMA DE VIDEO

### 2.5.1 SELECCIÓN DE LA FRECUENCIA DE OPERACIÓN

La frecuencia a la cual va a operar el enlace de video puede ser de 2.4 GHz y 5.8 GHz debido a que estas son de uso libre en Ecuador [3]. Para la elección de la frecuencia también se toma en cuenta los espectros de radiación de las antenas de los equipos que forman parte del sistema de video para evitar interferencias por este motivo se selecciona el rango de frecuencia de 2.4 GHz.

### 2.5.2 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE VIDEO

El sistema de video propuesto en el UAV se encuentra compuesto de:

- Cámara de video FPV
- Transmisor de video
- Antena de transmisión
- Receptor de video

Los equipos seleccionados para el enlace de video y sus principales características se detallan a continuación:

#### Cámara de Video FPV

Para la elección adecuada de la cámara se analizaron parámetros como la calidad del video, el costo y el peso, ya que actualmente existen varias cámaras en el mercado que proporcionan imágenes de buena calidad en tiempo real como la Go-

Pro Hero 6 [19]. La GoPro Hero 6, es capaz de grabar a resolución 3840 x 2160 píxeles (4K) y 60 fps, lo que hacen que proporcione una imagen adecuada.

#### Transmisor de Video y Antena de transmisión

La selección del sistema de transmisión y la antena se realiza al evaluar aspectos como: compatibilidad con la cámara, voltajes de alimentación e interfaz de conexión. Dentro de la variedad de sistemas de transmisión de video, el único sistema de transmisión del mercado que es compatible con la interfaz de comunicación, y el rango de frecuencia seleccionado es el Hex Aero Herelink Air Unit (V1.1) [13].

#### Receptor de Video

La frecuencia de trabajo, el tipo de modulación, las interfaces de entrada y salida, la distancia de transmisión, el voltaje de alimentación fueron los puntos más relevantes para su selección. El equipo receptor Herelink es óptimo, ya que mediante Hotspot permite compartir su imagen con otras pantallas conectadas a una misma red, así mismo, permite configurar como control remoto para radio control [13].

### 2.5.3. VALIDEZ DEL ENLACE DE VIDEO

Según información del CIDFAE, en la actualidad no se ha logrado mantener la transmisión estable de video en UAV's de la categoría MINI a más de 3.5 km. Por esto se requiere determinar la viabilidad del enlace con una distancia mínima de 4 km.

Usando la metodología de cálculo de la subsección 2.4.3 se realiza los cálculos correspondientes del enlace de video, para diferentes distancias. Remplazando los datos en las ecuaciones (1), (2) y (3) se obtiene los resultados presentados en la tabla II.

Se puede observar que, para una distancia de 4 km, existió un margen de enlace de 22 dBm, es decir que la recepción de video es adecuada, debido a que el mínimo margen de enlace es aproximadamente 10 dBm y se encuentra dentro del rango estable para cumplir con el objetivo de mantener la recepción de video a más de 3.5 km requerimiento extendido por el CIDFAE en la transmisión de video.

## 2.6. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN EN EL UAV PARA RECEPCIÓN DE VIDEO VIGILANCIA.

En la figura 2, se presenta el diagrama de conexiones de todos los equipos in-

Distancia (km)	PRx (dBm)	M (dBm)
1	-65	34
2	-71	28
3	-74	25
4	-77	22
8	-83	16
12	-87	12
16	-89	10

Tabla II: Margen de enlace para distintas distancias.

corporados en la aeronave. El sistema de telemetría, así como el sistema de transmisión de video se realizan de forma independiente en base al diseño y la validación de cada uno de los enlaces.

A continuación se realiza la calibración de los sensores mediante el software de planificación y control Mission Planner. Los datos del GPS unblox y el sensor de velocidad de aire Holybro se envían mediante comunicación I<sup>2</sup>C. El Micropiloto recibe los datos y los envía hacia la estación de control de tierra mediante el módulo transmisor de telemetría conectados a los puertos UART, "Telem1 o Telem2".

Una vez realizada la conexión de los equipos se procedió a realizar las pruebas de funcionamiento donde el transmisor de video del UAV y el receptor de video del sistema ubicado en la estación tierra necesitaron sintonizarse a la misma frecuencia de 2.4 GHz. El objetivo de esta prueba tuvo como fin verificar el video emitido por la cámara ubicada en el UAV, y que sea visualizado en el control Herelink ubicado en la Estación de Tierra, sin perder la calidad, ni señal de la transmisión.

