



---

# Configuración y test de enlace radio para drones

---

*Nafarroako  
Unibertsitate  
Publikoa*



Universidad  
Pública de  
Navarra

E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación



Amaia Iturri Torrens

| Director: Fco. Javier Falcone Lanas

| Pamplona

| Fecha: 26/06/2017

En este trabajo, se va a llevar a cabo el estudio, la configuración y el test de un enlace radio entre un dron y una estación de tierra (GS). Para ello se estudiará el estado del arte tanto del uso de UAV (Unmanned Aerial Vehicles) como de los enlaces característicos de estos sistemas, la normativa de radiofrecuencias para la frecuencia de uso, y la cobertura del Datalink a utilizar, teniendo en cuenta los aspectos que afectan al canal. Además, se configurará una red IP y se probará la conectividad entre los equipos.

Palabras clave: UAV, Dron, radio enlace, Datalink, Ground Station.

# 1 CONTENIDO

---

## 1.1 ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.1	Índice de contenidos.....	2
1.2	Índice de figuras .....	4
1.3	Índice de Tablas.....	6
2	Introducción.....	7
3	Justificación y objetivos .....	8
4	Estado del arte .....	10
4.1	Descripción del sistema .....	12
4.1.1	Line of sight (LOS).....	14
4.1.2	Beyond Line of Sight (BLOS) .....	14
4.1.3	Tactical Data communication.....	15
4.2	Bandas de frecuencia .....	15
4.3	Estudio del canal .....	16
4.4	Estudio de las comunicaciones .....	24
4.4.1	OFDM.....	26
4.4.2	MIMO .....	28
4.5	Escenario Multi-UAV .....	29
4.6	Reglamento de Telecomunicaciones.....	40
5	Metodología empleada.....	41
6	Resultados .....	51
6.1	Medida previa .....	51
6.2	Primer escenario de medida .....	51
6.3	Segundo escenario de medida .....	53
6.4	Tercer escenario de medida.....	54
6.5	Cuarto escenario de medida .....	58
7	Conclusiones .....	65
7.1	Líneas futuras.....	66
8	Referencias .....	68

9	Anexo I: Datalinks comerciales .....	74
9.1	Wood & Douglas.....	74
9.2	Aeronix .....	76
9.3	Moni Log.....	78
9.4	AeroVironment.....	80
9.5	Persistent Systems .....	81
9.5.1	GEN 4 Integration Unit .....	81
9.5.2	GEN 3 Man Portable Unit (MPU3).....	88
9.6	AIM.....	90
9.7	Elisra .....	92
10	Anexo II: Características de las antenas .....	94
10.1	Antena Datalink .....	94
10.2	Antena GPS .....	95
10.3	Antena GS.....	97
11	Anexo III: Configuración del Datalink.....	102
12	Anexo IV: Trazas capturadas .....	106
12.1	Trazas capturadas en Zizur Mayor.....	106
12.2	Trazas capturadas en la UPNA .....	108

## 1.2 ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESQUEMA ACLARATORIO DEL SISTEMA UAV, GS Y DATALINK..	13
FIGURA 2: FENÓMENOS DE REFLEXIÓN Y DIFRACCIÓN .....	17
FIGURA 3: MODELO DE CANAL DE LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN UAV AIRE-TIERRA [17] .....	18
FIGURA 4: PUNTO DE REFLEXIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA [24] ....	22
FIGURA 5: RENDIMIENTO OFDM CON ICI EN UN CANAL CON FADING [36]	27
FIGURA 6: DIAGRAMA DE LOCALIZACIÓN DE ANTENAS DE TRANSMISIÓN EN EL UAV [39] .....	28
FIGURA 7: DIAGRAMA DE LOCALIZACIÓN DE ANTENAS DE RECEPCIÓN EN LA FURGONETA [39] .....	28
FIGURA 8: SISTEMA AÉREO NO TRIPULADO MULTI – INTERFAZ [41] .....	31
FIGURA 9: PILA DE PROTOCOLO MULTI OPTIMALITY PATH SELECTION MULTIPATH TCP [41] .....	32
FIGURA 10: PROCESO DE BROADCAST [42] .....	33
FIGURA 11: LOSS-RATIO CON Y SIN POLLING [42] .....	34
FIGURA 12: CONFIGURACIÓN DE LOS DOS ESCENARIOS MULTI-UAV [43] .	35
FIGURA 13: MODO MALLA (MESH MODE). IZQUIERDA: TRÁFICO TCP PARA 802.11N Y 802.11A. DERECHA: TRÁFICO PARA 802.11N [43].....	35
FIGURA 14: COMPARATIVA ENTRE 802.11AC Y 802.11N EN MODO AP TRÁFICO UDP [43].....	36
FIGURA 15: TRÁFICO UDP 802.11N. IZQUIERDA: MODO AP. DERECHA: MODO MALLADO [43] .....	36
FIGURA 16: RESULTADOS DE RETARDO CON DIFERENTES PROTOCOLOS Y NÚMERO DE NODOS [45] .....	39
FIGURA 17: APARTADO DEL BOE PARA 5.8 GHz .....	40
FIGURA 18: DATALINK DE VUELO .....	42
FIGURA 19: GROUND STATION DE PERSISTENT SYSTEMS.....	42
FIGURA 20: CAJA PROTECTORA DEL DATALINK .....	43
FIGURA 21: BATERÍAS UTILIZADAS PARA EL DL Y LA GS CON SUS CARGADORES CORRESPONDIENTES .....	44
FIGURA 22: PRUEBA DE MEDIDA EN EL LABORATORIO DE ANTENAS DE LA UPNA.....	44
FIGURA 23: SIERRA DEL PERDÓN .....	45
FIGURA 24: DISTANCIA GEOGRÁFICA ENTRE EL PUNTO DE MEDIDA EN EL PERDÓN Y UTERGA .....	46
FIGURA 25: ZONA DE MEDIDAS EN ZIZUR MAYOR .....	46
FIGURA 26: UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA.....	47
FIGURA 27: ESQUEMA DEL MONTAJE DEL SISTEMA DE MEDIDA DE COBERTURA (I).....	48

FIGURA 28: ESQUEMA DE DETECCIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA.....	49
FIGURA 29: ESQUEMA DEL MONTAJE DEL SISTEMA DE MEDIDA DE COBERTURA (II) .....	49
FIGURA 30: INTERFAZ WEB DE DL Y GS .....	50
FIGURA 31: PUNTOS DONDE SE COLOCARON EL DL Y LA GS .....	52
FIGURA 32: ESPECTROGRAMA EN VACÍO EN LA CIMA DEL PERDÓN .....	52
FIGURA 33: MONTAJE DEL SISTEMA EN LO ALTO DEL PERDÓN .....	53
FIGURA 34: PUNTO DE MEDIDA EN UTERGA .....	54
FIGURA 35: ESPECTROGRAMA EN VACÍO EN ZIZUR MAYOR.....	55
FIGURA 36: MONTAJE DEL DATALINK EN EL TERCER ESCENARIO DE MEDIDA .....	56
FIGURA 37: MONTAJE DE LA ESTACIÓN DE TIERRA (GS).....	56
FIGURA 38: EJEMPLO DE LOS DISTINTOS PUNTOS DE MEDIDA .....	57
FIGURA 39: ESCENARIO: CAMPUS DE LA UPNA .....	58
FIGURA 40: ANALIZADOR DE ESPECTROS CONECTADO AL PREAMPLIFICADOR .....	59
FIGURA 41: MONTAJE DEL SISTEMA .....	59
FIGURA 42: ESCENARIO DE MEDICIÓN Y DISTANCIA MÁXIMA MEDIDA .....	60
FIGURA 43: RELACIÓN ENTRE POTENCIA MÁXIMA Y DISTANCIA .....	62
FIGURA 44: SIMULACIÓN PARÁMETRO S11 CON Y SIN RADOMO .....	63
FIGURA 45: SIMULACIÓN DEL CAMPO RADIADO POR UNA ANTENA PARCHE CON Y SIN RADOMO .....	64
FIGURA 46: BARRA DE DIRECCIONES CON LA IP DEL DL PARA ACCEDER AL INTERFAZ WEB .....	102
FIGURA 47: NODE CONFIGURATION: MANAGEMENT.....	103
FIGURA 48: CONEXIÓN DE LA GS .....	103
FIGURA 49: NETWORK CONFIGURATION: NETWORK NODE LIST .....	104
FIGURA 50: EJEMPLO DE ENVÍO DE PAQUETE UDP CON PACKET SENDER .....	104
FIGURA 51: EJEMPLO DE CAPTURA WIRESHARK .....	105

### 1.3 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación de medidas y distancias (Zizur) .....	57
Tabla 2: Relación de medidas, distancias y potencias máximas (Upna) .....	61
Tabla 3: Configuración IP.....	102

## 2 INTRODUCCIÓN

---

A lo largo de la historia, el ser humano ha tenido que enfrentarse a desastres naturales como terremotos, tsunamis, fuertes lluvias que provocan inundaciones, huracanes etc.

Se conocen grandes ejemplos de estas catástrofes, como el terremoto en Haití en 2010, el terremoto y tsunami de Japón en 2011, el huracán Katrina de 2005, el terremoto de México en 1985 o el tsunami de Indonesia de 2004. Además de los naturales, existen otro tipo de desastres que son los causados por el ser humano, como las guerras que tienen efectos más devastadores que muchos de los desastres naturales acontecidos que se llevaron por delante la vida de miles de personas.

Este tipo de desastres, además, llevan consigo una serie de pérdidas materiales como los miles de hogares, edificios y vehículos que quedan inservibles, lo cual se traduce en unas pérdidas económicas considerables. Por otro lado, cabe destacar la caída de las infraestructuras de comunicaciones, lo que hace imposible el contacto de las personas que se localizan en el área afectada con el exterior de la misma, y que dificulta la labor de los servicios de rescate.

Tras un desastre natural, lo más importante es conservar las vidas humanas, y las primeras 72 horas después del desastre son las más críticas, por lo que las operaciones de búsqueda y rescate deben llevarse a cabo de la manera más rápida y eficiente posible [1].

Sin embargo, en numerosas ocasiones, las condiciones del terreno no son las más propicias para llevar a cabo las operaciones de búsqueda y rescate ya que tras un desastre natural el terreno puede quedar inundado, reducido a escombros o incluso ser inestable. La manera de llegar hasta las personas que se encuentran en las áreas afectadas puede ser dificultosa o incluso peligrosa.

Como se puede imaginar, las labores de búsqueda y rescate serán más eficientes con un mayor número de recursos disponibles para ello. Por esto, una importante consideración es la de incluir las nuevas tecnologías que van surgiendo en las operaciones de rescate sobre las áreas afectadas por los desastres naturales de forma que faciliten en la mayor medida posible las labores de los bomberos y en general de las personas encargadas de este tipo de operaciones.

### 3 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

---

Con motivo de facilitar la labor a los equipos de búsqueda y rescate ante situaciones de emergencia producidas por desastres naturales o provocados por el hombre, surge la idea de integrar nuevas tecnologías como son los UAV (Unmanned Aerial Vehicles); vehículos aéreos no tripulados conocidos popularmente como drones.

Al llegar a la zona afectada no se conoce la posición de las personas que se encuentran en ella, por lo que los equipos de rescate muchas veces no saben por dónde empezar a buscar. Con el uso de UAV, se pretende hacer la labor de búsqueda más eficiente para que el rescate se produzca lo antes posible.

En este entorno surge la iniciativa MOBNET que consiste en un proyecto cuyo propósito es el de localizar víctimas que han quedado aisladas durante un desastre natural o durante situaciones de emergencia, englobando la búsqueda de personas perdidas en general. Hasta ahora se vienen utilizando perros entrenados para este fin, o sensores radar que detectan el latido del corazón y la respiración, pero en muchas ocasiones están limitados a una penetración de unos 50 centímetros [2] [3]. Cada vez se integran más tecnologías en este tipo de actividades debido a los beneficios que suponen y a la gran eficiencia y rapidez que aportan [4] [5].

Para conseguir este fin, MOBNET se basa en el uso del EGNSS (European Global Navigation Satellite System) que incluye el sistema de navegación Galileo con su sistema de aumentación EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), y en las tecnologías celulares digitales DCT (Digital Cellular Technologies).

Pretende obtener una localización de las víctimas precisa, del orden de metros, con una solución de reducido SWaP (Size, Weight and Power), en el que un conjunto de UAV sobrevolarán el área afectada por un desastre natural en busca de señales de dispositivos móviles (GSM) y enviarán la información de las detecciones con su posición correspondiente a una estación de tierra (GS) mediante un enlace UAV-GS, donde la persona encargada de ello, analizará los resultados y tomará las decisiones pertinentes.

En este documento se va a detallar el enlace entre un UAV y la estación de tierra, conocido como Datalink, así como todos los aspectos a tener en cuenta que afectan al enlace, pruebas y medidas realizadas en

los diversos escenarios. Se pretende estudiar el impacto de los entornos de medida debido a las características de los mismos ya que difieren de uno a otro afectando en mayor o menor medida a la señal recibida en la GS proveniente del Datalink.

Se utilizará por lo tanto un dispositivo emisor (DL: Datalink) y otro dispositivo receptor (GS: Estación de tierra) donde se analizará la señal recibida. Se van a realizar pruebas a nivel de sistema basadas en la llegada correcta de los paquetes UDP enviados de un extremo a otro, es decir, del Datalink a la estación de tierra y en sentido contrario. Estas pruebas se realizarán a diferentes distancias para ver cómo disminuye la señal recibida conforme se alejan los dispositivos emisor y receptor entre sí. Se configurará la red IP necesaria para dicha comunicación, y se observará el comportamiento del nivel máximo de señal con respecto a la distancia de las medidas tomadas con un analizador de espectros.

## 4 ESTADO DEL ARTE

---

Cuando un área sufre los efectos de un desastre natural, miles de personas quedan atrapadas y aisladas. Es por ello que el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV), conocidos como drones, empieza a ser una herramienta de apoyo esencial para los equipos de búsqueda y rescate.

En ocasiones donde es complicado o incluso peligroso acceder al área afectada, los drones pasan a formar una parte imprescindible del equipo de rescate, pudiendo sobrevolar el área y localizar a las personas que se han quedado aisladas en ella, ya sea bajo escombros, bajo el agua o en zonas donde sea difícil encontrarlas a simple vista.

Un UAV puede facilitar el trabajo de los equipos de rescate de muchas formas. Pueden proporcionar imágenes o vídeo en tiempo real del área afectada y así obtener información sobre el estado de las infraestructuras, localización de personas, zonas peligrosas o en las que se ha detectado radiación o alguna sustancia nociva. Pueden utilizarse para aplicaciones médicas de forma que suministren a las personas atrapadas medicamentos, agua o comida entre otras cosas para mantenerlas con vida, o incluso como sistema de comunicación para que las personas aisladas puedan comunicarse con las personas que están fuera del área afectada.

No sólo se encuentran aplicaciones una vez pasado el desastre, sino que se pueden diferenciar tres fases en las que los Drones pueden ser útiles con respecto a este tema [1].

La primera es la preparación previa al desastre donde la efectividad de los UAV es prácticamente nula, sin embargo se pueden monitorizar una serie de parámetros mediante una red de sensores estática. La segunda es la evaluación del desastre en la que los UAV empiezan a cobrar importancia en acciones como concienciar de la situación o estudios para la planificación logística. La tercera y última es la respuesta ante catástrofes y recuperación donde los UAV apoyan misiones SAR (Search And Rescue) o formando el backbone de las comunicaciones.

Un desastre natural se lleva por delante además de la vida de muchas personas, muchas infraestructuras. Esto puede provocar escapes de radiación y sustancias nocivas. Lo importante en estos casos es localizar el punto caliente o 'hotspot' de la radiación, para lo que se emplean UAV [6]. El hotspot es la zona donde el nivel de radiación es

significativamente mayor que en otras regiones y es vital para entender el rango de los efectos de radiación de la zona de estudio. La formación del mismo depende de la dimensión geométrica y de la distribución espacial de los elementos de radiación. Al ser zonas potencialmente peligrosas, utilizar drones es una opción claramente recomendada.

En muchos casos el hecho de que ocurra un desastre ya sea natural o de la mano del hombre, puede traer consigo la inundación de algunas zonas, que pueden ser detectadas y evaluadas por drones [7]. La idea está basada en la representación de imágenes a color RGB y HSV. Mediante el procesado de esas imágenes se obtiene información del tamaño del área inundada realizando un análisis de cada píxel y la decisión de si pertenece o no al área inundada.

Otra de las aplicaciones con UAV es la monitorización [8] de personas, perros, coches, trenes etc., haciendo el dron visible o no según intereses y/o normativas y obteniendo las certificaciones correspondientes necesarias. Mediante GSM se envía la información incluyendo la de la posición GPS, información que se obtiene por medio de las señales emitidas por satélites [9] y debe adaptarse a sus requerimientos. Como es lógico, del mismo modo que se monitorizan animales o personas, se puede aplicar a las zonas afectadas por los desastres naturales.

La destrucción de la infraestructura de comunicaciones aísla a las personas atrapadas en el área que ha podido ser afectada por un terremoto o un tsunami y dificulta la comunicación de los equipos de búsqueda y rescate. Se ha estudiado y probado un sistema para restablecer las comunicaciones [10] basado en emplear drones formando una red celular mediante un algoritmo que sitúe a cada dron en un punto de forma que puedan recolocarse en el caso de que alguno de ellos falle o caiga. De este modo se genera una red celular que da servicio y que provee de conectividad a las personas que se han quedado atrapadas en el área afectada con los equipos de rescate y facilitan la intervención de los mismos dentro del área.

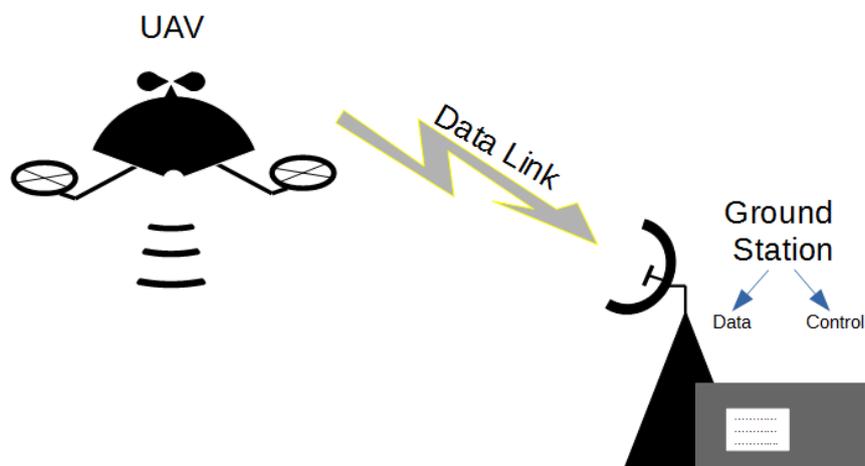
Otro sistema desarrollado consiste en realizar un rastreo y exploración del terreno afectado con UAV [11] y realizar un mapa de ruta alternativo al que existía antes del desastre ya que el terreno no es el mismo debido a la destrucción de infraestructura. Pretende generar una ruta segura cogiendo datos del GPS y acelerómetros de los teléfonos de los peatones. El resultado es un mapa coloreado que las personas afectadas pueden obtener mediante HTTP con el cual se genera una ruta segura.

Un sistema novedoso de localizar personas es en el que se basa el proyecto MOBNET. Se han realizado estudios y pruebas de este sistema previamente [12] [13] [14] debido a su interés, ya que un alto porcentaje de la población lleva consigo un teléfono móvil o smartphone. Se trata de un sistema capaz de detectar personas que han quedado atrapadas bajo escombros mediante las señales GSM de sus teléfonos móviles si están activos. MOBNET lleva este sistema más lejos y lo integra en drones para facilitar el movimiento, la detección y la rapidez de la operación. Como se puede intuir, las personas que no lleven sus teléfonos móviles, los tengan apagados o incluso rotos, no pueden ser localizadas por este sistema. En estos casos, se puede acompañar la solución con un GPR (Ground Penetrating Radar) para localizarlas, como ya se ha comentado, por detección de la respiración o del latido del corazón.

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En todos estos sistemas mencionados, una vez que el dron ha recogido la información necesaria, tiene que mandarla a una estación de tierra o GS ya sea en tiempo real o no, donde se recibirá, almacenará, procesará y mostrará en pantalla en el caso de ser necesario, para que la persona encargada de ello pueda analizar los resultados y actuar acorde a ellos. Para que esto ocurra, es necesario un enlace de datos entre el dron y la estación de tierra fiable, que se denomina Datalink (Figura 1).

El Datalink puede entregar datos de control del dron y datos de la información que va recogiendo por ejemplo de la localización de las víctimas de un desastre natural. Por lo tanto podemos diferenciar entre un segmento de control (non payload) que se encargará de la monitorización y del control del Dron, y por otra parte tenemos un segmento que lo conforman los datos que recoge el dron (payload) sobre posición, localización, imágenes o la información que en cada caso se precise.



*Figura 1: Esquema aclaratorio del sistema UAV, GS y Datalink*

Para que el enlace se establezca, es necesario hacer un estudio del canal de comunicaciones, ya que el enlace es sensible a efectos multicamino, desvanecimientos, efecto Doppler debido al movimiento del UAV, interferencias etc.

Un UAVS (UAV System) es un sistema formado por una serie de elementos como un UAV (Unmanned Aerial Vehicle), una GS (Ground Station) dividida en GDT (Ground Data Terminal) y GCS (Ground Control Station), y el Payload que corresponde a los sensores, cámaras etc., que incorpore cada dron [15].

Los UAV, conocidos popularmente como drones son un tipo de aviones que se controlan de forma remota desde la estación de control de tierra (CGS). Vienen utilizándose para una gran variedad de aplicaciones, como fotografía, vídeo, monitorización, vigilancia, búsqueda y rescate de personas, pronóstico del tiempo etc. El dron incorpora una serie de elementos que se denominan Payload que pueden servir para varios propósitos y llevar a cabo distintas tareas. Estos elementos incorporados pueden ser armas, cámaras de día y/o de noche, radares, o incluso equipos de detección de minas dependiendo de la capacidad del dron y del fin para el que vaya a ser empleado.

La CGS es una unidad móvil o no, que se encarga del control del UAV incluyendo el Payload. La GDT es una unidad que provee la comunicación entre el UAV y la CGS en una serie de bandas frecuenciales determinadas para cada caso. Como en el caso de la CGS,

puede ser móvil o no, y ambas pueden englobarse en la GS (Ground Station) diferenciando la parte que se encarga de la recepción y tratamiento de los datos y la que se encarga del control.

La comunicación por lo tanto se establece en dos sentidos. En uno de ellos los comandos que se generan en la GCS se envían al dron por medio de la GDT y por otro lado los datos de vuelo (UAV telemetry) y las imágenes o datos recogidas por el Payload del dron se envían a la GCS en dirección opuesta por medio de la GDT. Por lo general los UAVS suelen tener dos uplinks a diferentes frecuencias y un downlink. Esto es debido a que, en el caso de que uno de los uplinks falle, el dron sigue estando controlado por el otro. La señal llega a dos receptores diferentes en el dron y se envían al ordenador del mismo. Por lo general se utiliza la misma antena para transmisión y recepción. Con la ayuda del GPS tanto en el UAV como en la GDT, el sistema automáticamente calcula la dirección y el ángulo que tienen que tener las antenas para que estén bien apuntadas la una hacia la otra.

El Datalink es el sistema que permite la transmisión de datos entre el UAV y el GCS. Generalmente se distinguen tres tipos de Datalinks para las comunicaciones UAV que se describen brevemente a continuación.

#### 4.1.1 Line of sight (LOS)

LOS (línea de visión) necesita sistemas de comunicación punto a punto de alta velocidad. Puede utilizar diferentes bandas, en especial la C y la Ku. Pueden transmitir imágenes recogidas por el Payload desde el UAV gracias a las altas velocidades y anchos de banda. La tasa de transferencia de datos suele ser de aproximadamente 274 Mbit/s. Consiste en dos unidades, la aérea y la de tierra. Para asegurar sus capacidades LOS necesita dos antenas direccionales situadas una en el UAV y otra en la GDT. La distancia máxima de comunicación es de entre 200 - 250Km.

#### 4.1.2 Beyond Line of Sight (BLOS)

BLOS (más allá de la línea de visión) es un Sistema de comunicación que utiliza satélites para el enlace de datos. No necesita

línea de visión, por ello la distancia de comunicación es mayor que en el caso de LOS. Suelen emplearse frecuencias de Microondas y emplea satélites en órbita alrededor del mundo.

#### 4.1.3 Tactical Data communication

La comunicación táctica de datos habilita ciertas capacidades como son permitir la comunicación entre múltiples UAV, aviones y la estación de tierra, apoyar las operaciones de red centralizadas, o regular el trabajo de las distintas redes en el mismo entorno sin que se interfieran las unas con las otras. También incluyen ciertas características para la transferencia de datos de forma segura.

El diseño de un Datalink supone un mayor reto que el diseño de otras redes Wireless debido a sus requerimientos de larga distancia que provoca una atenuación de la señal significativa, a las altas velocidades que resultan en un efecto Doppler que afecta a la eficiencia espectral y el espectro de frecuencias ya que debido al crecimiento del tráfico aéreo va a llegar un momento en el que sea necesario identificar nuevos espectros para los Datalinks A2G (Air-to-Ground).

## 4.2 BANDAS DE FRECUENCIA

Las bandas de frecuencia más utilizadas para este tipo de escenarios [15] son las bandas Ku, K, S, L, C y X.

La banda Ku, que comprende las frecuencias de 12 a 18 GHz, ha sido históricamente utilizada para enlaces de alta velocidad y es capaz de traspasar la mayoría de obstáculos. Sin embargo, sufre de unas pérdidas de propagación considerables debido a que las longitudes de onda son pequeñas al tratarse de altas frecuencias.

La banda K posee un rango frecuencial alto que transporta grandes cantidades de datos ya que comprende frecuencias de 18 a 26.5 GHz. El inconveniente de esta banda es la sensibilidad a interferencias y que requiere transmisores potentes.

La banda L comprende las frecuencias entre 1 y 2 GHz, y seguida se sitúa la banda S que comprende las frecuencias entre 2 y 4 GHz. Estas bandas no permiten enlaces de datos con velocidades de transmisión muy altas (superiores a 500Kbps), sin embargo, las ondas son capaces de penetrar en las infraestructuras terrestres. Además el transmisor requiere menos potencia que en la banda K.

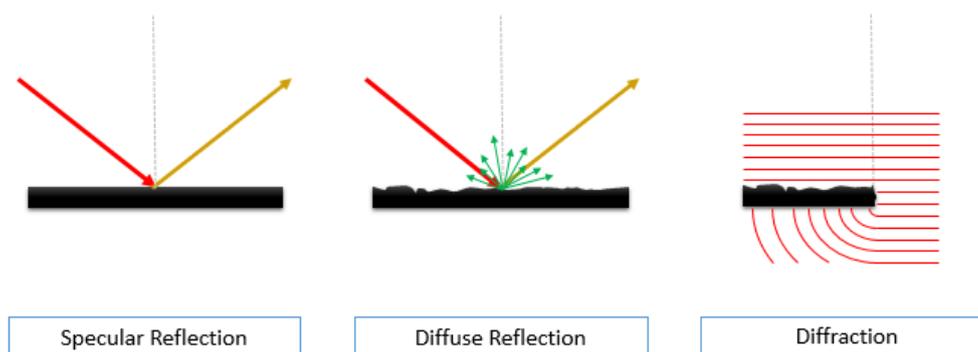
La siguiente banda es la C, comprendida entre 4 y 8 GHz que requiere antenas de transmisión y de recepción relativamente grandes. Finalmente, se utiliza la banda X que comprende las frecuencias de 8 a 12 GHz y que está reservada para uso militar.

### 4.3 ESTUDIO DEL CANAL

El canal de comunicaciones es el medio que enlaza el transmisor con el receptor. Sus propiedades determinan la capacidad, el rendimiento y el comportamiento de los sistemas. Por ello es esencial conocer el canal de propagación y aplicar esos conocimientos al diseño de nuestro sistema [16].

Los canales Wireless cuentan con fenómenos como la propagación multitrayecto debido a que existen multitud de caminos de propagación desde el transmisor hasta el receptor donde la señal puede ser reflejada, difractada o dispersada. El caso más simple es la propagación en el espacio libre, es decir, una antena transmisora y otra receptora en el espacio libre.

