

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

### MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES

---

**Tema:** “Sistemas de comunicación air-to-air para trabajo colaborativo de drones en zonas rurales”.

---

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

Magister en Telecomunicaciones

Modalidad de titulación artículo profesional de alto nivel

**Autor:** Ingeniero, Fernando Sebastián Caicedo Altamirano

**Director:** Ingeniero, Hugo Oswaldo Moreno Avilés, PhD.

Ambato - Ecuador

2021

## **APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Magíster e integrado por los señores: Ingeniero Carlos Diego Gordón Gallegos PhD, Ingeniero Geovanni Danilo Brito Moncayo Magíster, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Sistemas de comunicación air-to-air para trabajo colaborativo de drones en zonas rurales”, elaborado y presentado por el señor Ingeniero Fernando Sebastián Caicedo Altamirano, para optar por el Grado Académico de Magister en Telecomunicaciones; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

---

Ing. Carlos Diego Gordón Gallegos, PhD.

Miembro del Tribunal de Defensa

---

Ing. Geovanni Danilo Brito Moncayo

Miembro del Tribunal de Defensa

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “Sistema de comunicación air-to-air para trabajo colaborativo de drones en zonas rurales”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Fernando Sebastián Caicedo Altamirano bajo la Dirección del Ingeniero Hugo Oswaldo Moreno Avilés, PhD., Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. Fernando Sebastián Caicedo Altamirano

**AUTOR**

---

Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés, PhD.

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. Fernando Sebastián Caicedo Altamirano

CI: 180393502-0

## INDICE GENERAL

### Contenidos

PORTADA .....	1
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
INDICE GENERAL .....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	ix
DEDICATORIA.....	x
RESUMEN EJECUTIVO .....	xi
EXECUTIVE SUMMARY .....	xii
1. CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1    Introducción.....	1
1.2    Justificación.....	3
1.3    Objetivos: .....	4
1.3.1    Objetivos General: .....	4
1.3.2    Objetivos Específicos: .....	4
2    CAPÍTULO II.....	5
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	5
2.1    Marco Teórico .....	5
2.1.1    Sistema de Comunicación .....	5
2.1.2    Radio Definida por Software SDR.....	5
2.1.3    Periférico Universal de Radio por Software.....	2
3    CAPÍTULO III .....	3
MARCO METODOLÓGICO .....	3
3.1    Ubicación .....	3
3.2    Equipos y materiales.....	3
3.3    Tipo de investigación.....	5
3.3.1    Investigación aplicada.....	5
3.3.2    Investigación bibliográfica .....	5
3.3.3    Investigación de campo .....	5
3.4    Recolección de Información.....	5
3.5    Procesamiento de la información y análisis estadístico:.....	6
4    CAPÍTULO IV .....	14

RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	14
4.1    Resultados: .....	14
4.2    Discusión:.....	16
5    CAPÍTULO V .....	18
CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFÍA .....	18
5.1    Conclusiones: .....	18
5.2    Bibliografía:.....	18
CARTA DE ACEPTACIÓN ARTÍCULO .....	21
CERTIFICACIÓN DE COPYRIGHT .....	22
ARTÍCULO CIENTÍFICO .....	26
MATRIZ POINT TO POINT.....	44
1.1    SUGERENCIAS REVISORES:.....	44
1.2    MATRIZ SUGERENCIAS .....	45

## INDICE DE FIGURAS

Tabla 1 Comparación de Software para configuración de USRP .....	4
--	---

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Diagrama de equipos del sistema de comunicación propuesto. ....	5
Fig. 2 Bloque de configuración de la USRP en el transmisor .....	6
Fig. 3 Bloque de configuración de la USRP en el transmisor. ....	7
Fig. 4 Bloque de entramado y codificación de datos. ....	7
Fig. 5 Estructura de trama de datos.....	8
Fig. 6 Bloque de datos formado por la cabecera, datos y cola. ....	8
Fig. 7 Bloque de modulación QAM.....	8
Fig. 8 Bloque de parámetros de demodulación y secuencia de bits de pseudo ruido Galois (PN).....	9
Fig. 9 Bloque de coeficientes de filtro y sincronismo para el demodulador QAM..	10
Fig. 10 Bloque de configuración del diagrama de constelación y diagrama del ojo	10
Fig. 11 Bloque de desconcatenación y selección de datos válidos.....	11
Fig. 12 Pruebas de funcionamiento en laboratorio con antena log periódica.....	11
Fig. 13 Pruebas de funcionamiento en laboratorio con antena log periódica y dron en funcionamiento. ....	12
Fig. 14 Pruebas de funcionamiento en laboratorio con antena log periódica y dron Matrice 600 en funcionamiento. ....	12
Fig. 15 Pruebas de funcionamiento en campo abierto con dron Matrice 600. ....	13
Fig. 16 a) USRP y antena montada en dron Matrice 600 b) Dron en vuelo para pruebas de funcionamiento en campo en zona rural. ....	13
Fig. 17 GUI del receptor en funcionamiento.....	14
Fig. 18 Resultado de las pruebas de funcionamiento en ambiente de laboratorio....	15
Fig. 19 Resultado de las pruebas de funcionamiento en campo con el dron Matrice 600.....	15
Fig. 20 Relación de resultados obtenidos en las diferentes pruebas de funcionamiento realizadas tanto en ambiente de laboratorio como en campo.....	16

## **AGRADECIMIENTO**

A toda mi familia por estar pendiente de mí y mi hijo, e incentivarme cada día a seguir adelante con todos los propósitos que me he puesto tanto en el ámbito personal como laboral.

*Fernando*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a mi hijo, por ser el motivo de mi esfuerzo constante de superación.

A mi esposa por su constante apoyo y acompañamiento en todas las etapas de este proceso de aprendizaje.

A mis padres por inculcarme el valor de la educación y superación y ser un ejemplo a seguir en todas las etapas de mi vida.

*Fernando*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

SISTEMA DE COMUNICACIÓN AIR-TO-AIR PARA TRABAJO  
COLABORATIVO DE DRONES EN ZONAS RURALES

**AUTOR:** Ingeniero, Fernando Sebastián Caicedo Altamirano

**DIRECTOR:** Ingeniero, Hugo Oswaldo Moreno Avilés, PhD.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

- Tecnologías, Seguridad y Gestión de Redes de Comunicaciones

**FECHA:** 27 de octubre de 2021

**RESUMEN EJECUTIVO**

Este trabajo propone el desarrollo e implementación de un sistema de comunicaciones para trabajo colaborativo de drones que puedan realizar una misma tarea de forma sincronizada, así como, la identificación de las frecuencias de trabajo para un óptimo rendimiento del sistema. Se utilizó la tecnología SDR mediante dispositivos USRP NI-2932 y antenas log periódicas. El sistema se desarrolló en LabVIEW. Se utilizó modulación QAM y se diseñó una interfaz gráfica para el transmisor y el receptor de dicho sistema. Las pruebas de rendimiento se llevaron a cabo en dos etapas. La primera etapa se llevó a cabo en un laboratorio, mientras que la segunda se llevó a cabo en el campo en una zona rural. Se pudo identificar que la mayor cantidad de interferencias producidas por los drones en funcionamiento se produce entre 2 y 3 GHz y que 1,8 GHz es la frecuencia óptima para un mejor rendimiento del sistema de comunicación.

**Descriptor:** Codificación, Comunicación, drones, trabajo colaborativo, LabView, modulación, programación en bloque, QAM, SDR, USRP.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**THEME:**

AIR TO AIR COMMUNICATION SYSTEM FOR COLLABORATIVE DRONE  
WORK IN RURAL AREAS

**AUTHOR:** Engineer, Fernando Sebastián Caicedo Altamirano

**DIRECTED BY:** Enginner, Hugo Oswaldo Moreno Avilés, PhD.

**LINE OF RESEARCH:**

- Technologies, Security and Communications Network Management

**DATE:** October 27th, 2021

**EXECUTIVE SUMMARY**

This paper proposes the development and implementation of a communications system for multiple drones working in synchronization on the same task, as well as, the identification of optimal frequencies for optimal system performance. SDR technology was used by means of USRP NI-2932 devices and log-periodic antennas. The system was developed in LabVIEW. QAM modulation was used in the creation of a graphical interface for said system's transmitter and the receiver. The performance tests were carried out in two stages. The first stage was held in a laboratory whilst the second was held in the field in a rural area. It was possible to identify that there is the highest amount of interference produced by drones in operation between 2 and 3 GHz and that 1.8 GHz is the optimal performance frequency for the communication system.

**Keywords:** Block programming, coding, collaborative work, communications, drones, LabView, modulation, QAM, SDR, USRP.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Introducción**

Los sistemas de comunicación inalámbricos han tenido un crecimiento exponencial en las últimas décadas, permitiendo satisfacer la demanda de acceso a multimedia de alta velocidad de datos. Un sistema de comunicación básico consta de un medio de comunicación, un transmisor y un receptor, y estos a su vez están formados por subsistemas como filtros, moduladores, demoduladores, codificadores y decodificadores respectivamente. Dada la gran cantidad de aplicaciones que requieren de un sistema de comunicación, ambientes de trabajo y los diferentes parámetros de funcionamiento, resulta complicado disponer de equipos de comunicación específicos para realizar pruebas de funcionamiento. Radio definida por software (SDR) es una tecnología moderna muy importante en el área de las comunicaciones, ya que permite controlar dispositivos de comunicación a través de un software y trabajar con diferentes frecuencias y tipos de modulación. Es por esta razón que los dispositivos de SDR son la opción más conveniente para desarrollar sistemas en donde se pretende identificar los mejores parámetros de funcionamiento en determinadas condiciones.

A medida de que la tecnología ha venido avanzando a pasos agigantados, la robótica y el uso de dispositivos electrónicos para dar confort y facilitar el trabajo de las personas también ha sufrido avances considerables; uno de los sistemas electrónicos que mayor acogida ha tenido tanto en mercados residenciales como industriales es el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) o comúnmente conocidos como drones para diferentes aplicaciones como usos militares, sistemas de vigilancia, servicios de entrega a domicilio, fumigación de cosechas, etc. Existen aplicaciones que requieren de un trabajo muy forzado para poder ser ejecutado por un solo dron como es el transporte de material o paquetes de entrega a domicilio, por lo cual se ha visto la necesidad de trabajar de forma colaborativa entre dos o más drones y además integrar

brazos robóticos a los drones; esta conexión de vehículos aéreos no tripulados con robots es conocida como robot manipulador móvil aéreo (AMR). El reto más grande que ha tenido la comunidad científica para controlar este tipo de robots aéreos ha sido la comunicación entre drones para lograr una coordinación entre ellos; lo cual ha provocado muchos accidentes e incidentes que ha llegado a costar miles de dólares.

Los sistemas de comunicación para el control de robots y drones normalmente trabajan en la banda de frecuencias libres como son las bandas de 2.4 y 5 Ghz, sin embargo, estas bandas de frecuencia no son muy recomendables porque presentan una comunicación inestable y de alta latencia ya existe demasiada interferencia generada por sistemas residenciales Wifi en zonas urbanas, y sistemas de proveedores de servicio de internet inalámbricos (WISP) en zonas rurales. Varios trabajos investigativos han tratado de determinar diferentes sistemas de comunicación que permitan tener una correcta comunicación entre drones, como es el caso de en donde se plantea utilizar la tecnología LoRaWAN como un sistema de comunicación de telemetría secundario para optimizar el consumo y mejorar el alcance en la comunicación. En se propone un sistema de comunicación de multi salto en donde se tengan robots en modo enrutador que trabajan como intermediarios para el control de robots o drones en modo de dispositivo final utilizando TDMA (acceso múltiple por división de tiempo) implementado en la capa de enlace de datos (capa 2).

El presente trabajo tiene como objetivos diseñar e implementar un sistema de comunicación para drones industriales que realicen trabajos colaborativos, basado SDR e identificar una frecuencia de trabajo en donde se tenga la menor interferencia generada por los controles remotos, hélices del dron y sistemas Wifi lo cual permitirá tener una comunicación más estable entre los drones. Se trabajó con dos USRP, una para transmisión y otra para recepción, las mismas que fueron configuradas mediante LabVIEW; y dos antenas logarítmicas. Teniendo el sistema de comunicación estable y funcionando se realizaron pruebas de recepción de paquetes a diferentes frecuencias primeramente sin la interferencia de los drones y posteriormente con los drones en funcionamiento.

## 1.2 Justificación

Jingjing Wang, Chunxiao Jiang, Zhu Han, Yong Ren, Robert G. Maunder, y Lajos Hanzo, en su trabajo de investigación titulado “Cooperative Distributed Unmanned-Aerial-Vehicular Networks for Small and Mini Drones”, desarrollado en el 2017, proponen una arquitectura de red de tipo ad-hoc que permita la comunicación entre una red cooperativa para pequeños y mini drones para aplicaciones civiles y militares. Al trabajar con una red cooperativa de drones se pretende solucionar los problemas de retardo de propagación de la información y alto consumo de energía utilizado para la comunicación de larga distancia de un solo dron con la estación terrena. Como conclusión se hace un análisis de las ventajas que conlleva tener una red de drones que trabajen de forma colaborativa para aplicaciones civiles y militares y se estudia además la estabilidad de la red del sistema de múltiples UAV. (Jingjing Wang, 2017)

Evsen Yanmaz, Markus Quaritsch, Saeed Yahyanejad, Bernhard Rinner, Hermann Hellwagner y Christian Bettstetter, en su trabajo de investigación “Drone networks: Communications, coordination, and sensing” desarrollado en Austria en octubre del 2017, presentan una arquitectura de alto nivel para el diseño de sistemas multi-UAV que consisten en vehículos con sensores a bordo y procesamiento y detección integrados, coordinación y bloques de comunicación y redes. Demuestran el potencial de su sistema en escenarios de desastres naturales a partir de pruebas en ambientes reales. Se tiene un impacto directo de los bloques de comunicación en la coordinación de los UAV y por lo tanto en el éxito de la misión. (Evsen Yanmaz, 2017)

La implementación de un sistema de comunicación para permitir un trabajo colaborativo entre drones puede abrir las puertas a múltiples aplicaciones e investigaciones que requieran de un trabajo colaborativo de drones en donde las comunidades rurales serían los principales beneficiarios.

