

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Diseño e Implementación de un Sistema de Comunicación para un
Avión No Tripulado**

Carlos Telmo Andrade Villacís

Mario Paúl Rojas Vélez

René Játiva, Ph.D. (c), Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero

Eléctrico y Electrónico

Quito, mayo de 2014

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACION DE TESIS

Diseño e Implementación de un Sistema de Comunicación para un

Avión No Tripulado

Carlos Telmo Andrade Villacís

Mario Paúl Rojas Vélez

René Játiva, Ph.D. (c)

Director de Tesis

.....

Nelson Herrera, Ing.

Miembro del Comité de Tesis

.....

Santiago Navarro, Ph.D.

Miembro del Comité de Tesis

.....

Omar Aguirre, Ph.D.

Director de Carrera

.....

Ximena Córdova, Ph.D.

Decano de la Escuela de Ingeniería

.....

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, mayo 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Carlos Telmo Andrade Villacís

C. I.: 1721909420

Firma:

Nombre: Mario Paúl Rojas Vélez

C. I.: 1719110213

Fecha: Quito, mayo de 2014

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a las personas que nos apoyaron desde el principio en este proyecto, aunque ha sido un viaje muy largo y difícil, pero nos alegramos de que este trabajo nos ayudara a crecer profesional y personalmente. Dedicamos esta tesis a nuestros padres, profesores, amigos y compañeros que nos brindaron todo su apoyo y ayuda incondicional.

También, se dedica este trabajo a las personas que volvieron realidad a este proyecto, los que brindaron su confianza y recursos necesarios para el desarrollo del prototipo investigado.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad San Francisco de Quito, por la facilitación de sus instalaciones y equipos, los cuales nos ayudaron a cumplir con nuestros objetivos propuestos. También, a nuestro director de tesis, René Játiva, quien nos dio su apoyo desde un principio a esta investigación y su aporte intelectual en la realización de las pruebas realizadas.

Además, se agradece a Nelson Herrera, quien nos ayudó, colaboró y facilitó la realización de las pruebas realizadas; y a todos nuestros compañeros y colegas que nos ayudaron en ciertos momentos. Por último, sin restar importancia, agradecemos a nuestras familias y amigos que nos acompañaron y colaboraron a la realización de nuestra tesis.

Agradecemos a todas las personas mencionadas, ya que ellos nos dieron la fuerza y motivación para superar nuestras metas y alcanzar cada vez más nuestros sueños.

RESUMEN

La tesis aborda el diseño e implementación de un sistema de comunicación para un avión no tripulado. La primera parte cubre el diseño del sistema de comunicación el cual se encuentra dividido en el backbone entre islas y el sistema móvil de estación base hacia avión. En la parte de diseño también cubre el estudio de ingeniería con el cual se obtienen los parámetros para la adquisición de equipos. Mientras que la parte de la implementación cubre el benchmarking de los equipos a utilizar, los cuales deben ser de venta libre y productos listos para su uso. En la parte de implementación también están todas las pruebas realizadas tanto para la parte del backbone y del sistema móvil. Por último se realizó la implementación del backbone a una distancia de 30Km y también el sistema móvil para el avión no tripulado. Los datos a ser transportados a través del sistema de comunicación para el avión no tripulado es llevar video en alta definición en tiempo real y datos del piloto automático tales como los puntos de navegación, información crítica del avión y por también permite obtener datos de puntos geo-referenciados a través de un GPS.

ABSTRACT

The thesis deals with the design and implementation of a communication system for an unmanned aircraft. The first part covers the design of the communication system which is divided into the backbone between islands and the mobile system which includes the base station towards the aircraft. In the design part covers the engineering study with which we obtain the parameters for the acquisition of equipment. While the part of implementation covers the benchmarking of equipment to be used, which must be counter, ready to use products and off the self. In this part are also all tests for both parts of the system which are the backbone and the mobile system. Finally the implementation of the backbone at a distance of 30Km and mobile system for unmanned aircraft was conducted. The data to be transported over the communication system for the unmanned aircraft is to take high-definition video at real-time, data of the autopilot such as the navigation points, critical information of the aircraft and also provides geo-referenced points dare a GPS.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	7
Abstract.....	8
Introducción	18
Antecedentes.....	18
Problemática	20
Hipótesis	21
CAPITULO I.- Fundamentos Teóricos de Sistemas de Comunicación.....	22
Networking	22
WIFI y el estándar IEEE 802.11.....	26
Radiofrecuencia (RF).....	30
CAPITULO II.- Concepción Global del Sistema y Estudio de radio Propagación	
.....	36
Red de celdas sobre las islas Galápagos	39
Cálculo de potencia y ganancia necesaria para irradiar la distancia necesaria	41
Efecto Doppler.....	44
Cálculos de ancho de banda y relación pixel-metro cuadrado.....	45
Regulación y restricciones en el uso del espectro.....	52
Estudio de ingeniería sobre las islas Galápagos	54

CAPITULO III.- Benchmarking y selección de equipos para fases de pruebas....	59
Características mínimas necesarias según estudio de ingeniería	60
Estudio comparativo de equipos disponibles en el mercado	62
Selección de equipos.....	64
Estudio de Ingeniería con equipos seleccionados.....	70
CAPITULO IV.- Configuración de equipos de comunicación	73
Diseño de red	74
Parámetros de configuración	76
Configuración de equipos Mikrotik.....	77
Descripción y configuración de cámara IP	82
Descripción e integración del piloto automático	83
CAPITULO V.- Pruebas y resultados.....	87
Caracterización de los equipos de radio comunicación	87
Caracterización de equipos complementarios.....	104
Caracterización del autopiloto y consumo eléctrico.....	108
Comunicaciones a largas distancias.....	114
Integración y comportamiento del sistema	120
Pruebas de servicio de comunicación en el avión.....	134
Conclusiones	140

Conclusiones.....	140
Recomendaciones	142
Referencias	144
Anexos.....	149
ANEXO A: Atenuación de cables coaxiales cada 100 metros (Radcom, 2013)	149
ANEXO B: Datasheet de RouterBoard 433AH MIKROTIK.....	151
ANEXO C: Datasheet de tarjeta mini-PCI XR9 UBIQUITI.....	152
ANEXO D: Datasheet de cámara IP570 COMPRO	153
ANEXO E: Datasheet de amplificador bidireccional de OFDM para 900 MHz L-COM	154
ANEXO F: Datasheet de antena tipo grilla para 824 a 960 MHz L-COM.....	154
ANEXO G: Datasheet de antena tipo dipolo omnidireccional L-COM	156
ANEXO H: Diagrama de fases de prueba 2 y 3	157
ANEXO I: Glosario de acrónimos.....	158
ANEXO J: Configuración de ancho de banda Mikrotik.....	162