En un escenario más realista, hay obstáculos dieléctricos y conductores que si tienen superficies suaves hacen que las ondas se reflejen quedando parte de la energía en el objeto. Si la superficie es rugosa, las ondas sufren dispersión difusa y pueden ser difractadas en las esquinas de los objetos (Figura 2).



*Figura 2: Fenómenos de reflexión y difracción*

Además, en los sistemas de banda ancha, la función de transferencia del canal varía lo largo del ancho de banda de interés (frequency selectivity) y puede ocurrir que la señal recibida tenga mayor duración que la transmitida (delay dispersion).

Para el diseño, simulación y planificación de sistemas se necesitan modelos del canal de propagación simples que reflejen las propiedades importantes de los canales de propagación, en especial aquellas que tengan impacto en el rendimiento de los sistemas.

Esto se suele conseguir con modelos de canal simplificados que describen la respuesta al impulso de forma paramétrica con un número pequeño de parámetros. Cualquier modelo de canal se basa en la medida de datos mediante “Channel Sounding”, es decir, midiendo las propiedades (respuestas al impulso) de los canales.

A medida que los sistemas y los modelos de canal requeridos se vuelven más complejos también lo hacen las tareas de Channel Sounding. En este apartado se describirán varios ejemplos de los modelos de canal que se proponen para los escenarios en los que se utilizan UAV.

Algunos canales AG (Air to Ground) tienen mucho en común con los canales satélite-tierra, sin embargo, aunque muchos mecanismos de propagación que afectan a los canales AG también afectan a los terrestres (celulares) no son tan parecidos como de primeras puede parecer debido al ángulo de elevación, que el UAV y la GS están situadas en zonas abiertas etc.

El modelado del enlace debe ser simple, pero no demasiado ya que tiene que ser lo suficientemente preciso para que sea correcto. A partir

de ello, se pueden complicar más o menos y cae en el criterio de la ingeniería, ya que la suficiencia del modelo en cuestión depende de cómo se compare con el canal real [17].

Para realizar modelos de canal se suelen emplear las bandas más utilizadas para los enlaces UAV aire-tierra que son las bandas L y C con anchos de banda de unos 5 MHz y 50 MHz respectivamente y en muchos casos junto con técnicas de espectro ensanchado.

Por lo general, el camino de propagación está compuesto por una componente directa  $r_1$ , una componente resultado de las reflexiones en el suelo  $r_2$  y una tercera componente de reflexión  $r_3$ . Partiendo de esta idea, el modelo de canal se puede expresar como se ve en la Figura 3 y mediante su respuesta impulsional ( Ecuación 1) donde se tiene en cuenta el multitrayecto con las tres componentes que aparecen diferenciadas y cuya ganancia representan las variables  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$ .

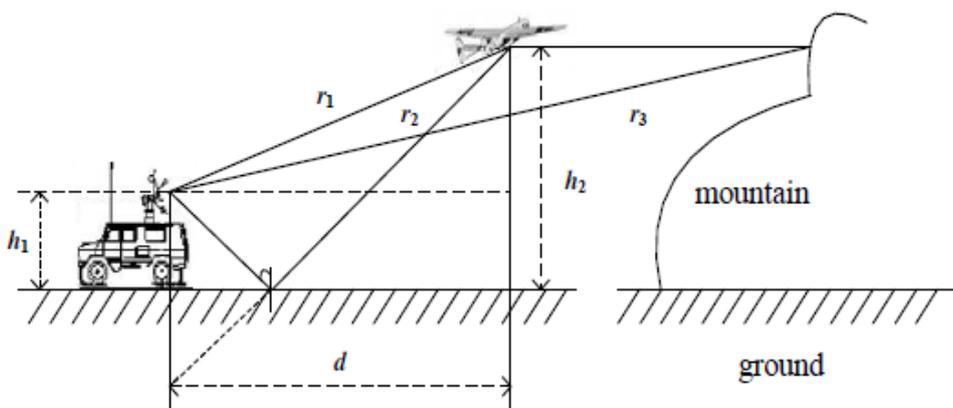


Figura 3: Modelo de canal de la transmisión de información UAV aire-tierra [17]

$$h(t, \tau) = a_0 e^{j2\pi f_{LOS} t} \delta(\tau) + a_1 e^{j\theta_{ref}} e^{j2\pi f_{ref} t} \delta(\tau - \tau_{ref}) + a_2 e^{j\theta_{scat}} e^{j2\pi f_{scat} t} \delta(\tau - \tau_{scat})$$

Ecuación 1: Respuesta impulsional del canal aire-tierra [17]

El efecto Doppler presente se tiene en cuenta mediante la variable  $f_{LOS}$ , componente de desplazamiento Doppler.  $\theta_{ref}$ ,  $f_{ref}$  y  $\tau_{ref}$ , respectivamente representan el cambio de fase, el cambio de frecuencia Doppler y el retardo de las componentes reflejadas en el suelo, mientras que  $\theta_{scat}$ ,  $f_{scat}$  y  $\tau_{scat}$  representan el cambio de fase, el cambio de

frecuencia Doppler y el retardo del resto de componentes [18]. Como se puede intuir, la componente  $r_3$  es menor que las otras dos, siendo la mayor de todas  $r_1$  por lo que en numerosas ocasiones, la tercera componente es despreciable.

El canal de comunicaciones va a depender en gran medida del entorno en el que se establezca. No se va a comportar de la misma forma en un área donde hay mucha vegetación o edificios que en un área plana sin obstáculos. Por ello, se pueden diferenciar modelos de canal según el entorno aunque como se verá, se pueden complicar en mayor o menor medida según la precisión que se busque.

En un entorno ‘near-urban’ o semiurbano las pérdidas de propagación se pueden asemejar a las pérdidas en el espacio libre pero con un modelo un poco más preciso (Ecuación 2) donde  $PL$  indica las pérdidas de propagación en decibelios en función de la distancia  $d$ .  $A_0$  indica las pérdidas a la distancia mínima  $d_{min}$ ,  $n$  indica el exponente de las pérdidas de propagación y  $X$  es una variable Gaussiana aleatoria [18].

$$PL(d) = A_0 + 10n \log_{10}(d/d_{min}) + X$$

*Ecuación 2: Pérdidas de propagación en un entorno semiurbano [18]*

En comunicaciones, la fuerza relativa de las componentes directas y dispersas (scattering) de la señal recibida expresadas por el factor  $K$  de Rician proporciona un indicador de la calidad del enlace [19]. No es de extrañar por tanto que sea un factor a tener en cuenta a la hora de modelar el canal de comunicaciones de un enlace aire-tierra. El desvanecimiento en pequeña escala se puede modelar en un entorno semiurbano por una distribución de Rician mientras que en gran escala se puede eliminar restando la media móvil de la amplitud de la señal recibida de la misma. El factor  $k$  no muestra una fuerte dependencia con la distancia.

La dispersión de retardo va a ser mayor cuantos más obstáculos encuentre la señal por el camino y cuanto más bajo vuele el dron ya que se adentrará más en ellos.

En términos generales, en un entorno semiurbano, las pérdidas de propagación como el factor  $K$  de Rician, serán mayores en la banda C que en la banda L siendo más notable la diferencia en el factor  $K$  [19].

Aunque el conocido modelo de dos rayos es atractivo por su simplicidad, no es preciso para configuraciones en las que hay obstáculos cerca de la estación de tierra. Para distancias largas, además, es necesario tener en cuenta la curvatura de la tierra para lo cual sí es apropiado utilizar el modelo de dos rayos para tierra curva pero añadiendo la desigualdad de la superficie terrestre, la refracción atmosférica y la divergencia esférica de la tierra. Algunos modelos se basan en una combinación de otros modelos, de análisis y de medidas.

En entornos donde el agua está claramente presente, ya sean océanos o lagos, pueden aparecer ciertos efectos como una mayor atenuación y afectar a la propagación a frecuencias por debajo de 10 GHz. En algunos casos, sin embargo y con baja probabilidad, puede ocurrir lo contrario debido al fenómeno que se conoce como ‘Ducts’ o conductos donde la señal en vez de sufrir de atenuación mejora con respecto a la propagación en el espacio libre debido a que estos conductos actúan como guías de onda que pueden reducir la atenuación de la señal. Estos conductos aparecen dependiendo de las temperaturas de la superficie del aire y del mar, de la humedad, velocidad del viento etc., de forma que la variación del índice de refracción se desvía de su decrecimiento habitual exponencial con la altitud.

Se han realizado numerosos estudios del canal en entornos con agua [21] [22]. Las pérdidas de propagación se pueden calcular empíricamente por medio de tres métodos: el de distancia logarítmica única (Ecuación 3), el de distancia logarítmica de dos segmentos (Ecuación 4) y el modelo de dos rayos (Ecuación 5).

$$PL(R) = A_0 + 10n_A \log \left( \frac{R}{R_{\min}} \right) + X_A + \zeta F_A$$

*Ecuación 3: Pérdidas de propagación. Modelo de distancia logarítmica [20]*

$$PL(R) = \begin{cases} A_{0,S} + 10n_S \log \left( \frac{R}{R_{\min}} \right) + X_S + \zeta F_S, & \theta > \theta_t (R < R_t) \\ A_{0,L} + 10n_L \log \left( \frac{R}{R_t} \right) + X_L + \zeta F_L, & \theta < \theta_t (R > R_t). \end{cases}$$

*Ecuación 4: Pérdidas de propagación: Modelo de distancia logarítmica de dos segmentos [20]*

$$PL(R) = \begin{cases} FE2R(R) - 20 \log [a(R)], & \psi > \psi_{\min} \\ CE2R(R) + B_L + \zeta F_{C,L} \\ -20 \log [a(R)], & \pi/2 > \psi > \psi_{\min}. \end{cases}$$

*Ecuación 5: Pérdidas de propagación: Modelo de dos rayos [20]*

En estos modelos, R es el rango del enlace,  $A_0$  las constantes a la mínima distancia, los subíndices S y L en la Ecuación 4 indican los segmentos de corta y larga distancia respectivamente, n es el exponente de las pérdidas de propagación,  $\theta_t$  es el ángulo de elevación umbral ( $5^\circ$ ) y la variable  $\zeta$  será -1 cuando se viaja hacia la GS y +1 cuando se viaja en el otro sentido. La variable F tomará valores positivos pequeños ya que es el factor de ajuste de la dirección del viaje. X es una variable gaussiana aleatoria,  $B_L$  es la diferencia media entre las pérdidas de propagación medidas y las del modelo CE2R (Curved-earth two-ray model).  $\psi$  es calculado en el modelo de dos rayos donde  $\psi_{\min} (mrad) = \left(2100/f_{MHz}\right)^{1/3}$  y  $a(R)$  es la variable de Rician.

El modelo de dos rayos es el más preciso para este caso, teniendo en cuenta la componente de Rician (fading) producida principalmente por la rugosidad de la superficie, y considerando tierra curva [21] [23].

Como se puede observar, la Ecuación 3 es muy similar a la Ecuación 2, con una pequeña corrección de trayectoria. En entornos casi urbanos o suburbanos se pueden utilizar ambas, al igual que el modelo de dos rayos expresado en la Ecuación 5 [24].

Cuando el Datalink se establece en terrenos montañosos hay que tener muy en cuenta las distancias y la superficie del terreno ya que los picos de las montañas pueden bloquear el enlace. Además hay que tener en cuenta la cantidad de vegetación que suele predominar en este tipo de áreas y que van a provocar fuertes reflexiones.

En este caso, las pérdidas de propagación se modelan de forma empírica con la ecuación del modelo de distancia logarítmica mencionado en el anterior caso (Ecuación 3). Las condiciones en las que está presente la reflexión en la superficie terrestre están determinadas por lo plana y cubierta de vegetación que sea la región entre Q metros desde la GS (Figura 4), y no de las condiciones del suelo a lo largo de toda la distancia de vuelo, es decir, el punto de reflexión del suelo se sitúa dentro de un radio de Q metros del GS.

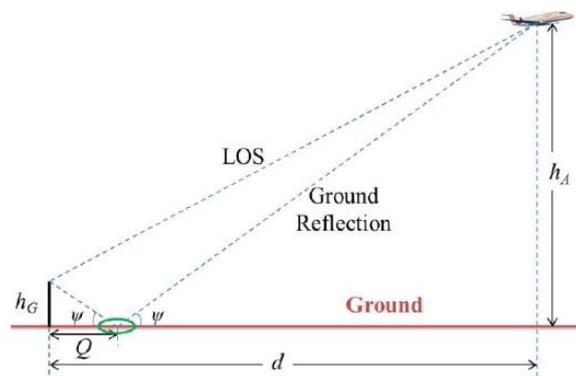


Figura 4: Punto de reflexión de la superficie de la tierra [24]

Despejando  $Q$ , por trigonometría obtenemos que  $Q = \frac{dh_G}{h_A+h_G}$  teniendo en cuenta que es una aproximación simple. En este tipo de terrenos por tanto, se observa una gran componente de reflexión únicamente en algunas porciones del vuelo, siendo afectada por la rugosidad de la superficie y la vegetación que la cubra. El factor  $K$  es de nuevo mayor para la banda C que para la banda L y no depende en gran medida del entorno o de la longitud del enlace [24].

Se han realizado numerosos estudios sobre el canal [25] con sus pruebas experimentales correspondientes generando modelos del canal. En uno de ellos se demuestra que un canal A2G (Air to Ground), con un ancho de banda de 20 MHz a una frecuencia central de 5060MHz (banda C), se puede modelar con un camino directo y una reflexión del suelo con componentes dispersas. Se puede expresar como pérdidas del espacio libre con una componente de shadowing. Se demuestra que la componente correspondiente al camino directo puede conseguir un margen de 20dB en cuanto a nivel de señal con respecto al resto de componentes [26].

Otro de los estudios [27] se basa en una malla 3D de muestras mediante una nueva métrica de distancia representativa para realizar un modelo de cobertura con un error menor del 5%. Este modelo es acertado para los casos en el que el dron tiene que sobrevolar un área con una infraestructura no lineal. Plantean tres formas de cobertura; Una de ellas basada en utilizar las redes celulares existentes, teniendo en cuenta que el dron no puede sobrevolar la zona muy alto ya que las antenas generalmente apuntan hacia abajo. Otra de las formas planteadas de conseguir la cobertura, es elevar los receptores de forma que los enlaces, sin obstáculos de por medio, van a poder establecerse a mayores distancias (10-20 Km) utilizando módems radio y banda UHF. Por último, proponen colocar receptores geográficamente distribuidos a

lo largo del camino de vuelo formando un escenario MIMO (Multiple Input Multiple Output) multiusuario de forma que los UAV manden los datos a múltiples objetivos para distribuir el volumen en varios canales.

Para modelar el canal emplean modelos estadísticos como el COST-HATA teniendo en cuenta otros efectos que afectan a la señal. El efecto Doppler lo consideran despreciable para 900MHz a la velocidad que llevan los drones, predominando las pérdidas de propagación y el fading o desvanecimiento a pequeña, a media y a gran escala.

A pequeña escala surge del multicamino pudiendo utilizarse el factor K de Rician para modelarlo siendo en algunos escenarios despreciable como por ejemplo en terreno rural. El desvanecimiento a media escala aparece debido principalmente al efecto “shadowing” o sombra debido a obstrucciones como colinas traduciéndose en un factor de atenuación. En un escenario donde los UAV se mueven de forma relativamente rápida y teniendo en cuenta la elevación de la antena receptora, este efecto está presente de forma temporal y prácticamente puede ser ignorado.

Por último el desvanecimiento a gran escala es el debido a la propagación por la atmósfera que se puede modelar como pérdidas de propagación que aumentan con la distancia ya que es lo único que va a variar en un vuelo en particular.

Teniendo en cuenta las características cambiantes del canal de comunicaciones, otra propuesta está basada en un método de transmisión de información adaptativa [17] donde se utilizan tres canales de procesamiento de señal para elegir, cada uno de ellos basado en una técnica como por ejemplo en la recuperación del espectro ensanchado, o utilizando ecualizadores y se elige como salida el que mejor resultados proporciona.

#### 4.4 ESTUDIO DE LAS COMUNICACIONES

Se han realizado diversos estudios sobre las comunicaciones entre UAV y GS teniendo en cuenta el modelado del canal y varios aspectos que afectan a las comunicaciones.

Uno de los estudios analiza el Datalink a una distancia de 200Km en banda Ku [28]. Calculan el ratio C/N y lo comparan con el requerido en diferentes geografías y condiciones meteorológicas. El uplink utiliza BPSK/DSSS, sin embargo el downlink como lleva imágenes, necesita más ancho de banda y utiliza QPSK u OQPSK sin espectro ensanchado.

La lluvia causa absorción y scattering en las ondas radio. Combinados, estos efectos resultan en una atenuación de la señal lo cual afecta a todas las frecuencias siendo más notorio para frecuencias a partir de unos cuantos Gigahercios. Los resultados muestran cómo mejora o empeora el ratio C/N a una distancia de 200Km en diferentes condiciones obteniéndose mejores resultados para una zona interior sin lluvia y peores para una zona de costa en un día lluvioso. En este estudio no se tienen en cuenta otros factores como las reflexiones en la tierra, lo cual implicaría un empeoramiento del ratio C/N a los 200Km de distancia fijada inicialmente, o dicho de otra forma, la necesidad de reducir esa distancia del Datalink a la GS.

Los drones vuelan a una altura determinada, y como es de esperar, esta influye en la calidad del enlace. Existe una altura determinada que maximiza el área de cobertura teniendo en cuenta aspectos como el multitrayecto y el fading o desvanecimiento [29].

El modelo de canal se basa en el factor de Rician, el cual se ve afectado por el ángulo de elevación del enlace. Cuanta mayor es la altura hay más línea de visión y por lo tanto menos componentes multitrayecto. Sin embargo, si seguimos aumentando la altura llega un punto en el que predominan las pérdidas de propagación por lo que aumentar la altura se convierte en algo perjudicial. Por lo tanto la altura óptima se encuentra entre la zona en la que el multitrayecto es la principal causa de disminución de la señal y la zona en la que lo son las pérdidas de propagación.

Además, la altura de los UAVs se va a ver afectada dependiendo del terreno en el que se encuentren. Por ejemplo, en una zona con vegetación, la efectividad de las comunicaciones a una altura baja va a ser limitada, especialmente para frecuencias de microondas [30].

Se han llevado a cabo estudios que muestran como el multitrayecto y las fuentes externas pueden interferir en la señal a distintas frecuencias [31] [32]. En concreto, en uno de ellos, se lleva a cabo el estudio a 915 MHz, 2.4 GHz y 5.8 GHz, que son las frecuencias que suelen emplearse en comunicaciones entre UAV y GS. En el otro se propone un método de simulación de la interferencia en una cámara anecoica mediante la teoría de análisis GRA (Gray Relational Analysis).

Se demuestra que en un entorno multitrayecto la banda de 915 MHz mantiene una buena relación señal a ruido, mientras que la banda de 2.4 GHz es más pobre en este sentido. Sin embargo, la banda de 915 MHz es más susceptible a las interferencias externas que la banda de 2.4GHz. Se demuestra que la banda de 5.8 GHz que utilizan para transmitir vídeo es fácilmente interferida por una fuente de interferencia externa y sufre degradación de la señal de vídeo en ambientes electromagnéticos complejos.

Es necesario realizar un análisis de cobertura cuando se utilizan drones, en un estudio sobre la comunicación A2G (Air-to-Ground) utilizan redes celulares GSM y UMTS para el Datalink empleando modelos de canal conocidos como el OKUMURA-HATA o el COST-HATA en entornos tanto rurales como urbanos [33]. Estos modelos están pensados para terrenos donde la densidad de las redes celulares está focalizada en el plano de tierra debido a la directividad de las antenas. Pasando una altura máxima que queda determinada por esto, se obtienen errores que se pueden considerar como intolerables, en particular para terrenos urbanos.

En el diseño de las comunicaciones entre un dron o UAV y una estación de tierra, hay que tener en cuenta otra serie de aspectos como la fiabilidad y seguridad del dron, que requiere integridad, disponibilidad y continuidad del enlace dependiente de la autonomía del UAV y de aspectos de seguridad como las normativas pertinentes. Además, la seguridad del link debe aportar confidencialidad e integridad contra posibles ataques [34]. El Datalink debe de consumir poco y estar compuesto por elementos de bajo peso y tamaño [30] siendo lo más compacto posible y teniendo en cuenta que va a ser integrado en un dron.

#### 4.4.1 OFDM

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM) puede ser un buen candidato para las comunicaciones de banda ancha para transmitir datos desde un UAV hasta una GS teniendo en cuenta que ha sido implementada de forma satisfactoria en numerosos sistemas terrestres de banda ancha. Sin embargo, hay que tener en cuenta que OFDM es propenso a la interferencia inter-canal causada por el efecto Doppler (variación de la frecuencia y longitud de onda debido al movimiento relativo entre el foco emisor y el receptor) y tratándose de UAV que pueden moverse a gran velocidad, el efecto puede ser mayor que en otro tipo de comunicaciones terrestres.

Para poder seleccionar un sistema OFDM apropiado es necesario modelar el canal de forma correcta de manera que se tengan en cuenta las componentes multitrayecto y el efecto Doppler presentes en los enlaces A2G. Se han realizado estudios con varios modelos de canal teniendo en cuenta la altura de los UAV o el entorno en el que se sitúan y los resultados muestran que para UAV a gran velocidad el número de subcanales en OFDM debe ser relativamente pequeño para poder disponer de comunicaciones fiables [35].

Utilizando un ancho de banda total de 10MHz con 64 o 128 subportadoras y empleando modulación BPSK en cada una de ellas, se demuestra que el comportamiento de OFDM depende en gran medida de la velocidad de los UAV y del número de subportadoras en OFDM. De distintos entornos experimentales se obtiene la conclusión de que es preferible que los UAV vuelen a altitudes bajas con menores velocidades. En el caso de querer aumentar la velocidad es necesario alcanzar a su vez una mayor altitud.

También se demuestra que los esquemas OFDM son muy susceptibles al desplazamiento o efecto Doppler para velocidades altas, lo cual era de esperar ya que es conocido que el efecto Doppler causa interferencia entre portadoras (ICI). Conforme aumenta la velocidad de los UAV utilizar OFDM con un alto número de portadoras se vuelve inaceptable para la mayoría de escenarios de modo que es preferible evitarlo en aquellos en los que las velocidades son altas, o en su defecto, utilizar un número pequeño de subportadoras para no perder la ortogonalidad entre estas debido al desplazamiento en frecuencia que provoca el efecto Doppler.

Se ha demostrado [36] que al aumentar la velocidad, la tasa de error (BER) del sistema OFDM se degrada. Sin embargo, cuando la SNR (Relación señal a ruido) es baja (unos 30dB) la tasa de error no aumenta drásticamente con la velocidad como ocurre en el caso de que la SNR sea alta (40dB). Esta diferencia se debe al hecho de que la ICI aumenta con la SNR. Cuando la SNR es alta, en la ICI domina el ruido y la degradación del rendimiento debido a esa ICI es más severa. Como se puede apreciar en la Figura 5, a una SNR y a una velocidad razonable del UAV, la degradación es tolerable.

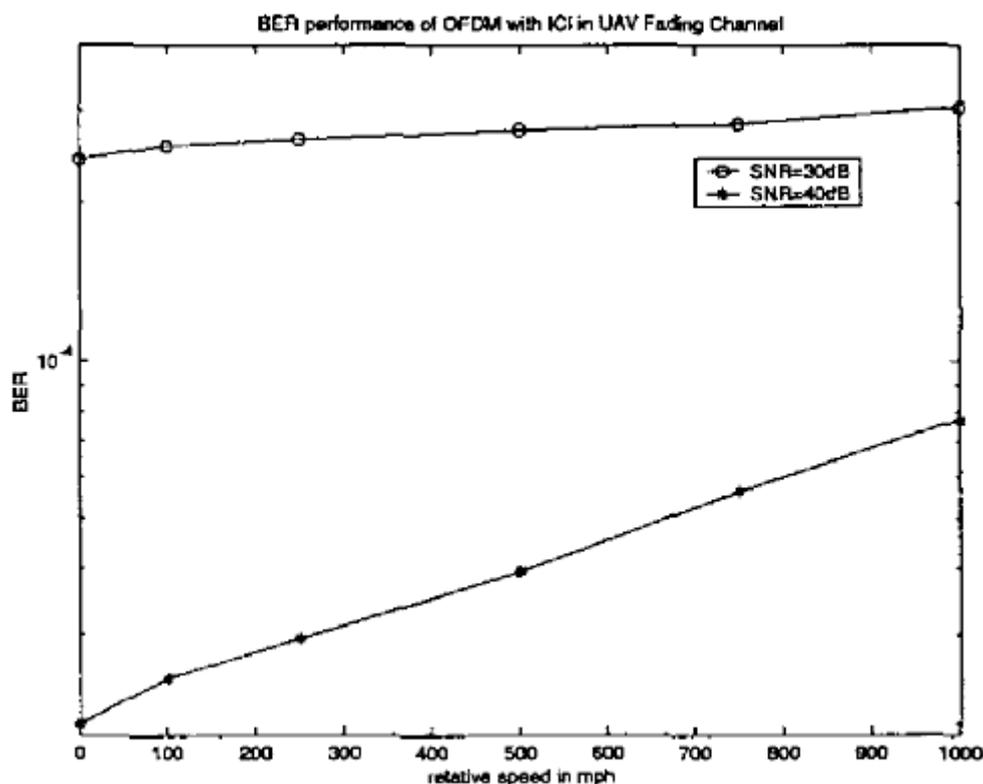


Figura 5: Rendimiento OFDM con ICI en un canal con fading [36]

Se demuestra que introduciendo OFDM a las comunicaciones UAV la degradación del rendimiento debida al efecto Doppler y a la ICI es relativamente pequeña. Por lo tanto, la aplicación de los sistemas OFDM para las nuevas comunicaciones UAV es una opción factible. Además, comparaciones realizadas con otro tipo de transmisiones (por ejemplo basadas en GSM) [37] muestran que los esquemas OFDM teniendo en cuenta aspectos como modulación y codificación adaptativas en algunos escenarios u otro tipo de herramientas para mejorar el enlace, son una buena opción para este tipo de comunicaciones.

#### 4.4.2 MIMO

Para aumentar la tasa de transmisión de las comunicaciones A2G se propone un sistema MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) adaptativo [38]. Los sistemas MIMO pueden aumentar la capacidad del Datalink al igual que hace en los sistemas de comunicaciones móviles.

Un ejemplo de su uso es un estudio en el que se propone un sistema MIMO para aumentar la capacidad del Datalink a baja altitud [39], se utilizan dos antenas (Figura 6) para transmisión en el UAV a unos 200 metros sobre el suelo. Las señales recibidas se graban en cada uno de los 8 elementos de la antena montados en una furgoneta (Figura 7) localizadas dentro y fuera de la zona de vuelo del UAV.

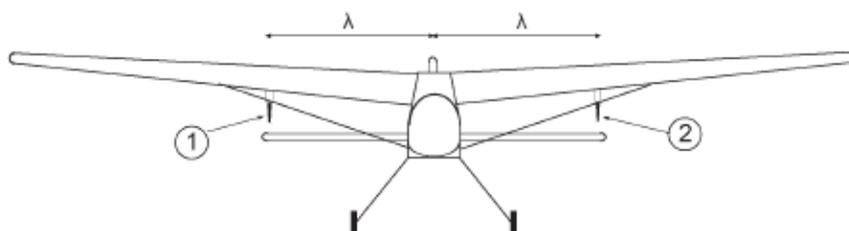


Figura 6: Diagrama de localización de antenas de transmisión en el UAV [39]

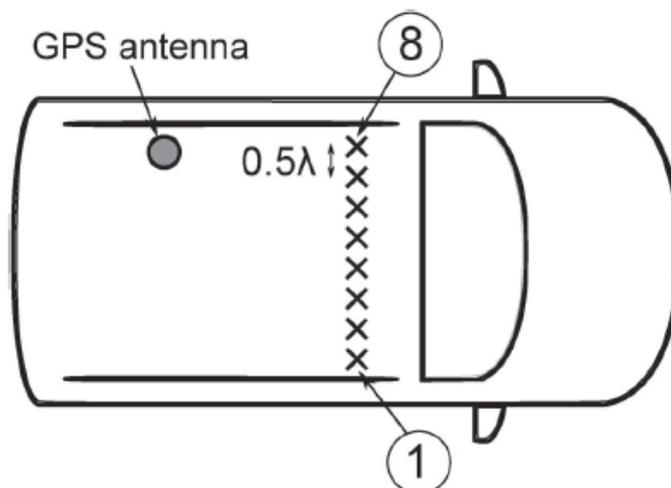


Figura 7: Diagrama de localización de antenas de recepción en la furgoneta [39]

El análisis de las medidas muestra que el canal es cambiante en el tiempo debido al movimiento del UAV. Las características del vuelo

como el ángulo de elevación o la polarización de las antenas van a afectar al funcionamiento del sistema en términos de señal recibida. En el escenario en el que se llevan a cabo las medidas el multitrayecto es escaso, pero se demuestra que un array de antenas en la estación de tierra puede ofrecer ganancia suficiente para compensar los efectos del fading debidos al multitrayecto. Además, se observa que aparecen efectos de scattering (dispersión) de campo cercano tanto en la estación de tierra como en el UAV. Estos efectos son más predominantes en ambientes urbanos debido al ángulo de elevación de las señales. Con ello, se demuestra la importancia de incorporar el impacto de las estructuras implicadas en la comunicación ya que se vuelven parte del entorno de operación y pueden tener un impacto significativo en las características espaciales de la señal recibida reduciendo el potencial de MIMO.