### **1.3 Objetivos:**

#### **1.3.1 Objetivos General:**

Implementar un sistema de comunicación Air-to-Air para trabajo colaborativo entre drones en zonas rurales.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

- Diseñar un sistema de comunicaciones de laboratorio que permita simular el ambiente real del dron para determinar el rango de frecuencias óptimo para la comunicación Air-to-Air.
- Diseñar e implementar un sistema de comunicación con amplificación para cubrir distancias de hasta 300 metros.
- Realizar las pruebas del sistema de comunicación utilizando los drones industriales DJI Matrice 600 PRO.

## **CAPÍTULO II**

### **ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

#### **2.1 Marco Teórico**

##### **2.1.1 Sistema de Comunicación**

Un sistema de comunicación está formado por varias etapas, en las que interviene una etapa transmisora que es la encargada de enviar un determinado mensaje, y una etapa receptora que es la que lo recibe. Las etapas básicas de un sistema de comunicación son: la fuente de información, codificador de fuente, codificador de canal, modulador digital, canal, demodulador digital, decodificador de canal, decodificador de fuente y normalmente un transductor de salida que se encarga de volver a generar la señal original. (Muslimin, Asnawi, Ismail, & Jusoh, 2016)

##### **2.1.2 Radio Definida por Software SDR**

Hasta hace pocos años los equipos utilizados para comunicaciones inalámbricas han sido muy costosos y cumplen con parámetros específicos de transmisión para que funcionen en un determinado sistema, esto imposibilita que los dispositivos puedan ser utilizados con otros sistemas con características diferentes. La tecnología SDR (Software Defined Radio), permite tener un hardware diseñado para poder trabajar con diferentes parámetros de transmisión, los cuales pueden ser modificados y controlados mediante software. Esta tecnología ha permitido realizar varios trabajos investigativos que permiten definir parámetros de funcionamiento sin la necesidad de tener una inversión muy alta en equipamiento. (Travis, 2018)

### **2.1.3 Periférico Universal de Radio por Software**

Las USRP (Universal Software Radio Peripheral) son dispositivos de hardware que son utilizados crear dispositivos de radio de diferentes tecnologías y características, las mismas que necesitan de una programación para su funcionamiento. Al ser dispositivos universales, estos tienen compatibilidad para su configuración con diferentes plataformas como GNU Radio, RFNoC, LabVIEW, MATLABfi & Simulinkfi, OpenBTS y compatibilidad con diferentes sistemas operativos (Ettus Research). Las USRP se consideran como una alternativa muy viable por su bajo costo, sin embargo, estos equipos tienen ciertas limitantes al compararlos con dispositivos basados en hardware para una tecnología específica. (Marwanto, Sarijari, Fisal, Syed Yusof, & Rashid, 2009)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Ubicación**

La investigación se realiza en el los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la ciudad de Riobamba.

#### **3.2 Equipos y materiales**

Los dispositivos y software utilizados para el desarrollo de este trabajo investigativo son:

- 2 computadoras portátiles
- 2 drones industriales Matrice 600
- 2 USRP NI-2932
- 2 antenas log periódicas
- 2 software LabView
- 2 cable coaxial SMA

Para la selección del software a utilizar para la configuración de las USRP se realizó un análisis comparativo entre los programas más populares como son GNU Radio, Matlab, LabView y SDRsharp. En la tabla 1 se presentan las características más relevantes de cada uno de los programas, en donde se los clasifico por medio de colores según la utilidad y requerimientos del sistema planteado, siendo el color verde el de mayor relevancia, color celeste como característica aceptable y color salmón que no aporta a los requerimientos.

Tabla 1 Comparación de Software para configuración de USRP

Parámetro/Software	GNU Radio	Matlab	Labview	SDRSharp
<b>Genero</b>	Diseño de gráficos de flujo de señal y generar código fuente de flujo de gráfico.	Software Matemático	Diseño de sistemas, Adquisición de datos, Instrumentación y Control instrumental, Procesamiento de señales, Sistemas de control industrial, Diseño de sistemas embebidos, Comunicaciones	Manipulación de Sistemas SDR preconfigurados
<b>Sistema operativo</b>	Microsoft Windows, Mac OS X, GNU/Linux	Microsoft Windows, Mac OS X, GNU/Linux	Microsoft Windows, Mac OS X, GNU/Linux	Microsoft Windows, GNU/Linux
<b>Licencia</b>	Libre	Propietario	Propietario	Libre
<b>Lenguaje</b>	Inglés	Inglés	Inglés	Inglés
<b>Herramientas</b>	Fuentes, bloques de procesamiento de señal, sumideros	Diseñar curvas, clasificar datos, analizar señales, ajustar sistemas de control.	Herramientas gráficas y textuales para el procesamiento digital de señales. Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos. Adquisición y tratamiento de imágenes	Decodificadores Integrados, grabadoras, complementos
<b>Compatibilidad</b>	Usrp, hack rf,+	Usrp, hack rf,+	Usrp, hack rf,+	Usrp, hack rf,+
<b>Interfaz</b>	Python, SQL	C/C++, Java®, .NET, Python, SQL, Hadoop y Microsoft Excel	C/C++, Java®, .NET, Python, SQL, Hadoop y Microsoft Excel	No programable
<b>Tipo de programación</b>	Programación en bloques	Programación por códigos	Programación en bloques	No programable
<b>Ambiente de simulación</b>	Si	Si	No	No
<b>Accesibilidad a Bloques y librerías</b>	Bloques de comunicación básicos	Scripts de propietario	Bloques de comunicación básicos, Bloques de comunicación avanzados	No programable

Se escogió trabajar con el software LabView, por la mayor cantidad de herramientas que posee para el tratamiento de información y la disponibilidad de bloques de comunicación avanzados como son los de modulación, demodulación y codificación. A pesar de que LabView es un software licenciado, se tuvo acceso a la licencia del mismo gracias a la colaboración de la Universidad Técnica de Ambato y la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo quienes disponen de licencias para el uso de docentes y estudiantes.

La comunicación se la realiza mediante USRPs conectadas a una mini computadora Skull Canyon NUC que se encuentra integrada en cada uno de los drones. En la figura 1 se muestra el diagrama de los equipos que forman parte del sistema de trabajo colaborativo entre drones con el sistema de comunicación propuesto.

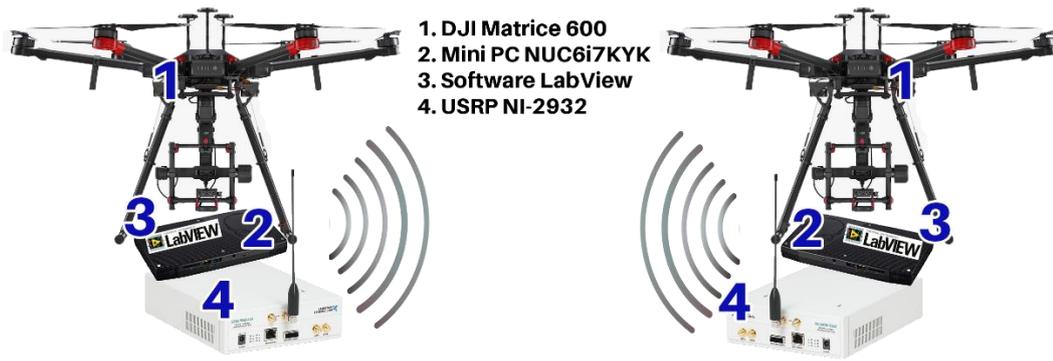


Fig. 1 Diagrama de equipos del sistema de comunicación propuesto.

### 3.3 Tipo de investigación

Para el desarrollo del presente proyecto se utiliza los siguientes tipos de investigación:

#### 3.3.1 Investigación aplicada

Se pone en práctica los conocimientos adquiridos en el desarrollo del Programa de Maestría y los cuales ayudaron a diseñar el sistema de comunicación propuesto y hacer una correcta lectura y validación de los datos resultantes.

#### 3.3.2 Investigación bibliográfica

Para el desenvolvimiento de las variables del tema de estudio propuesto, se investiga distintas fuentes de información bibliográficas de libros, sitios web, publicaciones de artículos científicos, etc., que tengan relación con el proyecto.

#### 3.3.3 Investigación de campo

Se realiza la implementación del sistema y las pruebas de funcionamiento de forma práctica en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, considerando varios factores como por ejemplo el nivel de ruido e interferencia presente en el medio y las condiciones climáticas del lugar.

### 3.4 Recolección de Información

La información necesaria para el desarrollo del proyecto de investigación se adquiere de las fuentes bibliográficas consultadas, las mismas que han permitido seleccionar los mejores equipos, tecnologías y mecanismos para garantizar un correcto desempeño del sistema de comunicación entre drones.

### 3.5 Procesamiento de la información y análisis estadístico:

El sistema propuesto consiste en generar una comunicación estable entre drones que realizan trabajo colaborativo para lo cual uno de los drones, el que es controlado desde la estación terrena enviará datos de geoposicionamiento al otro dron para mantener una posición específica o indicarle los movimientos que van a ser realizados y ambos puedan moverse de forma coordinada.

En la figura 2 se muestra el flujograma del algoritmo propuesto con cada una de las etapas principales consideradas para el diseño del sistema de transmisión como para el sistema de recepción.

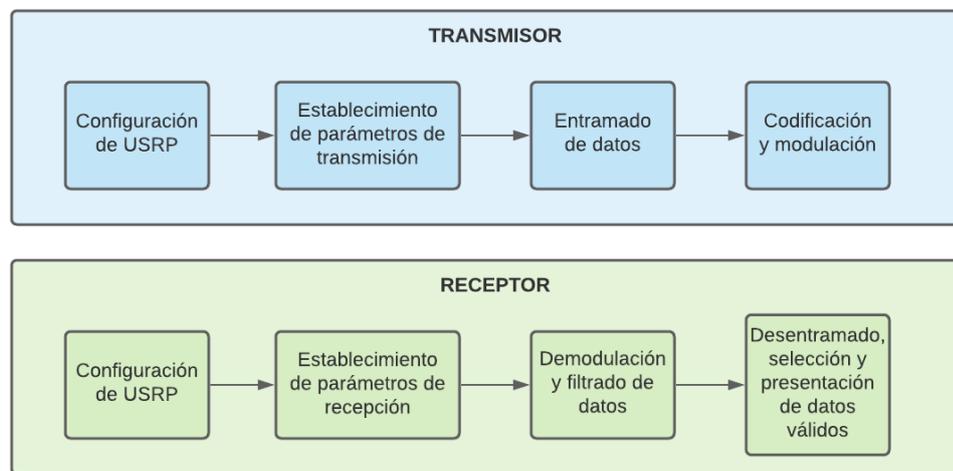


Fig. 2 Bloque de configuración de la USRP en el transmisor

#### Transmisor

El sistema de comunicación trabaja con dos USRP-2932 montadas en dos drones Matrice 600 y fue diseñado en el software LabView; consta de un transmisor formado por varios bloques como son la configuración de dispositivos, entramado de datos, codificación y modulación de datos; y un receptor formado por un bloque de demodulación, decodificación, desentramado y presentación de datos.

Los bloques de configuración de las USRP para la transmisión y la recepción son muy similares, ya que los parámetros de transmisión como frecuencia, velocidad de muestreo, ganancia, y puertos para la antena deben coincidir. En la figura 3 se muestra el bloque de configuración para el transmisor.

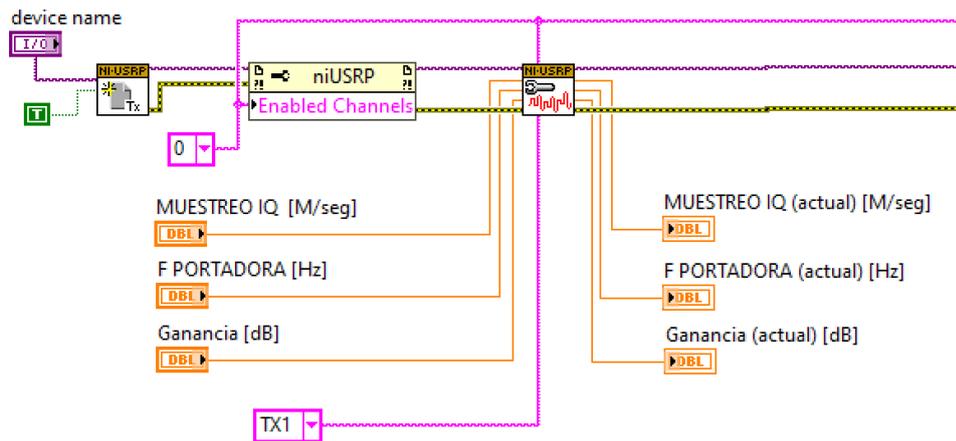


Fig. 3 Bloque de configuración de la USRP en el transmisor.

La sincronización es una parte muy importante de un sistema de comunicación, la señal de reloj de la USRP se ha tomado como parámetro básico para generar sincronismo tanto en el transmisor y receptor. La figura 4 muestra el bloque de entramado y codificación de los datos. Para la codificación se utilizó un VI (instrumento virtual) de codificador convolucional con una tasa de código de  $1/2$ , este VI genera un flujo de bits codificados mediante una matriz preconfigurada.

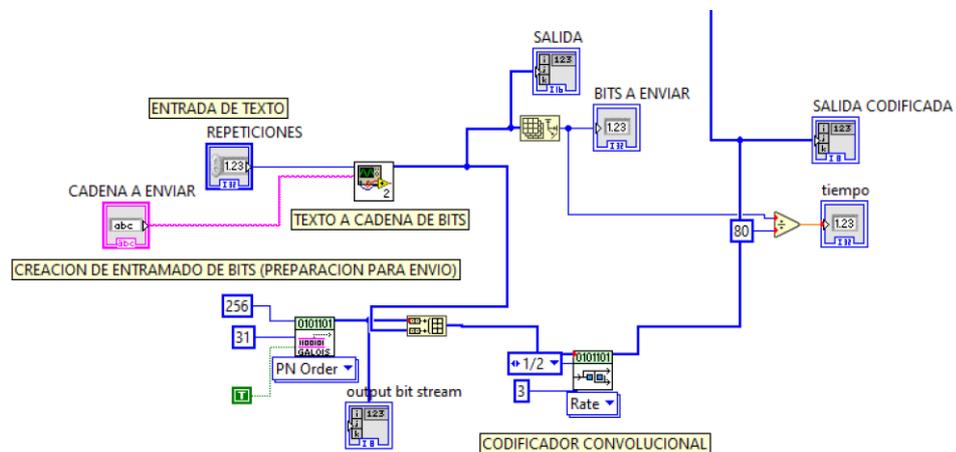


Fig. 4 Bloque de entramado y codificación de datos.