TABLAS

Tabla 2. 1: Valores recomendados de refractividad del suelo (Hufford, Kissick, & Longley, 1982).....	37
Tabla 2. 2: Valores recomendados de conductividad y permitividad del suelo (Hufford, Kissick, & Longley, 1982)	38
Tabla 2. 3: Coordenadas de Estaciones del Parque Nacional Galápagos	39
Tabla 2. 4: Índices de terrenos para el modelo de propagación SUI (Caraguay, 2011)	42
Tabla 2. 5: Capacidades de compresión (Piña, 2010).....	48
Tabla 2. 6: Resultados del estudio de factibilidad	58
Tabla 3. 1: Tabla de requerimientos para los equipos de comunicación	61
Tabla 3. 2: Tabla de requerimientos para la cámara	61
Tabla 3. 3: Tabla de las características básicas de los equipos a comparar	63
Tabla 3. 4: Tabla de las características básicas de las cámaras a comparar	64
Tabla 3. 5: Tabla de requerimientos para los equipos de comunicación	70
Tabla 5. 1: Temperatura vs. Tiempo.....	89
Tabla 5. 2: Prueba de Sensibilidad vs. Velocidad de transmisión	103
Tabla 5. 3: Consumo eléctrico de cada equipo	112

FIGURAS

Figura 1. 1: PDU de las capas OSI (Chou, 2013).....	23
Figura 1. 2: Modelo OSI (Piña, 2010)	25
Figura 1. 3: Análisis espectral de OFD y FDM	29
Figura 1. 4: Zonas de Fresnel.....	32
Figura 2. 1: Diseño del UAV	38
Figura 2. 2: Estructura del Backbone.....	40
Figura 2. 3: Curva de las Pérdidas vs. Distancia para modelo SUI	43
Figura 2. 4: Espectro del Efecto Doppler a 85.96 Hz y Portadora a 928 MHz	45
Figura 2. 5: Cuadros por segundo (Weise & Weyland, 2007).....	46
Figura 2. 6: GoP (IBBP)	47
Figura 2. 7: Ángulo de apertura y radio de aspecto	49
Figura 2. 8: Área de un pixel en un cuadro.....	50
Figura 2. 9: Relación entre el Ancho de banda y la resolución del video	51
Figura 2. 10: Relación entre Angulo de apertura y Área cubierta	52
Figura 2. 11: Parámetros para el modelo de propagación.....	55
Figura 2. 12: Características del sistema de comunicación	56
Figura 2. 13: Enlace de Cerro Wolf a Cerro Azul	56
Figura 2. 14: Enlace de Cerro Wolf a Cerro Croker	57
Figura 2. 15: Enlace de Cerro Croker a Cerro El Junco	57
Figura 2. 16: Enlace de Cerro Croker a Cerro del Agua.....	57

Figura 2. 17: Enlace de Cerro Wolf a isla Wolf	58
Figura 3. 1: Esquema de funcionamiento de la solución	59
Figura 3. 2: RouterBoard 433AH de Mikrotik	65
Figura 3. 3: Tarjeta mini-PCI XR9 de Ubiquiti	66
Figura 3. 4: Cámara Compro IP570.....	67
Figura 3. 5: Cámara AV2116DN de Arecont Vision.....	67
Figura 3. 6: Antena L-Com tipo grilla de 30 dBi.....	68
Figura 3. 7: Antena L-Com tipo dipolo omnidireccional de 5dBi.....	68
Figura 3. 8: Amplificador Bidireccional HA905-DM de HyperLink para 900MHz.....	69
Figura 3. 9: Esquema de solución y conexión	69
Figura 4. 1: Esquema de conexión de los equipos IP	75
Figura 4. 2: Trama de WDS (Gast, 2006).....	76
Figura 4. 3: Winbox	78
Figura 4. 4: Parámetros Generales del radioenlace.....	79
Figura 4. 5: Parámetros del Wireless	80
Figura 4. 6: Lista de Interfaces activas	80
Figura 4. 7: Parámetros de los puertos enlazados	81
Figura 4. 8: Diagrama de los procesos de configuración.....	81
Figura 4. 9: Parámetros de configuración del video para la cámara IP570	82
Figura 4. 10: Parámetros de configuración del RTP multicast.....	83

Figura 4. 11: Administración de la cámara en HTTP	83
Figura 4. 12: Autopiloto Paparazzi modelo Yapa v2.0.....	84
Figura 4. 13: Diagrama del Yapa v2.0 (Paparazzi, 2011).....	85
Figura 4. 14: Diagrama de conexión entre CHIMU y YAPA	86
Figura 5. 1: Esquema de caracterización de temperatura	88
Figura 5. 2: Gráfico de la Temperatura vs. Tiempo.....	90
Figura 5. 3: Esquema para caracterización de la tarjeta moduladora	92
Figura 5. 4: Configuración del tipo de modulación	92
Figura 5. 5: Espectro de OFDM a 20 MHz de ancho de banda	93
Figura 5. 6: Espectro de DSSS a 20 MHz de ancho de banda.....	94
Figura 5. 7: Espectro de 5 MHz.....	95
Figura 5. 8: Espectro de 10 MHz.....	95
Figura 5. 9: Espectro de 20 MHz.....	95
Figura 5. 10: Espectro de 40 MHz.....	96
Figura 5. 11: Esquema de enlace con interferencia	98
Figura 5. 12: Espectro del ruido ambiental.....	99
Figura 5. 13: Espectro de la interferencia del motor más ruido ambiental	99
Figura 5. 14: Espectro de la señal más interferencia y ruido	100
Figura 5. 15: Esquema de enlace	101
Figura 5. 16: Esquema de caracterización del tráfico de la cámara.....	105
Figura 5. 17: Paneles de información para el autopiloto	109