Por lo general y por el momento, en los sistemas UAV-GS no se requieren grandes tasas de transmisión, por lo que el uso de MIMO en este tipo de sistemas no es la opción más recomendable, ya que no se le sacaría suficiente partido. Sin embargo, con la evolución de este tipo de sistemas y los numerosos avances que se están llevando a cabo con las distintas configuraciones posibles entre UAV y estaciones de tierra es recomendable el estudio de MIMO como posible futura herramienta a utilizar.

#### 4.5 ESCENARIO MULTI-UAV

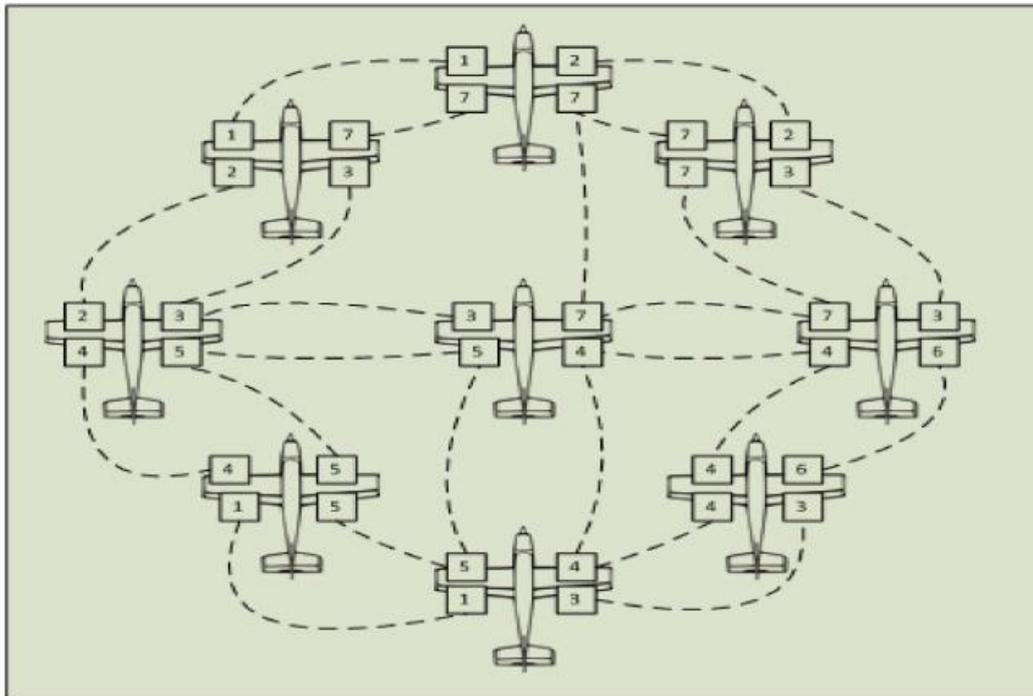
Por lo general, en el aire no hay un único dron y tampoco una estación de tierra que da servicio a ese único dron, ya que el sistema sería ineficiente, sino que hay varios drones sobrevolando una zona que se comunican con la estación de tierra y en muchos casos también entre ellos formando sistemas heterogéneos.

Una de las opciones o aplicaciones es tener una “colmena” de drones cuyo maestro sea un avión u otro dron que les dirige, decide las áreas en las que se va a situar o van a vigilar etc. El avión principal patrulla y vigila un área específica utilizando una cámara de vídeo que será controlada desde la estación de tierra. Cuando el operador de tierra identifique en esas imágenes un objetivo mandará una serie de instrucciones al dron, el cual las recibirá o continuará con el plan de vuelo. Los drones que lo acompañan tienen que ser manejables y capaces

de despegar o aterrizar en áreas pequeñas. Además pueden volar más cerca de un obstáculo que un avión convencional al ser más ágiles y de menor tamaño. Serán los encargados de llevar los sensores y de recaudar la información necesaria. La estación de tierra se encargará de tener conexión con cada uno de los drones que mandarán los datos a la GS encriptados para aumentar la seguridad [40].

Utilizar varios drones trae consigo una serie de conocidos problemas de las redes móviles Ad Hoc (MANETS) como desconexiones frecuentes o altas tasas de transmisión de datos fallidas debido a que los drones se mueven dentro y fuera de las áreas de cobertura. Estas redes realizan la comunicación sin necesidad de una estructura cableada y se auto-organizan. La gran ventaja de estas redes es la rápida capacidad de despliegue y reorganización de forma que cada dron es capaz de auto-posicionarse con la información obtenida del resto de la red. Además añaden un punto a favor de la seguridad debido a que se elimina la amenaza de que haya un único punto de fallo y la red entera deje de funcionar. Se pueden equipar los drones con varios interfaces de comunicación de forma que la transmisión de datos se vuelve más segura y resulta en un sistema con menos fallos de comunicación. Para este tipo de transmisiones se suelen utilizar protocolos como Multipath TCP (MPTCP) o derivados de los mismos como el protocolo Multi-optimality Path Selection TCP (MOPS-MPTCP) [41] que tiene en cuenta los handoffs debidos al movimiento de los UAVs dentro y fuera de las zonas de cobertura.

MPTCP es un buen protocolo para este tipo de escenarios debido a su gran flexibilidad de configuración. Mientras un sistema móvil se mueve entre áreas de cobertura de distintas redes puede activar interfaces que estén operativos en esas áreas lo cual es todavía mejor para sistemas con UAV cooperativos formando un sistema aéreo no tripulado cooperativo multi – interfaz (Figura 8).



*Figura 8: Sistema aéreo no tripulado multi – interfaz [41]*

TCP asegura transmisiones fiables mediante conexiones extremo a extremo entre las aplicaciones que se van a comunicar. Mediante la ventana de control de congestión se controla el tráfico en la red de forma que esta no se quede congestionada y así no se pierdan paquetes. Otra de las características de TCP es la retransmisión de paquetes. En el caso de que un paquete se pierda al no recibir confirmación se volverá a enviar.

Al iniciarse la comunicación la ventana de congestión tiene un valor de un segmento. Por cada transmisión satisfactoria se recibe un mensaje de confirmación (ACK) y se incrementa la ventana en un segmento lo que significa que el transmisor puede enviar dos veces más bytes que en la primera transmisión. La primera fase de comunicación se conoce como “slow start” que continúa hasta llegar a un umbral que marcará la pérdida de un paquete. Cuando no se reciba el ACK de un segmento o paquete enviado en un periodo de tiempo determinado por el RTO (Retransmission timeout) se toma como perdido debido a que la red está congestionada. Por lo tanto la ventana de congestión se reduce a la mitad. Una vez que se ha perdido un paquete la ventana de congestión se irá incrementando en una cantidad equivalente a una pequeña fracción de la ventana entrando en lo que se conoce como la fase de

“congestion avoidance”. TCP no es adecuado para utilizar en redes Ad Hoc porque las frecuentes desconexiones entre los drones se tomarían como congestión de la red sin serlo.

MPTCP es una extensión multitrayecto de TCP que tiene un algoritmo de control de congestión similar al de TCP pero modificado para múltiples caminos. Existen mejoras y modificaciones de este protocolo como MOPS MPTCP (Figura 9) que añade una nueva capa en la pila de protocolos entre las capas de aplicación y de transporte para seleccionar en camino que se va a emplear para la transmisión. Tiene en cuenta las características de los distintos interfaces y da mayores incrementos de ventana a los interfaces con mayores requerimientos.

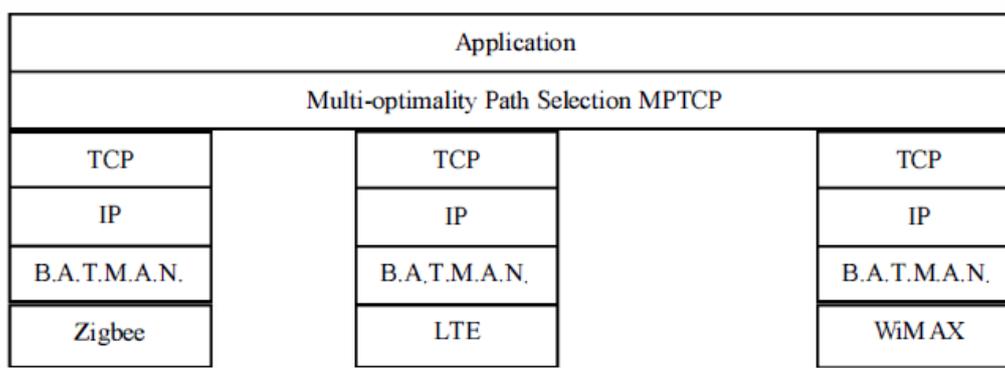


Figura 9: Pila de protocolo Multi optimality Path Selection Multipath TCP [41]

Uno de los problemas cuando se utilizan varios drones es que no existe un control del tiempo por lo que puede aparecer colisión de datos cuando señales de diferentes UAV lleguen a la GS a la vez. Esta colisión resultaría en una pérdida de paquetes que deteriorará el funcionamiento del sistema. Para evitar estos problemas, se puede optar por esquemas de “polling” [42]. En el sistema cada UAV tiene una dirección que le identifica unívocamente y comparte la frecuencia de transmisión con el resto. Cuando el enlace de la comunicación del sistema se establece la GS inicializa una tabla de direcciones y manda un mensaje de “polling” a un UAV objetivo en un slot de tiempo fijado (unos 100 ms).

Cuando el UAV recibe el mensaje de “polling” puede enviar un mensaje en 100 ms. Primero enviará a la GS un mensaje de estado. En segundo lugar puede enviar un mensaje a otros UAV si lo necesita que será también enviado a la GS para guardarlo. La GS, o el UAV que recibe ese mensaje, mandará una confirmación del mismo de forma inmediata.

En la práctica, la información de estado del UAV se actualiza cada 20ms y la espera a que llegue el paquete de status es de no más de 30ms. Si no se recibe el mensaje de ACK durante los 30ms después de haber recibido un mensaje el UAV lo volverá a retransmitir. En un periodo de 100ms un UAV puede retransmitir el mensaje una vez. Después de un periodo de “polling” la GS preguntará al siguiente dron de la misma forma que preguntó al primero añadiendo la nueva dirección a la tabla de direcciones. Una vez que se termina la tabla de direcciones se comienza una nueva ronda de forma que se actualiza constantemente.

Cuando la GS quiere enviar un mensaje de broadcast a todos los UAV, repetirá el mensaje a través de la dirección de broadcast en 200ms. En este caso, cuando los UAV reciben el mensaje, no es necesario que respondan con un ACK. Una vez pasados los 200ms del periodo de broadcast la GS volverá a su estado de “polling”. Si es un UAV el que quiere enviar a la dirección de broadcast, primeramente le debe pedir permiso a la GS (Figura 10). Cuando reciba el mensaje, la GS parará el polling y devolverá un mensaje de permiso al dron que lo pedía.

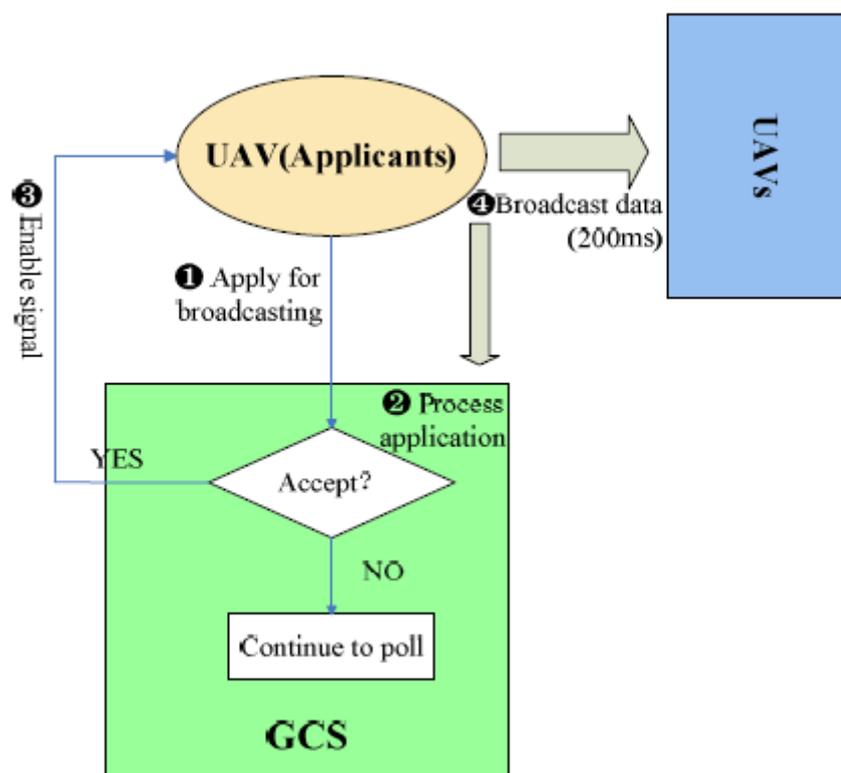


Figura 10: Proceso de Broadcast [42]

Una vez que el UAV ha recibido el mensaje de confirmación enviará el mensaje de broadcast a todas las unidades durante 200 ms. La GS mandará un mensaje de stop para prohibir al UAV que está enviando a broadcast que lo haga cuando haya pasado el periodo de broadcast y se volverá al estado de “polling”. La diferencia entre utilizar o no un esquema de polling se puede apreciar en la Figura 11 ya que la proporción de pérdidas es mayor sin utilizarlo.

### Sin polling

Packet Statistics:				
UAV ID	Num sent	Num received	Num loss	Loss Ratio%
1#	1939	1926	13	0.67%
3#	1933	1862	71	3.673%
2#	1923	1738	185	9.62%

### Con polling

Packet Statistics:				
UAV ID	Num sent	Num received	Num loss	Loss Ratio%
1#	2120	2119	1	0.047%
2#	2119	2111	8	0.378%
3#	2119	2114	5	0.236%

Figura 11: Loss-Ratio con y sin Polling [42]

En un sistema de múltiples UAV, tanto estos como las estaciones base son capaces de unirse a una red multi dispositivo y multi emisor donde el rendimiento de cada dispositivo va a verse afectado por el número total de dispositivos que se unan a la red. Por esto, los protocolos implementados para este tipo de redes deben facilitar la comunicación y soportar este tipo de sistemas multi emisor. Los interfaces de red a bordo de los UAV deben satisfacer los requerimientos de la red y puede ser interesante considerar una red multi-hop en escenarios donde se despliegan varios UAV sobre una gran área.

Se han llevado a cabo estudios con distintas configuraciones comparando protocolos como el 802.11a y 802.11n [43]. En el primer escenario (Figura 12) se consideran dos drones y una estación de tierra. El primer dron y la estación de tierra actuarán como estaciones mientras que el dron situado a 150m de la estación de tierra actuará de AP (Access Point). El segundo escenario consiste en una red mallada en la que todos los nodos actúan como MP (Mesh Points).

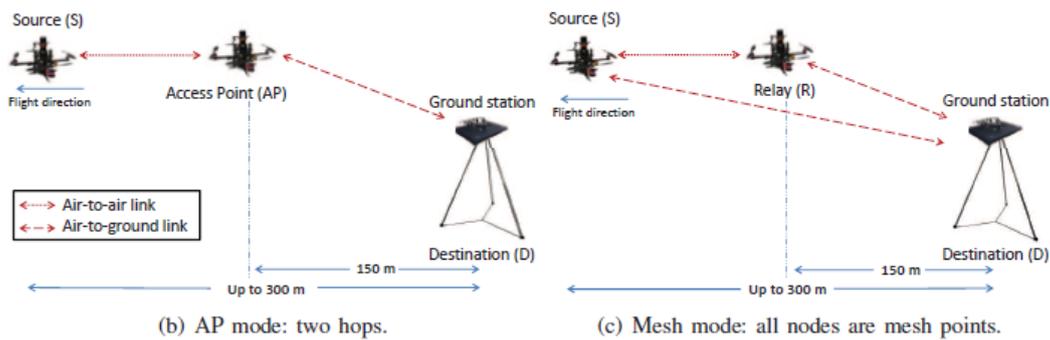


Figura 12: Configuración de los dos escenarios Multi-UAV [43]

El experimento realizado compara el rendimiento de los protocolos 802.11a y 802.11n utilizando tráfico UDP o TCP con la distancia para los escenarios modo AP y Malla. La diferencia entre utilizar tráfico TCP o UDP se puede apreciar en la Figura 13 y la Figura 14. Para distancias cortas, UDP alcanza mayores tasas aunque cae a unos 40 Mbps a menor distancia que en el caso de TCP.

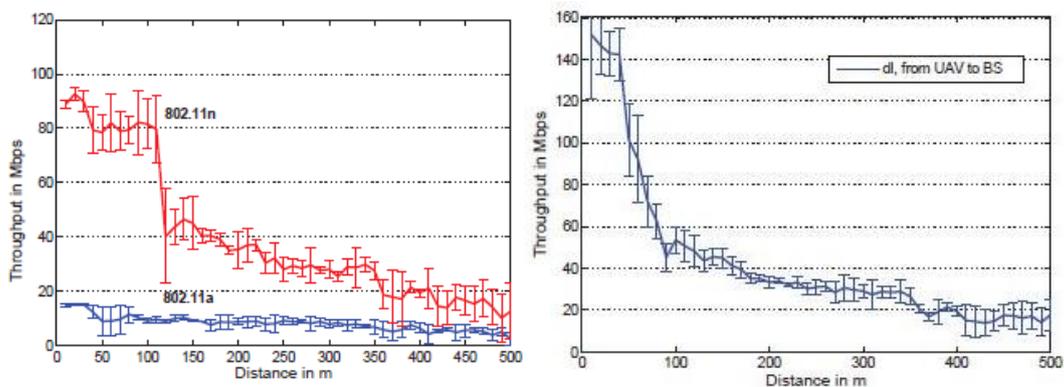


Figura 13: Modo Malla (Mesh mode). Izquierda: Tráfico TCP para 802.11n y 802.11a. Derecha: Tráfico para 802.11n [43]

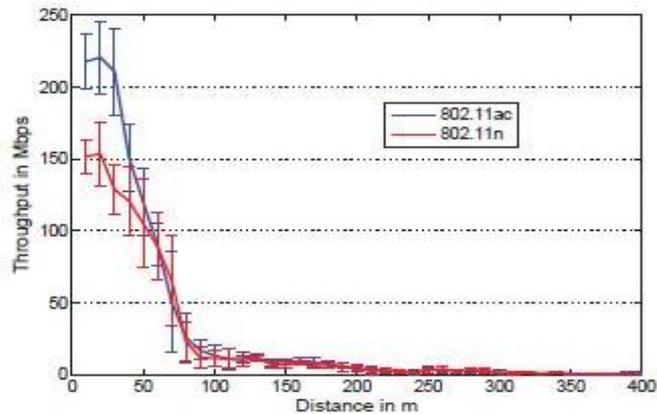


Figura 14: Comparativa entre 802.11ac y 802.11n en modo AP tráfico UDP [43]

Realizando el mismo experimento en modo AP utilizando 802.11ac para tráfico UDP se puede apreciar que se obtienen mayores tasas de transmisión para distancias pequeñas que en el caso de 802.11n. Sin embargo, para escenarios en los que la distancia es mayor, apenas hay diferencia.

En el escenario de modo AP (Figura 15) el UAV 1 es el que realiza la función de AP mientras que el UAV 2 es el que genera tráfico hacia la GS que lo recibe, es decir actúan como estaciones. El tráfico generado por el UAV 1 fluctúa en el mismo rango y de media se sitúa en unos 10Mbps mientras que el tráfico del UAV 2 incrementa conforme se acerca al UAV 1 que actúa de AP a unos 150m como se podía esperar, y cae a partir de 300m de distancia.

Se puede apreciar en cualquier caso que la alta movilidad de los UAV afecta de forma considerable a las tasas de transmisión.

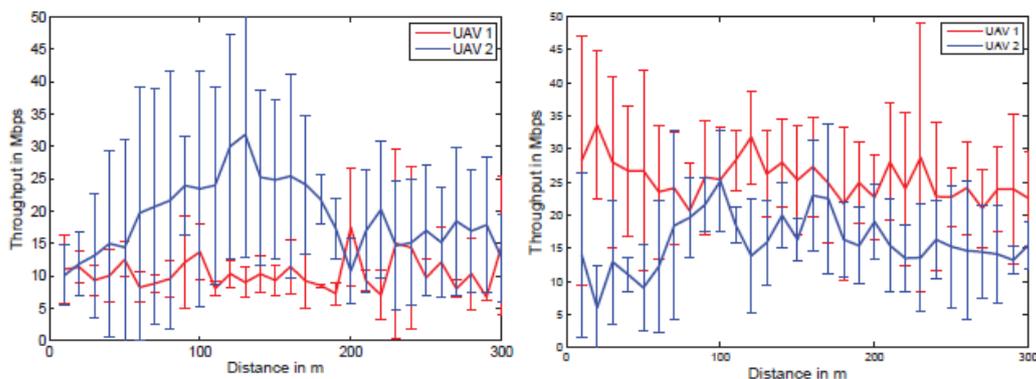


Figura 15: Tráfico UDP 802.11n. Izquierda: modo AP. Derecha: Modo mallado [43]

En el caso del escenario en modo mallado el tráfico del UAV 1 domina al del UAV 2 lo cual podría explicarse debido a que cuando el UAV se mueve la tasa seleccionada por el control adaptativo en 802.11n es mucho menor que en el caso de un UAV flotante siendo más pronunciado al inicio del experimento.

Tanto la comunicación como la coordinación son temas muy estudiados para escenarios con UAV debido a que en un escenario con varios UAV es necesario un alto nivel de coordinación que requiere el estudio de soluciones que mantengan el estado del sistema, permitan tomar decisiones efectivas y operen correctamente en entornos hostiles donde las comunicaciones son más delicadas o incluso pueden ser “atacadas”. Todo esto requiere almacenar grandes cantidades de datos y procesarlos muchas veces en tiempo real lo cual es complicado de realizar en algunos nodos de la red o incluso generar bases de datos con toda la información sobre diferentes aspectos relacionados con la misma.

Las operaciones Multi-UAV siempre implican una mayor complejidad de los escenarios de comunicaciones debido a la necesidad de un establecimiento de nuevos enlaces de comunicación por otros caminos para asegurar el flujo de información esencial.

Para permitir la realización de funciones de coordinación de alto nivel se propone un modelo de coordinación llamado PIM (Process-Integrated Mechanism) [44] que adopta una aproximación de coordinación híbrida basada en una sola autoridad de control que no tiene una posición fija en el sistema pero se puede mover rápidamente entre los dispositivos lo que permite obtener una visión general del sistema.

PIM consiste en un solo proceso de coordinación y un conjunto de componentes cada uno de ellos capaces de ejecutar el proceso. El proceso de coordinación va realizando ciclos entre los componentes a una velocidad suficiente para conocer la coordinación que se necesita y así poder reaccionar a nuevos eventos a tiempo. El CP (Proceso de coordinación) lleva a cabo las instrucciones de los operadores humanos.

PIM es una arquitectura de dos niveles. El CP que es responsable de la coordinación entre componentes y del comportamiento de todo el PIM y por otro lado los procesos y rutinas locales que gestionan las acciones autónomas de cada dispositivo como el almacenamiento de datos, movimientos y acciones que requieren una respuesta más rápida como evitar las colisiones.

Se ha estudiado el comportamiento de distintos protocolos de comunicaciones para ser utilizados en los casos en los que acontece un desastre natural, donde es importante que no se pierda la información y los escenarios en los que se tiene que establecer la comunicación no son los más propicios para ello.

En concreto, se han estudiado en dos escenarios los protocolos Epidemic, Maxprop, Prophet and Spray y Wait [45].

El protocolo Epidemic trata de diseminar copias de los mensajes por la red. Cuando un nodo conoce a otro intercambian los mensajes que tienen en memoria. Esta técnica asegura una alta tolerancia ante fallos en los nodos replicando un número significativo de mensajes a través de varios nodos de la red. Sin embargo, debido a esto, los recursos de la red pueden consumirse muy rápido.

El protocolo Maxprop establece órdenes de prioridad para los mensajes en cola. Se clasifican los mensajes que se van a descartar o se van a transmitir dependiendo de la prioridad de cada uno. La prioridad de los mensajes se basa en la probabilidad de entrega al destino que se deduce a partir de datos históricos y otros mecanismos auxiliares como una lista de nodos intermedios y notificaciones de mensajes nuevos aunque se pueden utilizar varios métodos para fijarla. Este protocolo generalmente aumenta la probabilidad de la entrega de los mensajes al destino.

El protocolo Spray and Wait combina la velocidad del protocolo Epidemic con la simplicidad de la entrega directa. Define para un mensaje dado un límite  $L$  de copias (generalmente 6) para que se repliquen por la red. El protocolo opera en dos fases: la fase de Spray y la fase de Wait. Durante la primera de ellas, se diseminan  $L-1$  copias del mensaje de modo Epidemic. Los nodos que reciben una copia de ese mensaje lo guardan y se pasa a la fase de Wait en la que van a intentar entregar el mensaje directamente al destino.

El protocolo Prophet asume que el encuentro de nodos es totalmente aleatorio. Utiliza una métrica denominada *delivery predictability* que indica la probabilidad de que un nodo entregue un mensaje a un destino determinado. Los nodos replican los mensajes únicamente a otros nodos que tienen una mayor probabilidad de que les lleguen los mensajes. Esta aproximación reduce la réplica de mensajes y con ello el consumo de los recursos de la red como buffers y ancho de banda.

En los experimentos hay dos opciones. La primera en la que se envían mensajes a todos los nodos y la segunda en las que se envía al centro de comandos (CC).