La trama de datos está formada por un bloque de inicialización que consiste en una secuencia de 256 bits de pseudo ruido Galois que permite una mejor detección de la trama en el receptor, seguido por el bloque de datos que contiene 32 bits de cabecera, 168 bits de datos correspondientes 21 caracteres que representan las coordenadas geográficas en latitud y longitud, finalmente un bloque de 16 bits de cola para la finalización de la trama. El bloque de datos es enviado dos veces para garantizar que estos hayan podido ser recibidos correctamente en el receptor. La figura 5 muestra la

estructura de la trama que se trasmite en el sistema, mientras que la figura 6 muestra la creación del bloque de datos.

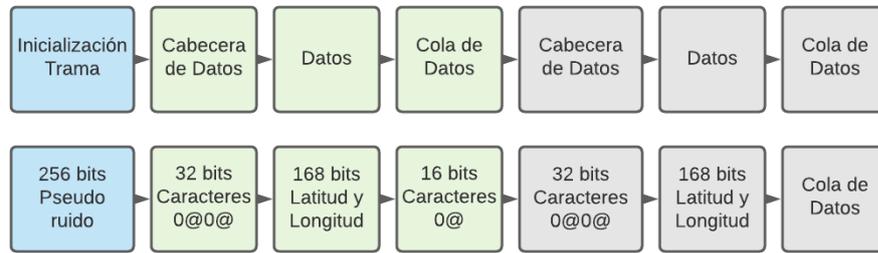


Fig. 5 Estructura de trama de datos

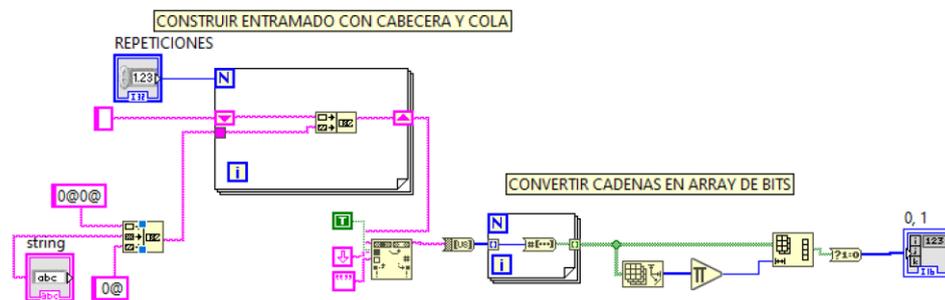


Fig. 6 Bloque de datos formado por la cabecera, datos y cola.

Para el bloque de modulación se ha escogido trabajar con QAM ya que en varias investigaciones como se ha podido demostrar que la modulación de amplitud en cuadratura tiene un mejor desempeño en comparación con OFDM y que a valores más bajos de la constelación se tiene menores valores de BER (tasas de bit erróneos) por tener una mayor tasa de bits. En la figura 7 se muestra el bloque de modulación, el mismo que contiene una etapa de configuración de parámetros de modulación, parámetros de filtro, modulación y gráfico de la constelación.

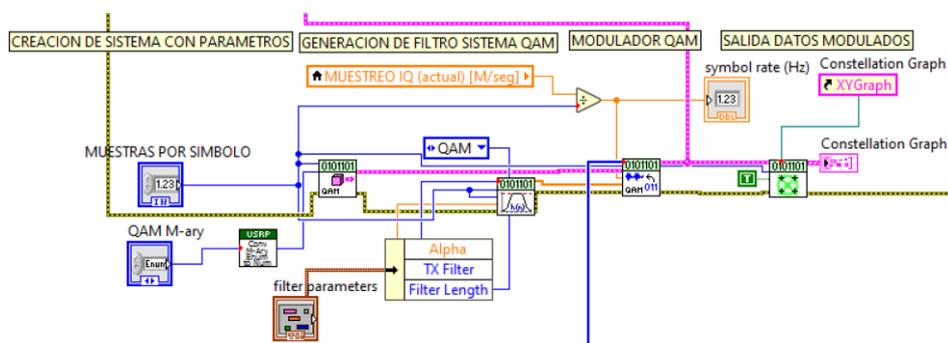


Fig. 7 Bloque de modulación QAM.

## Receptor

El receptor debe ser configurado con los mismos parámetros de modulación y codificación utilizados en el transmisor, así como también los bits de inicialización, cabecera y cola de datos. En la figura 8 se muestra la etapa de configuración de parámetros de demodulación y le generación de bits de pseudo ruido Galois para la detección del inicio de la trama.

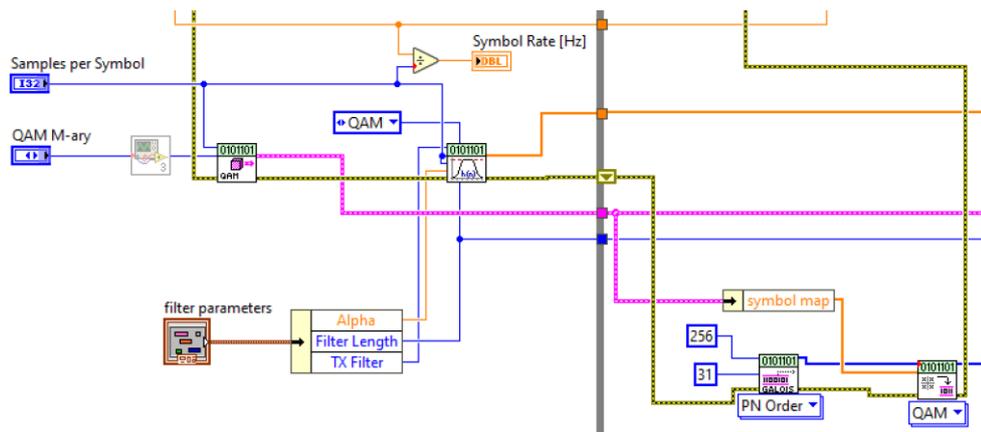


Fig. 8 Bloque de parámetros de demodulación y secuencia de bits de pseudo ruido Galois (PN).

Una vez obtenidos los bits de inicialización se procede a detectar la trama en el demodulador. Tanto en el modulador como en el demodulador se puede seleccionar de una lista desplegable el tipo de filtro con el que se desea trabajar, los filtros disponibles son el gaussiano, coseno alzado de raíz, y coseno alzado; en este caso se ha trabajado con el coseno alzado ya que ese tipo de filtro reduce los lóbulos laterales del espectro de las señales permitiendo optimizar la potencia de transmisión restringiéndola únicamente al ancho de banda de interés. Las figuras 8 y 9 muestran la configuración de las etapas de parámetros de filtro, filtrado de la señal y detección de tramas mediante el demodulador QAM.

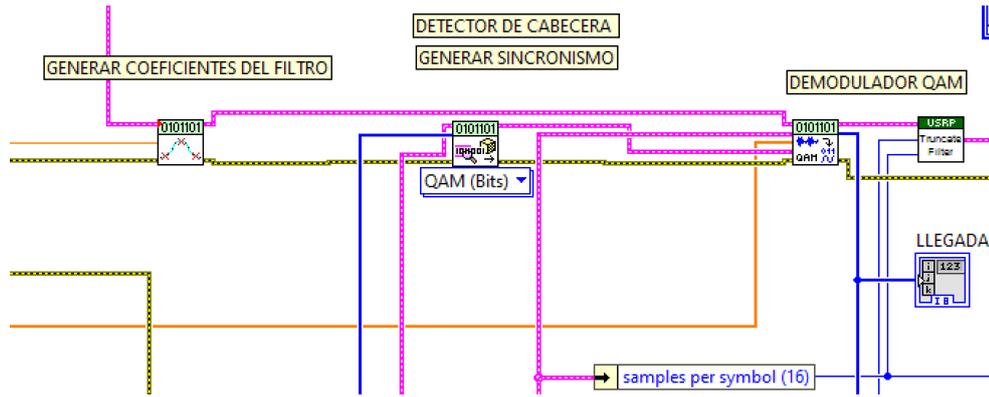


Fig. 9 Bloque de coeficientes de filtro y sincronismo para el demodulador QAM

La figura 10 muestra los bloques programados para la visualización del diagrama de constelación y diagrama de ojo respectivamente; estos diagramas son utilizados para tener una idea de la calidad de la señal que está siendo recibida mediante la claridad que presentan; estos diagramas serán analizados en etapa de resultados para verificar la mejor recepción en determinadas frecuencias.

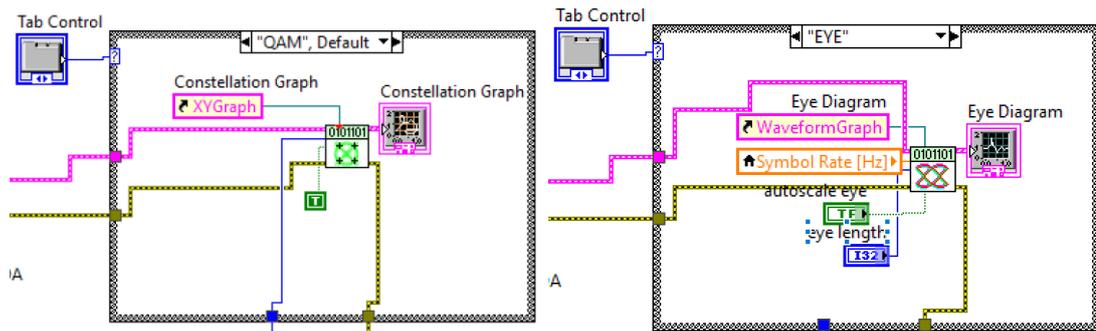


Fig. 10 Bloque de configuración del diagrama de constelación y diagrama del ojo

Finalmente se tiene el bloque de desentramado y presentación de datos. En la figura 11 se muestran los procesos de detección de trama y la desconcatenación de la misma utilizando comparadores para identificar el inicio y fin de la información correspondiente a la latitud y longitud de las coordenadas geográficas del dron transmisor. el demodulador también utiliza los parámetros de filtrado de coseno alzado, el mismo que fue utilizado en el modulador del transmisor.

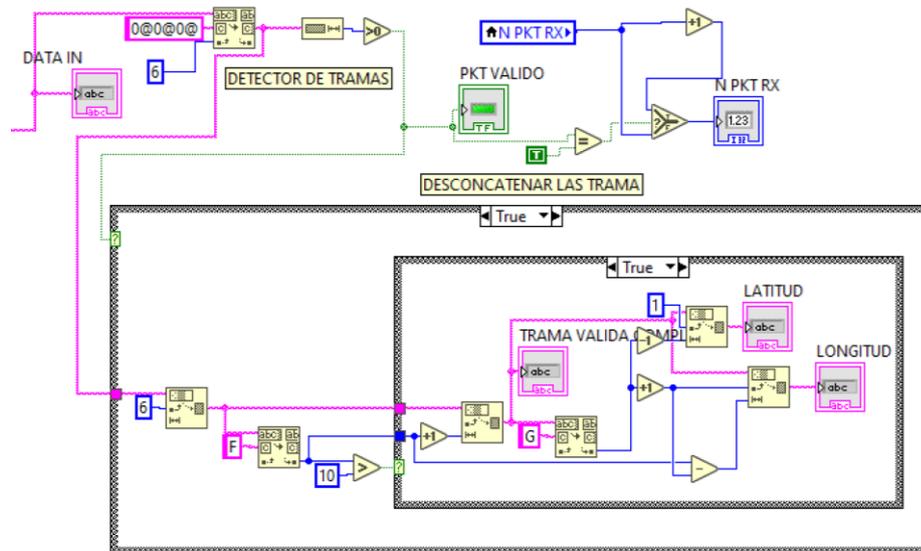


Fig. 11 Bloque de desconcatenación y selección de datos válidos

### Pruebas de funcionamiento

La primera etapa de las pruebas de funcionamiento se la realizó en un ambiente de laboratorio en donde se ejecutaron 3 tipos de pruebas, la primera consistió en transmitir y recibir los datos conectando los puertos de las USRP directamente mediante cable coaxial. Para la segunda prueba se cambió el cable por un par de antenas logo periódicas con rango de frecuencias de trabajo de 700MHz a 6GHz; para la tercera prueba se incluyó un dron en operación para generar el ruido e interferencia característico de sus hélices y frecuencias de comunicación. En las tres pruebas de funcionamiento se analizaron los diagramas de ojo de la señal recibida y cantidad de paquetes recibidos durante 1 minuto en frecuencias desde 1GHz a 4GHz. En las figuras 12, 13 y 14 se muestran estas pruebas de laboratorio.

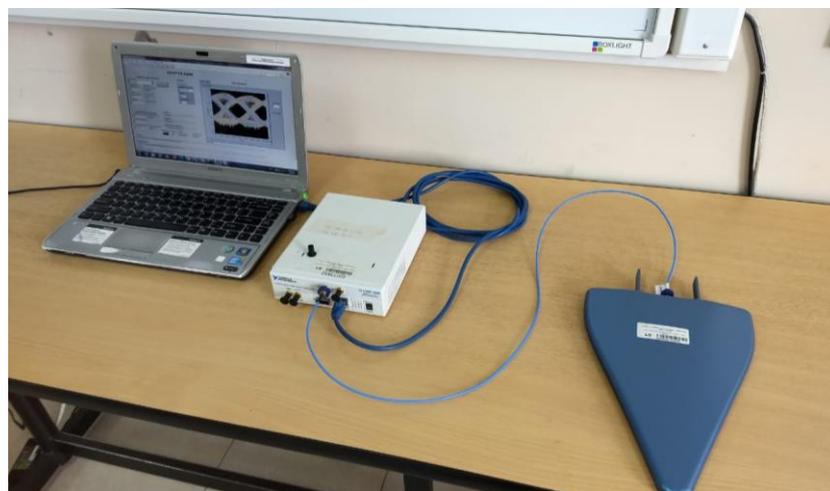


Fig. 12 Pruebas de funcionamiento en laboratorio con antena log periódica.



Fig. 13 Pruebas de funcionamiento en laboratorio con antena log periódica y dron en funcionamiento.



Fig. 14 Pruebas de funcionamiento en laboratorio con antena log periódica y dron Matrice 600 en funcionamiento.

La segunda etapa de las pruebas de funcionamiento se las realizo en campo a una distancia de separación de hasta 300 metros, el área en donde se realizaron estas pruebas es un área rural en donde no se tienen interferencias de sistemas de radio frecuencia como son redes Wifi. En la figura 15 se muestra el dron Matrice 600 controlado por la mini computadora.