Figura 5. 18: Esquema de conexión de todos los equipos	111
Figura 5. 19: Voltajes nominales según el tipo de batería (CochesRc, 2012)	113
Figura 5. 20: Diagrama de enlace estático a larga distancia	116
Figura 5. 21: Diagrama de enlace USFQ a Ilaló.....	116
Figura 5. 22: Simulación del enlace entre USFQ y Cerro Ilaló	117
Figura 5. 23: Fotografía del ensamble del sistema de comunicación	118
Figura 5. 24: Fotografía del video transportado de la prueba estática	118
Figura 5. 25: Estado de la prueba a larga distancia	119
Figura 5. 26: Esquema de conexión de integración del autopiloto.....	122
Figura 5. 27: Terminal de Wiznet WIZ110SR	123
Figura 5. 28: Comportamiento de red con la integración de equipos	123
Figura 5. 29: Esquema de conexión para la integración de la solución.....	125
Figura 5. 30: Configuración de Potencia en el transmisor para la integración.....	126
Figura 5. 31: Comportamiento de la longitud de paquetes	126
Figura 5. 32: Comportamiento de la red en Paquetes vs. Tiempo	126
Figura 5. 33: Comportamiento de autopiloto.....	127
Figura 5. 34: Comportamiento de la red con el sistema integrado con autopiloto	127
Figura 5. 35: Distribución entre autopiloto y cámara en la red	127
Figura 5. 36: Perfil topográfico y predicción del enlace Cochasquí – Ilaló	129
Figura 5. 37: Enlace de cerro Cochasquí a cerro Ilaló.....	130
Figura 5. 38: Mejoramiento de calidad de imagen por configuración de WDS y MTU	131
.....	
Figura 5. 39: Fotografía del receptor para la prueba a larga distancia a 35Kms	132

Figura 5. 40: Comportamiento de Paquetes vs. Tiempo para la prueba estática a 35 Kms	132
Figura 5. 41: Estadísticas del comportamiento de la prueba estática a 35 Kms	133
Figura 5. 42: Comportamiento de la red para la prueba estática a 35 Kms	133
Figura 5. 43: Esquema de equipos usados para la prueba de movilidad	136
Figura 5. 44: Fotografía del avión para las pruebas de movilidad e integración	137
Figura 5. 45: Fotografía del video transportado de la prueba de movilidad	137
Figura 5. 46: Comportamiento de la red para avión en movimiento	138

INTRODUCCIÓN

La pesca ilegal es un problema mundial, dado que no existe un control adecuado para su erradicación, debido en buena parte a los altos costos de operación e infraestructura que involucra la implementación de una política en este sentido. El desarrollo de un avión no tripulado de bajo costo para el control de la pesca ilegal en Galápagos, es un reto que presenta grandes dificultades. Una de ellas es el desarrollo de un sistema de comunicación adecuado que se integre óptimamente a los sistemas de navegación y control de la aeronave, así como a los dispositivos de vigilancia para cubrir los objetivos propuestos. Es pertinente realizar una investigación y análisis sobre los equipos de comunicación y control necesarios para su operación, que no descuide la visión de conjunto.

Antecedentes

Es innegable la importancia creciente de las comunicaciones móviles en el desarrollo tecnológico, refrendado en la existencia de nuevas tecnologías y soluciones a problemas hasta hace poco inimaginables. La comunicación por ondas electromagnéticas a altas frecuencias (Radio Frecuencia), nos ha llevado a trabajar a escalas cada vez más reducidas. La solución del problema de comunicación en aviones no tripulados, es un reto para académicos e investigadores, donde se debe tomar en cuenta que el diseño está restringido también por consideraciones apegadas a la aerodinámica, peso y capacidad de carga. La mayor parte de investigación respecto de este tema, se ha realizado en el ámbito militar, inclusive en nuestro país.

Otros académicos ya se han postulado el problema de diseñar un avión no tripulado, al tratar de automatizar procesos de vigilancia, obtención de perfiles topográficos (PUCP, 2013), medición de radiación (EFE, 2014), etc.; por lo que existen soluciones y diseños ya probados con satisfacción. No obstante, el alto costo de implementación y de infraestructura hace que este tipo de solución, no sea rentable y muy difícil de tener acceso, como plantea el Centro superior de estudios de la defensa nacional de España la cual plantea los siguientes inconvenientes “Problemas técnicos como el espectro electromagnético de radio frecuencias, que se encuentra totalmente sobresaturado (existe al respecto una iniciativa por parte de la Agencia Europea de Defensa para asignar frecuencias para aviones no tripulados dentro de Europa). También la falta de disponibilidad de frecuencias seguras para mando y control de la plataforma y ancho de banda para datalinks de los sensores” lo cual hace que implementar esta tecnología se vuelve costosa con una infraestructura muy compleja y la vuelve solo reservada para el uso militar (Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional, 2012). Además, todos estos diseños tienen varias limitaciones, como es el peso de los equipos integrados y la energización de dichos. Sin embargo, es importante considerar que existen equipos para aviones a control remoto a escala, los cuales son usados para controlar dichos aviones y a su vez sirven para enviar telemetría del aeromodelo, por lo que, se puede hacer uso de dichos equipos para el control y comunicación, para plantear una solución de bajo costo y probada.

La existencia de empresas que desarrollan aviones no tripulados para aplicaciones de vigilancia, obtención de perfiles topográficos o para fumigación, permite tener una clara idea de las limitaciones y las consideraciones de diseño que dichas aeronaves tienen.

Problemática

Debido a la problemática de la pesca ilegal en las Islas Galápagos, se decidió buscar una solución de bajo costo que automatice la vigilancia en zonas protegidas por Parque Nacional Galápagos. Se refiere a bajos costos, tanto en término de implementación como de operación. Es por estos motivos que se pensó en la implementación de un avión no tripulado, el cual realizaría un patrullaje sobre el archipiélago perteneciente a la zona protegida del Parque, y transmitiría imágenes en tiempo real y de alta resolución para la identificación de barcos pesqueros no autorizados.

Después de identificar problemas regulatorios y costes de implementación e infraestructura, se planteó como objetivo, que los diseños se basaran en equipos no licenciados y Software libre, los cuales no se encuentren restringidos de su uso público y además presentan la ventaja de su bajo costo.

Partiendo desde un punto de vista sistémico, se decidió realizar el diseño de un sistema de comunicaciones para el avión no tripulado hacia una red de celdas con cobertura en diferentes islas del archipiélago. Además, se planteó la integración del sistema de control con el sistema de comunicaciones y el sistema de monitoreo y grabación del video. Finalmente, y a efectos de los trabajos asociados al desarrollo del proyecto de grado documentado en esta tesis se estableció como objetivo, la implementación de un enlace de comunicaciones aeronave-tierra, con capacidad de trasportar video y señales de control a una distancia de alrededor de 10 Kms.

Hipótesis

Este estudio se inserta en el diseño e implementación de un sistema integral de telecomunicación que soporte señales de video y control desde y hacia un avión no tripulado (UAV). Para ello, se realiza un estudio referente a los requerimientos del sistema, una comparación de equipos disponibles en el mercado; así como su adecuada configuración de forma de posibilitar la integración de los sistemas de control, comunicaciones y grabación de video. Conforma también parte de este estudio todas las pruebas realizadas tendientes a caracterizar los equipos partes de la solución propuesta, así como las pruebas de sistemas que tienen por objeto evaluar su debida integración y funcionamiento. Estas pruebas tienen también por objetivo el determinar falencias de diseño e identificar nuevos problemas no cubiertos en el diseño inicial, de forma de proponer modificaciones, y derroteros para su eliminación en una etapa posterior, tomando en cuenta las limitaciones regulatorias, aerodinámicas y de costo/beneficio características de este proyecto.