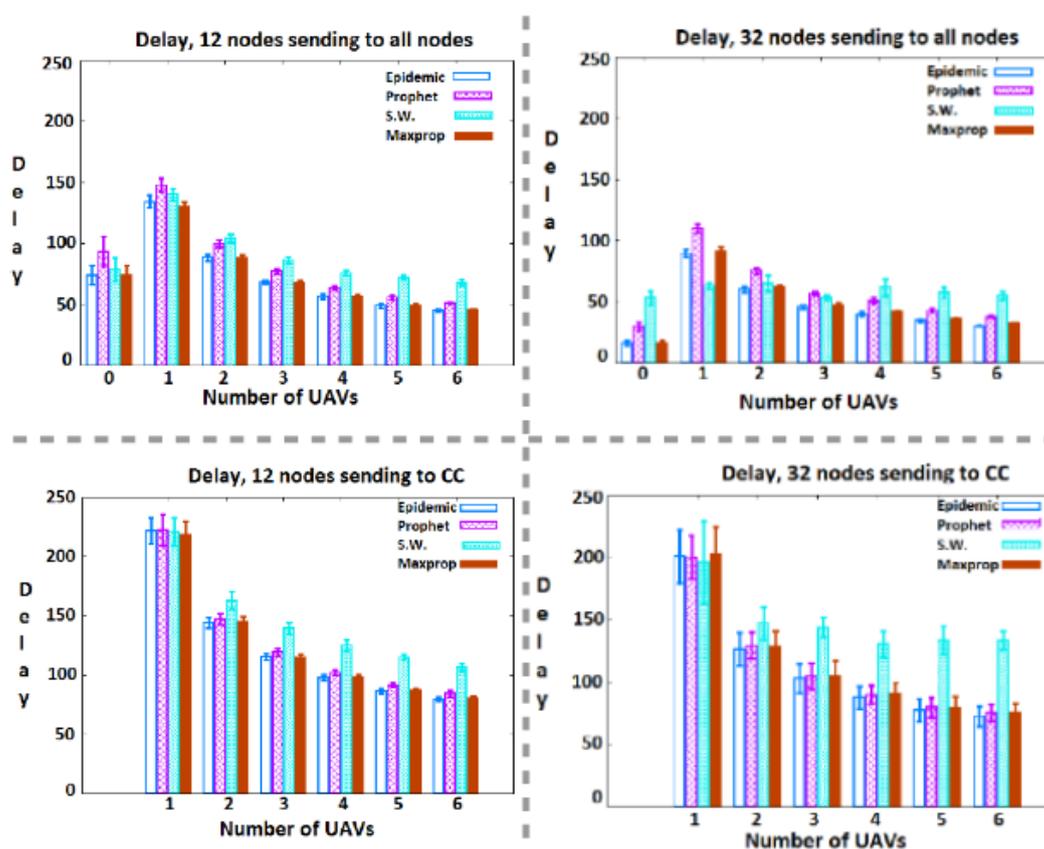


Figura 16: Resultados de retardo con diferentes protocolos y número de nodos [45]

Como se puede apreciar en la Figura 16, el número de nodos que envían varía, pero los resultados con respecto a la diferencia de retardo (Delay) entre los diferentes protocolos se mantiene relativamente constante siendo los protocolos Epidemic y Maxprop los que menor retardo introducen y por tanto los más apropiados para este tipo de situaciones.

## 4.6 REGLAMENTO DE TELECOMUNICACIONES

En el BOE se puede encontrar un apartado específico para las aplicaciones de acceso inalámbrico en 5.8 GHz (Figura 17: Apartado del BOE para 5.8 GHz) en el que se especifica la máxima potencia que deben emitir los sistemas que trabajen en esta frecuencia.

La potencia de salida máxima del Datalink es de 28dBm para la frecuencia de operación. Según el BOE, para una comunicación punto a punto como la que se va a realizar para medir la cobertura del Datalink, la máxima potencia media es de 36dBm, que es mayor que la que emite el Datalink.

### UN – 143 Aplicaciones de acceso inalámbrico en 5,8 GHz

Sistemas de acceso inalámbrico con distintas capacidades de movilidad del terminal (FWA/NWA/MWA) y diferentes configuraciones de arquitectura de red, incluyendo aquellos con tecnologías de banda ancha (BFWA), podrán funcionar dentro de la banda de aplicaciones ICM de 5,8 GHz (5725-5875 MHz), en las siguientes subbandas de frecuencia: 5725-5795 MHz y 5815-5855 MHz.

Las instalaciones de estos sistemas en las frecuencias mencionadas, han de cumplir con los límites de potencia y densidad espectral de potencia, e incorporar técnicas de control de potencia (TPC) y selección dinámica de frecuencias (DFS) indicados en los anexos 1, 2 y 3 de la Recomendación ECC(06)04 sobre el uso de la banda 5725-5875 MHz (o parte de la misma) para acceso fijo de banda ancha (BFWA), las cuales se consideran requisitos necesarios para compatibilizar este uso con el resto de servicios y aplicaciones de radiocomunicaciones que pueden funcionar en esta banda de frecuencias.

En particular, los límites de potencia para las estaciones BFWA en estas frecuencias según la arquitectura del sistema, se indican en la tabla siguiente.

Parámetro	P-MP	P-P	Malla	Desde y hacia cualquier punto
Máx. potencia media pire (1)	36 dBm	36 dBm	33 dBm	33 dBm
Máx. densidad media de potencia pire	23 dBm/MHz	23 dBm/MHz	20 dBm/MHz	20 dBm/MHz
Rango TPC	12 dB	12 dB	12 dB	12 dB

(1) se refiere a la pire durante una ráfaga de transmisión al mayor nivel de potencia en caso de activación de técnicas TPC.

Estas utilizaciones tienen la consideración de uso común.

El uso común no garantiza la protección frente a otros servicios autorizados ni puede causar perturbaciones a los mismos.

Figura 17: Apartado del BOE para 5.8 GHz

## 5 METODOLOGÍA EMPLEADA

---

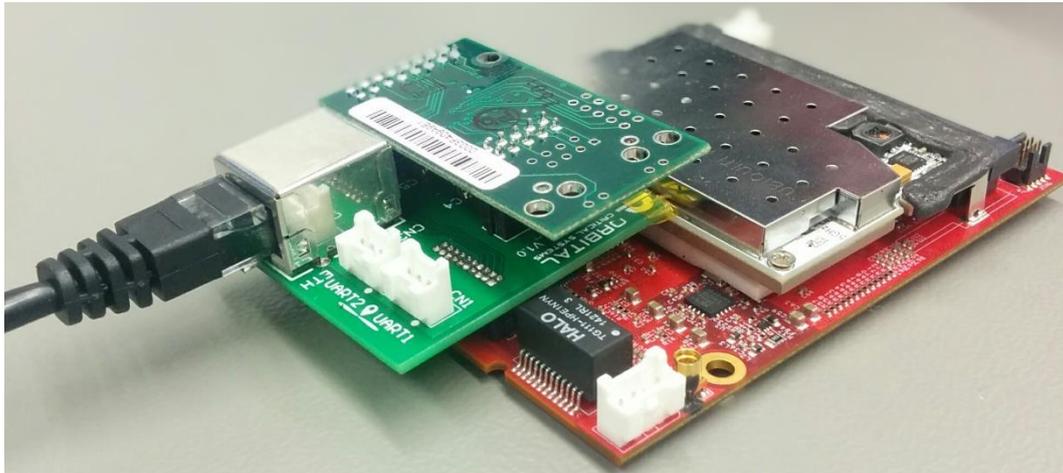
Teniendo en cuenta que la información debe llegar a la GS o al UAV de forma segura y fiable, se puede decir que el Datalink es el subsistema más crítico en un sistema que engloba un vehículo aéreo no tripulado (UAV o dron), un Datalink y una estación de control y/o tierra.

El UAV es el vehículo aéreo encargado de llevar los sensores, sobrevolar la zona de interés, recopilar información y mandarla a la estación de tierra.

La estación de tierra se compone de una antena a la frecuencia de operación que en este caso es de 5.8 GHz y de un receptor encargado de recoger todos los datos de payload del dron y enviarlos a la aplicación correspondiente para su posterior procesamiento y visualización.

El Datalink de vuelo, dispositivo integrado en el UAV, será el encargado de recoger toda la información de payload y de enviarla a la Ground Station mediante un enlace a la frecuencia de operación. Existen varios modelos de Datalink en el mercado de distintos fabricantes cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo I: Datalinks comerciales. Algunos de ellos con su propio interfaz de visualización.

Para realizar las medidas de cobertura en los distintos entornos se van a utilizar tanto el Datalink (Figura 18) como la Ground Station portátil (Figura 19) de Persistent Systems (Anexo I: Datalinks comerciales) junto con los módulos diseñados por Orbital CS que se requieran para realizar las distintas conexiones con el resto de subsistemas presentes en el UAV. Se integrará el Datalink en su caja correspondiente diseñada también por Orbital CS (Figura 20) que lo proteja y que sirva de sujeción para la antena a 5.8 GHz que se conectará al mismo (Anexo II: Características de las antenas).



*Figura 18: Datalink de vuelo*



*Figura 19: Ground Station de Persistent Systems*



*Figura 20: Caja protectora del Datalink*

Para alimentar el Datalink durante las medidas se utilizará una batería portátil LiPo 4S de la marca Tattu de 1550 mAh. Hay que tener en cuenta que no es la batería que se va a utilizar para alimentar el Datalink una vez que esté integrado en el dron sino que éste llevará su propia fuente de alimentación que proveerá de energía a todos los dispositivos integrados en el UAV.

La batería dispone de un conector de balanceo JST-XHR. Es necesario balancear la batería a la vez que se carga ya que si no, podría cargarse mal, estropearse o incluso arder. El segundo conector de la batería es un XT60 por lo que hay que tener en cuenta que es necesario un cable adaptador con un conector compatible con el Datalink.

La GS se alimentará con otra batería, en este caso una batería recargable de litio de Bren-Tronics. Ambas baterías con sus cargadores conectados se pueden ver en Figura 21.



*Figura 21: Baterías utilizadas para el DL y la GS con sus cargadores correspondientes*

Teniendo en cuenta los distintos escenarios posibles comentados en secciones anteriores, se han realizado una serie de medidas en distintos entornos.



*Figura 22: Prueba de medida en el laboratorio de antenas de la UPNA*

Primeramente, se ha realizado una prueba en el laboratorio de antenas de la Universidad Pública de Navarra (Figura 22) para comprobar el correcto funcionamiento del sistema junto con el analizador de espectros utilizado para observar y analizar la señal emitida por el DL. Una vez comprobado que el sistema funciona correctamente, se ha realizado la misma prueba pero al aire libre. En concreto, en lo alto del monte el Perdón, situado a unos 11 Km de Pamplona (Figura 23).



*Figura 23: Sierra del Perdón*

El plan inicial de medidas proponía medir en Pamplona, Falces y Yesa. No obstante, tras una primera medición en Uterga, un pueblo cercano al Perdón, observamos que era necesario tener línea de visión entre el Datalink y la estación de tierra debido a que no se consiguió conectar el DL con la GS que estaban situadas a unos 5 Km el uno del otro (Figura 24), ni se detectaba señal con el analizador de espectros por lo que, al ser un plan de medidas demasiado ambicioso, hubo que desestimarlos y realizar uno nuevo.



*Figura 24: Distancia geográfica entre el punto de medida en el Perdón y Uterga*

Por ello, las siguientes medidas se realizaron en Zizur Mayor, en una zona donde existía línea de visión entre el Datalink y la GS (Figura 25).



*Figura 25: Zona de medidas en Zizur Mayor*

Se realizó una primera medida a escasos metros del Datalink, y poco a poco se fue incrementando la distancia unos 20 metros aproximadamente hasta un máximo de unos 630 metros. Se dejó el Datalink inmóvil y se fue alejando la estación de tierra progresivamente junto con el analizador de espectros.

Como se verá en el apartado de resultados, estas medidas no se pudieron realizar con el analizador de espectros, ya que no captaba suficiente señal por lo que se realizó un nuevo plan de medidas de forma que la señal pudiera ser vista en la pantalla y analizada posteriormente.

Estas últimas medidas se realizaron en el campus de la Universidad Pública de Navarra (Figura 26) que tiene un tamaño considerable para poder realizar las medidas de cobertura.



*Figura 26: Universidad Pública de Navarra*

Cabe recordar que en un proyecto como MOBNET que se centra en buscar personas enterradas bajo escombros, las probabilidades de que un dron se encuentre en un escenario con muchos obstáculos son relativamente bajas, ya que tras un desastre natural en el que la gente queda atrapada bajo los escombros de los edificios, el terreno queda relativamente plano, aunque con cierta rugosidad a considerar debida a los escombros que provocarán pérdidas por multitrayecto, difracción y reflexión difusa. No obstante, las distancias a recorrer en estos casos por el dron no son muy largas por lo que las pérdidas de propagación no deberían ser muy altas.

También hay que tener en cuenta que el enlace entre el Datalink y la estación de tierra es LoS (Line of Sight) de modo que hay línea de visión entre el Datalink y la GS lo cual facilita la comunicación entre ambos, además de disponer de cierta elevación gracias a los UAV. Sin embargo, esta comunicación en línea de visión podría verse fácilmente interferida por el propio cuerpo del dron, edificios, vegetación, etc. Lo

cual es un dato que se debería tener en cuenta a la hora de mejorar y desplegar esta tecnología para lograr un buen funcionamiento de la misma.

Para realizar la comprobación del establecimiento del enlace, el montaje del sistema se realizará de la siguiente manera (Figura 27). La estación de tierra se conectará a un portátil para comprobar la recepción de datos desde la misma utilizando Wireshark. El Datalink de vuelo, que es el que llevará el Dron será el que envíe los datos recogidos a la estación de tierra, de modo que se le deben entregar los datos que tiene que enviar. Para ello se conectará al igual que la estación de tierra a un portátil que será el encargado de generar los datos necesarios mediante un script Python para que los envíe y poder comprobar desde la estación de tierra que la conexión se ha establecido. Tanto el Datalink de vuelo como la estación de tierra se van a alimentar con baterías externas.

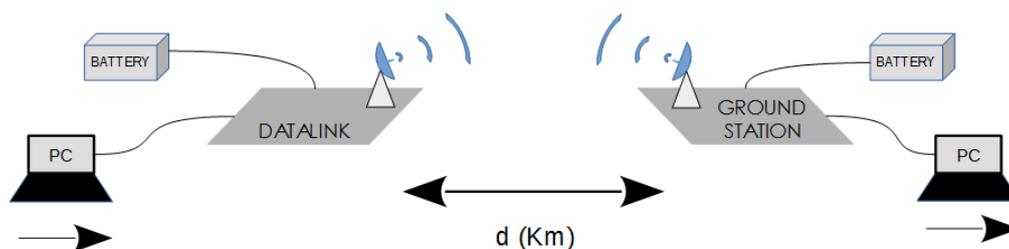


Figura 27: Esquema del montaje del sistema de medida de cobertura (I)

Se podría medir la cobertura de dos formas. Con la primera de ellas, la detección del umbral que nos marca la distancia máxima y con ello la cobertura del Datalink, se determinará de forma que, enviando paquetes (Packet Sender) UDP desde el Datalink hacia la GS, si la estación de tierra detecta señal y por lo tanto recibe datos, la distancia a la que se está midiendo se considerará dentro del rango de cobertura del Datalink.

Si por el contrario la estación de tierra no recibe datos porque no detecta señal, esta distancia estará fuera del rango de cobertura del Datalink (Figura 28). Es decir, la diferencia entre recibir datos en la estación de tierra o no es la que va a marcar la cobertura del mismo.

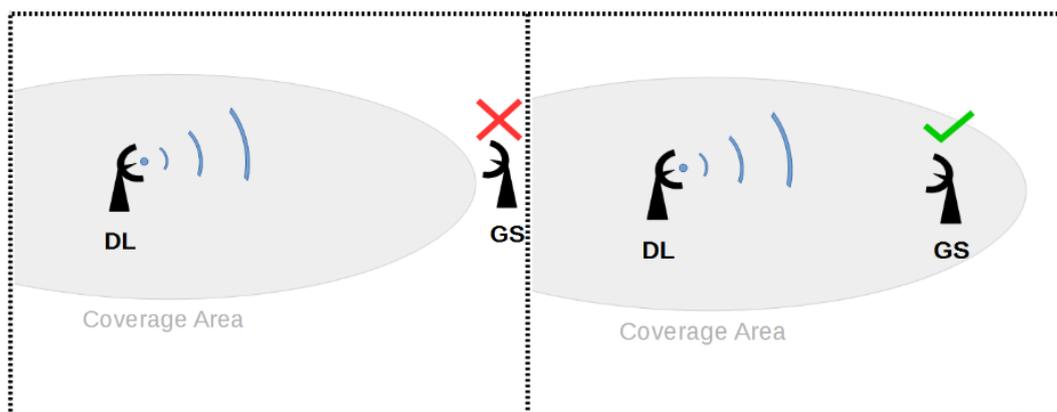


Figura 28: Esquema de detección del área de cobertura

Con este método, no es posible apreciar la señal recibida y no se puede analizar ni realizar una comparativa de la potencia máxima recibida frente a la distancia, mientras que con la segunda opción (Figura 29) de medida, que se basa en el uso de un analizador de espectros, se pueden realizar estas tareas ya que recibirá la señal y la mostrará para su posterior análisis.

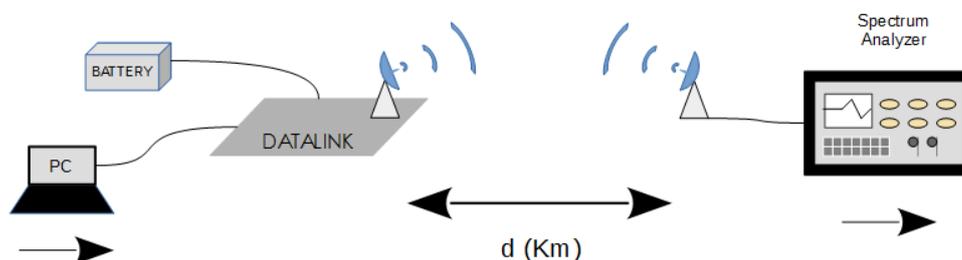
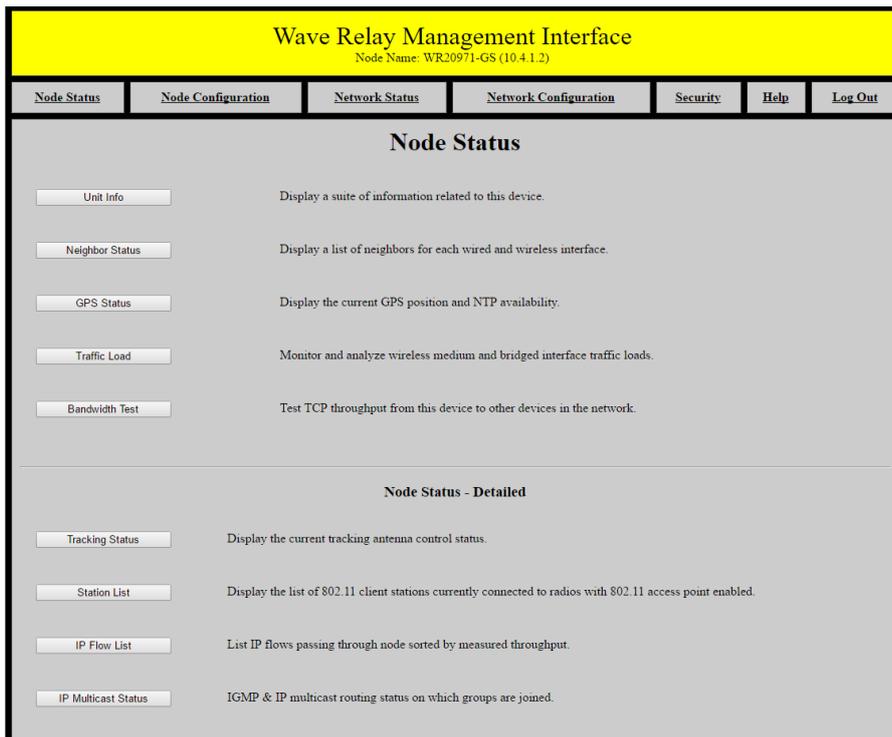


Figura 29: Esquema del montaje del sistema de medida de cobertura (II)

Tanto el Datalink como la estación de tierra cuentan con interfaces web a los que se puede acceder mediante un navegador web con tan solo introducir su dirección IP en la barra de tareas una vez que se ha conectado el dispositivo al puerto Ethernet del ordenador.



**Wave Relay Management Interface**  
Node Name: WR20971-GS (10.4.1.2)

Node Status | Node Configuration | Network Status | Network Configuration | Security | Help | Log Out

**Node Status**

- Unit Info**: Display a suite of information related to this device.
- Neighbor Status**: Display a list of neighbors for each wired and wireless interface.
- GPS Status**: Display the current GPS position and NTP availability.
- Traffic Load**: Monitor and analyze wireless medium and bridged interface traffic loads.
- Bandwidth Test**: Test TCP throughput from this device to other devices in the network.

**Node Status - Detailed**

- Tracking Status**: Display the current tracking antenna control status.
- Station List**: Display the list of 802.11 client stations currently connected to radios with 802.11 access point enabled.
- IP Flow List**: List IP flows passing through node sorted by measured throughput.
- IP Multicast Status**: IGMP & IP multicast routing status on which groups are joined.

*Figura 30: Interfaz Web de DL y GS*

Para realizar una primera prueba y comprobar que la comunicación se establece entre el Datalink y la estación de tierra es necesario configurar las direcciones IP de los dispositivos dentro de la misma red. La forma de realizarlo se muestra en el Anexo III: Configuración del Datalink.

## 6 RESULTADOS

---

En este apartado se van a mostrar los resultados obtenidos de las medidas en los distintos entornos y condiciones realizadas según se indica en el apartado anterior.

### 6.1 MEDIDA PREVIA

Como se ha comentado en el apartado anterior, la prueba previa de conexión se realizó en la Universidad Pública de Navarra, en el laboratorio de antenas y microondas (Luis Mercader).

Se conectó un ordenador portátil al Datalink y otro a la estación de tierra, se puso a emitir al Datalink, y mediante la herramienta software Wireshark se analizó el tráfico, que llegaba correctamente a la GS. Posteriormente, el Datalink se puso en modo escucha mientras que la estación de tierra fue la que pasó a emitir. A su vez, durante ambos experimentos, mediante el analizador de espectros se detectó la señal emitida que iba saltando en frecuencia y a ráfagas.

### 6.2 PRIMER ESCENARIO DE MEDIDA

El primer escenario de medida al aire libre se situó en lo alto de la Sierra del Perdón. Se colocaron el Datalink y la Ground Station a escasos metros el uno del otro (Figura 31) y se realizó el mismo experimento que en la medida previa en el laboratorio. Antes de esta medida, se realizó otra en vacío que se muestra mediante un espectrograma en la Figura 32 para comprobar que no hubiera ninguna señal interferente.



Figura 31: Puntos donde se colocaron el DL y la GS

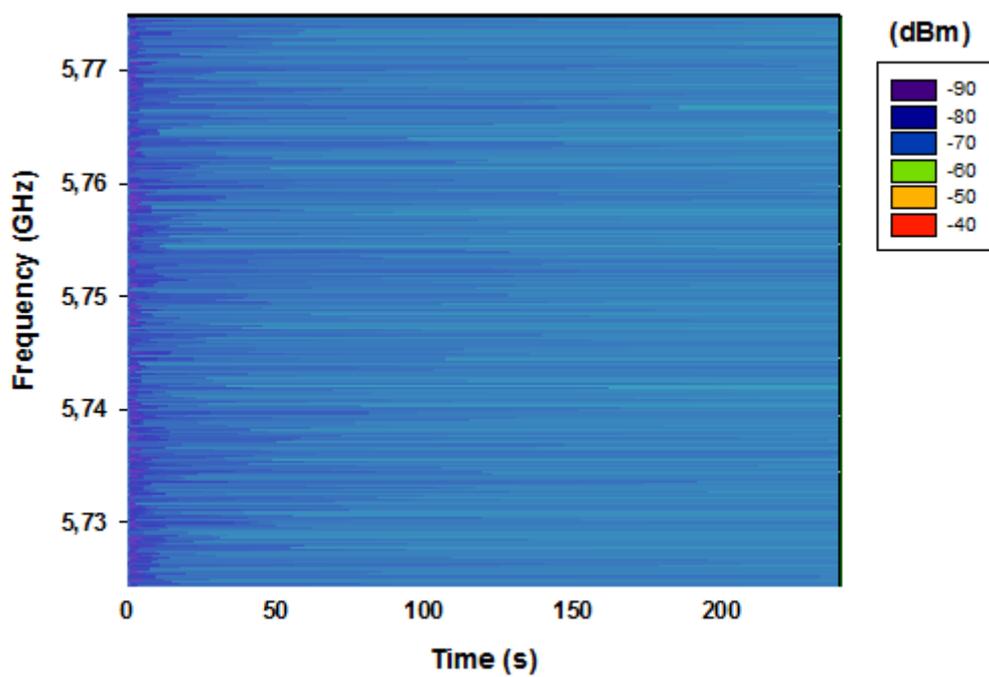


Figura 32: Espectrograma en vacío en la cima del Perdón



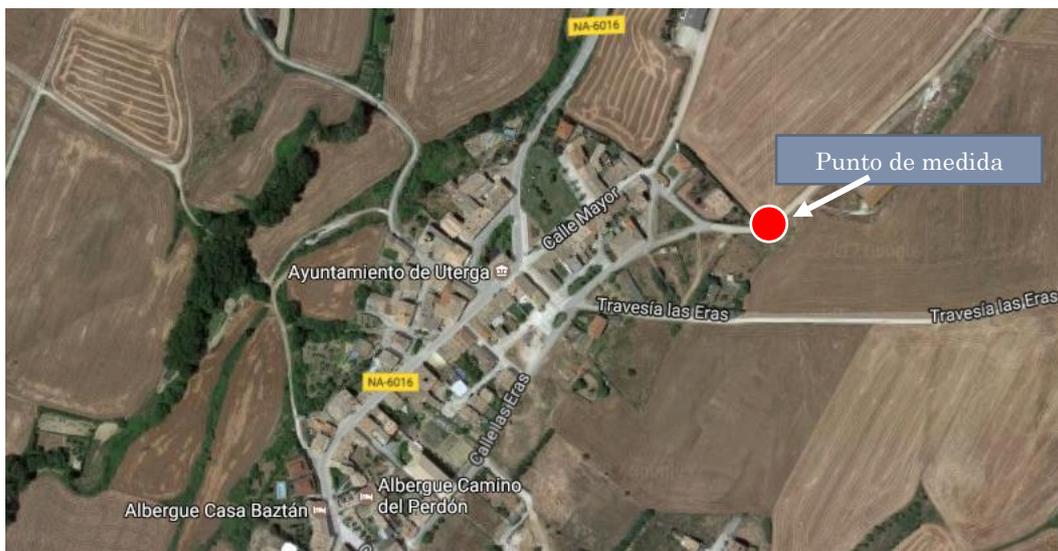
*Figura 33: Montaje del sistema en lo alto del Perdón*

Los paquetes UDP que se enviaban de un extremo a otro llegaban de forma correcta. Se configuró un programa en Python encargado de enviar estos paquetes de forma continua que se lanzó en el ordenador conectado al dispositivo emisor del experimento (DL o GS) mientras que en el otro ordenador conectado al dispositivo receptor se observó la correcta llegada de los paquetes con Wireshark.

Esta primera prueba al aire libre se llevó a cabo de forma satisfactoria. Los paquetes se recibieron de forma correcta tanto en un sentido como en el otro.

### 6.3 SEGUNDO ESCENARIO DE MEDIDA

En el segundo escenario de medida se posicionó la estación de tierra en lo alto del Perdón en el mismo sitio donde se realizó el experimento anterior. El Datalink en cambio, se colocó en una carretera de Uterga (Figura 34), un pueblo de cerca del Perdón que situaba el Datalink a unos 5 kilómetros de la estación de tierra. La razón por la que se eligió la estación de tierra como emisor, es que emitía una señal de mayor potencia que el Datalink, por lo que para la medición con el analizador de espectros era más conveniente esta configuración.

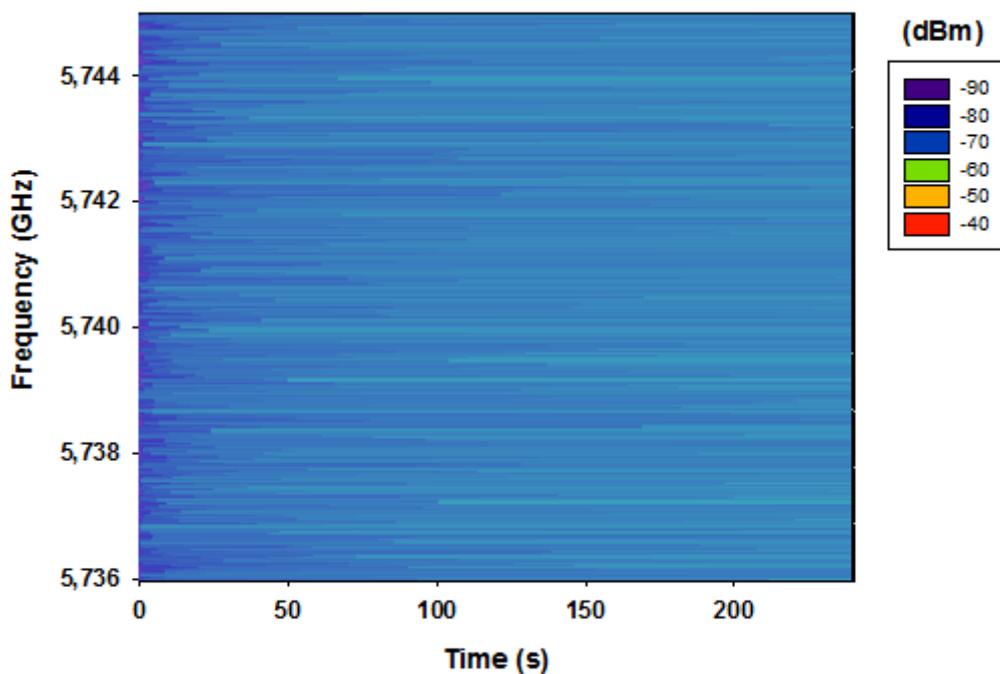


*Figura 34: Punto de medida en Uterga*

No fue posible establecer una conexión entre el Datalink y la estación de tierra, ni detectaba la señal el analizador de espectros, por lo que la comunicación entre GS y DL resultó fallida. Esto pudo ser debido a que no existía línea de visión entre ambos dispositivos, por lo que se modificó el plan de medidas y se realizaron el resto en un mismo sitio donde existiera línea de visión entre GS y DL resultando en el tercer escenario de medida.