Fig. 15 Pruebas de funcionamiento en campo abierto con dron Matrice 600.

Para poder realizar las pruebas de funcionamiento con el dron en vuelo, fue necesario montar tanto la USRP como la antena en cada uno de los drones. La mini computadora es utilizada para correr el programa de LabVIEW, el mismo que ejecuta las acciones a ser realizadas por la USRP en el transmisor, y de igual manera permite el análisis de los datos captados en el receptor. Para la alimentación de la mini computadora y la USRP a la energía eléctrica, fue necesario incorporar un cable conectado a un tomacorriente en tierra. En la figura 16 a) se muestra la incorporación de la USRP a la estructura del dron, mientras que en la figura 16 b) se muestra el dron Matrice 600 en vuelo durante las pruebas de funcionamiento.



Fig. 16 a) USRP y antena montada en dron Matrice 600 b) Dron en vuelo para pruebas de funcionamiento en campo en zona rural.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados:

Tanto en el transmisor como en el receptor se creó un GUI para el ingreso de parámetros de configuración e ingreso de datos y para la visualización de los datos recibidos. En la figura 17 se muestra una captura de pantalla de la interfaz gráfica de usuario del receptor en funcionamiento, donde se puede apreciar el diagrama de ojo de la señal recibida.

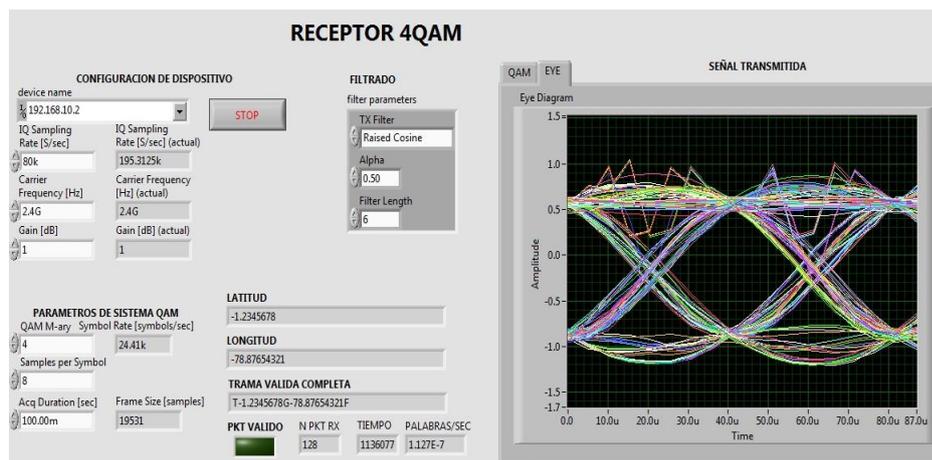


Fig. 17 GUI del receptor en funcionamiento.

Las pruebas se desarrollaron en el laboratorio de investigación de comunicaciones y microondas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), donde se realizan pruebas de funcionamiento del sistema en dos configuraciones: un sistema con comunicación alámbrico a través de cable coaxial acoplado a 50 ohms y un sistema inalámbrico con antenas logarítmicas en un entorno de campo lejano. En la figura 18 se muestra los resultados obtenidos en la primera fase de pruebas de funcionamiento, en el eje de las X se tienen las diferentes frecuencias de portadora utilizadas mientras en el eje de las Y se tiene la cantidad de paquetes recibidos en un minuto de muestreo.

Las pruebas de laboratorio se realizaron en un rango de frecuencias desde 1 GHz hasta 4.4 GHz que es la frecuencia máxima de operación de la tarjeta USRP con una

variación de 200 MHz en cada medición. Los resultados con el sistema alámbrico presentan un mejor desempeño en la frecuencia de 2.2 GHz mientras que el sistema inalámbrico es óptimo en 1.4 GHz.

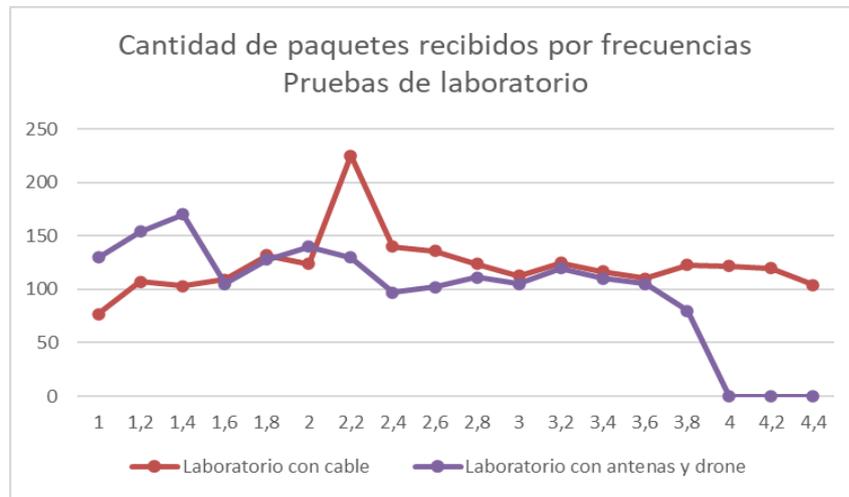


Fig. 18 Resultado de las pruebas de funcionamiento en ambiente de laboratorio.

La segunda etapa de pruebas fue realizada en campo abierto con el dron Matrice 600 en el campus de la ESPOCH a una altura de 2840 msnm. Los resultados de estas pruebas se muestran en la figura 19 donde se evidencia un mejor desempeño del sistema trabajando a una frecuencia de 1.8 GHz.

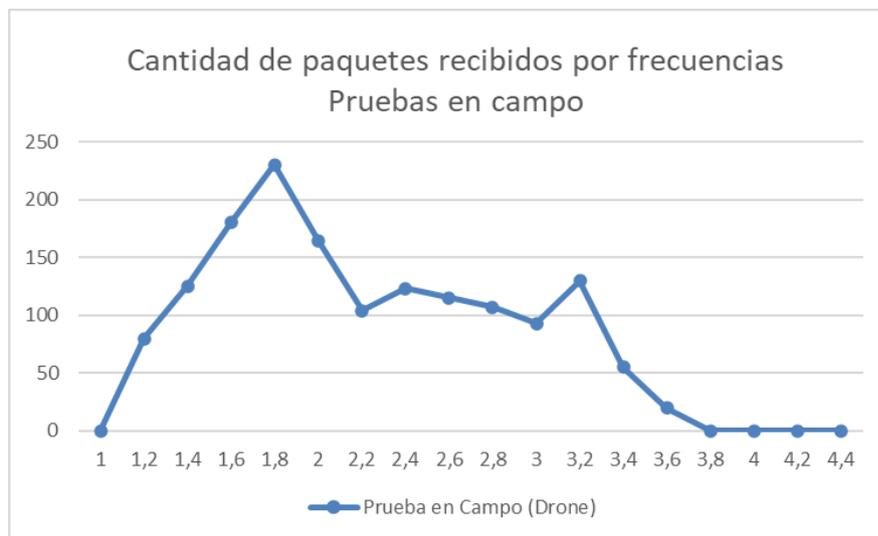


Fig. 19 Resultado de las pruebas de funcionamiento en campo con el dron Matrice 600.

En la figura 20 se puede apreciar de mejor forma los resultados obtenidos en los diferentes escenarios antes mencionados. Claramente se ve que utilizando el cable coaxial como medio de transmisión se reciben mayor cantidad de paquetes válidos por

minuto que mediante una comunicación inalámbrica, así como también que la interferencia generada al tener el dron en funcionamiento se produce entre los 2 y 3 GHz.

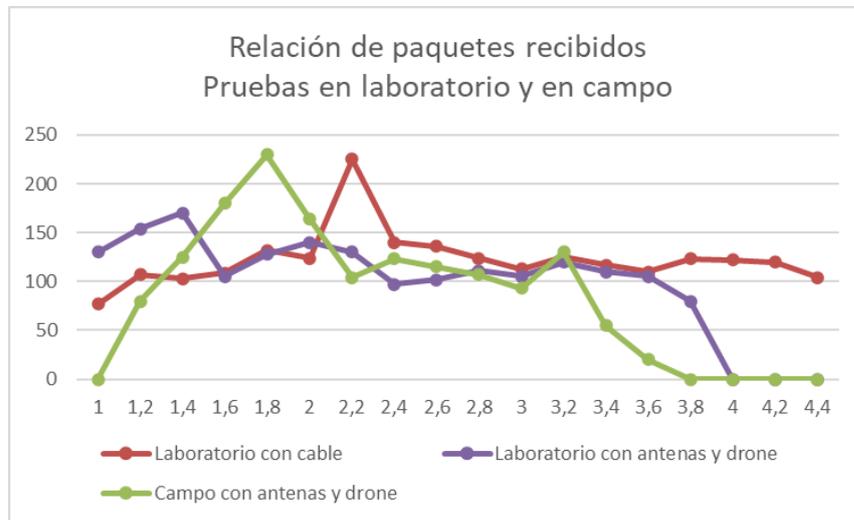


Fig. 20 Relación de resultados obtenidos en las diferentes pruebas de funcionamiento realizadas tanto en ambiente de laboratorio como en campo.

#### 4.2 Discusión:

Los resultados del sistema propuesto muestran que el rango de frecuencias comprendido entre 2 y 3 GHz son las frecuencias que sufren la mayor cantidad de interferencia generada por el sistema de control y por las hélices del dron, por lo que no es recomendable que el sistema de comunicación entre drones para realizar un trabajo colaborativo trabaje en esas frecuencias. Las frecuencias altas que se encuentran por encima de los 3 GHz tampoco serían recomendables, ya que el sistema se vuelve inestable y se nota una pérdida de paquetes es considerable. La frecuencia óptima para que trabaje el sistema sería a los 1.8 GHz, ya que en esta frecuencia se tiene una comunicación bastante estable y con un considerable número de paquetes válidos recibidos. El principal inconveniente que se tuvo para el desarrollo del sistema fue la sincronización entre el transmisor y el receptor para la detección del inicio y finalización de las tramas de datos válidos. Es recomendable que se tenga en consideración la cantidad de bits que van a ser enviados en una trama para la selección del tipo de modulación a utilizar.

En anexos se presenta la carta de aceptación del artículo profesional de alto nivel para ser presentado en el III Congreso de Ciencia de la Computación, electrónica e industrial CSEI 2021, mismo que será publicado en un libro de actas del congreso en el Lecture Notes in Networks and Systems e indexado en Scopus. Se presenta también el certificado de derechos de autor, el artículo científico final en su formato original y la matriz de point to point con las observaciones realizadas por los revisores del congreso y sus respectivas correcciones.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFÍA

#### 5.1 Conclusiones:

Se desarrollo un sistema de comunicación que permite una comunicación entre drones en vuelo, para compartir datos de geoposicionamiento, se determinó una frecuencia de funcionamiento óptima y se logró transmitir y recibir hasta 230 paquetes válidos en un segundo trabajando a una frecuencia de 1.8 GHz con los drones en vuelo.

La trama de datos utilizada junto con la modulación QAM garantiza la correcta recepción de los datos de coordenadas geográficas en latitud y longitud lo que permite un trabajo coordinado entre drones. Las pruebas desarrolladas en un sistema de entorno abierto demuestran que la frecuencia óptima de comunicación es a 1.8 GHz con 230 paquetes recibidos correctamente de un total de 250, lo que representa un 92% de eficacia del sistema.

Los drones utilizados generan un ruido ambiental que afecta la comunicación de los datos a partir de los 2 GHz, lo que genera ruido en la transmisión y recepción de las coordenadas geográficas y un nivel promedio de recepción de paquetes de 125 con una eficacia del 50 % lo que hace imposible utilizar este rango de frecuencias para la comunicación entre drones.

#### 5.2 Bibliografía:

M. Z. Chowdhury, M. Shahjalal, S. Ahmed y Y. M. Jang, «6G Wireless Communication Systems: Applications, Requirements, Technologies, Challenges, and Research Directions,» IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 1, p. 957–975, 2020.

X. Yu, D. Xu y R. Schober, «MISO Wireless Communication Systems via Intelligent Reflecting Surfaces : (Invited Paper),» de 2019 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Changchun, 2019.

R. P. Devi y H. Nishat, «BER Analysis of Digital Modulation Schemes using LabVIEW,» CVR Journal of Science and Technology, vol. 13, p. 41–45, 2017.

- J. Muslimin, A. L. Asnawi, A. F. Ismail y A. Z. Jusoh, «SDR-Based Transceiver of Digital Communication System Using USRP and GNU Radio,» de 2016 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), Kuala, 2016.
- N. B. Abid and C. Souani, "SDR-Based Transmitter of Digital Communication System Using USRP and GNU Radio," in Proceedings of the 8th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT'18), Vol.2, vol. 147, M. S. Bouhlef and S. Rovetta, Eds., Cham, Springer International Publishing, 2020, p. 373–381.
- S. Suzuki, "Recent researches on innovative drone technologies in robotics field," *Advanced Robotics*, vol. 32, p. 1008–1022, 10 2018.
- J. S. Ortiz, C. F. Zapata, A. D. Vega y V. H. Andaluz, «Path Planning Based on Visual Feedback Between Terrestrial and Aerial Robots Cooperation,» de Computational Kinematics, Cham, 2018.
- T. Okutake, N. Uchida y N. Yamamoto, «A Collaborative Safety Flight Control System for Multiple Drones,» de 2016 10th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), Fukuoka, 2016.
- W. W. Greenwood, J. P. Lynch and D. Zekkos, "Applications of UAVs in Civil Infrastructure," *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 25, p. 04019002, 6 2019.
- P. Leica, K. Rivera, S. Muela, D. Chávez, G. Andaluz y V. H. Andaluz, «Consensus Algorithms for Bidirectional Teleoperation of Aerial Manipulator Robots in an Environment with Obstacles,» de 2019 IEEE Fourth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 2019.
- O. A. Aguirre, J. C. Nacato y V. H. Andaluz, «Virtual Simulator for Collaborative Tasks of Aerial Manipulator Robots,» de 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Sevilla, 2020.
- N. Uchida, T. Okutake and N. Yamamoto, "Image recognitions of collaborative drones' security controls for FPV systems," *International Journal of Space-Based and Situated Computing*, vol. 7, p. 129, 2017.
- P. Hell, M. Mezei y P. J. Varga, «Drone communications analysis,» de 2017 IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2017.
- T. Kagawa, F. Ono, L. Shan, K. Takizawa, R. Miura, H.-B. Li, F. Kojima y S. Kato, «A study on latency-guaranteed multi-hop wireless communication system for control of robots and drones,» de 2017 20th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), Bali, 2017.
- P. J. Singh y R. de Silva, «Design and implementation of an experimental UAV network,» de 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), 2018.