CAPITULO I.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Las telecomunicaciones se encuentran en un cambio permanente, gracias a la innovación y desarrollo continuo de la tecnología, y esto a su vez, involucra de nuevos protocolos o estándares que ayudan a mejorar la velocidad de transmisión de datos, eliminación de interferencias, etc. El conocimiento de los protocolos y estándares de transmisión, es de gran ayuda en el momento de realizar un diseño para una aplicación en específico, ya que permite establecer las limitaciones que pueden llegarse a tener en el momento que se los aplica. Con el objeto de obtener un buen diseño en la solución de telecomunicaciones, se repasan a continuación los protocolos y estándares más usados en el mercado.

Networking

Networking es un término técnico en el idioma inglés, que se refiere a una infraestructura de red, que permite la interconexión entre dos o más usuarios finales, con el fin del intercambio de paquetes de información. Existen varios tipos de red, la WAN (Wide Area Network), LAN (Local Area Network), MAN (Metropolitan Area Network); no obstante, en redes solo se hace uso de las redes LAN y WAN, donde la red LAN es la red interna y la WAN es la red externa (la mayoría de veces el internet). Los paquetes de información denominados PDU (Protocol Data Unit), se conforman por diferentes segmentos de información, provenientes de cada capa del modelo OSI (Open Systems Interconnection). La infraestructura de red puede llegar a tener ciertos equipos en el medio de la comunicación, estos equipos pueden ser routers, switches o hubs. Los routers son equipos que permiten separar dos redes, para que el tráfico de una no

afecte a la otra, también permite el manejo de la tercera capa del modelo OSI, en cambio, los switches son puntos o nodos en las que permite entrelazar varios usuarios finales o redes y conmutar los paquetes a los usuarios correspondientes, además este equipo es un punto de colisión de todos los dominios y equipos dentro de la red; y por último el hub es un equipo que solo repite las señales, sin realizar ningún procesamiento.

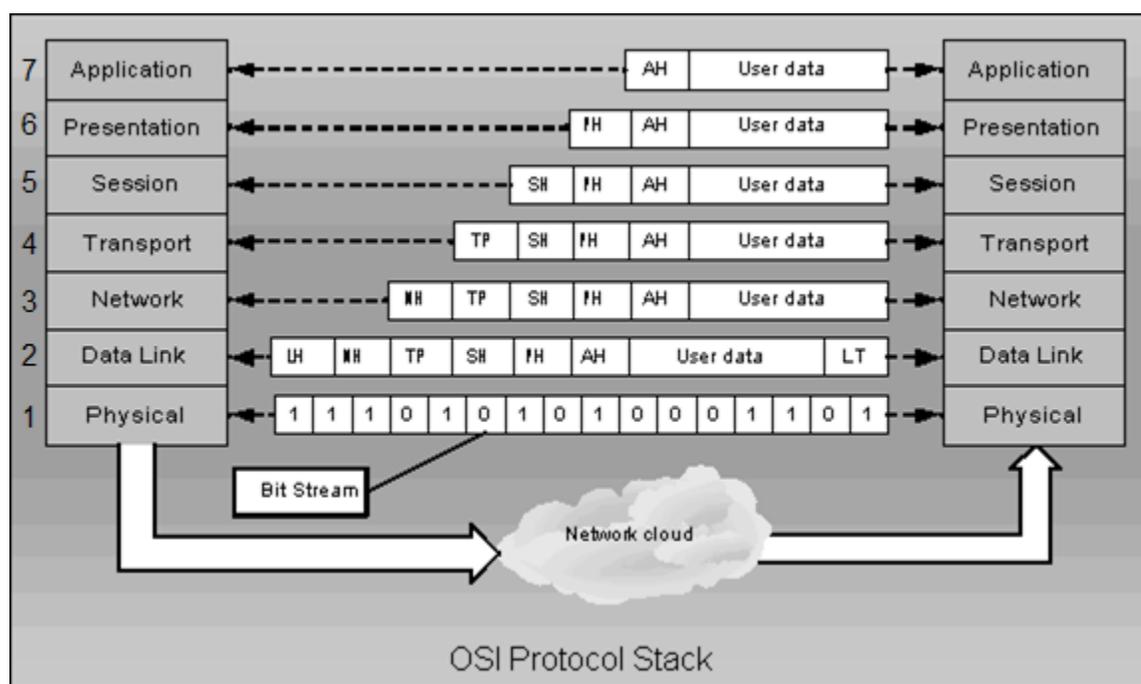


Figura 1. 1: PDU de las capas OSI (Chou, 2013)

Modelo OSI.

El modelo OSI, es un modelo conceptual para estandarizar la comunicación entre equipos. Este modelo se encuentra conformado por 7 capas, donde la primera capa es la capa física, la que tiene que ver con el medio, lo que define el canal de propagación de la señal (aire o cobre, código binario, voltajes, etc.); la segunda capa es la capa de enlace de datos, encargada de corregir errores de transmisión y establecer el enlace de conexión entre dispositivos que se

encuentren en un mismo segmento de red (ARP, PPP, MAC, etc.); la tercera capa es la capa de red, la cual es la encargada de entregar la información del destino de los paquetes (IP, ICMP, etc.); la cuarta capa es la capa de transporte, es la que propone cómo los paquetes deben ser enviados (TCP, UDP, etc.); la quinta capa es la capa de sesión que permite controlar los diálogos entre equipos; la sexta capa es la capa de presentación, establece las diferencias entre sintaxis y semántica en el lenguaje de alta programación; y por último la capa de aplicación, es la que se encarga de manejar todas las aplicaciones (HTTP, FTP, SMTP, RTP, RTCP etc.). Vale la pena mencionar que se llaman segmentos a los PDU generados por la cuarta capa, así también como los paquetes a los PDU de la tercera capa y por último, tramas a los PDU. No obstante, cada capa tiene varios tipos de protocolos, los cuales ayudan a mejorar el rendimiento de la red según la aplicación deseada.

Los protocolos más usados en el mercado, se estandarizan de mejor manera a partir de la tercera capa, donde se encuentran los protocolos IP (Internet Protocol) e ICMP (Internet Control Message Protocol). En cambio, en la cuarta capa se encuentran los protocolos TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol), RTP (Real Time Protocol) y RTCP (Real Time Control Protocol).