#### 6.4 TERCER ESCENARIO DE MEDIDA

El tercer escenario de medida se situó en Zizur Mayor, en la Calle Arrobia. Lo primero que se realizó fue una medida en vacío para confirmar que no existiese interferencia en la banda de interés. Se capturó un espectrograma que se muestra en la Figura 35 en el cual se puede apreciar cómo los niveles de señal detectados en el tiempo son muy bajos y corresponden simplemente al ruido captado por el analizador de espectros.



*Figura 35: Espectrograma en vacío en Zizur Mayor*

Para estas medidas se dejó el Datalink inmóvil en un punto concreto (Figura 36) mientras que la estación de tierra se iba alejando del mismo progresivamente (Figura 37) junto con el analizador de espectros cada aproximadamente 20 metros (Figura 38) hasta un total de unos 630 metros.



*Figura 36: Montaje del Datalink en el tercer escenario de medida*



*Figura 37: Montaje de la estación de tierra (GS)*

Como se puede ver en las trazas capturadas en este escenario en el Anexo IV: Trazas capturadas, no era posible distinguir la señal emitida por el Datalink con respecto al ruido en el analizador de espectros, por lo que se dejó de emplear y las pruebas de medición se limitaron a que llegasen los paquetes UDP que el Datalink estaba enviando a la estación de tierra. En total se realizaron las capturas de 4 trazas, más una en vacío para comprobar que no había interferencia, cuya relación con la distancia se puede ver en la

Tabla 1.



*Figura 38: Ejemplo de los distintos puntos de medida*

Medida	Distancia (m)
A	27
B	47
C	67
D	87

*Tabla 1: Relación de medidas y distancias (Zizur)*

Se continuaron las medidas hasta una distancia de aproximadamente 630 metros, distancia a la cual seguían llegando los paquetes. Sin embargo, en algunos casos tardaban un tiempo en llegar, siendo más notable a mayores distancias. Esto podría ser debido a la pérdida de algunos paquetes o al funcionamiento en ráfagas del Datalink por el cual durante un tiempo no envía paquetes y después los envía todos de golpe.

En cualquier caso, no se disponen de medios necesarios como para poder evaluar la tasa de pérdidas de paquetes o de error. Sin embargo, sí que podemos ver la señal que llega con el analizador de espectros, y para ello era necesaria una nueva configuración ya que con la de este escenario no se consiguió visualizar correctamente la señal emitida por el Datalink. Por ello, se realizaron nuevas medidas en un nuevo escenario que se detalla en el siguiente apartado.

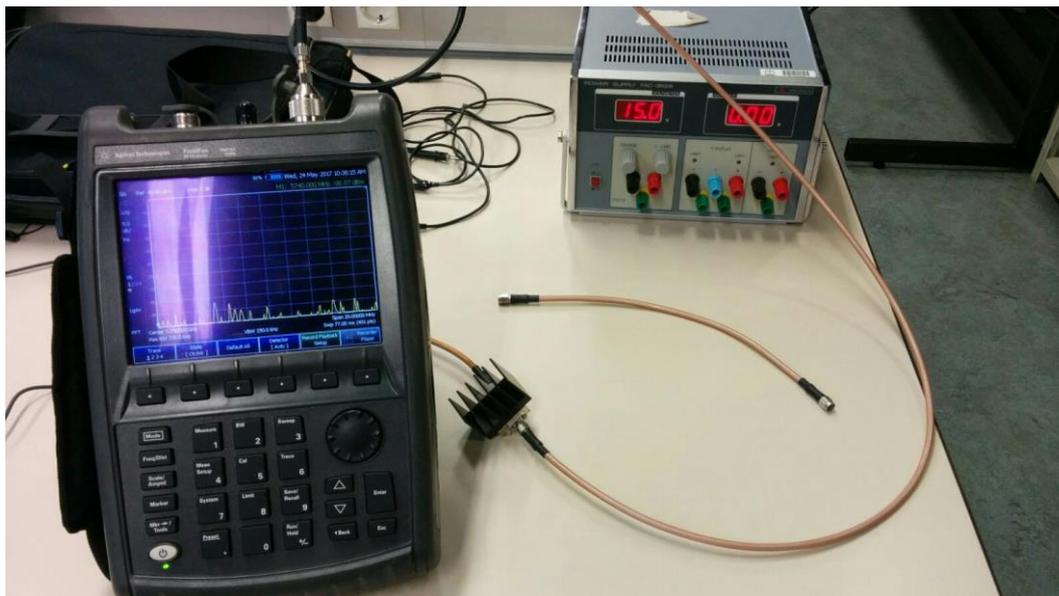
## 6.5 CUARTO ESCENARIO DE MEDIDA

Debido a que los anteriores planes de medida no se pudieron realizar con el analizador de espectros hubo que plantear un nuevo escenario. En este caso el escenario fue el campus de la Universidad Pública de Navarra (Upna). En este escenario (Figura 39), están presentes fenómenos como la propagación multitrayecto, la difracción y dispersión provocadas por edificios, árboles, estudiantes que pasean por el campus, e incluso vehículos de reparto que acceden al mismo.



*Figura 39: Escenario: Campus de la Upna*

El material empleado fue el mismo que en los escenarios anteriores a excepción de un preamplificador de 20dB de ganancia a 5.8GHz colocado en el analizador de espectros para amplificar la señal que captaba la antena del mismo.



*Figura 40: Analizador de espectros conectado al preamplificador*

Como el amplificador debía ser alimentado, era necesaria una fuente de alimentación, por lo que el sistema no era del todo móvil (Figura 40). Debido a esto, era necesario realizar las medidas en el campus de la Upna. No obstante, al ser de una largura considerable, se realizaron las medidas y se observaron en el analizador de espectros correctamente. El montaje del sistema se puede ver en la Figura 41.



*Figura 41: Montaje del sistema*

Se conectó la fuente de alimentación al amplificador que se colocó tras la antena del analizador de espectros. Debido a la fuente de alimentación, el analizador debía permanecer inmóvil por lo que se dejó junto con el Datalink que se empleó como receptor debido a que la señal de la estación de tierra se captaba mejor por el analizador de espectros.

Mientras que el DL y el analizador se mantenían inmóviles en un extremo del campus, se alejaba progresivamente la GS y se iba captando la señal recibida en el analizador. Se midió una distancia máxima de aproximadamente 250 metros (Figura 42) alejando la GS del DL unos 12 metros cada vez, que corresponde a la distancia de separación de las farolas a lo largo del campus. La Tabla 2 muestra la relación entre las trazas capturadas ordenadas en orden alfabético y la distancia recorrida.

La Figura 43 muestra la relación entre la potencia máxima recibida y la distancia entre el Datalink y la estación de tierra. La potencia de la señal recibida fluctúa alrededor de su aproximación lineal por lo que podría aproximarse a una recta. Hay que tener en cuenta que estas medidas varían dependiendo de varios factores como el entorno o los objetos presentes en él. De ahí que fluctúen alrededor de una recta. En las distintas medidas no existían las mismas condiciones ya que los estudiantes, los árboles o los vehículos variaban de una medida a otra. Las trazas capturadas a las diferentes distancias se pueden ver en el Anexo IV: Trazas capturadas.



*Figura 42: Escenario de medición y distancia máxima medida*

Medida	Distancia (m)	Pmax (dBm)
A	7	-26,66072891
B	19	-34,43818392
C	31	-35,60059527
D	43	-37,6646396
E	55	-37,25050688
F	67	-38,9936446
G	79	-40,64639012
H	91	-40,84543539
I	103	-43,7930949
J	115	-47,32247538
K	127	-53,58802018
L	139	-54,29233417
M	151	-55,80848873
N	163	-56,68393676
O	175	-53,58773902
P	187	-54,00721608
Q	199	-59,81853551
R	211	-58,00276713
S	223	-61,59836429
T	235	-65,8349204
U	247	-61,08608038
Vacío	-	

*Tabla 2: Relación de medidas, distancias y potencias máximas (Upna)*

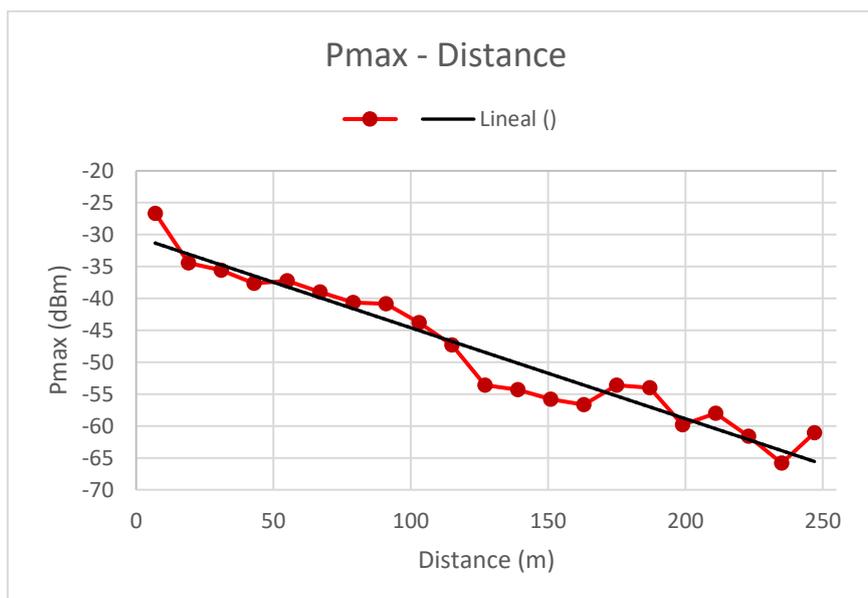


Figura 43: Relación entre potencia máxima y distancia

Se observó un funcionamiento del sistema cíclico y a ráfagas en el que el transmisor y el receptor intercambian una serie de paquetes para ponerse de acuerdo en el envío, y una vez terminado este proceso el emisor empieza a mandar los paquetes UDP durante un tiempo determinado. Al terminar este tiempo, deja de enviar y tras un tiempo de espera se repite el proceso. Se observó cómo la señal iba saltando en frecuencia en el rango frecuencial indicado en la hoja de características del Datalink (Anexo I: Datalinks comerciales) con OFDM y espectro ensanchado (DSSS).

Al igual que en los casos anteriores, no se pudo detectar la pérdida de paquetes. Lo que sí que se pudo observar es que si no llegaban de forma correcta los paquetes de establecimiento de la comunicación en los que emisor y receptor se ponen de acuerdo, no se producía el envío de la información. Debido a esto, en algunos casos en los que DL y GS estaban a una distancia considerable, costaba un tiempo ver la recepción de los paquetes.

Cabe destacar que a pesar de que el sistema está pensado para trabajar a distancias cortas, sería conveniente el uso de una antena diferente para el Datalink. Con una antena de mayor ganancia sería posible conseguir un sistema que llegase más lejos, así como disminuir la probabilidad de la pérdida de paquetes a ciertas distancias. Además, se podría obtener comunicación entre Datalink y estación de tierra

incluso en algunos escenarios en los que no hubiera línea directa de visión.

De hecho, la estación de tierra emitía una señal que se detectaba mejor en el analizador de espectros que la señal que emitía el Datalink. Teniendo en cuenta que son prácticamente el mismo dispositivo, queda claro que la antena, que en el caso de la estación base es un monopolo, tiene mejores prestaciones que la antena del Datalink que es una aleta de tiburón. Si el dispositivo que más información va a enviar es el Datalink, como es el caso de MOBNET, sería conveniente sustituir esta antena por un monopolo al igual que en la estación de tierra, ya que el dispositivo se va a situar dentro del dron y la antena estará tras un radomo que va a introducir pérdidas en la señal empeorando la calidad de la misma.

Para poder analizar el impacto que puede tener un radomo, se han llevado a cabo dos simulaciones con CST (Computer Simulation Technology) de onda completa basadas en integración finita. Una de las configuraciones consta de una antena parche con un radomo de 2mm de grosor de PVC, y la otra de la misma antena pero sin radomo. La comparación de ambas simulaciones se puede ver en la Figura 44 donde se muestran los parámetros S11 de los dos casos. Como se ve, en algunas frecuencias apenas hay diferencia entre la simulación con radomo y la simulación sin radomo, sin embargo, conforme el parámetro S11 disminuye, la diferencia es más notable. Además, se puede apreciar en la Figura 45 el campo E radiado por cada una de las antenas y cómo afecta el radomo al mismo.

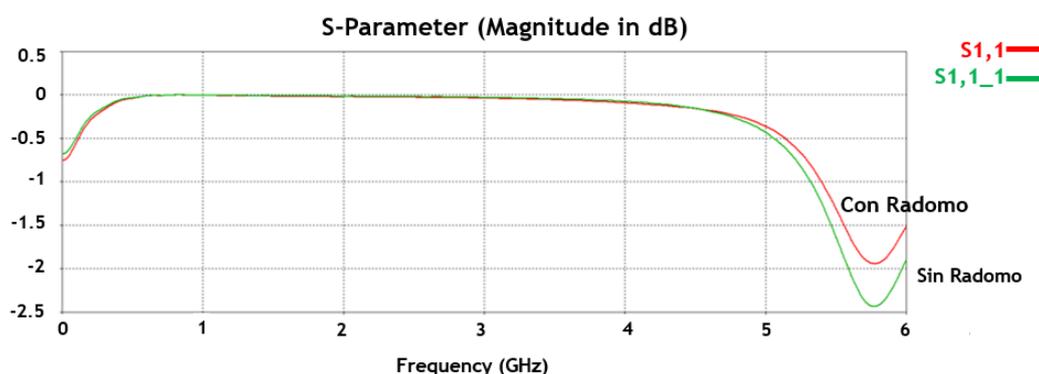
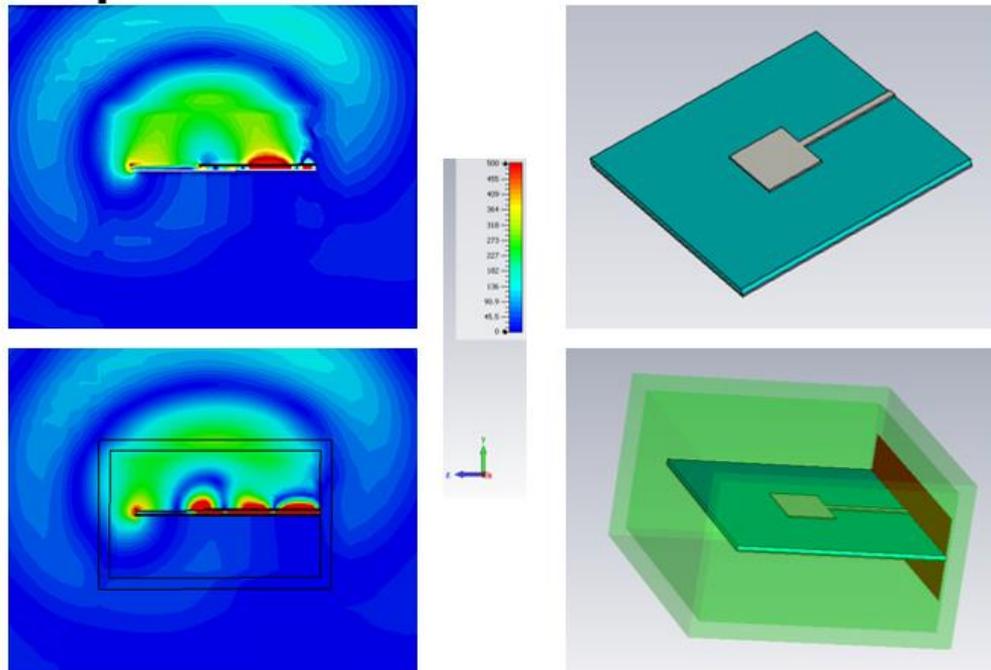


Figura 44: Simulación parámetro S11 con y sin radomo

## Campo E radiado



*Figura 45: Simulación del campo radiado por una antena parche con y sin radomo*

## 7 CONCLUSIONES

---

Los vehículos aéreos no tripulados, UAV o drones, se presentan como una herramienta a tener en cuenta para las operaciones de búsqueda y rescate ante situaciones de emergencia como son los desastres naturales. Se han enumerado, estudiado y presentado numerosos sistemas de ayuda para estos casos en los que se propone el uso de drones. El uso de las señales que emiten los teléfonos móviles teniendo en cuenta que hoy en día prácticamente todo el mundo lleva al menos un teléfono encima, es una muy buena idea para localizar a las personas que quedan atrapadas bajo escombros.

El uso de UAV está en continuo crecimiento pero muchos aspectos relacionados con la transmisión de datos entre un UAV y una GS todavía quedan en el aire, como por ejemplo la seguridad de los datos. Es necesario y de vital importancia en numerosas ocasiones que los datos que se envían por un Datalink sean seguros y correctos. Conforme se complican los escenarios con la inclusión de varios UAV, estos aspectos van en aumento y aunque se han llevado a cabo muchos avances en este sector, este tipo de problemas de seguridad continúan sin solucionarse.

El canal de comunicaciones que caracteriza el tipo de enlaces A2G presentes entre las estaciones de tierra y los UAV es difícil de modelar. Se han estudiado varios modelos que se asemejan a la realidad de estos canales pero el entorno es cambiante y varía debido a la movilidad de los drones y de los diferentes escenarios en los que se puedan encontrar.

Quedan numerosos retos por llevar a cabo relacionados con este tema, como por ejemplo la integración de sistemas de antenas MIMO de bajo coste, el desarrollo de protocolos, capas física y de acceso seguros y de alta capacidad y fiabilidad, la integración de los UAV con otros sistemas de comunicaciones terrestres y satelitales de forma que la operación de la red incluyendo los drones quede de la forma más optimizada posible [21].

Se han llevado a cabo un conjunto de mediciones para analizar el comportamiento de la señal en distintos escenarios y la dependencia de la potencia con la distancia existente entre los dispositivos emisor y receptor. Además, se ha configurado la red IP necesaria para la realización de las medidas. Como se ha observado, la relación entre la potencia máxima detectada por el receptor y la distancia entre estación de tierra y Datalink, se puede aproximar de forma lineal ya que la potencia máxima recibida disminuye con la distancia progresivamente

alrededor de una recta. Como era de esperar, el canal es cambiante y afecta a los resultados en mayor o menor medida y la forma de modelarlo puede ser más compleja o menos dependiendo del grado de precisión que se quiera conseguir.

Además, como se ha visto en las medidas realizadas en los diferentes entornos, el hecho de que haya obstáculos entre el Datalink y la estación de tierra afecta de forma significativa a la señal entorpeciendo e incluso evitando la comunicación entre ambos dispositivos como es el caso de las medidas realizadas en Uterga, donde se llegó a la conclusión de que era necesario que emisor y receptor tuvieran línea directa de visión.

Otro aspecto a considerar es la pérdida de paquetes, ya que se ha observado que conforme mayor es la distancia, más tiempo tardan en enviarse los datos de un extremo a otro lo cual podría ser debido a que los paquetes correspondientes al inicio de la comunicación en el que se ponen de acuerdo para enviar los dos dispositivos se pierden y en el momento que consiguen llegar es cuando comienza la transmisión de la información. Al igual que se puede intuir la pérdida de los paquetes de inicio de la comunicación, es necesario tener en cuenta que podrían perderse algunos paquetes correspondientes a la información o payload.

## 7.1 LÍNEAS FUTURAS

En un futuro, es necesario realizar una medición de cobertura del sistema completo, integrando el Datalink dentro del UAV ya que al estar este en movimiento los resultados van a variar con respecto a los estudiados en este documento aumentando la importancia del efecto Doppler conforme se incrementa la velocidad del UAV con respecto a la GS.

Otro tema a tener en cuenta, es que como se ha visto, el radomo que va a tener la antena por delante, va a generar pérdidas empeorando la calidad del enlace por lo que sería conveniente situar la antena fuera del mismo para maximizar la eficiencia del sistema. Como ya se ha comentado en apartados anteriores, sería muy conveniente sustituir la antena del Datalink por un monopolo de mayor ganancia que la antena

actual en la parte superior exterior del dron y otro en la inferior alimentados mediante un divisor de potencia.

Esto podría incrementar la distancia de funcionamiento del sistema así como eliminar la restricción de línea directa de visión para distancias relativamente pequeñas.

Además, este sistema se ha probado para un solo Datalink que iría integrado en un dron, pero para sistemas en los que se despliegue una flota de drones será necesario tanto configurar una red punto – multipunto o colaborativa, como realizar las medidas del sistema y analizar el comportamiento del mismo así como la pérdida de paquetes.

## 8 REFERENCIAS

---

- [1] M. Erdelj, E. Natalizio, K. R. Chowdhury y I. F. Akyildiz, «Help from the Sky: Leveraging UAVs for Disaster Management,» *IEEE Pervasive Computing*, vol. 16, pp. 24-32, 2017.
- [2] J. byung-jun, L. Moon-Que y Y. Jong-Gwan, «Wireless bio-radar sensor for heartbeat and respiration detection,» de *Progress In Electromagnetics Research*, 2008.
- [3] J. Lin y C. Li, «Wireless Non-Contact Detection of Heartbeat and Respiration Using Low-Power Microwave Radar Sensor,» de *Asia-Pacific Microwave Conference*, 2007.
- [4] G. Tuna, B. Nefzi y G. Conte, «Unmanned aerial vehicle-aided communications system for disaster recovery,» *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 41, pp. 27-36, 2014.
- [5] A. Davids, «Urban Search and rescue robots: from tragedy to technology,» *IEEE Intelligent Systems*, vol. 17, pp. 81-83, 2002.
- [6] A. A. R. Newaz, S. Jeong y N. Y. Chong, «Fast Radioactive Hotspot Localization Using a UAV,» de *IEEE International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots*, San Francisco, USA, 2016.
- [7] A. L. Sumalan, D. Popescu y L. Ichim, «Flood Evaluation in Critical Areas by UAV Surveillance,» de *8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, Bucharest, Romania, 2016.
- [8] P. Paces y J. E. Bowen-Gaddy, «Independent Global Monitoring System for Remotely Piloted Aircrafts,» de *AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference*, Sacramento, USA, 2016.

- [9] D. Browne, «UAV BLOS Datalink Services,» de *IET Seminar on Communicating with UAV's*, 2007.
- [10] P. Bupe Jr, R. Haddad y F. Rios-Gutierrez, «Relief and emergency communication network based on an autonomous decentralized UAV clustering network,» de *IEEE SoutheastCon*, 2015.
- [11] M. Aljehani y M. Inoue, «Multi-UAV Tracking and Scanning Systems in M2M Communication for Disaster Response,» de *5th Global Conference on Consumer Electronics (CGCE)*, 2016.
- [12] Q. Hamp, R. Zhang, L. Chen, O. Gorgis, T. Ostertag y M. Loschonsky, «New technologies for the search of trapped victims,» *Ad Hoc Networks*, vol. 13, pp. 69-82, 2014.
- [13] P. Morgand, A. Ferreol, R. Sarkis, C. Craeye y C. Oestges, «Detection and location of people in emergency situations through their PMR or GSM/UMTS phones,» de *3rd European Wireless Technology Conference*, 2010.
- [14] S. Zorn, G. Bozsik, R. Rose, A. Goetz, R. Weigel y A. Koelpin, «A Power Sensor Unit for the Localization of GSM Mobile Phones for Search and Rescue Applications,» de *SENSORS*, 2011.
- [15] İ. Çuhadar y M. Dursun, «Unmanned Air Vehicle System's Data Links,» *Journal of Automation and Control Engineering*, vol. 4, nº 3, pp. 189-193, 2016.
- [16] A. F. Molisch, *Wireless Communications*, John Wiley & Sons, LTD, 2005.
- [17] D. W. Matolak, «Air-Ground Channels & Models: Comprehensive Review and Considerations for Unmanned Aircraft Systems,» de *Aerospace Conference*, 2012.
- [18] J. Li, Y. Ding y Z. Fang, «Key Techniques Research on UAV Data Link,» de *Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology*, China, 2014.
- [19] D. W. Matolak y R. Sun, «Air-Ground Channel Characterization for Unmanned Aircraft Systems: the Near-

Urban Environment,» de *Military Communications Conference (MILCOM)*, 2015.

- [20] C. Tepedelenlioglu, A. Abdi y G. B. Giannakis, «The Ricean K Factor: Estimation and Performance Analysis,» *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 2, pp. 299-810, 2003.
- [21] D. W. Matolak y R. Sun, «Air–Ground Channel Characterization for Unmanned Aircraft Systems—Part I: Methods, Measurements, and Models for Over-Water Settings,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, n° 7407385, pp. 26-44, 2017.
- [22] D. W. Matolak, «Unmanned Aerial Vehicles: Communications Challenges and Future Aerial Networking,» de *International Conference on Computing, Networking and Communications*, United States, 2015.
- [23] D. W. Matolak, «Channel Characterization for Unmanned Aircraft Systems,» de *European Conference on Antennas and Propagation*, 2015.
- [24] D. W. Matolak y R. Sun, «Air-Ground Channel Characterization for Unmanned Aircraft Systems—Part III: The Suburban and Near-Urban Environments,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2017.
- [25] R. Sun y D. W. Matolak, «Air-Ground Channel Characterization for Unmanned Aircraft Systems—Part II: Hilly & Mountainous Settings,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, pp. 1913-1925, 2017.
- [26] W. Khawaja, I. Guvenc y D. Matolak, «UWB Channel Sounding and Modeling for UAV Air-to-Ground Propagation Channels,» de *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2016.
- [27] K. Takizawa, T. Kagawa, S. Lin, F. Ono, H. Tsuji y R. Miura, «C-band Aircraft-to-Ground (A2G) Radio Channel Measurement for Unmanned Aircraft Systems,» de *International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, 2014.

- [28] H. Sharma y B. P., «A Communication Approach for Aerial Surveillance of Long Linear Infrastructures in Non-urban Terrain,» de *21st National Conference on Communications*, India, 2015.
- [29] H.-C. Lee, «KU-BAND LINK BUDGET ANALYSIS OF UAV WITH ATMOSPHERIC LOSSES,» de *IEEE Digital Avionics Systems Conference*, United States, 2006.
- [30] M. M. Azari, F. Rosas, K.-C. Chen y S. Pollin, «Optimal UAV Positioning for Terrestrial-Aerial Communication in Presence of Fading,» de *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2016.
- [31] D. Hampel, S. DiPierro, F. Pinkney, B. S. Abbe y M. Sheha, «UAV COMMUNICATIONS PAYLOAD DEVELOPMENT,» de *MILCOM 97*, 1997.
- [32] J. Dixon, V. Rajamani y C. Bunting, «Performance Test of Unmanned Aerial Systems Communication Links in a Severe Multipath Environment,» de *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Canada, 2016.
- [33] D. Zhongyao, G. Shuxia, H. Zhantao y H. Chufeng, «Simulation of Dynamic Electromagnetic Interference Environment for Unmanned Aerial Vehicle Data Link,» *China Communications*, vol. 10, n° 13673835, pp. 19-28, 2013.
- [34] N. Goddemeier, K. Daniel y C. Wietfeld, «Coverage Evaluation of Wireless Networks for Unmanned Aerial Systems,» de *IEEE Globecom Workshops*, United States, 2010.
- [35] S. Shemar y A. O'Keeffe, «Specifying UAV Communications Systems,» de *IET Seminar on Communicating with UAV's*, 2008.
- [36] V. Vahidi y E. Saberinia, «Orthogonal frequency division multiplexing and channel models for payload communications of unmanned aerial systems,» de

*International Conference on Unmanned Aircraft Systems*,  
2016.