A. Rahmadhani, Richard, R. Isswandhana, A. Giovani y R. A. Syah, «LoRaWAN as Secondary Telemetry Communication System for Drone Delivery,» de 2018 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS), Bali, 2018.

U. E. Kocamaz, S. Çiçek and Y. Uyaroğlu, "Secure Communication with Chaos and Electronic Circuit Design Using Passivity-Based Synchronization," *Journal of Circuits, Systems and Computers*, vol. 27, p. 1850057, 4 2018.

M. M. Alhasani, Q. N. Nguyen, G.-I. Ohta and T. Sato, "A Novel Four Single-Sideband M-QAM Modulation Scheme Using a Shadow Equalizer for MIMO System Toward 5G Communications," *Sensors*, vol. 19, p. 1944, 4 2019.

A. Farzamia, N. W. Hlaing, M. Mariappan y M. K. Haldar, «BER Comparison of OFDM with M-QAM Modulation Scheme of AWGN and Rayleigh Fading Channels,» de 2018 9th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), Shah, 2018.

M. A. Hmida y A. Braham, «Raised Cosine Filter Embedded in Stationary Wavelet Packet Transform for Induction Motor Fault Detection,» de 2019 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Sousse, 2019.

C.-Y. Li, H.-H. Lu, W.-S. Tsai, Z.-H. Wang, C.-W. Hung, C.-W. Su y Y.-F. Lu, «A 5 m/25 Gbps Underwater Wireless Optical Communication System,» *IEEE Photonics Journal*, vol. 10, p. 1–9, 6 2018.

# CARTA DE ACEPTACIÓN ARTÍCULO

**Autor:** Ing. Fernando Sebastián Caicedo Altamirano

**Director:** Ing. Hugo Moreno A. PhD.

**Congreso:** CSEI 2021 - <https://csei.uta.edu.ec/csei2021/temario.html>

**Fuente Imagen:** OCS Springer

<https://ocs.springer.com/misc/conference/user/viewmessage/CSEI2021/3626389>

27/10/21 21:51

Message details - CSEI2021 (Garcia)

[OCS](#) » [Conference list](#) » [CSEI2021](#) » [User profile](#) » [Received messages](#) » [Message details](#)

## Message details

<b>Sender</b>	OCS System
<b>Subject</b>	[CSEI2021] Request for final upload for paper 030
<b>Date</b>	8/31/21 19:07 CEST
<b>Message</b>	Dear Fernando Caicedo,  We are pleased to inform you that your paper  030 -- 'Air to air communication system for collaborative drone work in rural areas'  has been accepted for the conference  'Third International Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering (CSEI 2021)'.  Please follow the link below to view the paper's detail page:  <a href="https://ocs.springer.com/misc/conference/paper/view/CSEI2021/false/3548197">https://ocs.springer.com/misc/conference/paper/view/CSEI2021/false/3548197</a>  Enclosed please find the reports.  Final Report:  ARGUMENTATION: I am happy to inform you that your above-mentioned paper has been ACCEPTED for oral presentation in CSEI2021 and publication in Springer subject to fulfillment of Guidelines by Springer.  An accepted paper will be published in the Springer proceedings only if the final version is accompanied by the payment information (i.e transaction details) subject to quality check as per Springer Guidelines.  Kindly follow the below-mentioned guidelines (strictly), related to the preparation of the final manuscript, copyright transfer form, payment, and final submission. The procedure has been detailed as a three-step process (I)-(III):

<https://ocs.springer.com/misc/conference/user/viewmessage/CSEI2021/3626389>

1/6

# CERTIFICACIÓN DE COPYRIGHT

## Consent to Publish for Conference Proceedings

---

**Title of Book/Volume/Conference (hereinafter called "Work"): Third International Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering (CSEI 2021)**

**Editor(s) name(s) (hereinafter called "Editor"):** Gordón Carlos, Felix Fernández and Marcelo V. García

**Title of the conference paper (hereinafter called "Contribution"):** Air to Air Communication System for Collaborative Drone Work in Rural Areas

**Author(s) full name(s) (hereinafter jointly called "Author"):** Fernando Caicedo, Hugo Moreno and Janeth Moreta

**Corresponding author's name, address, affiliation and e-mail:** Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador {fcaicedo5020, jmoreta8974}@uta.edu.ec, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador h\_moreno@esepoch.edu.ec

When Author is more than one person the expression "Author" as used in this agreement will apply collectively unless otherwise indicated.

The Publisher intends to publish the Work under the imprint **Springer**. **The Work be published in the book series Lecture Notes in Networks and Systems.**

### § 1 Rights Granted

Author hereby grants to **Springer International Publishing AG** (hereinafter called "**Publisher**") the exclusive, sole, permanent, world-wide, transferable, sub-licensable and unlimited right to reproduce, publish, distribute, transmit, make available or otherwise communicate to the public, translate, publicly perform, archive, store, lease or lend and sell the Contribution or parts thereof individually or together with other works in any language, in all revisions and versions (including soft cover, book club and collected editions, anthologies, advance printing, reprints or print to order, microfilm editions, audiograms and videograms), in all forms and media of expression including in electronic form (including offline and online use, push or pull technologies, use in databases and data networks (e.g. Internet) for display, print and storing on any and all stationary or portable end-user devices, e.g. text readers, audio, video or interactive devices, and for use in multimedia or interactive versions as well as for the display or transmission of the works or parts thereof in data networks or search engines, and posting the Contribution on social media accounts closely related to the Work, as well as using the Contribution for training purposes, such as but not limited to massive open online courses), in whole, in part or in abridged form, in each case as now known or developed in the future, including the right to grant further time-limited or permanent rights. Publisher especially has the right to permit others to use individual illustrations, tables or text quotations and may use the Contribution for advertising purposes. For the purposes of use in electronic forms, Publisher may adjust the Contribution to the respective form of use and include links (e.g. frames or inline-links) or otherwise combine it with other works and/or remove links or combinations with other works provided in the Contribution. For the avoidance of doubt, all provisions of this contract apply regardless of whether the Contribution or the Work itself constitutes a database under applicable copyright laws or not.

The copyright in the Contribution shall be vested in the name of Publisher. Author has asserted his/her right(s) to be identified as the originator of this Contribution in all editions and versions of the Work and parts thereof, published in all forms and media. Publisher may take, either in its own name or in that of Author, any necessary steps to protect the rights granted under this Agreement against infringement by third parties. It will have a copyright notice inserted into all editions of the Work and on the Contribution according to the provisions of the Universal Copyright Convention (UCC).

The parties acknowledge that there may be no basis for claim of copyright in the United States to a Contribution prepared by an officer or employee of the United States government as part of that person's official duties. If the Contribution was performed under a United States government contract, but Author

is not a United States government employee, Publisher grants the United States government royalty-free permission to reproduce all or part of the Contribution and to authorize others to do so for United States government purposes. If the Contribution was prepared or published by or under the direction or control of the Crown (i.e., the constitutional monarch of the Commonwealth realm) or any Crown government department, the copyright in the Contribution shall, subject to any agreement with Author, belong to the Crown. If Author is an officer or employee of the United States government or of the Crown, reference will be made to this status on the signature page.

## § 2 Rights retained by Author

Author is permitted to self-archive a pre-print and an author's accepted manuscript version of the Contribution.

- a) A pre-print is the Author's first version of the manuscript submitted to the Publisher ("**Pre-Print**"). Prior to acceptance for publication, Author retains the right to make a Pre-Print of the Contribution available on any of the following: his/her own personal, self-maintained website; a legally compliant, non-commercial pre-print server such as but not limited to arXiv and bioRxiv. Once the Contribution has been published, Author should update the acknowledgement and provide a link to the definitive version on the publisher's website: "This is a pre-print of a contribution published in [insert title of book and name(s) of Editor(s)] published by [insert name of Publisher]. The final authenticated version is available online at: [https://doi.org/\[insert DOI\]](https://doi.org/[insert DOI])".
- b) An Author's Accepted Manuscript ("**AAM**") is the version accepted by the Publisher for publication, but prior to copyediting and typesetting, that can be made available under the following conditions:
  - i. Author retains the right to make an AAM of the Contribution available on their own personal, self-maintained website immediately on acceptance,
  - ii. Author retains the right to make an AAM of the Contribution available for public release on any of the following, 12 months after first publication ("**Embargo Period**"): their employer's internal website; their institutional and/or funder repositories and all services offering organized, legally compliant central archiving, including social scientific networks. AAMs may also be deposited in such repositories immediately on acceptance, provided that they are not made publicly available until after the Embargo Period.

An acknowledgement in the following form should be included, together with a link to the published version on the publisher's website: "This is a pre-copyedited version of a contribution published in [insert title of book and name(s) of Editor(s)] published by [insert name of Publisher]. The definitive authenticated version is available online via [https://doi.org/\[insert DOI\]](https://doi.org/[insert DOI])".

The DOI (Digital Object Identifier) can be found at the bottom of the first page of the published Contribution.

For the avoidance of doubt Author shall not use the publisher's final published version (in pdf or html/xml format) for the purpose of the above described self-archiving.

Additionally, Author retains, in addition to uses permitted by law, the right to communicate the content of the Contribution to other research colleagues, to share the Contribution with them in manuscript form, to perform or present the Contribution or to use the content for non-commercial internal and educational purposes, provided the original source of publication is cited according to current citation standards.

## § 3 Warranties

Author agrees, at the request of Publisher, to execute all documents and do all things reasonably required by Publisher in order to confer to Publisher all rights intended to be granted under this Agreement. Author warrants that the Contribution is original except for such excerpts from copyrighted works (including illustrations, tables, animations and text quotations) as may be included with the permission of the copyright holder thereof, in which case(s) Author is required to obtain written permission to the extent necessary and to indicate the precise sources of the excerpts in the manuscript. Third Party Material (including without limitation quotations, photographs, pictures, diagrams, drawings, tables, graphs or maps, and whether reproduced from print or electronic or other sources) may only be included in the Contribution with the prior agreement of the Publisher. In this case the Author must obtain (at the Author's expense) all necessary permissions to enable the Publisher to use the Third Party Material in the Contribution and shall provide the Editor of the Work and the Publisher with: (i) copies of all such permissions, and (ii) sufficient information to enable the Publisher to make appropriate acknowledgements.

Author warrants that Author is entitled to grant the rights in accordance with Clause 1 "Rights Granted", that Author has not assigned such rights to third parties, that the Contribution has not heretofore been

published in whole or in part, that the Contribution contains no libellous or defamatory statements and does not infringe on any copyright, trademark, patent, statutory right or proprietary right of others, including rights obtained through licences; and that Author will indemnify Publisher against any costs, expenses or damages for which Publisher may become liable as a result of any claim which, if true, would constitute a breach by Author of any of Author's representations or warranties in this Agreement. Author agrees to amend the Contribution to remove any potential obscenity, defamation, libel, malicious falsehood or otherwise unlawful part(s) identified at any time. Any such removal or alteration shall not affect the warranty and indemnity given by Author in this Agreement.

#### **§ 4 Delivery of Contribution and Publication**

Author shall deliver the Contribution to the responsible Editor of the Work on a date to be agreed upon, electronically in Microsoft Word format or in such form as may be agreed in writing with Publisher. The Contribution shall be in a form acceptable to the Publisher (acting reasonably) and in line with the instructions contained in the guidelines and Author shall provide at the same time, or earlier if the Publisher reasonably requests, any editorial, publicity or other form required by the Publisher. Publisher will undertake the publication and distribution of the Work in print and electronic form at its own expense and risk within a reasonable time after it has given notice of its acceptance of the Work to Author in writing.

#### **§ 5 Author's Discount for Books and Electronic Access**

Author may obtain copies of the Work for personal use at a discount of 40% off the list-price if ordered directly from Publisher. Furthermore, Author is entitled to purchase for his/her personal use (directly from Publisher) other books published by Publisher at a discount of 40% off the list price for as long as there is a contractual arrangement between Author and Publisher and subject to applicable book price regulation. Resale of such copies is not permitted.

Publisher shall provide electronic access to the electronic final published version of the Work on Publisher's Internet portal, currently known as [springer.com](http://springer.com) and/or [palgrave.com](http://palgrave.com), to Author, provided Author has included his/her email address in the manuscript of the Work. Furthermore, Author has the right to download and disseminate single contributions from the electronic final published version of the Work for his/her private and professional non-commercial research and classroom use (e.g. sharing the contribution by mail or in hard copy form with research colleagues for their professional non-commercial research and classroom use, or to use it for presentations or handouts for students). Author is also entitled to use single contributions for the further development of his/her scientific career (e.g. by copying and attaching contributions to an electronic or hard copy job or grant application).

When Author is more than one person each of the co-authors may share single contributions of the Work with other scientists or research colleagues as described above. In each case, Publisher grants the rights to Author under this clause provided that Author has obtained the prior consent of any co-author(s) of the respective contribution.

#### **§ 6 Termination**

Either party shall be entitled to terminate this Agreement forthwith by notice in writing to the other party if the other party commits a material breach of the terms of the Agreement which cannot be remedied or, if such breach can be remedied, fails to remedy such breach within 28 days of being given written notice to do so.

On termination of this Agreement in accordance with its terms, all rights and obligations of Publisher and Author under this Agreement will cease immediately, except that any terms of this Agreement that expressly or by implication survive termination of this Agreement shall remain in full force and effect.

#### **§ 7 Governing Law and Jurisdiction**

If any difference shall arise between Author and Publisher concerning the meaning of this Agreement or the rights and liabilities of the parties, the parties shall engage in good faith discussions to attempt to seek a mutually satisfactory resolution of the dispute. This agreement shall be governed by, and shall be construed in accordance with, the laws of the Republic of Singapore. The courts of Singapore, Singapore shall have the exclusive jurisdiction.

Corresponding Author signs for and accepts responsibility for releasing this material on behalf of any and all Co-Authors.

**Signature of Corresponding Author:**

 FERNANDO SEBASTIAN  
CALCEDO ALTAMIRANO  
.....

**Date:**

September 11, 2021  
.....