Figura 1. 2: Modelo OSI (Piña, 2010)

Direccionamiento MAC.

La dirección MAC (Media Access Control Address) es un identificador único por cada equipo, que permite identificarlo entre los demás. Esta identificación de 48 bits no es la única manera de identificar a un equipo dentro de una red. La dirección IP es un identificador de red de 32 bits, que puede ser modificado para una mejor administración a diferencia de la dirección MAC. La dirección MAC, se encuentra conformada por 6 octetos, descritos en hexadecimal, separados por dos puntos o guiones. Los tres primeros octetos, son identificadores únicos del fabricante de la tarjeta de red, y los tres últimos son del NIC (Network Interface Controller).

Direccionamiento IP.

La dirección IP tiene dos versiones. La más usada es la versión 4 que contiene 32 bits, mientras que la versión 6 permite tener 128 bits (Cisco System, 2006). Por lo tanto, se referirá a esta versión como IPv4 en el resto del documento. La IP se encuentra compuesta por 4 octetos, donde la máscara de subred dirá hasta cuántos bits se refieren a la identificación de la red y cuántos bits pueden ser para asignación de identificación de cada equipo dentro de la red.

TCP y UDP.

Existen varios tipos de protocolos de transporte, donde existen de dos clases, unos orientados a conexión y otros no orientados a la conexión. El protocolo TCP, es un protocolo orientado a conexión. Usa ACK's (Acknowledgment) como control de respuesta para indicar que ha llegado el mensaje correctamente. Este protocolo procura que el mensaje llegue completo y sin errores. El TCP hace uso de detectores de error como el CRC (Cyclic Redundancy Check) que es un chequeo de suma, control de flujo y control de tráfico.

El protocolo de transporte UDP, es un protocolo no orientado a la conexión, es decir, no se preocupa si el paquete ha llegado con errores o sin ellos y ni siquiera se preocupa si este llegó o no llegó. Es un protocolo de baja latencia y es usado para aplicaciones de tiempo real. No obstante, la falta de control provoca el desorden en la secuencia de llegada de los paquetes, por lo que no se necesita un buffer muy grande.

WIFI y el estándar IEEE 802.11

La tecnología WIFI (Wireless Fidelity) es un método de conexión LAN que hace uso del aire como medio de transmisión. Se pueden tener diferentes tipos de conexión inalámbrica,

como access-point o como router, donde el access-point es un método de acceso hacia la red LAN a la que se encuentra conectado nuestro equipo, en cambio, router separa a los usuarios de conexión inalámbrica (LAN) con la red a la que se conecta el equipo (WAN).

WIFI se basa en la norma IEEE 802.11, la cual tiene diferentes tipos de normas como el a, b, g o n, donde la norma IEEE 802.11a es conocido como WIFI5 que opera en la bandas de 5.2 GHz a 5.8 GHz, en cambio, las normas IEEE 802.11b, 802.11g y 802.11n, operan en la banda de 2.4 GHz, pero cada uno permite una velocidad de transmisión de 11Mbps, 54 Mbps y 300 Mbps, respectivamente (Clanar, I., 2007). Además, la norma tiene una protección de acceso, que se encuentra encriptado en WPA (WiFi Protected Access), WPA2 o WEP (Wired Equivalent Privacy).

Además, el estándar inalámbrico IEEE802.11 hace el manejo de varios tipos de tramas (Krishnamurthy, 2002):

- Autenticación de acceso a la red, donde se envían las credenciales para autenticación de acceso encriptado en WPA, WPA2 o WEP.
- Requerimiento de Asociación, donde se envía una trama pidiendo recursos y sincronismo entre el equipo y el usuario.
- Respuesta de Asociación, donde se envía la respuesta al requerimiento de asociación y el ID de asociación con las velocidades de transmisión soportadas.
- Trama Beacon, donde se transmite periódicamente el SSID (Service Set Identificación) para dar presencia de la red.
- Trama de Desaumentación, la cual es enviado para dar por terminado la conexión.

- Trama de Disociación: Envía el requerimiento de disasociación a la red.
- Requerimiento de Probe: Enviado para obtener información de otra estación.
- Respuesta de Probe: Envía información con las velocidades de transmisión soportadas, capacidad de recursos, etc.
- Tramas de Re-asociación: Enviado para obtener un nuevo ID de asociación.

Tipos de Modulaciones.

El WIFI hace uso de dos tipos de modulación digital que son muy robustas contra la interferencia, dado que las frecuencias utilizadas son muy populares y libres, por lo cual se convierte en un gran problema al momento de la conexión. La modulación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) es una modulación que dispersa la información a lo largo del ancho de banda, esto se hace posible dado que la información que se transmite, es multiplicada por una secuencia pseudo-aleatoria que comprende valores de +1 o -1. Además, la modulación DSSS utiliza como máximo 22 MHz de ancho de banda y 5 MHz de separación entre canales.

Por otra parte, la segunda tipo de modulación utilizada por el WIFI, es la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), donde se hace uso de la multiplexación por división de frecuencia, es decir, que varias señales de entrada en banda base son multiplexadas y cada señal es montada sobre una frecuencia o denominada portadora, donde cada portadora es ortogonal respecto a la otra, así logrando ahorrar ancho de banda a diferencia de la modulación TDM tradicional (no sobrepone portadoras) como lo muestra la Figura 1.3. Este tipo de modulación permite un ancho de banda de 20 MHz y una separación entre canal de 5 MHz (IEEE802.11g/n), no obstante, la norma IEEE802.11n, permite hasta 40MHz de ancho de banda por cada canal.