- [37] Z. Wu, H. Kumar y A. Davari, «Performance Evaluation of OFDM Transmission in UAV Wireless Communication,» de *Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory*, 2005.
- [38] H. Jamal, D. W. Matolak y R. Sun, «COMPARISON OF L-DACS AND FBMC PERFORMANCE IN OVER-WATER AIR-GROUND CHANNELS,» de *Digital Avionics Systems Conference*, 2015.
- [39] C. Zhang y Y. Hui, «BROADBAND AIR-TO-GROUND COMMUNICATIONS WITH ADAPTIVE MIMO DATALINKS,» de *Digital Avionics Systems Conference*, 2011.
- [40] T. J. Willink, C. C. Squires, G. W. Colman y M. T. Muccio, «Measurement and Characterization of Low-Altitude Air-to-Ground MIMO Channels,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, n<sup>o</sup> 15934386, pp. 2637-2648, 2016.
- [41] A. Jaimes, S. Kota y J. Gomez, «An approach to surveillance an area using swarm of fixed wing and quad-rotor unmanned aerial vehicles UAV(s),» de *IEEE International Conference on System of Systems Engineering*, 2008.
- [42] R. M. Chirwa y A. P. Lauf, «Performance Improvement of Transmission in Unmanned Aerial Systems Using Multipath TCP,» de *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, 2014.
- [43] J. Chen, Q. Fei y Q. Geng, «The Design of Data Link for Multi-UAVs,» de *4th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, China, 2012.
- [44] S. Hayat, E. Yanmaz y C. Bettstetter, «Experimental Analysis of Multipoint-to-Point UAV Communications with IEEE 802.11n and 802.11ac,» de *IEEE Annual International*

*Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, China, 2015.*

- [45] M. Tortonese y C. Stefanelli, «Multiple-UAV Coordination and Communications in Tactical Edge Networks,» *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, n<sup>o</sup> 6316775, pp. 48-55, 2012.
- [46] J. C. de Albuquerque, S. C. de Lucena y C. A. V. Campos, «Evaluating Data Communications in Natural Disaster Scenarios Using Opportunistic Networks with Unmanned Aerial Vehicles,» de *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Brasil, 2016.

## 9 ANEXO I: DATALINKS COMERCIALES

### 9.1 WOOD & DOUGLAS

WIRELESS  
DESIGN DEVELOP DELIVER



### Data Link 450 Specialist Transceiver



- > Single-board UHF Radio Modem
- > Synthesised frequency
- > Multi-channel capability
- > EN 300 220 approval
- > Low current consumption
- > Low cost
- > Easy to use – RS232 data in/out
- > Low-profile package

■ **The Data Link 450 transceiver** is a miniature high-quality module for data and telemetry transmission in the less-congested rural markets where distance of communication is the most important factor.

Combining sensitive receiver circuitry with a matching 500mW RF transmitter section, this module will find use in short-, medium- and long-range applications.

Such a power level will deliver a very effective increase in range performance over lower-power wideband devices while balancing the need for battery economy in portable applications.

The modules are housed in small lightweight screened enclosures with multi-way connection interface for either cable or direct pcb mounting. This electrical screening ensures full compliance with current EMC regulations.

Frequency control is achieved using modern low-noise PLL synthesiser techniques with non-volatile storage of frequency data, allowing serial and parallel frequency selection.

To satisfy customers using advanced modulation schemes, special versions of this range are available with extended audio characteristics. Ask Wood & Douglas Sales for details.

Designed, manufactured and supported from the UK and benefiting as standard from extensive type approvals, these units provide the OEM with a high-quality, low-cost-of-ownership route into quality radio applications.

## Data Link 450 Specifications

<b>Wireless</b>	
Series Frequency range	400 to 490MHz (VHF & 868MHz possible – contact Sales office)
Switching bandwidth (fixed)	15 to 20MHz depending on band
Channel spacing	25kHz
Frequency stability	±2.5ppm
RF channels	80
Channel switching delay	<5ms
Modulation type	MSK, GMSK and 4LFSK
Data rate	Up to 19,200bps
Type approval	Complies with EN 300 220; EN 301 489 (EMC); (FCC part 90 and part 15 possible, contact Sales office)
<b>Transmitter</b>	
RF output power into 50Ω (VSWR <1.2:1)	500mW nominal. Higher and lower powers possible (contact Sales office).
TX/RX switching time	<1ms
Spurious emissions	In accordance with ETS/CEPT specifications (conducted and radiated)
Adjacent channel Power	-37dBm max
TX Duty Cycle	Up to 100%
<b>Receiver</b>	
Sensitivity	TBC, dependent on data rate and modulation
Facilities	RSSI output, squelch flag;
<b>Data Interface</b>	
Electrical	RS232 at TTL Levels, TXD/RXD only
Serial Rates	Up to 19,200 bps
Control	By AT-style command sequence
Channel Programming	Factory, or by PC GUI
<b>Power</b>	
Power supply	9 to 15V DC, negative earth
Consumption at 7.2V	RX: <30mA TX: 350mA max @ 12V
Facilities	Low-current standby mode
<b>General</b>	
Size	60 x 39 x 11mm
Weight	25g
Interface connections	2-pin power plus 13-pin 0.1" headers
RF connection	3-pin 0.1" header
Temperature range	-20°C to +55°C operating, -30°C to +70°C storage
Type approval	Complies with EN 300 220 and EN 300 489 (EMC), Pb-Free.

Wood & Douglas maintain a policy of continuous improvement and enhancement. As a consequence, the above specification may change without notice.

Wood & Douglas Ltd  
Lattice House, Baughurst  
Tadley, Hants, RG26 5LP  
United Kingdom

t +44 (0) 118 981 1444  
f +44 (0) 118 981 1567  
e info@woodanddouglas.co.uk  
www.woodanddouglas.co.uk

Doc Ref: 18932054 v1.0 / Nov 2012



## 9.2 AERONIX

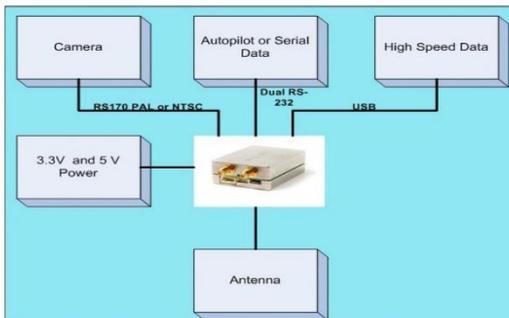
### EDL - Micro Secure Digital Data Link

Micro Sized Software Defined Radio

Aeronix's 802.16 UAV Micro Secure Data Link is a conduction cooled very small, lightweight, modular, and scalable data link that enhances a small UAV's security and range. Aeronix can customize the packaging and functionality to meet customer requirements. The EDL-Micro provides guaranteed UAV control, high quality video transmission, data security, and adaptive data rates with flexible bandwidths for extended range. The size, weight, and power consumption is perfect for small and mini unmanned vehicles.

At exactly **3.28 cubic inches** and weigh of **3.5 ounces**, the 802.16 UAV Micro Data Link currently provides the capability of inter-flight communications (command and control, video, etc.) for Point-to-Point or multipoint networked UAV operations. Its software programmable architecture provides greater flexibility in waveform choice and allows users to easily upgrade to future waveforms without changing hardware.

- 1.75"W x 2.5L" x 0.75H" (3.28 cubic inches)
- 7 ounces
- Scalable ARM and High Speed DSP
- H.264 Video Compression
- RS-170 Video Input
- Graphics Accelerator
- Software Defined Radio
- 1 Watt RF Output
- Conduction Cooled /Industrial Temperature
- Modular RF 2.4—2.7 GHz (4.6—5.8 GHz - planned)
- OTG USB 2.0



#### Tactical 802.16 Waveform

- AES TRANSEC with 256 bit key (no latency).
- Software Reprogrammable as needed for application specific requirements.
- Doppler correction for ground-to-air and air-to-air operation.
- Performs ACM at BPSK, QPSK, QAM16, QAM64, PSK8, and PSK16
- Additional PSK modulation modes for rotorcraft
- Implements the Point to Multi-point portion of the IEEE 802.16-2004 Specification.
- QoS built into 802.16 waveform.
- SCA Compatible architecture.
- Waveform supports distances to 250 miles.
- Waveform of ARMY WIN-T LAW Radio



#### Applications

- C<sup>2</sup>, Sensor, VoIP, Data, Video, including:
- **UAV Data Link** - High speed secure data link from UAV to ground collection station.
  - **Sensor** - USB for transferring sensor data, 2 UART ports and Video Input
  - **Air Relay** - Over-the-hill communications link for VoIP

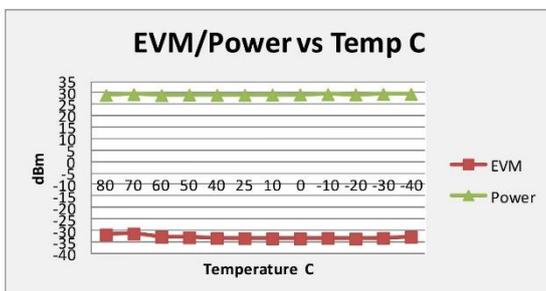
## EDL - Micro Secure Digital Data Link

Micro Sized Software Defined Radio

Networking	
Waveform	LAW Tactical 802.16 Modulations Supported: BPSK, QPSK, QAM16, QAM64, 8PSK, 16PSK
Network: Point to Multipoint	Network includes one Base-Station with multiple Subscribers Total of 20 subscribers supported
Network: Point-to-Point	High performance mode with reduced overhead. User configured mode via GUI.
Uplink / Down Link Ratio	Ratio is user configurable via GUI slide bar. Max = 70%, Min = 30% of aggregate throughput.
Network Routing	Routing configuration via automatic setup modes and user configuration
IP	IPv4 and IPv6 Support
Operating System	Linux general purpose processor operating system
Coded Burst Rate (Mbps)	Maximum radio burst transmission capability at maximum channel width of 28 (Mbps)

Management Features	
Remote Management	Radios can be configured remotely over the network via USER login via GUI
User Interface	Web Based GUI Serial Command IF USB OTG 2.0 External USB-to-Ethernet card available SNMPv3 Capable
Software Selectable BS /SS	Radios can be configured via GUI selection as either a base-station or subscriber-station.

Security	
TRANSEC Cover	AES256 Cover - Cover for network management information and data. Configured on/off via user GUI.
DSCP QoS Capability	Support for HAPE Qos Descriptors via user GUI
Pedigree	U.S. design and manufacture
FIPS 140-2	Future



Radio Specifications	
RF Freq.	2.4-2.7 GHz
Channels Supported	(User Configured via GUI)
Channel BW	3.5, 7.0 MHz
Channel Tuning Steps	Configured in 1 MHz steps via GUI
RF Output Power	Max 1W Average at BPSK (2W preamble)
Noise Figure	<4 dB

Connector Interfaces	
High Speed I/O Network I/O	Micro USB, drives Ethernet Dongle
DC Power	3.3V and 5V
Low Speed I/O	RS232
Tx/Rx I/O	Supports external switching amplifiers if more power is desired.
Video I/O	RS170NTSC Video In
RF I/O	Single RF SMA antenna interface

Physical Characteristics	
Size	1.75"W x 2.5L" x 0.75H" (3.28 cubic inch)
Weight	~ 7oz
Power	< 8 watts

Environmental	
Temp	Industrial (-40 to 80 C)
Shock	50g
Chassis	Unsealed
Cooling	Conduction

User Data Rates	
BPSK@ 3.5MHz	1 Mbps
QAM16@3.5 MHz	6.5 Mbps
BPSK@ 7MHz	2.01 Mbps
QAM16@7MHz	11.8 Mbps
QAM64@7MHz	17.6 Mbps
QAM64@14 MHz	37.9 Mbps

Situational Range Performance	
10 dB ground patch to 0 dB air omni	7.5 miles, 12 km
3 dB ground omni to 0 dB air omni	4 miles, 6 km
27 dB ground directional to 0 dB air omni	40 miles, 64km
4 dB ground omni to 4 db ground omni	2 miles, 3.5 km

[www.aeronix.com](http://www.aeronix.com)



1775 West Hibiscus Boulevard ■ Suite 200 ■ Melbourne Florida 32901 ■ Tel.(321) 984-1671 ■ Fax.(321) 984-0366

ADS\_040 Rev. 1.0

Specifications subject to change without notice.

## 9.3 MONI LOG

# MONI LOG®

data link TM MADE IN GERMANY  
GPS / GSM / UMTS-Module

EXACT POSITION FINDING / WORLDWIDE TRANSPORT CONTROL



- GPS receiver & GSM / UMTS transmission unit for MONI LOG® transport data logger
- Monitors sensitive transports in real time, automatic data transfer from the field
- Receives exact GPS position coordinates worldwide via satellite
- Transfers measuring data, alarm and status signals by email to the user
- Integrated Quad Band EGSM / GPRS and Triple Band UMTS / HSPA+ / radio module
- Detailed card-based route monitoring with Google Earth®
- Web portal for comfortable online administration and assessment
- Integrated SIM card bracket, high-sensitivity antenna, own battery
- Including powerful, license-free configuration software / multi-stage password protection
- Flexibly adaptable to different applications

SMT & HYBRID GmbH  
An der Prießnitzau 22 · 01328 Dresden  
Phone: +49 351 26613-0 · Fax: +49 351 26613-10  
www.smt-hybrid.com · transport@smt-hybrid.de

**SMT & HYBRID** 

## data link TM GPS / GSM / UMTS-Module

# MONI LOG®



The MONI LOG® data link TM (Tracking Module) is a small, almost invisible, goods-accompanying item for transports and storage of all type around the globe. Thanks to permanent monitoring, it allows the effective determination of transport loads and the reduction of damage.

As an autonomous, standalone solution, the transfer module is suitable for dispatch monitoring (tracking and tracing of the transportation route).

The user is regularly informed by email about the current position of his goods and the transportation route already traveled. For this purpose, the device can be combined with one or two transport data loggers of the MONI LOG® series, for example the ShockDisplay curve or EnDal curve.

The system then reads out the values of the connected logger at intervals configurable by the user, and also transfers the complete measurement data record to the route information. The dispatcher thus knows exactly where his sensitive transportation goods are and to which critical transport loading it has been exposed - also without qualified personnel on site. The data can also be evaluated over a Web portal. Here the user can manage his registered systems and evaluate all transferred measured values conveniently online. The data transfer can be both time-controlled, as well as event-controlled, for example, activated in case of exceeding preconfigured alarm thresholds. Thanks to automatic frequency switchover, the module can work both in GSM (2G), GPRS (2.5G), UMTS (3G) or

HSPA (3.5G) networks and guarantees optimum global availability.

Via an SMA socket, if required, external active radio and GPS antennae of different construction design (rod or planar antennae) can be connected. The direct, card-based linking to Google Earth® provides the route monitoring with a very good overview. As well as the GPS coordinates, the relevant measured values of the connected data logger are also represented with exact time stamp. The MONI LOG® data link TM works network-independent and very energy-efficiently with standard, exchangeable batteries (LR14). In this way, the system is suitable for autonomous long-term applications. With a readout interval of 48 h, a runtime of more than 2 years is achieved, also in exacting environmental conditions. The additional internal backup battery ensures data receipt, independent of the battery status, for at least 10 years. The device status can also be read off directly on the display, without PC/laptop. The parameters are adjusted on the device using 4 function keys. Easy to configure, the module can be individually adapted to a great number of different applications. Extra interfaces also enable fixed-in-place operation with external power supply, interaction with other systems (alarm and operation indicator contacts) or the connection of a satellite modem. The connection to the PC is implemented via standard USB cable (USB mini).

The rugged, dust-protected and splash-proof aluminum housing (Degree of Protection IP65) makes the device suitable for the outdoor area. The license-free configuration software also ensures updating of the device firmware.

### Technical data

Housing:	Aluminum coated, degree of protection IP65 1.15 kg with batteries H 160 x W 90 x D 60 mm Surface mounting (recommended to screw on), alternatively magnetic foot-mounting
Operating and storage conditions:	- 20°C to +70°C with alkaline batteries - 40°C to + 85°C with lithium batteries
Display elements:	1 light-emitting diode (red/green), bistable monochrome display 96 x 96 pixels
Interfaces:	USB 1.1 mini AB Client for connection with PC/laptop 3 RS232 (115 kbaud) → 2 data loggers and 1 external satellite modem 2 signal inputs, 2 switching outputs via M12 plug connector
GPS:	Channels: 22 Antenna: SMA socket for the connection of an external active antenna 50 Ω (3 - 30 mA/3 V/rod or cable antenna)
Mobile communications:	Frequency ranges: Quad Band EGSM/GPRS 850/900/1800/1900 MHz, Triple Band UMTS (HSPA/HSPA+) → 850/1900/2100 MHz SIM card: Receptacle for 1.8 V or 3 V SIM card/standard SIM/micro SIM (on request) Antenna: SMA socket for connection of an external passive antenna 50 Ω (rod or cable antenna)
Data memory:	Data receipt: at least 10 years (independent of the battery status) Storage type: 512 MB flash data memory/128 kB FRAM parameter memory
Software:	For operating systems WIN XP/7/8, Parameterization of the devices and indication of the status data, Help function, multilingual DE, EN, FR
Operating time:	More than 2 years, dependent on the reception conditions, battery type and configuration (transmission interval)

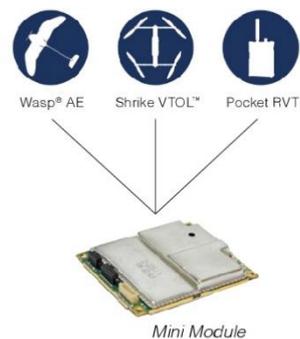
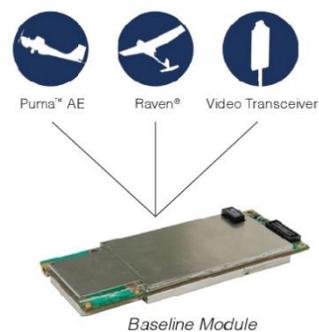
## 9.4 AEROVIRONMENT



AeroVironment's Digital Data Link (DDL) is a small, lightweight, broadband digital network module enabling enhanced command and control of small UAS. DDL is IP-based, allowing maximum flexibility and interoperability between small airborne and ground systems with limited power and bandwidth to maximize the number of systems that can operate in a given area.

### SPECIFICATIONS

	BASILINE MODULE	MINI MODULE	STAND ALONE VIDEO TRANSCIVER
SIZE	2" x 5" x 0.5"	2" x 2.25" x 0.3"	8.5" x 5.4" x 1.6"
WEIGHT	98 grams	22 grams	661 grams
TX POWER	1.5 watts	1 watt	1.5 watts
RX SENSITIVITY	-90 dBm	-90 dBm	-90 dBm
POWER CONSUMPTION	9 watts	6.5 watts	18 watts
OPERATING VOLTAGE	5.5 volts	5.5 volts	12 – 24 volts
DATA RATE	4.5 Mbps	4.5 Mbps	4.5 Mbps
SUPPORTED COMPRESSION	N/A	N/A	MPEG2 or H.264 SD
INTERFACES	Ethernet/RS-232 /RS-485	Ethernet/RS-232 /RS-485	SDI/ASI/Ethernet /Composite



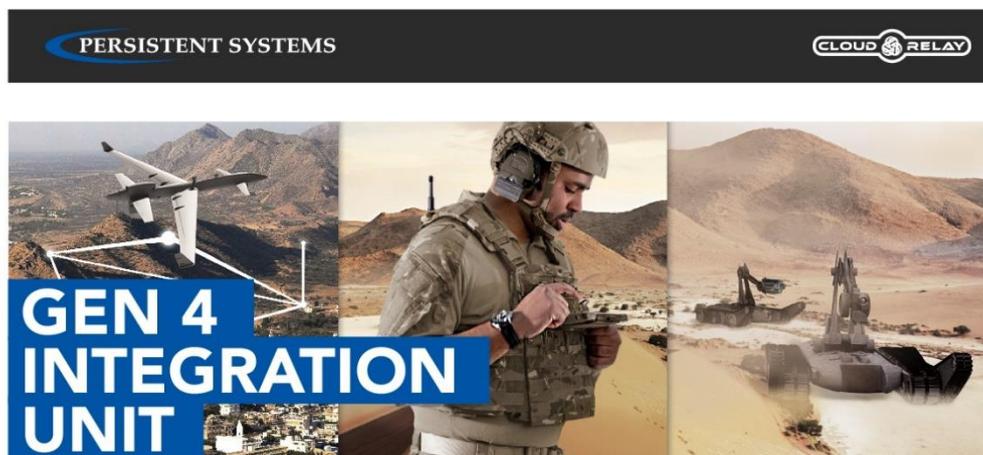
VERSION: 0117/2017

AeroVironment Corporate Headquarters – Monrovia, CA 91016 USA — ph: 626 357 9983 – www.avinc.com  
© 2017 All product names copyright or trademark protected. All specifications are subject to change.  
This data sheet consists of AeroVironment, Inc. general capabilities information that does not contain controlled technical data as defined within the International Traffic in Arms Regulations (ITAR) Part 120.10 or Export Administration Regulations (EAR) Part 734.7-11.

 **PROCEED WITH CERTAINTY**

## 9.5 PERSISTENT SYSTEMS

### 9.5.1 GEN 4 Integration Unit

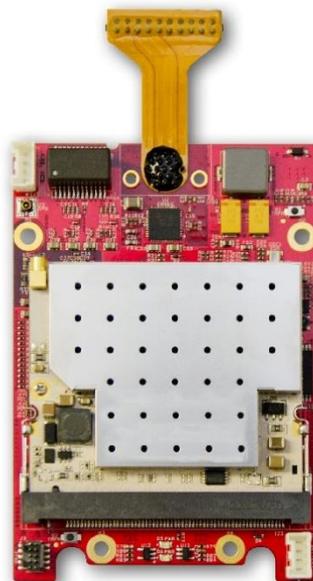


Wave Relay® is a Mobile Ad Hoc Networking System (MANET) designed to maintain connectivity on the move. It is a scalable, peer-to-peer network which provides data, video, and voice even in the most challenging applications. With user throughput of 41 Mbps UDP and 31.1 Mbps TCP, Wave Relay® provides a dynamic, reliable, and secure wireless networking solution beyond mesh.

**THE WAVE RELAY® MANET DATALINK WAS DESIGNED AS A SMALL, LIGHTWEIGHT EMBEDDED MODULE IDEAL FOR INTEGRATION WITH UNMANNED/UNATTENDED SYSTEMS, PORTABLE GROUND CONTROLLERS, AND OTHER INTEGRATED SYSTEMS.**

Seamless Layer-2 Ethernet connectivity facilitates plug-and-play operation of cameras, video encoders, IP sensors, and other devices. Serial to Ethernet functionality enables control of serial devices over the wireless network.

- Peer-to-Peer Mobile Ad Hoc Network (MANET)
- Secure High Bandwidth Data
- Transfers Data, Video & Voice
- Multiple Video Streams
- Real-time Position Location
- Push to Talk (PTT) Voice
- Wave Relay® over IP (WRoIP)
- 27Mbps Multicast Throughput
- Cloud Relay Compatible



# GEN 4 INTEGRATION UNIT

PERSISTENT SYSTEMS

## FREQUENCY

WR Pin #	WR Frequency Range	WR Output Power
WR-BRD3-02	907-922 MHz	27dBm/500mW
WR-BRD3-03	2312-2507 MHz	28dBm/600mW
WR-BRD3-04	2412-2462 MHz	28dBm/600mW
WR-BRD3-09	5180-5320, 5500-5700, 5745-5825 MHz	28dBm/600mW
WR-BRD3-12	2312-2507 MHz	33dBm/2W*
WR-BRD3-13	1350-1390 MHz	30dBm/1W
WR-BRD3-15	4400-4800 MHz	25dBm/320mW
WR-BRD3-16	4800-4985 MHz	26dBm/400mW

## SPECIFICATIONS

<b>Modulations</b>	OFDM, DSSS, CCK
<b>Channel Width</b>	5, 10, 20 or 40 MHz
<b>Throughput</b>	41 Mbps UDP (20 MHz channel) 31.1 Mbps TCP (20 MHz channel) 27 Mbps Multicast Throughput
<b>Radio</b>	(1) MMCX Connection
<b>GPS</b>	(1) U.FL Connection (3.3V Active Antenna)
<b>Size</b>	2.7 x 3.9 x .6 - .7 in (Dependent on radio module) 6.9 x 9.9 x 1.5 - 1.7 cm (Dependent on radio module)
<b>Weight</b>	3.05 - 3.7 oz / 86.5 - 104.9 g (Dependent on radio module)
<b>Security</b>	FIPS 140-2 Level 1 Validated

## POWER & ENVIRONMENTAL

<b>Power Consumption</b>	Average - 4.2 W (-12 2W* Card) Peak - 16.5 W
<b>Operating Temperature</b>	-40° to 85°C -40° to 185°F

## DATA CONNECTION

<b>20-Pin Connector</b>	10/100 Ethernet (2) RS-232 Serial PTT Audio 10-48 VDC Input Power 3.3 VDC Accessory Power
-------------------------	---

## NETWORKING

- Seamless layer 2 network connectivity
- Industry leading Wave Relay® MANET routing
- 802.11a/b/g AP compatible with MANET
- Integrated serial-to-Ethernet capability
- Cursor-on-Target compatible
- Cloud Relay™
- Dynamic Link Exchange Protocol (DLEP) Certified
- IPv4 and IPv6 compatible
- Integrated DHCP server
- Advanced multicast algorithms

## SECURITY

- Integrated hardware cryptographic accelerator
- FIPS 140-2 Certified
- Utilizes Suite B algorithms
- Anti-tamper mechanisms
- AES-CTR-256 with SHA-512 HMAC
- Over the air re-keying

## ANDROID™

- Multicast Video, position locator and chat in an Android™ application
- Supports commercial/custom phones and tablets
- Provides power through USB tether

## NATIVE VOICE CAPABILITY

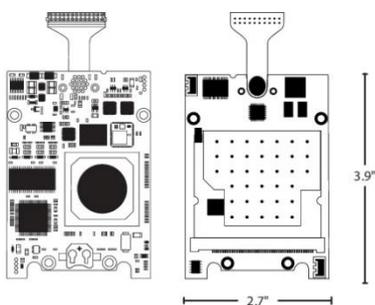
- Supports up to 16 channels of Push-to-talk (PTT) Voice
- G.711 Audio Codec - allows for seamless digital audio integration with land mobile radio bridging systems.

## MANAGEMENT

- Secure web management interface
- Network wide management and configuration functionality
- Google™ Earth based network monitoring

## MANUFACTURING & WARRANTY

- Designed and manufactured in USA
- Monthly training classes available
- Courses led by industry experts
- ISO 9001:2008 certified



WR - BRD3 - XX - F

Gen 4 Board  
(20-pin Flex Connector)  
WR-BRD3-12-F

\* For Military or Export Use Only

© 2016 Persistent Systems, LLC. All rights reserved. The Wave Relay® logo, the Persistent Systems, LLC logo and other designated trademarks and trade names are the property of Persistent Systems, LLC or their respective owners. Product specifications are subject to change without notice. This material is provided for informational purposes only. Persistent Systems, LLC assumes no liability related to its use and expressly disclaims any implied warranties of merchantability or fitness for any particular purpose.

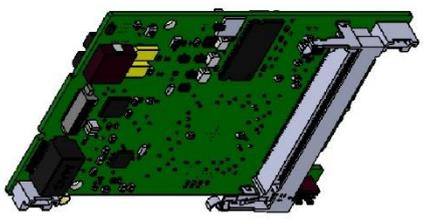
GEN 4  
INTEGRATION  
UNIT

LTR.	DESCRIPTION	DATE	BY/APPR.
A	ICD for WR-BRD3-XX-S	6/4/15	M. SHEA
B	Updated GPS Connector - MMCX (See IAR113)	09/2015	H. Maria

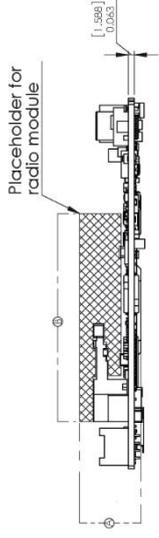
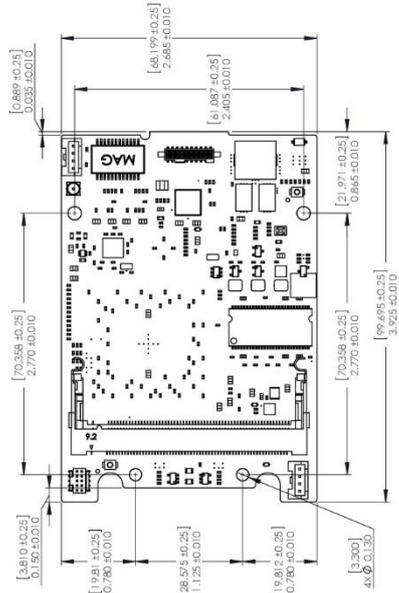
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF PERSISTENT SYSTEMS, LLC. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF PERSISTENT SYSTEMS, LLC IS PROHIBITED.