- I'm an employee of the US Government and transfer the rights to the extent transferable (Title 17 §105 U.S.C. applies)
- I'm an employee of the Crown and copyright on the Contribution belongs to the Crown

*For internal use only:*

Order Number:

GPU/PD/PS:

Legal Entity Number: 1128 Springer International Publishing AG

Springer-C-CTP-05/2018

## Air to Air Communication System for Collaborative Drone Work in Rural Areas\*

Fernando Caicedo<sup>1</sup>[0000-0002-6296-5380], Hugo Moreno<sup>2</sup>[0000-0002-3579-0546],  
and Janeth Moreta<sup>1</sup>[0000-0002-0755-0115]

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador {fcaicedo5020,  
jmoreta8974}@uta.edu.ec  
<https://www.uta.edu.ec>

<sup>2</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador  
h.moreno@esPOCH.edu.ec  
<https://www.esPOCH.edu.ec>

**Abstract.** This paper proposes the development and implementation of a communications system for multiple drones working in synchronization on the same task, as well as, the identification of optimal frequencies for optimal system performance. SDR technology was used by means of USRP NI-2932 devices and log-periodic antennas. The system was developed in LabVIEW. QAM modulation was used in the creation of a graphical interface for said system's transmitter and the receiver. The performance tests were carried out in two stages. The first stage was held in a laboratory whilst the second was held in the field in a rural area. It was possible to identify that there is the highest amount of interference produced by drones in operation between 2 and 3 GHz and that 1.8 GHz is the optimal performance frequency for the communication system.

**Keywords:** Drone communication · Synchronized execution · SDR.

### 1 Introduction

Wireless communication systems have grown exponentially in recent decades [1], making it possible to satisfy the demand for access to high-speed multimedia data [2]. A basic communication system consists of a communication medium, a transmitter and a receiver, which are composed of subsystems such as filters, modulators, demodulators, encoders and decoders respectively [3]. Given the large number of applications which require a communication system, work environments and the different operating parameters, it is difficult to have specific communication equipment to perform performance tests [4]. Software Defined Radio (SDR) is a very important modern technology in the area of communications, it allows users to control device communication through software and work with different frequencies and types of modulation [5]. It is for this reason that SDR devices are the most convenient option for developing systems in which the best operating parameters are identified under specific conditions [4].

---

\* Supported by UTA and ESPOCH.

As technology has advanced by leaps and bounds, robotics and the use of electronic devices to provide comfort and facilitate people's work has also undergone considerable advances. One of the most popular electronic systems used in both residential and industrial markets is the unmanned aerial vehicle (UAV), commonly known as a drone [6]. They are used for different purposes, such as military uses, surveillance systems, delivery services to domicile, crop fumigation, etc. [7] [8] [9]. There are applications that require very forced labor to be executed by a single drone, such as the transport of material or home delivery packages [10]. In these kinds of situations, it is best to work collaboratively between two or more drones, as well as, attach robotic arms to said drones. This amalgam of an unmanned aerial vehicle and robotic extremities is known as an aerial mobile manipulator robot (AMR) [11]. The biggest challenge that the scientific community has faced in order to control this type of aerial robot is fluid communication between the drone and the robotic extremity to achieve coordination between them. This has led to many accidents and incidents costing thousands of dollars [8] [12].

Communications and control systems of robots and drones normally function on free frequency bands such as the 2.4 and 5 Ghz bands [13]. However, these frequency bands are not highly recommended because they present unstable communication and high latency [14] as there is already too much interference generated by residential WiFi systems in urban areas, and wireless internet service provider (WISP) systems in rural areas [15]. Several research projects have tried to establish different communication systems that allow correct communication between drones, as is the case of [16] which proposes the use LoRaWAN technology as a secondary telemetry communication system to optimize consumption and improve the scope of communication. In [14] a multi-hop communication system is proposed in which routers are used as intermediaries for the control of robots or drones in end device mode using TDMA (time division multiple access) implemented in the data link layer (layer 2).

The present work is based on SDR and aims to design and implement a communication system for industrial drones that carry out collaborative work, as well as, identify a working frequency with the least amount of interference generated by remote controls, drone propellers and WiFi systems which in turn will allow more stable communication between the drones. We worked with two USRPs: one for transmission and the other for reception. Each one was configured through LabVIEW and equipped with two logarithmic antennas. Thanks to the functional and stable communication system, we were able to carry out tests to receive packets at different frequencies, first without the interference of the drones and later with the drones in operation.

## 2 Methodology

The proposed system consists of generating stable communication between co-working drones, for which one, controlled from the ground station, will send geopositioning data to the other drone to maintain a specific position or indicate

Title Suppressed Due to Excessive Length 3

movements to be carried out so both may move in synchronization. Communication is done through USRPs connected to Skull Canyon NUC mini computers integrated into each of the drones.

The matrix 600 has a weight of 9.6 kg including six TB48S batteries, the maximum take-off weight is 15.1 kg, having a payload capacity of 5.5 kg. The additional load that the drones are supporting is 3 kg between the mini computer, the USRP and the antenna that have a weight of 1.6, 1.2 and 0.2 kg respectively. Fig. 1 shows the diagram of the equipment used in the collaborative work system between drones with the proposed communication system.

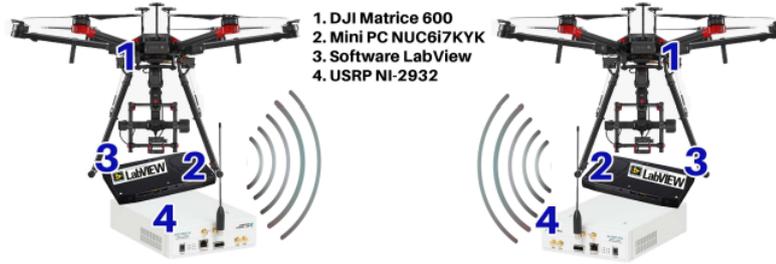


Fig. 1. Diagram of the equipment of the proposed communications system.

Fig. 2 shows the flow chart of the proposed algorithm with each of the main stages considered for the design of the transmission and reception systems.

## 2.1 Transmitter

The communications system works with two USRP-2932 mounted on two Matrice 600 drones and was designed using LabView software. It consists of a transmitter made up of several blocks such as device configuration, data framing, data coding and modulation; and a receiver formed by a block of demodulation, decoding, de-framing and data presentation. Fig. 3 shows the configuration block for the transmitter.

Synchronization is a very important part of a communications system [17]. The USRP clock signal has been taken as a basic parameter to generate synchronism in both the transmitter and the receiver. Fig. 4 shows the framing and coding block of the data. A convolutional encoder VI (virtual instrument) with a code rate of  $\frac{1}{2}$  was used for the encoding. This VI generates a stream of coded bits by means of a preconfigured matrix.

The data frame is made up of an initialization block, consisting of a sequence of 256 bits of Galois pseudo noise that allows better detection of the frame at the receiver, followed by the data block containing 32 header bits, 168 bits of corresponding data, 21 characters representing the geographic coordinates in latitude

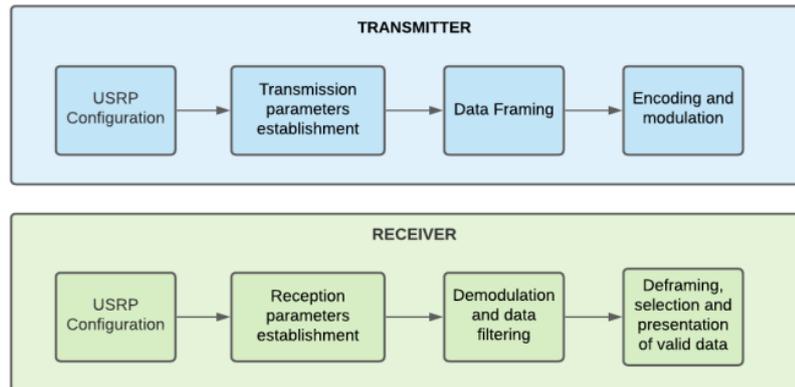


Fig. 2. Configuration block of the USRP in the transmitter.

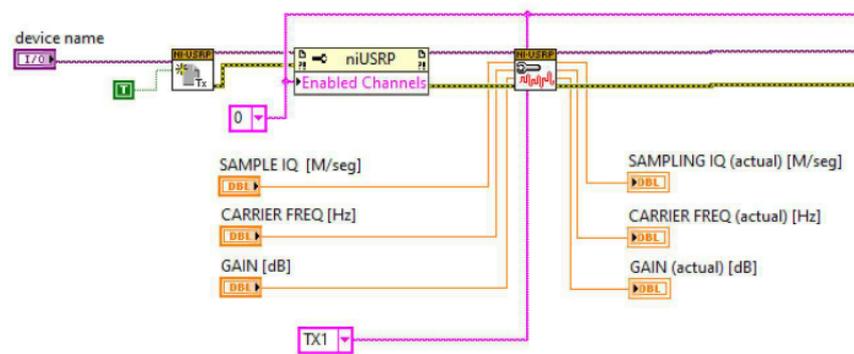


Fig. 3. Configuration block of the USRP in the transmitter.

Title Suppressed Due to Excessive Length 5

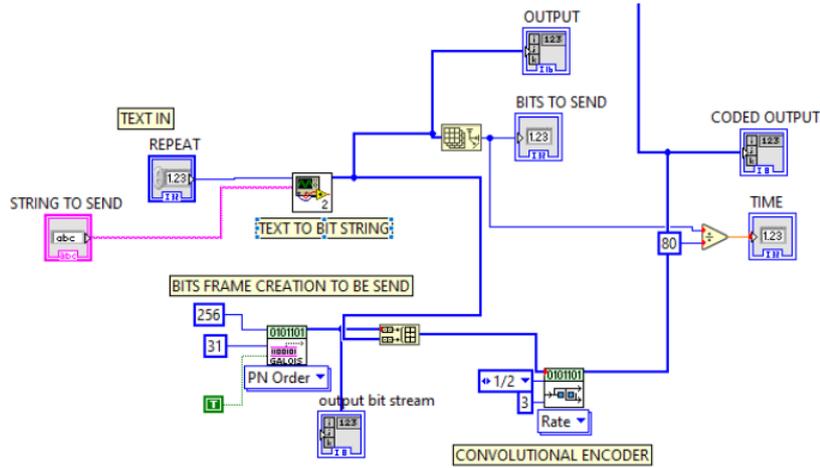


Fig. 4. Data framing and encoding block.

and longitude, and finally a block of 16 queue bits for the completion of the frame. The data block is sent twice to guarantee that it has been received correctly by the receiver. Fig. 5 shows the structure of the frame that is transmitted in the system, while Fig. 6 shows the creation of the data block.

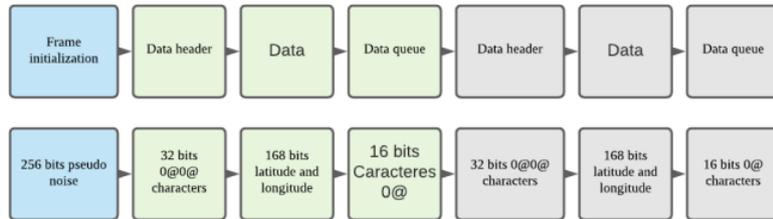


Fig. 5. Data framing structure.

We have chosen to work with QAM for the modulation block since several investigations, such as [18] [19], have demonstrated that the quadrature amplitude modulation performs better compared to OFDM and that lower values of the constellation obtain lower BER values (erroneous bit rates) for having a higher bit rate. Fig. 7 shows the modulation block which contains a stage for configuring modulation parameters, filter parameters, modulation and constellation graph.

6 F. Caicedo et al.

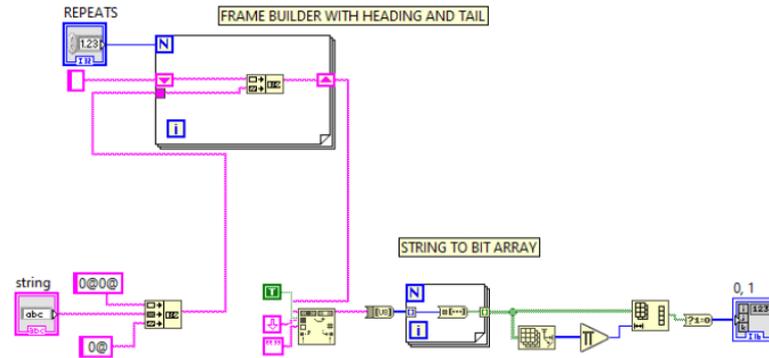


Fig. 6. Data block formed by the header, data and queue.

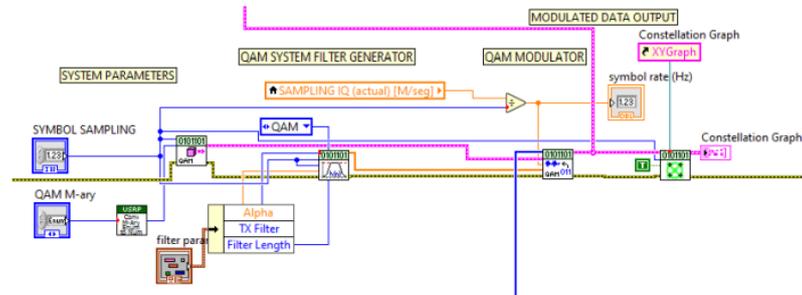


Fig. 7. QAM modulation block.

Title Suppressed Due to Excessive Length 7

### 2.2 Receiver

The receiver must be configured with the same modulation and coding parameters used in the transmitter, as well as the initialization bits, header and data queue. Fig. 8 shows the configuration stage of the demodulation parameters and the generation of Galois pseudo noise bits for the detection of the initialization of the frame.

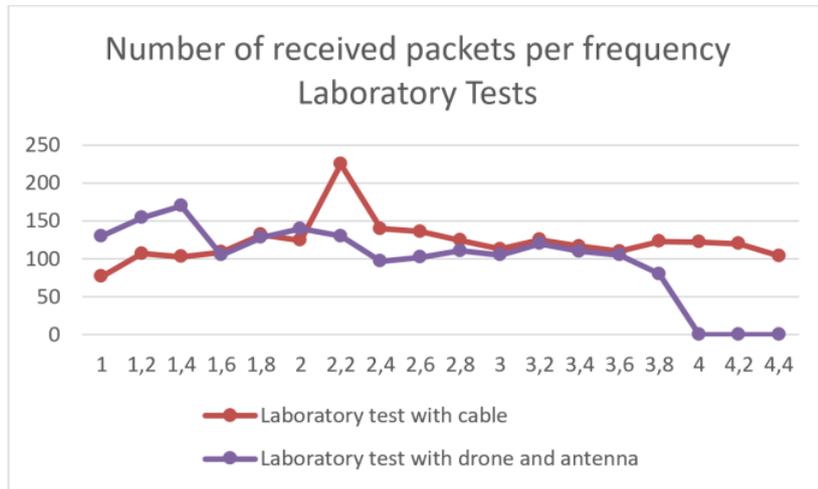


Fig. 8. Galois Pseudo Noise (PN) bit sequence and demodulation parameter block.