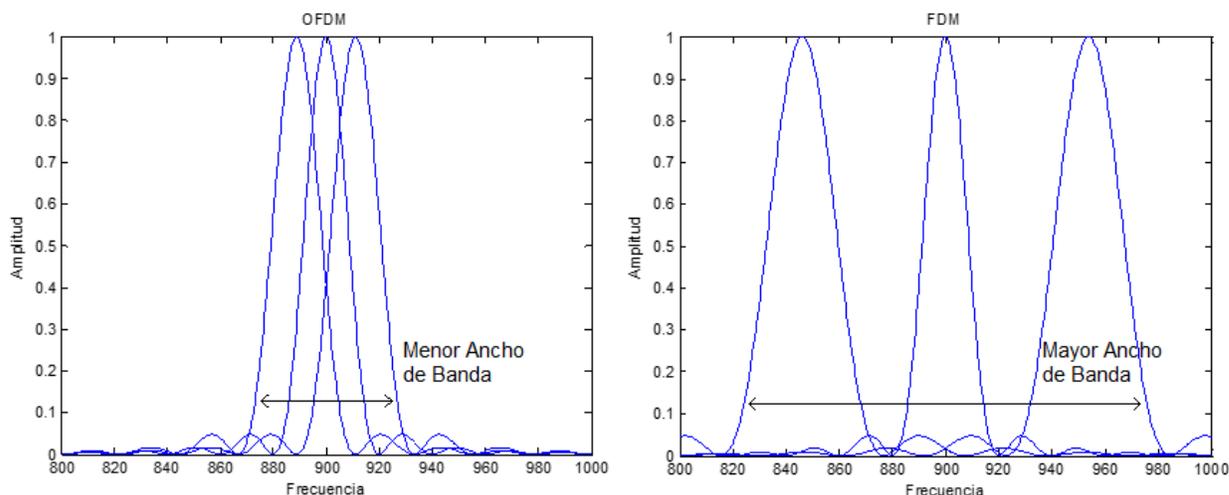


Figura 1. 3: Análisis espectral de OFD y FDM

Estándar IEEE802.11n.

El estándar IEEE802.11n permite una velocidad de transmisión desde 54 Mbps hasta 600 Mbps (Gast, 2006), lo que lo hace el estándar con mayor velocidad de transmisión WIFI, este protocolo incrementa su velocidad de transmisión gracias a la funcionalidad MIMO (Multiple Input Multiple Output), la cual permite recibir el multipath de la señal emitida por el transmisor con varias antenas y un procesamiento interno, así logrando mayor velocidad de transmisión y mayor rango de distancia, ya que mitiga el desvanecimiento de señal; y todo esto usando el mismo ancho de banda y potencia de transmisión. Además, el estándar tiene un tiempo de guarda de 400ns u 800ns, es decir, que el equipo tiene que esperar un cierto intervalo de tiempo, denominado tiempo de guarda, para enviar la siguiente trama de información. Además, se debe tomar en cuenta que para obtener los 600 Mbps de velocidad de transmisión, se debe codificarse a 64-QAM, con un ancho de banda de 40 MHz y con un tiempo de guarda de 400ns.

La velocidad de transmisión puede optimizarse mediante la agregación de trama, que es la inclusión de MPDU's (MAC Protocol Data Units) a la trama para así reducir la saturación en el canal, ya que esto permite que no se envíen ACK's y que sea validado cada frame mediante el MPDU, logrando así disminuir la cantidad de información que se envía.

El estándar IEEE802.11n al transmitir a 20 MHz, divide la señal en 64 sub-portadoras, 4 señales piloto insertadas en las sub-portadoras -21, -7, 7 y 21. En cambio en 40 MHz, se usa dos canales adyacentes de 20 MHz, logrando así dividir en 128 sub-portadoras y usando 6 señales piloto en las sub-portadoras -53, -25, -11, 11, 25, 53. Por otra parte, se hace uso de MIMO con una diversidad espacial de 4 x 4 (4 antenas de transmisión y 4 de recepción), 4 x 3, 2 x 2, 3 x 2, 2 x 3, etc. (Poole, s.f.).

Radiofrecuencia (RF)

La radiofrecuencia es un segmento dentro del espectro electromagnético, es por este medio donde se encuentran estaciones de radio, televisión, telefonía celular, WIFI, etc. Todas estas señales son transmitidas por el aire como medio de propagación, hay que tomar en cuenta que al usar frecuencias altas o radiofrecuencia, los criterios de diseño cambian. Además, en la radio frecuencia se debe considerar la radio propagación y los sistemas de radiofrecuencia.

Radio Propagación.

Comprende el estudio de la propagación y del comportamiento de las ondas electromagnéticas, las cuales pueden llevar información y son completamente de carácter analógico. El uso de radiofrecuencia origina el apareamiento de efectos parásitos que cambian

el normal funcionamiento de los componentes electrónicos, por lo que es muy importante tener en cuenta todos estos factores en el momento que se está realizando un diseño. El uso de altas frecuencias hace evidente la existencia de capacitancias e inductancias parásitas, por lo que al trabajar en estas frecuencias, todos los componentes se vuelven filtros pasa-bajos, basa-altos o bien pasa-banda. Estos efectos no son perceptibles en bajas frecuencias, por lo tanto son ignorados.

Modelo de Propagación.

Las ondas al propagarse pueden sufrir tres tipos característicos de propagación: reflexión, refracción y difracción. La reflexión se origina cuando una onda EM (Electromagnética) golpea contra una superficie y es reflejada. Por otra parte, la refracción se refiere cuando una onda EM atraviesa objetos o superficies, en vez de reflejarse cambia su trayectoria. Por último, la difracción se genera cuando una onda EM golpea en alguna superficie puntiaguda, plantas o superficies muy rugosas y la onda se difracta en varias ondas de menor potencia.

Al momento de realizar un cálculo de propagación, lo más importante es el cálculo de la potencia de recepción, ya que dependiendo de este, el dispositivo final podrá decodificar o demodular el mensaje. Es por eso que se hace uso de la ecuación 1 de una señal en espacio libre, donde P es la potencia en decibeles [dB], G la ganancia de las antenas en decibeles isotrópicos [dBi], $L_{sistema}$ la constante de pérdidas del sistema en dB, L la pérdida por desvanecimiento de la señal (ecuación 2), λ la longitud de onda y d la distancia entre el receptor y transmisor.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{sistema} + L \quad (1)$$

$$L = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (2)$$

La constante de pérdidas por el desvanecimiento de señal, puede ser calculada según el modelo de propagación. Existen diferentes modelos de propagación, los tres más importantes son el modelo de Espacio Libre (expresado anteriormente), Okumura-Hata (150 MHz hasta 3 GHz) y el modelo Longley-Rice (40 MHz hasta 100 GHz). Cuando se realizan análisis de propagación para enlaces de largas distancias, se debe considerar la curvatura de la tierra, la cual para motivos de análisis se toma como $K=4/3$. No obstante, se debe recordar que al realizar un enlace de radio, siempre se debe tener en cuenta que no exista obstrucción alguna, al menos dentro de la primera zona de Fresnel. La zona de Fresnel es el espacio de forma elíptica que comprende entre el transmisor y el receptor (Figura 1.4), donde la primera zona de Fresnel corresponde hasta un desfase de 180° y la segunda zona de Fresnel corresponde hasta un desfase de 360° .