NOTES:

1. INTERPRET DRAWING PER ASME Y14.100.
  2. ASSEMBLE IN ACCORDANCE WITH IPC CLASS 3 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. ALL DIMENSIONS MUST MEET THE REQUIREMENTS OF IPC-A-610C CLASS 3 AND MIL-STD-454, REQUIREMENT 9.
  3. CAUTION: CONTAINS CLASS 1 ELECTROSTATIC SENSITIVE COMPONENTS; SPECIAL HANDLING REQUIRED IN ACCORDANCE WITH MIL-STD-1888.
- ⚠ PRIMARY HEAT DISSIPATION COMPONENTS AREAS ON THIS CCA (TOTAL HEAT DISSIPATION: 2.703 WATTS POWER IN STEADY STATE). HEAT SINKING TO METAL AREAS IS RECOMMENDED.
  - ⚠ APPLY CONFORMAL COATING (RECOMMEND HUMISEAL 1872) TO ALL UNDESIRABLE SURFACES TO PROTECT AGAINST CORROSION AND TO PREVENT CONDUCTOR CONTACTS. (H, 3D, 13, 14, 15, 16, 17, 51, 52 AND SCREEN MOUNTING SURFACES WITH HATCHED AREAS SHOWN).
  - ⚠ APPLY NON-CONDUCTIVE TAPE (MAYTON) TO TOP OF THE BATTERY HOLDER, J7 APPROXIMATELY AS SHOWN.



Radio Profiles				
Module (RAD-XX)	Maximum Height (mm) (A)	Length (mm) (B)	Total Weight (installed) (oz)	RF Connect or Mate Angle
01	15	71	3.25	Top
02	15	71	3.20	Top
03	15	53	3.05	Top
04	15	53	3.05	Top
09	15	53	3.05	Top
10	15	55	3.05	Top
12	16	59	3.45	Front
14	16	72	3.65	Top
16	17	59	3.70	Top



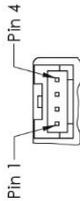
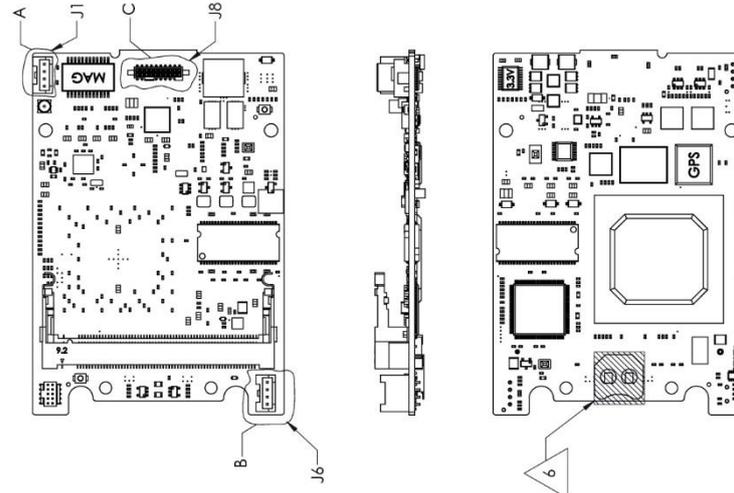
INSTALLATION CONTROL DRAWING

MATERIAL	N/A	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN KILOGRAMS (KG)	PERERSISTENT SYSTEMS 303 FERRIS AVE, SUITE 300 DALLAS, TX 75244
FINISH	N/A	TOLERANCES: XX ±0.25 XXX ±0.10 XXXX ±0.05	DWG TITLE 001-486 WR-BRD3-XX-S
HEAT TREAT	N/A	DRAWN BY: M. SHEA DATE: 6/1/2015 CM: M. LIVICK DATE: 6/1/2015 ENGR: E. STERN DATE: 6/1/2015 QUALITY: H. MARIA DATE: 6/1/2015	REV. B REV. B
			CAGE CODE: 4YBU2 SIZE: B SCALE: 1:1 WEIGHT: 3.70 gm SHEET 1 OF 5

CAD FILE: 001-486 WR-BRD3-XX-S 20 pin Snap

REVISIONS			
ZONE	LTR.	EC.N.	DATE
DESCRIPTION			
SEE SHEET 1			
			BY/APPR.

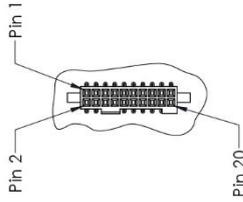
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF PERSISTENT SYSTEMS, LLC. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF PERSISTENT SYSTEMS, LLC IS PROHIBITED.



DETAIL A  
J1 Connector  
SCALE 2:1



DETAIL B  
J6 Connector  
SCALE 2:1



DETAIL C  
J8 Connector  
SCALE 2:1

J8 Connector Wiring

1	WR ETH 2 RXN
2	WR ETH 1 TXP
3	WR ETH 2 TXP
4	WR ETH 1 TXN
5	WR ETH 2 RXN
6	WR ETH 1 RXN
7	LED GROUND
8	LED GROUND
9	LED GROUND
10	LED GROUND
11	GPIO
12	GPIO
13	AUDIO OUTPUT
14	AUDIO IN
15	RS 232 WR TX
16	RS 232 WR RX
17	3.3 V LED POWER
18	DIGITAL GROUND
19	DIGITAL GROUND
20	N/A

\* Pin 17: 5 A max  
\* Pin 19: 1 A max

Auxiliary Connector Wiring

INPUT VOLTAGE RANGE 8-30 VDC

1	SWITCH
2	SWITCH GND
3	3.3 VDC-OUT
4	GND
5	STATUS
6	SMART I/O

J1 "LED/SWT"

J6 "BATTERY"

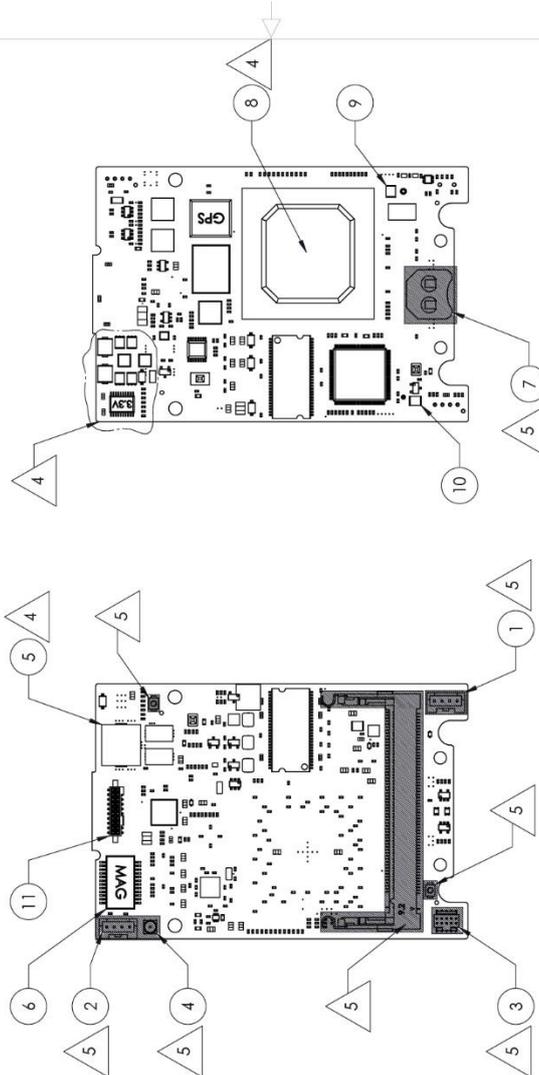
J6 (Battery)/J1 (Switch) Connectors  
MIG-35 SOLDERING TOOL  
MOUNTING P/N: (1)PAP-04-V5

CAGE CODE	SIZE	DWG. NO.	REV.
4YBU2	B	001-486	B
SCALE 1:1	WEIGHT		SHEET 2 OF 5

CAD FILE: 001-486 WR-BRD3-XX-S 2C

REVISIONS			
ZONE	LTR.	EC.N.	DATE
DESCRIPTION		EC.N.	DATE
SEE SHEET 1			
		BY/APPR.	

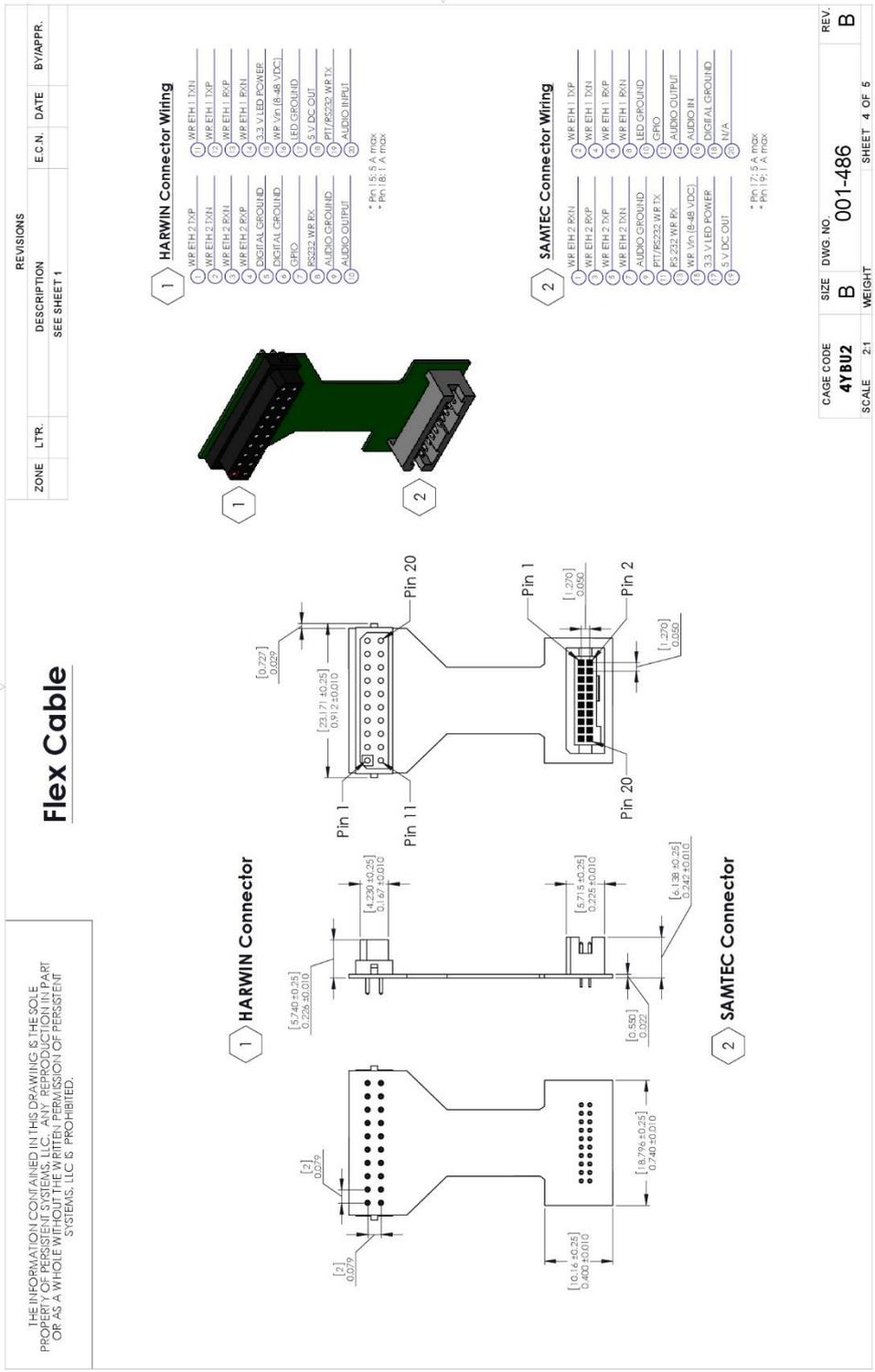
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF PERSISTENT SYSTEMS, LLC. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF PERSISTENT SYSTEMS, LLC IS PROHIBITED.



ITEM #:	Height(mm)	Description
①	7.6	Aux Power (J6)
②	7.6	Switch / LED (J1)
③	6.0	JTAG (J5)
④	5.1	GPS (MMCX) (J3)
⑤	4.6	Inductor (L1)
⑥	7.7	Magnetronics (U1)
⑦	3.5	Battery Holder (J7)
⑧	2.0	CPU (U23)
⑨	2.6	C233
⑩	2.6	C240
⑪	4.7	I/O CONNECTOR (J8)

CAGE CODE	SIZE	DWG. NO.	REV.
4YBU2	B	001-486	B
SCALE	WEIGHT	SHEET 3 OF 5	
1:1			

CAD FILE: 001-486-WR-BRD3-XX-S 20





## 9.5.2 GEN 3 Man Portable Unit (MPU3)



Wave Relay® is a Mobile Ad Hoc Networking System (MANET) designed to maintain connectivity on the move. It is a scalable, peer-to-peer network which provides data, video, and voice even in the most challenging applications. With user throughput of 41 Mbps UDP and 31.1 Mbps TCP, Wave Relay® provides a dynamic, reliable, and secure wireless networking solution beyond mesh.

**THE MAN PORTABLE UNIT GEN3 (MPU3) IS A COMPACT RADIO DESIGNED FOR INSTALLATION OR USER-WORN APPLICATIONS, AND AVAILABLE IN SINGLE OR DUAL RADIO MODULES.**

Seamless Layer-2 Ethernet connectivity facilitates plug-and-play operation of cameras, video encoders, IP sensors, and other devices.

- Peer-to-Peer Mobile Ad Hoc Network (MANET)
- Secure High Bandwidth Data
- Transfers Data, Video, & Voice
- Multiple Video Streams
- Real-time Position Location
- Push To Talk (PTT) Voice
- Wave Relay® over IP (WRoIP)
- 27Mbps Multicast Throughput
- Cloud Relay™ Compatible



## MAN PORTABLE UNIT GEN3

PERSISTENT SYSTEMS

### FREQUENCY

WR Pin #	WR Frequency Range	WR Output Power
WR-MPU3-02	907-922 MHz	27dBm/500mW
WR-MPU3-03	2312-2507 MHz	28dBm/600mW
WR-MPU3-04	2412-2462 MHz	28dBm/600mW
WR-MPU3-09	5180-5320, 5500-5700, 5745-5825 MHz	28dBm/600mW
WR-MPU3-12	2312-2507 MHz	33dBm/2W*
WR-MPU3-13	1350-1390 MHz	30dBm/1W
WR-MPU3-15	4400-4800 MHz	25dBm/320mW
WR-MPU3-16	4800-4985 MHz	26dBm/400mW

### SPECIFICATIONS

<b># of Radios</b>	1
<b>Modulations</b>	OFDM, DSSS, CCK
<b>Channel Width</b>	5, 10, 20 or 40 MHz
<b>Throughput</b>	41 Mbps UDP (20 MHz channel) 31.1 Mbps TCP (20 MHz channel) 27 Mbps Multicast Throughput
<b>Radio</b>	(1) RP-TNC Antenna Connector
<b>GPS</b>	(1) SMA Connection
<b>Size</b>	5.0 x 4.7 x 1.3 in 12.7 x 11.9 x 3.3 cm
<b>Weight</b>	.9 lb / 480 g
<b>Security</b>	FIPS 140-2 Level 2

### POWER & ENVIRONMENTAL

<b>Power Consumption</b>	Average 4.3 W Peak 16.5 W
<b>RF Connector</b>	1x
<b>Power Cable</b>	Optional 3-Pin to Power Supply
<b>Power Supply</b>	10-48 VDC via External 3-Pin Port or PoE
<b>GPS Connector</b>	1x SMA Female
<b>Operating Temperature</b>	-40° to 85°C -40° to 185°F
<b>Enclosure</b>	IP67 Rated

### NETWORKING

- Seamless layer 2 network connectivity
- Industry leading Wave Relay® MANET routing
- 802.11a/b/g AP compatible with MANET
- Integrated serial-to-Ethernet capability
- Cursor-on-Target compatible
- Cloud Relay™
- Dynamic Link Exchange Protocol (DLEP) Certified
- IPv4 and IPv6 compatible
- Integrated DHCP server
- Advanced multicast algorithms

### SECURITY

- Integrated hardware cryptographic accelerator
- FIPS 140-2 (level 2)
- Utilizes Suite B algorithms
- Anti-tamper mechanisms
- AES-CTR-256 with SHA-512 HMAC
- Over the air re-keying

### NATIVE VOICE CAPABILITY

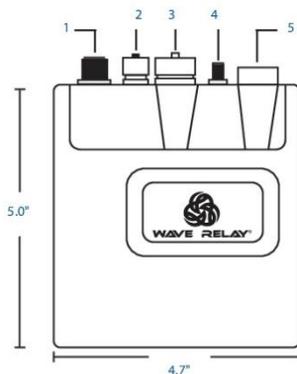
- Supports up to 16 channels of Push-to-talk (PTT) Voice
- G.711 Audio Codec - allows for seamless digital audio integration with land mobile radio bridging systems

### MANAGEMENT

- Secure web management interface
- Network wide management and configuration functionality
- Google™ Earth based network monitoring

### MANUFACTURING & WARRANTY

- Designed and manufactured in USA
- Limited one year warranty
- Monthly training classes available
- Courses led by industry experts
- ISO 9001:2008 certified
- MIL-STD certified



### WR - MPU3 - XX

- RF Connector  
RP-TNC Female
- Power  
10-48 VDC
- Ethernet 1 and 2  
PTT Voice  
Serial  
POE
- GPS
- Pushbutton/LED

\*Dual option can only use one 2W\* radio module.  
\* For Military or Export Use Only

© 2016 Persistent Systems, LLC. All rights reserved. The Wave Relay® logo, the Persistent Systems, LLC logo and other designated trademarks and trade names are the property of Persistent Systems, LLC or their respective owners. Product specifications are subject to change without notice. This material is provided for informational purposes only; Persistent Systems, LLC assumes no liability related to its use and expressly disclaims any implied warranties of merchantability or fitness for any particular purpose.

MAN  
PORTABLE UNIT  
GEN3

## 9.6 AIM

### LYNX-OEM-3P

Tethered Data Link and Ethernet Switch



#### Robust Ethernet Connectivity for Tethered Platforms

The **LYNX-OEM-3P** seamlessly integrates our Digital LYNX Ethernet over power technology and a three port Ethernet switch into a single package. LYNX is the robust connectivity solution for tethered aerostats, UAS, and submersibles. Simplify connectivity to payloads and autopilots by adding RS232 and/or H.264 video encoding through the on board expansion ports. LYNX eliminates the expense and hassle associated with fragile fiber optic tethers.

#### Applications:

- Aerostats
- Tethered UAVs
- Micro Gimbals
- Remotely Operated Vehicles
- Submersibles
- Telerobotics
- Pipe Inspection



#### Specifications

Overview	
<b>Transmission</b>	50 Mbps at 1000 ft. (Typical)
<b>Medium</b>	Twisted Pair / Coax / Power line
<b>Max Line Voltage</b>	1000 VDC ( 2500 VDC optional)
<b>Temperature</b>	20°C to +70°C
<b>Input Voltage</b>	5 VDC to 58 VDC
<b>Ethernet</b>	Three ports, 10/100Mbps

Ethernet Interface	
<b>Physical</b>	10BASE-T, 100BASE-TX
<b>Ports</b>	Four fully switched - 3 external, 1 expansion
<b>Options</b>	Factory configuration available for VLAN tagging, rate limiting, and port mirroring

Data Link	
<b>Transceiver</b>	LYNX-OEM
<b>Modulation</b>	Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM)
<b>Security</b>	128 bit AES encryption

SWAP	
<b>Size</b>	3.0 x 2.5 x 0.5 inches
<b>Weight</b>	50 grams
<b>Power Consumption</b>	2.31 W @ 6 VDC 2.34 W @ 12 VDC 2.52 W @ 24 VDC

Indicators	
<b>Ethernet</b>	Link Active and Speed for each port
<b>Data Link</b>	Self Test

## LYNX-OEM-3P

Tethered Data Link and Ethernet Switch



### Accessories

#### LYNX-UART-XB

The **LYNX-UART-XB** is an expansion board that adds support for two channels of RS232

- Interface 3.3V-level signals (5V tolerant) or RS-232 voltage levels
- Data Rates: 300bps to 921,600bps (software selectable)
- Port Binding or Virtual Serial Drivers

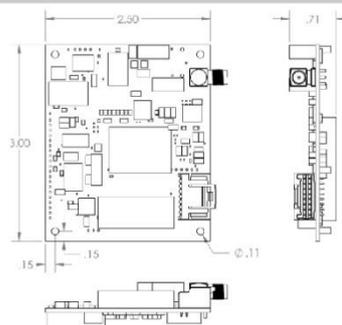
#### LYNX-H264-XB

The **LYNX-H264-XB** is adds support for onboard low latency video encoding and a RS232

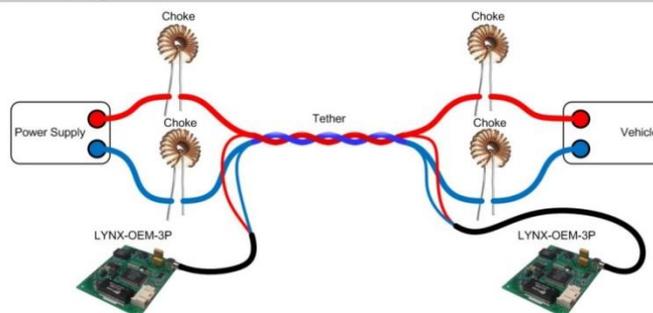
- Input Analog Video NTSC
- H.264 / M-JPEG (Optional Video Enhancement and Stabilization)
- Interface 3.3V-level signals or RS-232 voltage levels
- Port Binding or Virtual Serial Drivers

### Mechanical

External Connectors		
Header	Signal	Connector
J1	Self Test	Molex iGrid
J2	Data	SMA



### Data Over Power Configuration



LYNX can operate on over the tethered vehicles power supply line or on a dedicated transmission line

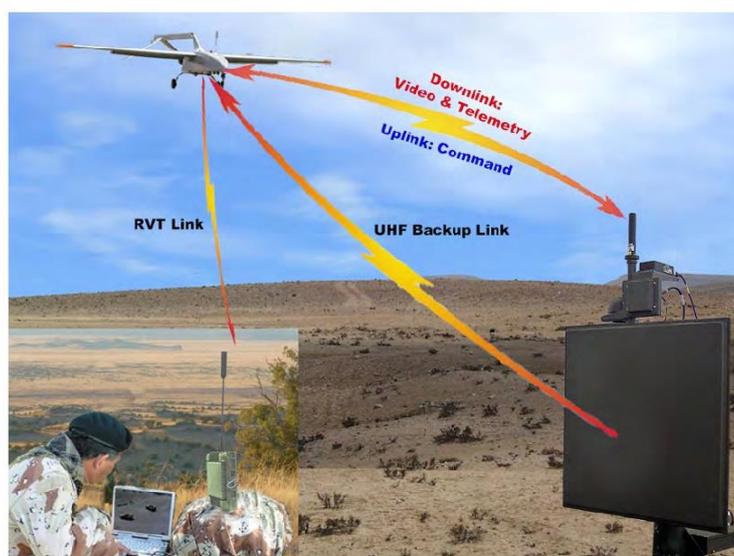
9.7 ELISRA



**TADIRAN** LTD.  
**SPECTRALINK** D.

**elisra**

## StarLink Multiband Digital Data Link System



Single Axis

GDT

Dual Axis

### The Affordable and Versatile Digital Solution for Real-Time Battlefield Intelligence Gathering

Tadiran Spectralink's StarLink is a point-to-point full duplex digital data link system, specifically designed for use with midi and mini-Unmanned Aerial Systems (UAS). StarLink provides for simultaneous transmission of command and control signals, and reception of video and telemetry data, between the UAS and a Ground Control Station (GCS).

Resistant to jamming and interference and with provision for encryption, StarLink securely delivers real-time video imagery captured by the UAS payload straight to the end users in the field and provides the best inner-link solution for interference, multi-path, and coexistence. Added to its low weight, StarLink's remarkably low power consumption allows for extended mission range and endurance.

StarLink employs a Time Division Duplexing (TDD) method that can operate at Single Frequency (SF) or Frequency Hopping (FH) mode, to achieve very high spectral efficiency (4 MHz per channel); uplink and downlink traffic can share the same frequency while using only the part of the bandwidth required by each type of traffic.

StarLink is available in S, L, and C-band versions, allowing for use in all types of midi and mini-UAS applications, at tactical ranges from 0 and up to 100 kilometers. StarLink's compact and easily transportable Ground Data Terminal (GDT) is mounted on a rotating tracking system, which affords it single or dual-axis tracking capability and further extends its impressive effectiveness.

Another advantage offered by StarLink is the ability to deliver real-time, broadcast quality imagery and telemetry directly to deployed tactical forces, thus creating a common visual language amongst all forces in the battlespace. Using the Remote Video Terminal (RVT) link, combined with Tadiran Spectralink's tactical video dissemination systems, the StarLink Digital Data Link System enables field commanders and dismantled troops to be on the receiving end of real-time data for target tracking, situational awareness, damage assessment, "over-the-hill" reconnaissance and surveillance, and all-round support for battlefield management.



29 Hamerkava St.  
P.O. Box 150  
Holon 58101, Israel  
Tel. +972-3-5573102  
Fax: +972-3-5577579  
www.tadspec.com/home.php  
yoramk@elisra.com



**Level 3**  
**CMMI**

### Exclusive performance highlights

- Suitable for installation on aircraft with space restrictions or for use as a "Store & Forward" relay
- Fully rugged design, meet IP54 and MIL-STD-810F

Fast and easily integrated, the StarLink Multiband is operational in dozens of different UAVs, in many countries



Main Performance Characteristics		
Parameter	Performance	
Frequency Bands	L, S, C	
Multiplexing Method	TDD	
Range	5 to 100 km	
Mode of Operation	Frequency Hopping / Single Frequency	
Compressed Video Data Rate	~ 1.4 Mbps to 3 Mbps	
Telemetry Data Rate (interleaved with the video)	4.8 / 9.6 / 19.2 kbps	
Command Data Rate	4.8 / 9.6 / 19.2 kbps	
Video Compression	MPEG4 encoding	
Modulation Methods	DQPSK, FSK	
Space Diversity (non-LOS comm.)	On GDT segment only	
TM Backup Channel	Optional	
Tracking System		
	Single Axis	Dual Axis
Operating Input Power	18-36Vdc	24-30Vdc
Dimensions and Weight	8.66" x 8.66" x 5.7", ~ 2.1 kg	11.65" x 5.5" x 8.53", ~ 15 kg
Range	Az. +190° to -190°	Az. 360° x N; El. -10° to +60°
Speed	~ 30° / sec	~ 40° / sec., nominal
Resolution	0.5°	0.1°



For further information on StarLink please contact:

Tadiran Spectralink Ltd., Elisra Communications Division,  
29 Hamerkava Street, P.O. Box 150, Holon 58101, Israel

Tel. +972-3-5573102 • Fax: +972-3-5577579 • yoramk@elisra.com



Data contained in this document is summary by nature and subject to change at any time at Tadiran Spectralink discretion. Tadiran Spectralink Proprietary Information © 2008. All rights reserved.