Once the initialization bits have been obtained, the frame is detected in the demodulator. The user can select the type of filter they want to work with from a drop-down list both in the modulator and in the demodulator. The available filters are Gaussian, root raised cosine, and raised cosine. In this case, we worked with the raised cosine filter since this type of filter reduces the side lobes of the signal spectrum, allowing the transmission power to be optimized by restricting it only to the bandwidth of interest [20]. Fig. 8 and Fig. 9 show the configuration stages of the filter parameters, signal filtering and frame detection using the QAM demodulator.

Fig. 10 shows the blocks programmed for the display of the constellation and eye diagrams respectively. These diagrams are used to get an idea of the quality of the signal being received through the clarity they present [21]. These diagrams will be analyzed in the results stage to verify the best reception at certain frequencies.

Lastly, we come to the data deframing and data presentation block. Figure 11 shows the frame detection processes and their decatenation using comparators to

8 F. Caicedo et al.

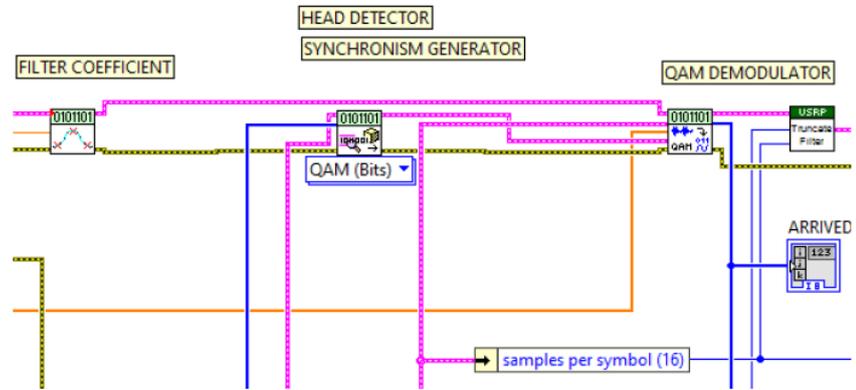


Fig. 9. Filter and synchronism coefficient block for the QAM demodulator.

identify the beginning and end of the information corresponding to the latitude and longitude of the geographical coordinates of the transmitting drone. The demodulator also uses the raised cosine filtering parameters. The same parameters used in the transmitter modulator.

### 2.3 Performance Testing

The first stage of the performance tests was carried out in a laboratory environment where 3 types of tests were executed. The first test consisted of transmitting and receiving data by connecting the USRP ports directly using coaxial cable. For the second test, the cable was exchanged for a pair of periodic logo antennas with a working frequency range from 700MHz to 6GHz. For the third test, a drone was included in operation in order to generate the noise and interference characteristic of its propellers and communication frequencies. In the three performance tests, the eye diagrams of the received signal and the number of packets received after one minute at frequencies from 1GHz to 4GHz were analyzed. Figures 12, 13, and 14 show these lab tests.

The second stage of the performance tests was carried out in the field at a separation distance of up to 300 meters. Said tests were carried out in a rural area where there is no interference from radio frequency systems such as WiFi networks. Fig. 15 shows the Matrice 600 drone controlled by the mini computer.

In order to carry out the operational tests with the drone in flight, it was necessary to mount both the USRP and the antenna on each of the drones. The minicomputer was used to run the LabVIEW program. The same one that executed the actions carried out by the USRP in the transmitter, and, in the same way, allowed the analysis of the data captured in the receiver. A cable connected to a grounded outlet was used to power the mini computer and the

Title Suppressed Due to Excessive Length 9

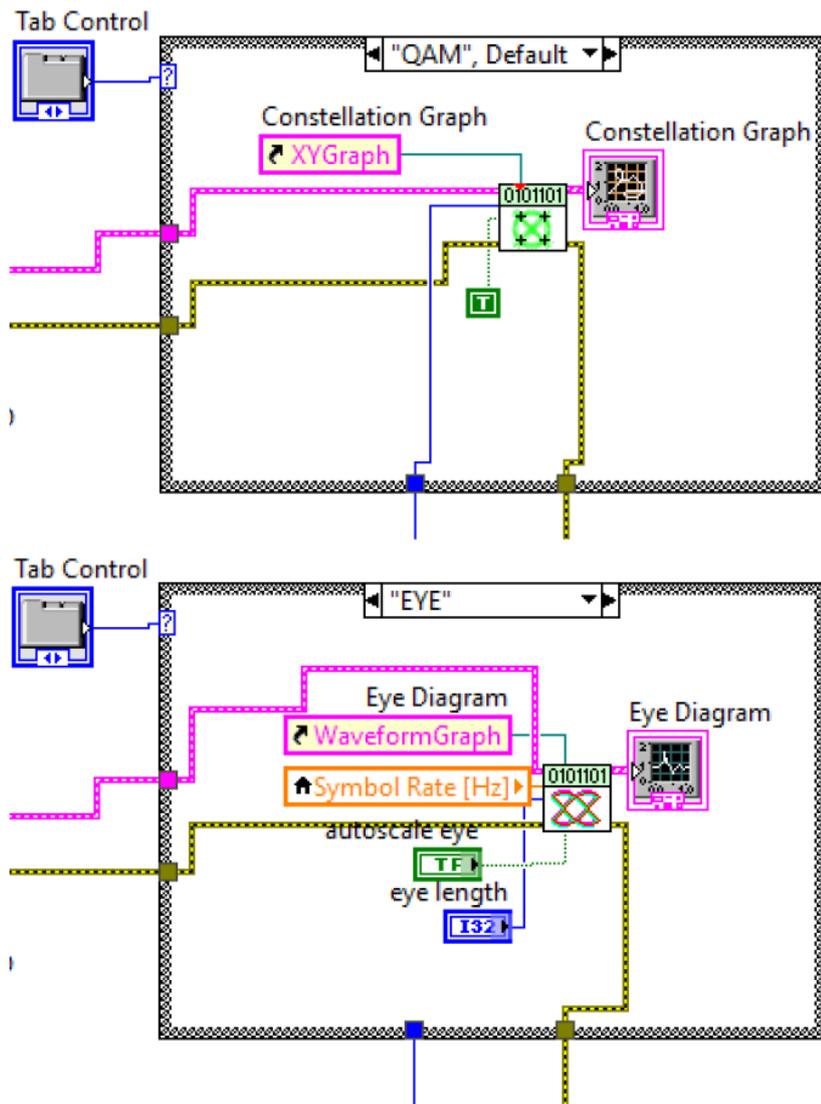


Fig. 10. Constellation Diagram and Eye Diagram Configuration Block.

10 F. Caicedo et al.

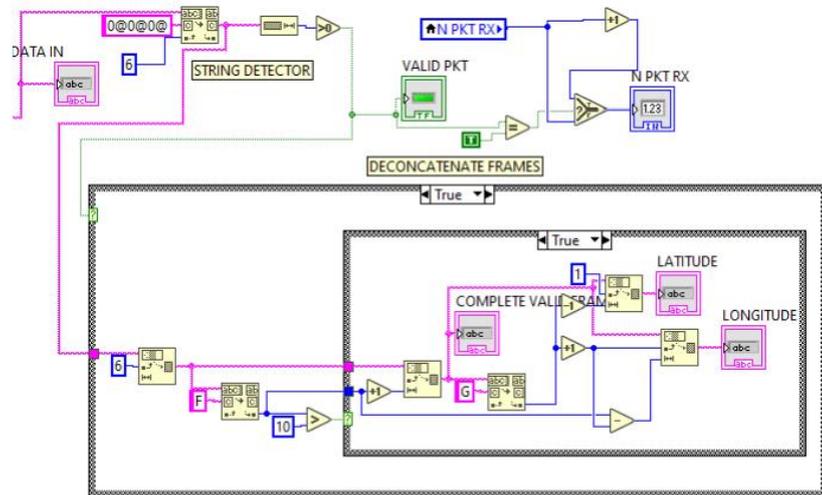
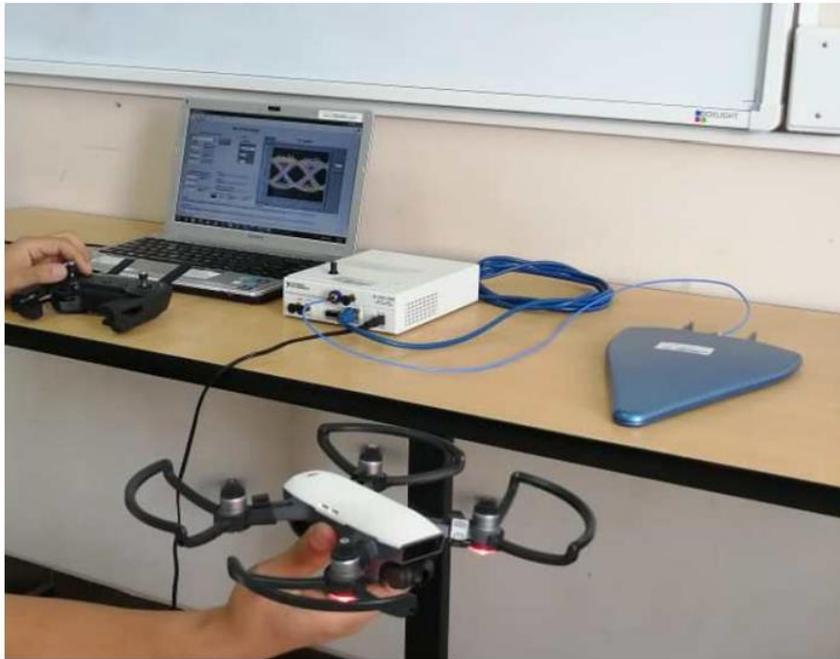


Fig. 11. Decatenation and valid data selection block.



Fig. 12. Performance tests in laboratory with logperiodic antenna.



**Fig. 13.** Performance tests in laboratory with logperiodic antenna and drone in operation.



**Fig. 14.** Performance tests in laboratory with logoperiodic antenna and Matrice 600 drone in operation.



**Fig. 15.** Operational tests in open field with Matrice 600 drone.

Title Suppressed Due to Excessive Length 13

USRP. Fig. 16 a) shows the USRP being installed in the drone, while Fig. 16 b) shows the Matrice 600 drone in flight during operational tests.



**Fig. 16.** a) USRP and antenna mounted on Matrice 600 drone b) Drone in flight for field performance tests in rural areas.

### 3 Results

In both the transmitter and the receiver, a GUI was created for the entry of configuration parameters, data entry and visualization of received data. Fig. 17 shows a screenshot of the receiver's graphical user interface in operation, in which the eye diagram of the received signal is evident.

The tests were carried out in the communications and microwave research laboratory of the Polytechnic School of Chimborazo (ESPOCH). Said operation tests of the system were carried out in two configurations: first, a system using wired communication via a coaxial cable coupled to 50 ohms of resistance, and a wireless system with logarithmic antennas in a far-field environment. Fig. 18 shows the results obtained in the first phase of performance tests. The different carrier frequencies used are shown on the X axis, while the Y axis shows the number of packets received during a one-minute sample.

The lab tests were carried out in a frequency range from 1 GHz to 4.4 GHz, which is the maximum operating frequency of the USRP card, with a variation of 200 MHz in each measurement. The results of the wired system show better

14 F. Caicedo et al.

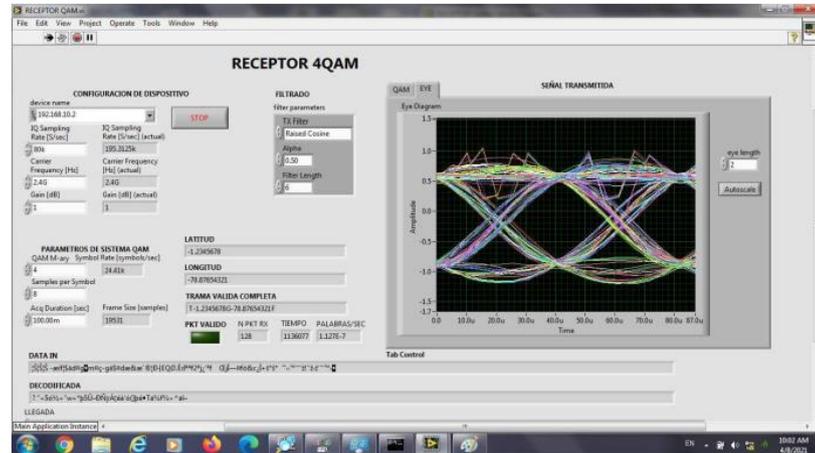


Fig. 17. Receiver GUI in use.

performance at a 2.2 GHz frequency while the wireless system is optimal at 1.4 GHz.

The second stage of testing was carried out in an open field on the ESPOCH campus with the Matrice 600 drone at a height of 2,840 meters above sea level. The results of these tests are shown in Fig. 19 where the system demonstrated a better performance while working at a frequency of 1.8 GHz.

The results obtained in the different scenarios mentioned above can be better appreciated in Fig. 20. It is clearly shown that more valid packets are received per minute when using a coaxial cable as a transmission medium than when using a wireless communication. It also shows that the interference generated by the drone in operation occurs between 2 and 3 GHz.

## 4 Discussion

The results of the proposed system show that the frequencies between 2 and 3 GHz suffer the greatest amount of interference generated by the control system and by the drone propellers. Thus, the use of the aforementioned frequencies is not recommended for the communications system between co-working drones. Frequencies above 3 GHz are not recommended either, since the system becomes unstable causing considerable packet loss. The optimal frequency for the system to work would be 1.8 GHz, since at this frequency there is a fairly stable communication with a considerable number of valid packets received. The main drawback for the development of the system was the synchronization between the transmitter and the receiver in order to detect the start and end of valid

Title Suppressed Due to Excessive Length 15

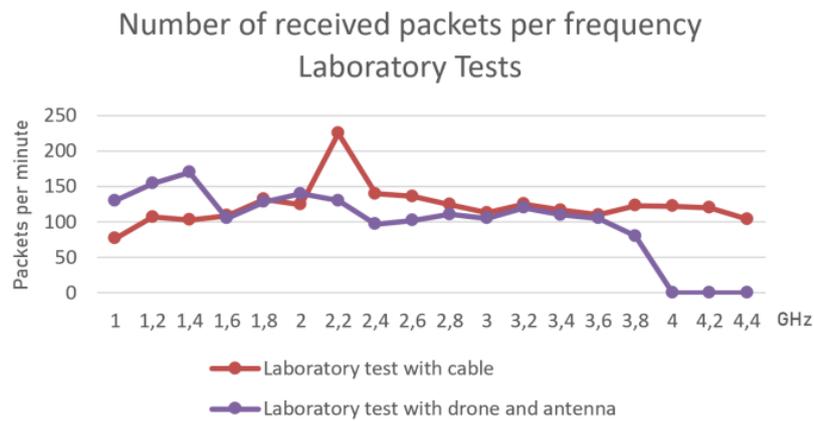


Fig. 18. Results of performance tests in a laboratory environment.