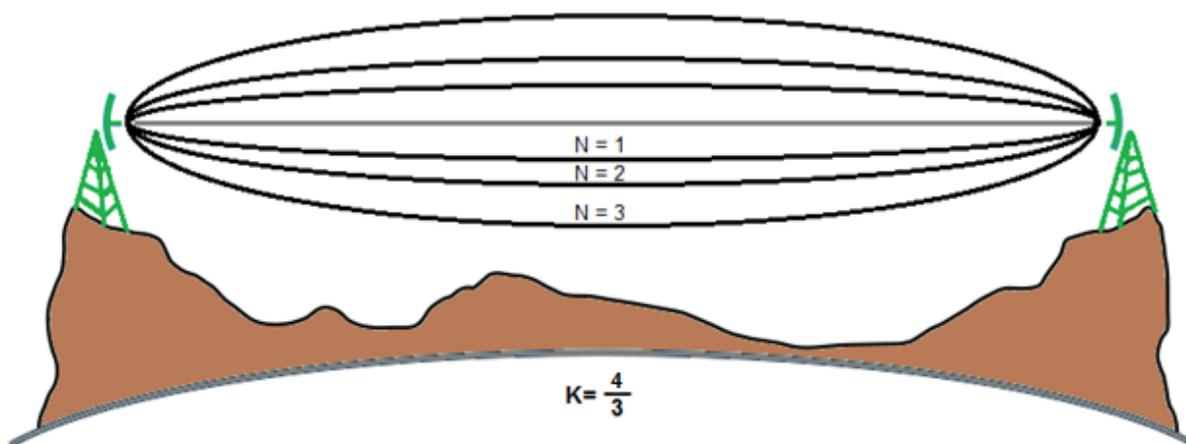


Figura 1. 4: Zonas de Fresnel

Este se lo puede calcular mediante la ecuación 3, donde r es el radio del elipsoide a una distancia d_1 desde el transmisor o d_2 desde el receptor, n es el número de la zona de Fresnel a la que se está calculando y λ es la longitud de onda (Freeman, R. L., 2007).

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (3)$$

Para deducir factibilidad de enlace, se necesita usar las ecuaciones 1, 2 y 3; y proyectarlas sobre el perfil del terreno, para cuantificar los grados de reflexión, obstrucción, etc., que pueden llegar a afectar al enlace. No obstante, éstas no son las únicas pérdidas que existen, también puede encontrarse pérdidas por la guía de onda o línea de transmisión, condiciones climáticas, dispersión, etc. Las pérdidas más significantes y que se pueden corregir o atenuar en el momento de realizar un enlace de radio, son las correspondientes a las de la línea de transmisión, al acople de impedancias y originadas por defectuosas instalaciones. En las líneas de transmisión, cada cable tiene una atenuación por unidad de longitud, donde este valor depende de la frecuencia que se está utilizando; también estos cables tienen su impedancia, por lo que es importante hacer el acoplamiento de impedancia correspondiente para que exista un máxima transferencia de potencia, y se debe recordar que la longitud del cable tiene que ser múltiplo de 0.5λ , para que la impedancia de entrada sea igual a la de salida (según la carta de Smith).

Radiofrecuencia.

El manejo de la potencia reflejada es uno de los mayores problemas al diseñar e implementar un sistema de radiofrecuencia. Esta potencia es una porción de la potencia de

transmisión (ecuación 4), y que se devuelve hacia el transmisor, debido a un mal acoplamiento de impedancias, cambios geométricos en la línea de transmisión o una mala instalación.

$$P_{TX} = P_{antena} + P_{reflejada} \quad (4)$$

Esta potencia reflejada, debe ser menor al 10% del valor pico de sincronismo (para transmisores analógicos) o rms (transmisores digitales).

En radiofrecuencia se necesitan planos de tierra bastantes grandes, para que el sistema pueda ser más estable. Normalmente, los planos de tierra tienen que tener un radio de dos longitudes de onda. Estos planos de tierra para las antenas, pueden generar una mejor ganancia, ya que este plano de tierra funciona como espejo, irradiando energía que de otra forma se perdería. Se debe tomar en cuenta que al juntar varias antenas, la ganancia, directividad y patrón de radiación del arreglo puede cambiar; todo esto dependiendo de la posición, polaridad y distancia de separación entre sus elementos. Las antenas tienen la capacidad de compensar las pérdidas que se tienen al momento de la propagación de las ondas.

Mediciones de RF.

El funcionamiento o la optimización de un sistema de transmisión, se la puede cuantificar mediante ciertos parámetros, de los cuales los más importantes son el PER (Potencia Efectiva Radiada), BER (Bit Error Rate), SNR (Signal Noise Relation) y Sensibilidad de Recepción. El PER es una manera de cuantificar cuánta potencia está siendo irradiada (parámetro usado por los organismos de control), este se lo puede calcular con la ecuación 5, donde P_{TX} es la potencia de transmisión en dB, L es pérdida por la línea de transmisión en dB y G es la ganancia de la antena en dBi (MURS Users Group, 2002):

$$PER = P_{TX} - L_{perdida} + G_{antena} \quad (5)$$

Por otra parte, la BER es un parámetro que nos indica la propagación de errores de bits en los paquetes que se están recibiendo, y esto se debe a interferencias en el canal o que el nivel del piso de ruido es igual o mayor que el mensaje en el receptor. Además, el piso de ruido afecta y algunas veces modifica el mensaje emitido, es por eso que se hace uso del CRC para determinar si el mensaje llegó correctamente o no. El ruido por motivos de simulación y diseño, se considera como espectralmente blanco y además gaussiano. La BER puede calcularse con la ecuación 6 y 7.

$$BER = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{b}} \right) \operatorname{ferc} \left(\sqrt{\frac{3E_{simbolo}}{2(b-1)N_o}} \right) \quad (6)$$

$$N_o = k T_e \quad (7)$$

Donde E es la energía de cada bit, b es el número de bits usados, N_o es la densidad espectral del ruido blanco gaussiano, k es la constante de Boltzmann, T_e es la temperatura equivalente del receptor (Haykin, S., 2001).