## 10 ANEXO II: CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS

### 10.1 ANTENA DATALINK

#### WR-ANT-XXX



Blade Antenna, Rounded Edge

#### WR-ANT-047

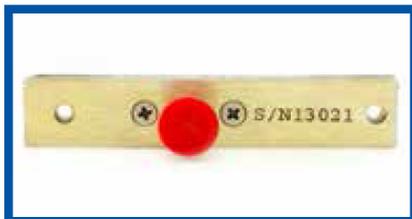
Specifications:

- 2.3 - 2.5 GHz
- 3 dBi
- Vertically Polarized
- 1.2 inches high
- 3 inches long
- 0.64 ounces
- SMA Female
- Requires Ground Plate

#### WR-ANT-050

Specifications:

- 5.2 - 5.8 GHz
- 3 dBi
- Vertically Polarized
- 1.2 inches high
- 3 inches long
- 0.32 ounces
- SMA Female
- Requires Ground Plate



#### WR-ANT-066

Specifications:

- 4.5 - 5.0 GHz
- 3 dBi
- Vertically Polarized
- 0.9 inches high
- 3 inches long
- SMA Female
- Requires Ground Plate

#### WR-ANT-078

Specifications:

- 1.3 - 1.4 GHz
- 3 dBi
- Vertically Polarized
- 2.05 inches high
- 3 inches long
- SMA Female
- Requires Ground Plate

## 10.2 ANTENA GPS

### MOBILE ANTENNAS

#### GPS High Performance Antennas

### 3911D-HR High Rejection Dual Filter Mobile GPS Antenna for High RF Noise Environments

The low interference GPS Antenna with Dual SAW High Rejection Filters allow excellent performance in high RF noise environments as found on vehicles with multiple antennas. It is ideal for fleet tracking, public safety, transit, precision agricultural and military applications.

The features ESD circuit protection, an innovative two-stage low noise amplifier and a dual SAW high rejection filter. It also features a custom designed ceramic patch element that minimizes detuning effects caused by adjacent objects. The GPS antenna provides consistent, clear GPS signal reception while minimizing loss-of-lock in high-RF fields. Housed in a weatherproof magnetic or screw mount enclosure, the GPS antenna is ideal for demanding vehicle mounted GPS applications.

#### Features

- High rejection dual SAW filters allow placement near other transmitting antennas
- Low current: 7.5 mA @ 3.3V
- Wide voltage input range (2.7 - 5 VDC)
- Robust IP67 housing built for various weather conditions



#### Low Noise Amplifier Specifications

##### Nominal Gain:

25 dB @ 3.3VDC  
25.5 dB @ 5VDC

##### Noise Figure:

3.1 dB

##### Out-of-Band Signal Rejection:

See chart below

##### Voltage: 2.7-5 VDC

##### ESD Circuit Protection: 15K volts

## RF/Electrical Specifications

Antenna Dimensions	Weight	Shock	Vibration
1.77" x 2.01" x .47" (45 x 51 x 12 mm)	.29 lbs (130 g)	Vertical axis 50G, 3 axis, sweep = 15 min other axes 30G	10 - 200 Hz log sweep: 3G
Center Frequency	Nominal Gain	Polarization	Current Draw
1575.42 MHz $\pm$ 10 MHz	3 dBic @ 90° -2 dBic @ 20°	Right Hand Circular	7.5 mA @ 3.3V 11.5 mA @ 5V

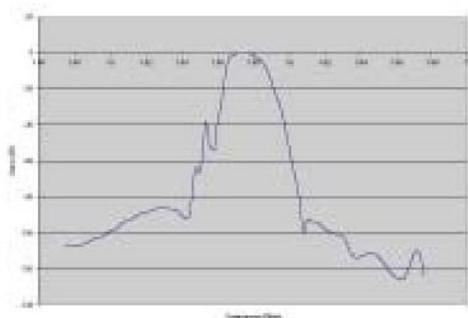
## Mechanical Specifications

Cable	Connector	Mounting Method
16.4' (5 meters) highlyflexible 174 sized cable	SMA standard	Magnetic (5 lb lift-off force) or permanent (pre-threaded for 3 x M2.5 screws)

## Environmental Specifications

Temperature Range	Weatherproof
-40 °C to +85 °C operating	IP67

## Out-of-band Filter Rejection



## 10.3 ANTENA GS

# STEATITE

### Overview

Southwest Antennas' Ultra-Flex Omni Antenna is a rugged, small form factor dipole antenna that features an innovative environmentally-sealed spring base, giving the antenna flexibility to deflect/bend with impacts and return to its original vertical position. The integrated spring design minimizes stress placed on the antenna and radio connection, and can help prevent damage to both in the event of an impact.

The spring is fully sealed to prevent rain, dust, and other debris from impacting antenna performance, which is also fully submersible once securely mated to a radio. A G10 fiberglass radome holds up to abuse in the field, and a low-glare black finish helps the antenna blend into surroundings and not draw attention.

Part # 1001-084 features rugged black G10 fiberglass radome and a black chrome RP-TNC(m) Non-Rotating RF connector, with an overall height of 6.08 inches.

### Features

- Broad Band Coverage
- 5.0 - 6.0 GHz
- 50W Power Handling
- 2.3 dBi Omni Radiation Pattern
- Rugged Construction
- Low Glare Black Fiberglass Radome
- Black Chrome RP-TNC(m) RF Connector
- Ultra-Flexible Spring Base
- Sealed Spring / Waterproof Design
- Frequency Heat Shrink Label

### Antenna Specifications



Parameter	Value	Units	Tolerance
Antenna Pattern	Omni Antenna		
Frequency Band	C		
Impedance	50	Ohms	
Minimum Frequency	5 / 5,000	GHz / MHz	
Maximum Frequency	6 / 6,000	GHz / MHz	
Frequency Bandwidth	1 / 1,000	GHz / MHz	
Maximum VSWR	2:1	Ratio	

STEATITE LIMITED  
RAVENSBANK BUSINESS PARK  
ACANTHUS ROAD  
REDDITCH  
WORCESTERSHIRE  
B98 9EX

TEL: +44 (0)1527 512400  
FAX: +44 (0)1527 512419  
EMAIL: [sales@steatite.co.uk](mailto:sales@steatite.co.uk)

[www.steatite.co.uk](http://www.steatite.co.uk)

A SOLID STATE COMPANY  
ISO 9001 : 2008

REGISTERED OFFICE: 2 RAVENSBANK BUSINESS PARK, HEDERA ROAD, REDDITCH, WORCESTERSHIRE, B98 9EY  
REGISTERED IN ENGLAND: 4403746. VAT REGISTRATION: GB880987759

# STEATITE

<b>Maximum Gain</b>	2.3	dBi	
<b>Polarization</b>	Vertical		
<b>Horizontal (AZ) Beamwidth</b>	360	Degrees	
<b>Vertical (EL) Beamwidth</b>	68	Degrees	
<b>Radome Material</b>	G10 Fiberglass		
<b>Color</b>	Black		
<b>Spring or Gooseneck</b>	Spring		
<b>Spring Length</b>	1.000 / 25.400	inches / mm	
<b>Spring Diameter</b>	0.500 / 12.700	inches / mm	
<b>RF Connector Type</b>	RP-TNC(m)		
<b>Product Height</b>	6.080 / 154.432	inches / mm	±.13"
<b>Product Diameter</b>	0.562 / 14.275	inches / mm	+0.020" / -.000"
<b>Product Weight</b>	2.00 / 56.70	oz / grams	

STEATITE LIMITED  
RAVENSBANK BUSINESS PARK  
ACANTHUS ROAD  
REDDITCH  
WORCESTERSHIRE  
B98 9EX

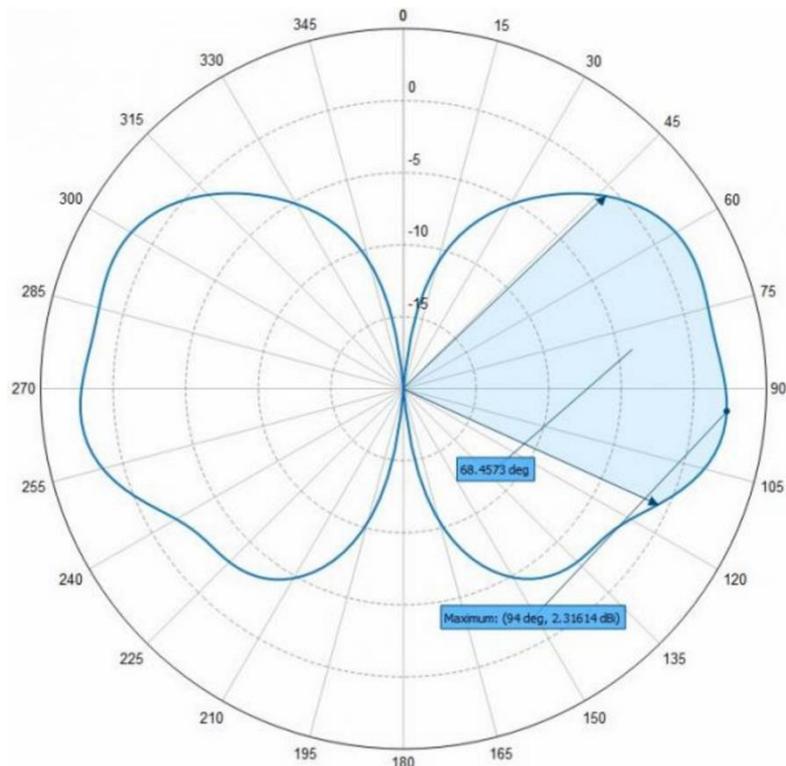
TEL: +44 (0)1527 512400  
FAX: +44 (0)1527 512419  
EMAIL: [sales@steatite.co.uk](mailto:sales@steatite.co.uk)

[www.steatite.co.uk](http://www.steatite.co.uk)

A SOLID STATE COMPANY  
ISO 9001 : 2008

REGISTERED OFFICE: 2 RAVENSBANK BUSINESS PARK, HEDERA ROAD, REDDITCH, WORCESTERSHIRE, B98 9EY  
REGISTERED IN ENGLAND: 4403746. VAT REGISTRATION: GB880987759

# STEATITE



**Elevation Pattern**

Referenced to +5 dBi

STEATITE LIMITED  
RAVENSBANK BUSINESS PARK  
ACANTHUS ROAD  
REDDITCH  
WORCESTERSHIRE  
B98 9EX

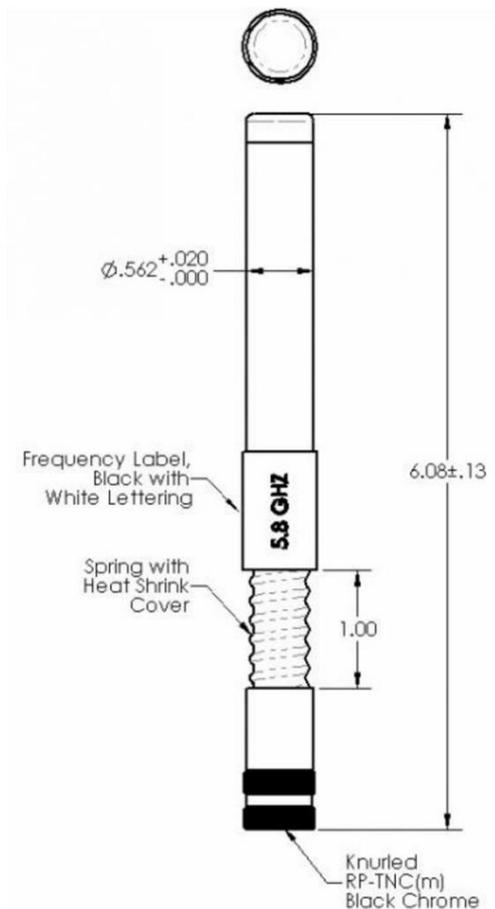
TEL: +44 (0)1527 512400  
FAX: +44 (0)1527 512419  
EMAIL: [sales@steatite.co.uk](mailto:sales@steatite.co.uk)

[www.steatite.co.uk](http://www.steatite.co.uk)

A SOLID STATE COMPANY  
ISO 9001 : 2008

REGISTERED OFFICE: 2 RAVENSBANK BUSINESS PARK, HEDERA ROAD, REDDITCH, WORCESTERSHIRE, B98 9EY  
REGISTERED IN ENGLAND: 4403746. VAT REGISTRATION: GB880987759

# STEATITE



STEATITE LIMITED  
RAVENSBANK BUSINESS PARK  
ACANTHUS ROAD  
REDDITCH  
WORCESTERSHIRE  
B98 9EX

TEL: +44 (0)1527 512400  
FAX: +44 (0)1527 512419  
EMAIL: [sales@steatite.co.uk](mailto:sales@steatite.co.uk)

[www.steatite.co.uk](http://www.steatite.co.uk)

A SOLID STATE COMPANY  
ISO 9001 : 2008

REGISTERED OFFICE: 2 RAVENSBANK BUSINESS PARK, HEDERA ROAD, REDDITCH, WORCESTERSHIRE, B98 9EY  
REGISTERED IN ENGLAND: 4403746. VAT REGISTRATION: GB880987759



### Engineering Drawing

All dimensions are in inches

---

STEATITE LIMITED  
RAVENSBANK BUSINESS PARK  
ACANTHUS ROAD  
REDDITCH  
WORCESTERSHIRE  
B98 9EX

TEL: +44 (0)1527 512400  
FAX: +44 (0)1527 512419  
EMAIL: [sales@steatite.co.uk](mailto:sales@steatite.co.uk)

[www.steatite.co.uk](http://www.steatite.co.uk)

A SOLID STATE COMPANY  
ISO 9001 : 2008

REGISTERED OFFICE: 2 RAVENSBANK BUSINESS PARK, HEDERA ROAD, REDDITCH, WORCESTERSHIRE, B98 9EY  
REGISTERED IN ENGLAND: 4403746. VAT REGISTRATION: GB880987759

## 11 ANEXO III: CONFIGURACIÓN DEL DATALINK

Una vez conectado el Datalink a la alimentación, conectamos también su puerto Ethernet con el puerto Ethernet de nuestro ordenador. Para comunicarse con el Datalink o la estación de tierra es necesario que nuestro ordenador tenga una dirección IP que esté en la misma red que el DL y GS. Por supuesto para establecer comunicación entre GS y DL es necesario que estén también en la misma red IP.

Un ejemplo de direcciones se muestra en la

Tabla 3, donde todos los dispositivos se encuentran en la misma red.

Nodos		Ordenadores	
Dirección IP del Datalink (DL)	10.4.1.3	Dirección IP del ordenador (DL)	10.4.1.4
Dirección IP de la estación de tierra (GS)	10.4.1.2	Dirección IP del ordenador (GS)	10.4.1.6
Máscara de red: 255.255.255.0			

Tabla 3: Configuración IP

Para configurar el Datalink, una vez conectado al puerto Ethernet de nuestro ordenador es necesario acceder a su interfaz web para lo que abrimos un navegador web e introducimos la dirección IP del Datalink en la barra de direcciones (Figura 46).

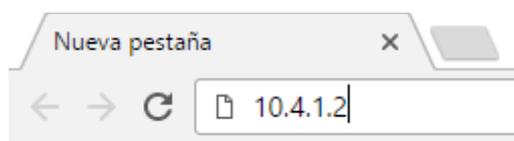


Figura 46: Barra de direcciones con la IP del DL para acceder al interfaz web

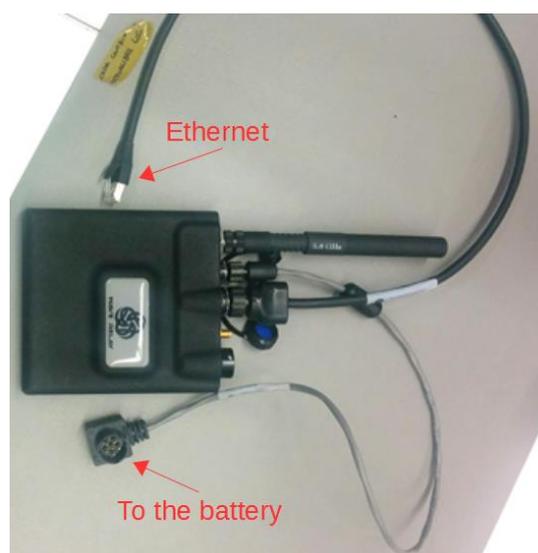
Una vez introducida la contraseña por defecto o la que se haya establecido con anterioridad en el dispositivo, se mostrará el interfaz web (Figura 30) mediante el cual configuraremos el Datalink.

Para cambiar la dirección IP del dispositivo hay que hacer clic en la opción “Node configuration” en la pestaña del mismo nombre. En el apartado “Management” (Figura 47) se configurará el nombre del Datalink, la dirección IP, la máscara de red y el Gateway.

Management	
Node Name:	WR20971-GS <input type="checkbox"/> Use Factory
IP Address:	10.4.1.2
Netmask:	255.255.255.0 <input checked="" type="checkbox"/> Use Network Default
Gateway:	10.4.1.1 <input checked="" type="checkbox"/> Use Network Default

*Figura 47: Node configuration: Management*

La estación de tierra se configura de la misma manera que el Datalink (Figura 48). Una vez configurados tanto el Datalink como la estación de tierra, es necesario acceder a “Network” > “Configuration” > “Network node list”. En este apartado se pueden añadir o eliminar manualmente las direcciones IP de los distintos nodos de la red que se quiere formar, pero las nuevas direcciones IP tanto del DL como de la GS es necesario que estén en esa lista para que se establezca el enlace entre ambos (Figura 49).



*Figura 48: Conexión de la GS*

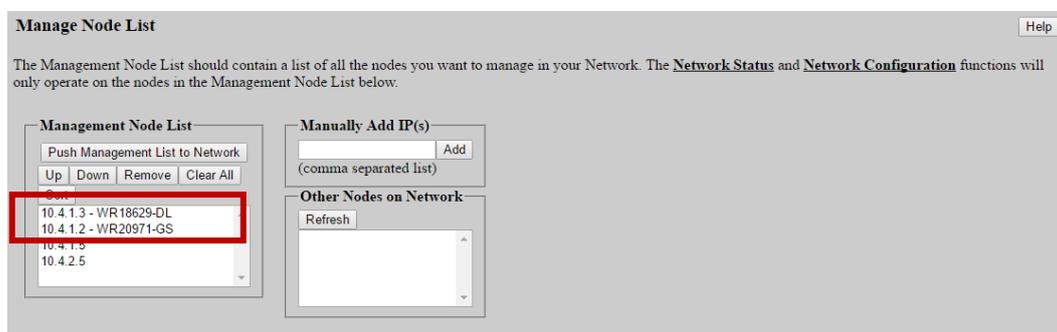


Figura 49: Network configuration: Network node list

Una vez realizada la configuración IP, para probar que el Datalink funciona correctamente, enviamos paquetes UDP por medio de la herramienta Packet Sender (Figura 50) desde el ordenador conectado al Datalink. En el ordenador conectado a la estación de tierra lanzaremos una captura de los paquetes UDP que llegan al mismo mediante el programa Wireshark. Si los paquetes que se envían desde el ordenador DL con la dirección IP del ordenador GS, se visualizan en la captura de Wireshark (Figura 51) quiere decir que la comunicación se establece correctamente.

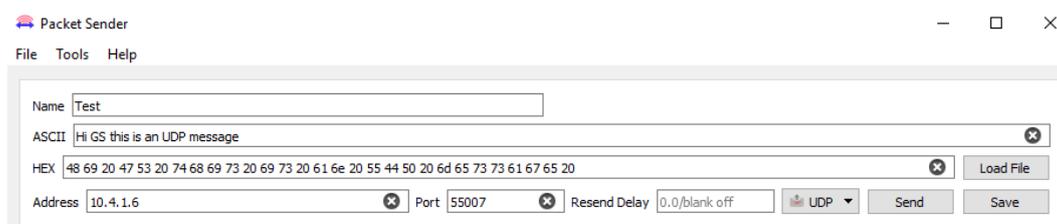


Figura 50: Ejemplo de envío de paquete UDP con Packet Sender

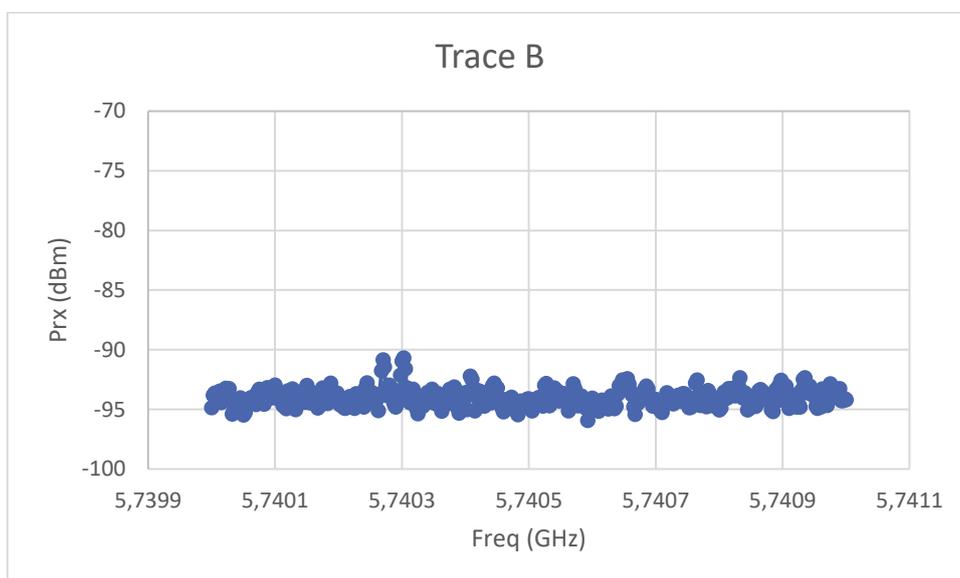
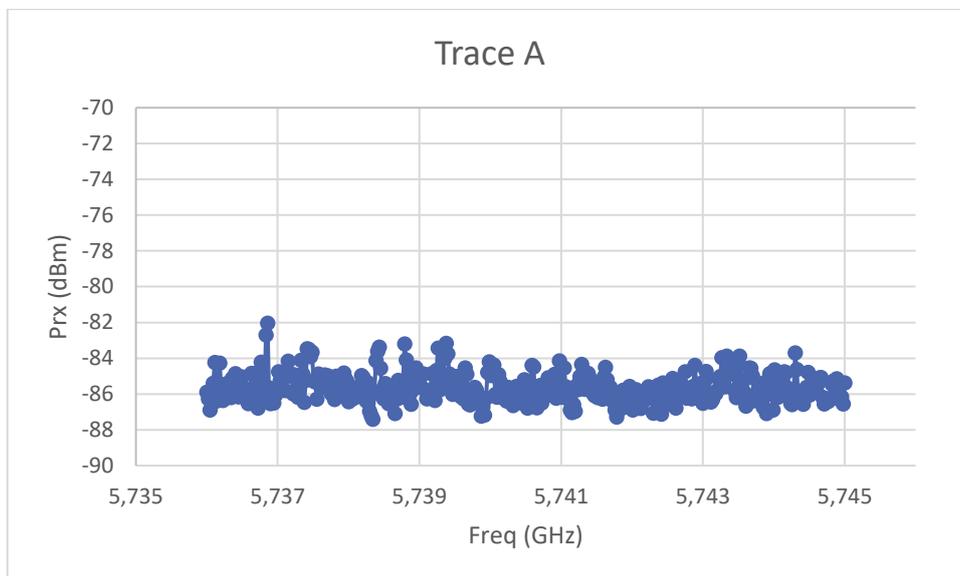
340	47.258040	10.4.1.6 <i>DL</i>	10.4.1.4 <i>GS</i>	UDP	70 55056 → 55008 Len=28
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Frame 340: 70 bytes on wire (560 bits), 70 bytes captured (560 bits) on interface 0</li> <li>&gt; Ethernet II, Src: HewlettP_27:41:a0 (48:0f:cf:27:41:a0), Dst: HewlettP_e9:99:47 (98:e7:f4:e9:99:47)</li> <li>&gt; Internet Protocol Version 4, Src: 10.4.1.6, Dst: 10.4.1.4</li> <li>&gt; User Datagram Protocol, Src Port: 55056, Dst Port: 55008</li> <li>&gt; Data (28 bytes)</li> </ul>					
0000	98 e7 f4 e9 99 47 48 0f	cf 27 41 a0 08 00 45 00	.....GH. . 'A...E.		
0010	00 38 6c e2 00 00 80 11	b7 c1 0a 04 01 06 0a 04	..		
0020	01 04 d7 10 d6 e0 00 24	ee b4 48 69 20 44 4c 20	.....\$ ..Hi DL		
0030	74 68 69 73 20 69 73 20	61 6e 20 55 44 50 20 6d	this is an UDP m		
0040	65 73 73 61 67 65		essage		

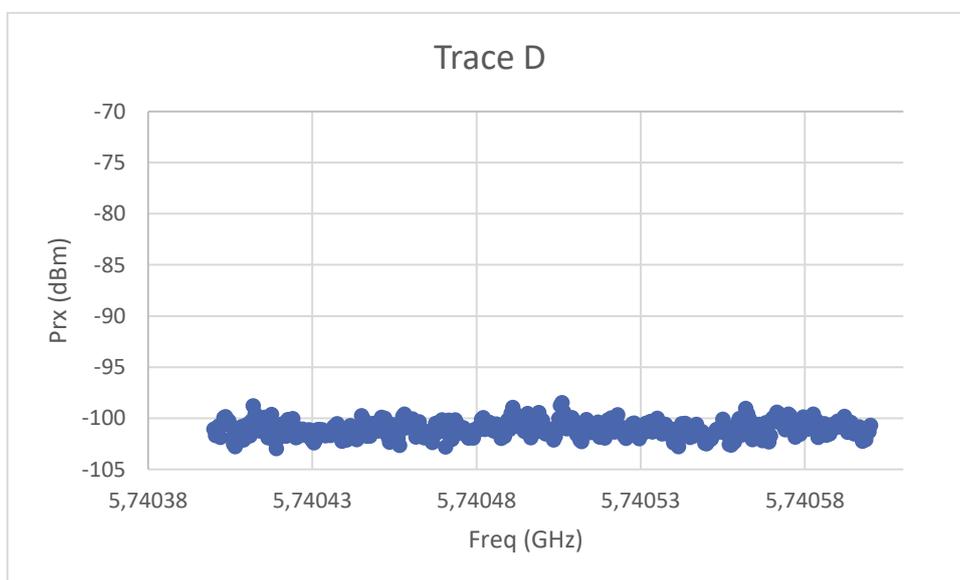
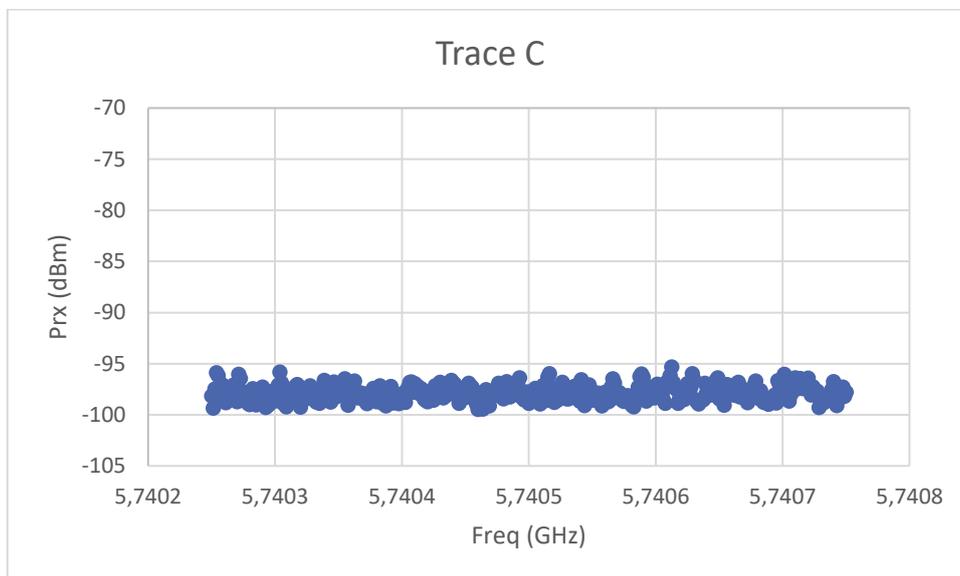
Figura 51: Ejemplo de captura Wireshark

Posteriormente se realizará la misma comprobación pero en sentido contrario. Se mandarían paquetes UDP desde el ordenador GS hacia el ordenador DL donde se realizará la captura del tráfico y se visualizarán los paquetes UDP.

## 12 ANEXO IV: TRAZAS CAPTURADAS

### 12.1 TRAZAS CAPTURADAS EN ZIZUR MAYOR





## 12.2 TRAZAS CAPTURADAS EN LA UPNA