## 3. RESULTADOS

Las pruebas de vuelo para el análisis del funcionamiento del sistema de telemetría y video vigilancia se realizaron en el Aeropuerto Regional Chachoán de la ciudad de Ambato con la supervisión del personal del CIDFAE, Figura 3.

Consistieron en el monitoreo de la señal de recepción de la señal de telemetría y de video a medida que el UAV se aleja del control Herelink ubicado en la estación tierra. En la tabla III, se muestran los resultados de la potencia de recepción para

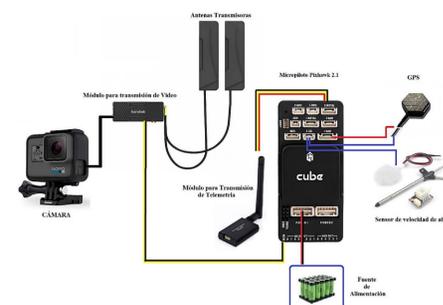


Figura 2 Conexión de los elementos de la estación aire, UAV.



Figura 3 Pruebas de vuelo.

la señal de video en el equipo Herelink a una frecuencia de 2.4 GHz con la ubicación de las antenas de forma vertical, que permitieron la reducción de los picos en las señales de transmisión y recepción.

Como se puede apreciar en la tabla III, el margen de enlace conseguido en las mediciones reales a una distancia de 5 km es de 17.87dBm lo que indica una señal de video adecuada para el sistema de monitoreo. El error relativo promedio obtenido entre la señal calculada y medida fue de 3.9%. Así mismo la calidad de imagen obtenida por el sistema de video vigilancia instalado en el UAV, medida mediante en nivel de SNR, se obtuvo un valor de SNR de 23% a una distancia de 0.5Km, y una señal a ruido 5% a una distancia mayor a 5km, entregando una imagen de 2048 píxeles, y una velocidad de cuadro por segundos de 120 fps de poca calidad, pero que aún permite reconocer varios objetos a pesar de la presencia de ruido.

### 7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El sistema de comunicación implementado es compatible con hardware y software de código abierto. Basado en especificaciones de transmisor y receptor de bandas disponibles en el Ecuador para operación de UAV's, las mismas que son de 915Mhz para radiofrecuencia y de 2.4Ghz para transmisión de video.

El sistema de comunicación implementado en un UAV no comercial para la

trasmisión de video de alta calidad, que se puede aplicar en misiones de monitoreos, se validó mediante su implementación y las pruebas de campo realizadas en condiciones reales de vuelo.

Una vez seleccionados los diferentes equipos para la transmisión del enlace de telemetría y de video, desde el UAV hasta la estación tierra, se ha realizado la validación de los enlaces tanto de forma teórica como posteriormente en varias pruebas de vuelo reales realizadas en el aeropuerto del CIDFAE.

Su adecuada selección permitió alcanzar una distancia aproximada de 5km. Así mismo, el diseño de enlace de video con los elementos seleccionados sobre una frecuencia de 2.4GHz, permite tener un margen de recepción de 22dBm a una distancia de 4 km.

Este trabajo ha permitido superar el rango de distancia de los vuelos realizados con diferentes UAV's, en el CIDFAE. Tomando en cuenta que las frecuencias seleccionadas para los enlaces de telemetría y de video están demasiado alejadas, se reduce el problema de transmisión por solapamiento de bandas. Mediante las pruebas de vuelo se analizó el comportamiento de los niveles de señal SNR del enlace de video recibido en la estación de control por parte del dispositivo Herelink. El valor SNR de 23%, recibido a 0.5km, muestra una calidad estable mientras que el SNR de 5 recibido a una distancia de 5km representa una señal con mayor ruido.

### REFERENCIAS

[1] P. Fraga-Lamas, L. Ramos, V. Mondéjar-Guerra, and T. M. Fernández-Caramés, "A review on IoT deep learning UAV systems for autonomous obstacle detection and collision avoidance," Remote Sensing, vol. 11, no. 18, p. 2144, 2019.

[2] FAE, "Centro de Investigación y Desarrollo FAE - CIDFAE," FUERZA AÉREA ECUATORIANA, 2010.

[3] P. B. Montoya and R. V. Briones, "Empleo de los UAV, en operaciones de seguridad y vigilancia en las áreas estratégicas en el Ecuador," Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa, vol. 4, no. 4, pp. 15-15, 2019.

[4] R. E. Simbaña Quishpe and M. C. Uquillas Torres, "Análisis comparativo de tecnologías de

comunicaciones aplicadas a vehículos aéreos no tripulados (UAV)," 2016.