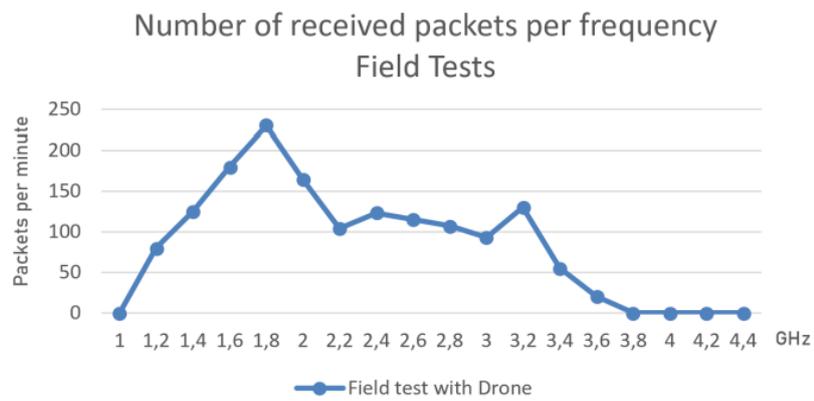
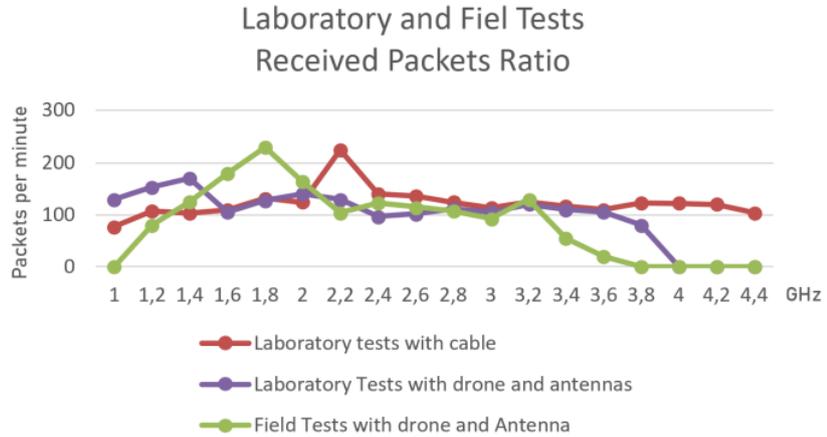


Fig. 19. Results of operational tests in the field with the Matrice 600 drone.



**Fig. 20.** List of results obtained in the different performance tests carried out both in the laboratory and in the field.

data frames. It is recommended that the amount of bits sent in a frame be taken into consideration when selecting the type of modulation to be used.

### 5 Conclusions

A communication system was developed which permits communication between drones in flight so as to share geopositioning data. The optimal operating frequency of 1.8 GHz was established which made it possible for drones in flight to transmit and receive up to 230 valid packets per second.

The data frame used together with QAM modulation guarantees the correct reception of geographic coordination data in latitude and longitude, which in turn optimizes coordinated work between drones. Tests carried out in an open environment show that the optimal communication frequency is 1.8 GHz with 230 packets received correctly out of a total of 250. This represents a 92% level of system efficiency.

The drones used generated environmental noise affecting data communication starting from 2 GHz. This subsequently affected the transmission and reception of geographical coordinates thus resulting in an average packet reception level of 125 with an efficiency of 50 percent. These results makes it impossible to use this frequency range for drone communication.

### 6 Acknowledgements

The authors of this research paper would like to thank the Ecuadorian Corporation for the Development of Research and Academia - CEDIA for their

Title Suppressed Due to Excessive Length 17

contribution to innovation through CEPRA projects, as well as the Polytechnic School of Chimborazo and the Technical University of Ambato for their support in the development of this research.

## References

1. M. Z. Chowdhury, M. Shahjalal, S. Ahmed y Y. M. Jang, 6G Wireless Communication Systems: Applications, Requirements, Technologies, Challenges, and Research Directions, *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 1, p. 957–975, 2020.
2. X. Yu, D. Xu y R. Schober, MISO Wireless Communication Systems via Intelligent Reflecting Surfaces : (Invited Paper), de 2019 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Changchun, 2019.
3. R. P. Devi y H. Nishat, BER Analysis of Digital Modulation Schemes using LabVIEW, *CVR Journal of Science and Technology*, vol. 13, p. 41–45, 2017.
4. J. Muslimin, A. L. Asnawi, A. F. Ismail y A. Z. Jusoh, SDR-Based Transceiver of Digital Communication System Using USRP and GNU Radio, de 2016 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), Kuala, 2016.
5. N. B. Abid and C. Souani, "SDR-Based Transmitter of Digital Communication System Using USRP and GNU Radio," in *Proceedings of the 8th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT'18)*, Vol.2, vol. 147, M. S. Bouhleb and S. Rovetta, Eds., Cham, Springer International Publishing, 2020, p. 373–381.
6. S. Suzuki, "Recent researches on innovative drone technologies in robotics field," *Advanced Robotics*, vol. 32, p. 1008–1022, 10 2018.
7. J. S. Ortiz, C. F. Zapata, A. D. Vega y V. H. Andaluz, Path Planning Based on Visual Feedback Between Terrestrial and Aerial Robots Cooperation, de *Computational Kinematics*, Cham, 2018.
8. T. Okutake, N. Uchida y N. Yamamoto, A Collaborative Safety Flight Control System for Multiple Drones, de 2016 10th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), Fukuoka, 2016.
9. W. W. Greenwood, J. P. Lynch and D. Zekkos, "Applications of UAVs in Civil Infrastructure," *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 25, p. 04019002, 6 2019.
10. P. Leica, K. Rivera, S. Muela, D. Chávez, G. Andaluz y V. H. Andaluz, Consensus Algorithms for Bidirectional Teleoperation of Aerial Manipulator Robots in an Environment with Obstacles, de 2019 IEEE Fourth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 2019.
11. O. A. Aguirre, J. C. Nacato y V. H. Andaluz, Virtual Simulator for Collaborative Tasks of Aerial Manipulator Robots, de 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Sevilla, 2020.
12. N. Uchida, T. Okutake and N. Yamamoto, "Image recognitions of collaborative drones' security controls for FPV systems," *International Journal of Space-Based and Situated Computing*, vol. 7, p. 129, 2017.
13. P. Hell, M. Mezei y P. J. Varga, Drone communications analysis, de 2017 IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), 2017.
14. T. Kagawa, F. Ono, L. Shan, K. Takizawa, R. Miura, H.-B. Li, F. Kojima y S. Kato, A study on latency-guaranteed multi-hop wireless communication system for control of robots and drones, de 2017 20th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), Bali, 2017.

18 F. Caicedo et al.

15. P. J. Singh y R. de Silva, Design and implementation of an experimental UAV network, de 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), 2018.
16. A. Rahmadhani, Richard, R. Isswandhana, A. Giovani y R. A. Syah, LoRaWAN as Secondary Telemetry Communication System for Drone Delivery, de 2018 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS), Bali, 2018.
17. U. E. Kocamaz, S. Çiçek and Y. Uyaroğlu, "Secure Communication with Chaos and Electronic Circuit Design Using Passivity-Based Synchronization," *Journal of Circuits, Systems and Computers*, vol. 27, p. 1850057, 4 2018.
18. M. M. Alhasani, Q. N. Nguyen, G.-I. Ohta and T. Sato, "A Novel Four Single-Sideband M-QAM Modulation Scheme Using a Shadow Equalizer for MIMO System Toward 5G Communications," *Sensors*, vol. 19, p. 1944, 4 2019.
19. A. Farzamia, N. W. Hlaing, M. Mariappan y M. K. Haldar, BER Comparison of OFDM with M-QAM Modulation Scheme of AWGN and Rayleigh Fading Channels, de 2018 9th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), Shah, 2018.
20. M. A. Hmida y A. Braham, Raised Cosine Filter Embedded in Stationary Wavelet Packet Transform for Induction Motor Fault Detection, de 2019 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Sousse, 2019.
21. C.-Y. Li, H.-H. Lu, W.-S. Tsai, Z.-H. Wang, C.-W. Hung, C.-W. Su y Y.-F. Lu, A 5 m/25 Gbps Underwater Wireless Optical Communication System, *IEEE Photonics Journal*, vol. 10, p. 1–9, 6 2018.

## MATRIZ POINT TO POINT

### 1.1 SUGERENCIAS REVISORES:

Reports:

-----

ARGUMENTATION:

The paper is interesting both for its potential in practice and for its relevance. It shows an appropriate study of the literature on the topic.

Comments:

Affiliations 1 and 3 are exactly the same.

Please, review the use of abbreviations in the abstract.

A thorough revision of the English text is recommended.

In the first paragraph of the introduction, the idea to be communicated is not clear. I think that concepts are mixed, or not logically related.

The English and Spanish languages are mixed in the figures.

In section 2.1, did you study if so much redundancy is needed?

The drones must carry an additional load to implement the proposal. Could this load be minimized in some integrated solution to the drone?

-----

-----

ARGUMENTATION:

The manuscript proposes a synchronization communication system for drones employed on the same task. The system revolves around the identification of optimal frequencies, which are assessed by experimental evaluation in two stages. The system is designed and implemented in a well known framework (LabVIEW).

The work is very interesting and its overall presentation is comprehensive and clean. The methodology is sound, and the results show a considerable impact.

In the discussion, a point that is not fully clear regards the high frequencies and the detected instability. Do the authors have a plausible reason for why the instabilities appear in the highest frequencies?

Beyond this comment, the paper is a valid contribution, hence I suggest the acceptance.

-----

-----

ARGUMENTATION:

Summary.

-----  
This paper proposes a new geospatial communication system between drones. The communication system works with the Software Defined Radio device USRP-2932 which is mounted on a Matrice 600.

After the exposition of the transmitter and receiver schematics and their configurations, three different performance tests are carried out in the laboratory: one in which the USRP-2932 ports are directly connected through a cable, another in which the cable is exchanged with antennas, and the last one in which a drone is added simulating the propeller noise to study the interference with the communication frequencies. In a second phase, communication tests are carried out in the field with the communication equipment mounted on two Matrice 600 drones separated by a distance of 300m.  
-----

Strengths

-----  
The article does a good job of reviewing the details of both the experiment and the setup.  
-----

Weaknesses

-----  
The experimental data could and should be improved by adding error data to Figs. 18 - 20. Some questions arise: How many trials did you do per trial? What is the order of magnitude of the absolute error and the relative error? Do the other runs respect the trend that the 1.8 GHz band is the best for field applications?  
-----

Minor comments

-----  
Still regarding figs. 18 - 20: even if the experiment data are specified in the article and in the title of the figures, a good practice should be to add the unit of measurement along all axes. So on the x-axis one could add "GHz" as well as "Number of packets in one minute of running time" on the y-axis for example. Another good practice is to use the same number format for the whole paper. So if you could change the number format from u,d to u.d in the figures, that would be a rather welcome improvement.  
-----  
  
-----

1.2 MATRIZ SUGERENCIAS

#	Sugerencias	Cambios Artículo
1	En el primer párrafo de la introducción la idea a expresar no es clara. Pienso que los conceptos están mezclados o no están lógicamente relacionados.	Se acoge a la sugerencia y se reestructura el párrafo, eliminando frases y palabras redundantes. <b>1 Introduction</b> Wireless communication systems have grown exponentially in recent decades [1], making it possible to satisfy the demand for access to high-speed multimedia data [2]. A basic communication system consists of a communication medium, a transmitter and a receiver, which are composed of subsystems such as filters, modulators, demodulators, encoders and decoders respectively [3]. Given the large number of applications which require a communication system, work environments and the different operating parameters, it is difficult to have specific communication equipment to perform performance tests [4]. Software Defined Radio (SDR) is a very important modern technology in the area of communications, it allows users to control device communication through software and work with different frequencies and types of modulation [5]. It is for this reason that SDR devices are the most convenient option for developing systems in which the best operating parameters are identified under specific conditions [4].
	El texto en las imágenes está mezclado entre inglés y español	Se acoge a la sugerencia y se modifica el texto en las imágenes manteniendo solamente el idioma inglés.

	<p>Los drones deben soportar carga adicional para llevar a cabo el objetivo propuesto, se puede minimizar esta carga en alguna solución integrada al dron?</p>	<p>Se acoge la sugerencia y se especifica el peso del dron y la carga útil del mismo</p> <p>The matrix 600 has a weight of 9.6 kg including six TB48S batteries, the maximum take-off weight is 15.1 kg, having a payload capacity of 5.5 kg. The additional load that the drones are supporting is 3 kg between the mini computer, the USRP and the antenna that have a weight of 1.6, 1.2 and 0.2 kg respectively. Fig. 1 shows the diagram of the equipment used in the collaborative work system between drones with the proposed communication system.</p>
2	<p>¿Los autores tienen alguna explicación de por que se produce la inestabilidad mencionada en altas frecuencias?</p>	<p>Se acoge a la sugerencia y se explica los factores que producen la inestabilidad en frecuencias altas.</p> <p>The results of the proposed system show that the frequencies between 2 and 3 GHz suffer the greatest amount of interference generated by the control system and by the drone propellers. Thus, the use of the afore mentioned frequencies is not recommended for the communications system between co-working drones. Frequencies above 3 GHz are not recommended either, since the system be-</p>
3	<p>Se recomienda insertar las unidades en los ejes de los gráficos, a pesar de que estas unidades sean mencionadas en el contexto del párrafo</p>	<p>Se acoge a la sugerencia y se incluyen las unidades en los ejes de los gráficos.</p> <p>Laboratory and Fiel Tests Received Packets Ratio</p>