[5] J. F. Carvajal Figueroa and L. C. Chuquisala Satián, "Diseño e implementación de un sistema autónomo de seguimiento de características," Quito, 2015., 2015.

[6] R. Belal, "Analysis, estimation and prediction of fading for a time-variant UAV-ground control station wireless channel for cognitive communications," 2015.

[7] H. D. Guerra Campoverde, "Desarrollo de un sistema de comunicaciones en la banda UHF y SHF para un vehículo aéreo no tripulado de ala fija para el monitoreo de los humedales Pugllohuma y Jatunhuaycu en las inmediaciones del volcán Antisana," Quito, 2020., 2020.

[8] T. Yu, S. Imada, K. Araki, and K. Sakaguchi, "Multi-UAV full-duplex communication systems for joint video transmission and flight control," in 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 2021, pp. 1423-1428.

[9] Z. Lingyun, Z. Xiaotong, G. Xin, S. Enbin, Z. Xin, and S. Qingjiang, "Robust trajectory planning for UAV communication systems in the presence of jammers," Chinese Journal of Aeronautics, vol. 35, no. 10, pp. 265-274, 2022.

[10] E. Ebeid, M. Skriver, K. H. Terkildsen, K. Jensen, and U. P. Schultz, "A survey of open-source UAV flight controllers and flight simulators," Microprocessors and Microsystems, vol. 61, pp. 11-20, 2018.

[11] J. P. Patiño, "Control de drones basado en MAVlink para la plataforma Eyes of Things," Castilla: Universidad de Castilla, 2016.

[12] J. P. 4, "PX4 User Guide." .

[13] X-DRON, Herlink drone flight controller hardware wiring diagram. 2022.

[14] Erle-Brain, "robots.ros.org." 2022.

[15] G. Balamurugan, J. Valarmathi, and V. Naidu, "Survey on UAV navigation in GPS denied environments," in 2016 International conference on signal processing, communication, power and embedded system (SCOPEs), 2016, pp. 198-204.

[16] M. A. Moreira, "LITEBEE RadioLink M8N GPS SE100 con Supporto e Antenna per PIX PX4 Pixhawk APM Controllore di Volo FPV Racing RC Drone Quadcopter byde Maturana," Ciência & Educação (Bauru), vol. 10, no. 3, pp. 597-606, 2004.

[17] U. T. SL, "Holybro Módulo Telemetría SiK V3 915Mhz 100mW PX4 - Pixhawk - Ardupilot | SKU 17023." 2022.

[18] V. K. Guevara Balarezo, "Diseño e implementación de un sistema de telemetría y video para vehículos aéreos no tripulados (UAVS)," Quito, 2019., 2019.

[19] GOPRO, HERO 6 USER MANUAL. San Mateo CA 94402 | GoPro GmbH, Floessergasse2, 81369 Munich, Germany: JOIN THE GOPRO MOVEMENT, 2017.

### AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Investigación y Desarrollo, DIDE, de la Universidad Técnica de Ambato por su especial ayuda al proyecto "PLATAFORMA DE GESTIÓN DE CARGA INALÁMBRICA PARA DRONES USANDO ENERGÍA LIMPIA, PARA EL MONITOREO DEL CAMPUS HUACHI DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO". Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Comunidad de Madrid (España) bajo el Acuerdo Multianual con la Universidad Autónoma de Madrid en la línea de la Excelencia del Profesorado Universitario dentro del V PRICIT (Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica).

Frecuencia [GHz]	Distancia [km]	PRx [dBm] Calculada	M [dBm] Calculada	PRx [dBm] Real	M [dBm] Real	SNR
2.4	0.5	-58.80	40.20	-62.44	37.88	23
2.4	1	-65.02	34.02	-67.15	30.78	19
2.4	1.5	-68.52	30.48	-70.53	28.32	16
2.4	2	-71.21	27.79	-73.09	26.11	13
2.4	2.5	-72.96	26.04	-75.72	22.77	10
2.4	3	-74.54	24.46	-78.08	21.89	8
2.4	3.5	-75.88	23.12	-79.32	20.18	6
2.4	4	-77.42	21.58	-80.56	17.44	5
2.4	4.5	-78.06	20.94	-81.89	17.11	5
2.4	5	-78.98	20.02	-82.32	17.87	5
2.4	5.5	-79.81	19.19	-82.67	16.43	5
2.4	6	-80.56	18.44	-83.94	16.58	3
2.4	6.5	-81.26	17.74	-84.86	15.04	3
2.4	7	-81.91	17.09	-85.39	14.47	2

Tabla III: Potencia de Señal de Video recibida con frecuencia de 2.4GHz.