CAPITULO II.- CONCEPCIÓN GLOBAL DEL SISTEMA Y ESTUDIO DE RADIO PROPAGACIÓN

Las bandas de frecuencias no licenciadas (Banda ICM), son clasificadas en tres diferentes bandas, las cuales son: 900 MHz, 2.4 GHz and 5.8 GHz. El uso de frecuencias no licenciadas permite abaratar costos, tanto en equipos como el costo por el uso espectral, todo esto regulado por la Superintendencia de Telecomunicaciones (Supertel). Los rangos de frecuencias de la banda ICM son las siguientes:

- 902-928 MHz
- 2.4-2.5 GHz
- 5.25-5.875 GHz

Estas frecuencias fueron usadas en la simulación de radio enlaces, con el fin de realizar el diseño de la red. Para la simulación se hizo uso del freeware llamado Radio Mobile, el cual es un programa de Roger Coudé que permite realizar simulaciones de radio enlaces para los estudios de propagación. Radio Mobile es dedicada al uso amateur y humanitario, además de que su uso comercial se encuentra prohibido. El programa puede simular entre un rango de frecuencia de 20 MHz a 20 GHz, basándose en un modelo de propagación de ITM (Irregular Terrain Model); donde se puede calcular y medir toda la información necesaria para establecer un radio enlace satisfactorio. Además, este programa hace uso de mapas satelitales basados en SRTM (Space Shuttle Radar Terrain Mapping Mission), lo que da una mejor confianza acerca de la información de la topografía y a su vez de la simulación. Este programa hace uso del modelo computacional de Longley-Rice para en enlaces sin línea de vista y el modelo Two Ray para enlaces con línea de vista (Henderson, 2013). Es importante mencionar que Radio Mobile

es un software diseñado para enlaces analógicos punto a punto, donde no se toma en cuenta los esquemas de modulación y el ancho de banda, por lo que puede generar diferencias para un enlace digital con receptor móvil.

Para calcular la conectividad de los enlaces con el software de propagación, se necesita de algunos parámetros en relación al tipo de enlace a ser simulado. Estos parámetros se los puede encontrar en la Tabla 2. 1 y Tabla 2. 2. La refractividad, la conductividad y la permitividad relativa del suelo, son parámetros importantes para obtener una simulación mucho más apegada a la realidad; y sus valores recomendados dependen del tipo de suelo. Se debe tomar en cuenta que al propagar sobre agua de mar, el terreno es dinámico debido al movimiento de las olas y también se debe agregar un 20% de pérdidas por árboles y vegetación alrededor de la isla.

Tabla 2. 1: Valores recomendados de refractividad del suelo (Hufford, Kissick, & Longley, 1982)

Clima	Refractividad
Ecuatorial	360
Continente Subtropical	320
Marítimo Subtropical	370
Desierto	280
Continental temperado	301
Marítimo Temperado sobre tierra	320
Marítimo Temperado sobre mar	350

Tabla 2. 2: Valores recomendados de conductividad y permitividad del suelo (Hufford, Kissick, & Longley, 1982)

Tipo de Suelo	Permitividad relativa	Conductividad
Tierra Promedio	15	0,005
Tierra Pobre	4	0,001
Tierra Buena	25	0,02
Agua Dulce	81	0,01
Agua Salada	81	5

El diseño de la solución para un avión no tripulado, se divide en tres, uno de ellos es la solución de la comunicación entre el avión y la estación base, la segunda es la solución del problema de energización de los equipos abordo y la tercera es la integración de estos. No obstante, se debe tomar en cuenta las limitaciones que se puede llegar a tener, al momento de realizar un diseño, como por ejemplo, la limitación de peso, espacio y energía. Todos estos parámetros se encuentran dados en el diseño aeroespacial del avión, es por eso que se debe tomar en cuenta las características que el avión puede otorgar y en base a esa información, llegar a un diseño final y optimizarlo.

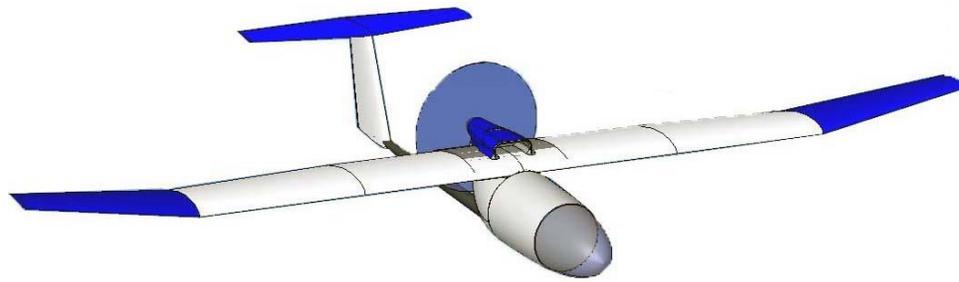


Figura 2. 1: Diseño del UAV

Red de celdas sobre las islas Galápagos

El Parque Nacional de Galápagos proveyó de las coordenadas de los puntos de estaciones de repetición, donde se realizaría la instalación de los equipos, todo esto se encuentra en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3: Coordenadas de Estaciones del Parque Nacional Galápagos

Nombre	Altura (m)	Latitud (N)	Longitud (W)	Ubicación
Cerro Wolf	1707	0,0262946	-91,3341811	Norte de Isabela
Cerro Azul	1000	-0,9197958	-91,3995986	Sur de Isabela
Cerro Croker	800	-0,6452872	-90,3313575	Santa Cruz
Isla Wolf	50	1,3804884	-91,8165700	Wolf
Cerro del Agua	400	-1,2976101	-90,4409398	Floriana
El Junco	600	-0,8965789	-89,4827773	San Cristóbal

Las ubicaciones de las estaciones provistas por el Parque Nacional Galápagos, se encuentran en la Figura 2. 2, con la distancia más cercana entre estaciones, donde se diseñarán los enlaces (backbone). Dado que la banda de 2.4 GHz es la más usada y la más vulnerable a ataques, dentro de la banda de frecuencia ICM quedan dos opciones, donde la banda de frecuencia libre a 5.8 GHz es muy alta para tener una buena propagación para enlaces a largas distancias, pero esta frecuencia reduce el tamaño significativamente de las antenas a bordo del avión; no obstante, la banda de frecuencia de 900 MHz se propaga de mejor manera, pero las antenas son más grandes. Dado que la distancia de cobertura es lo más importante, se ha decidido utilizar la frecuencia de 900 MHz para el diseño, además de que las distancias entre islas son bastantes grandes, por lo que es mejor tratar de manejar frecuencias mucho más bajas.

Para el diseño de la red de celdas que se muestra en la Figura 2. 2, se ha tomado en cuenta que la estación base se encontrará en el cerro Wolf en la isla Isabela. Dado que las distancias entre cerros son bastantes grandes, no se puede realizar una topología anillo para así tener redundancia, sino una red de topología estrella, pero en caso de requerir redundancia en el enlace, se puede utilizar otro enlace a la misma dirección pero con otra frecuencia.



Figura 2. 2: Estructura del Backbone

La Figura 2. 2 muestra un diseño de topología tipo estrella, permitiendo así una estructura Master-Slave para el sistema de comunicación. En dicho gráfico se puede observar que las distancias entre islas y cerros, son bastantes lejanas, por lo tanto, indica que se requiere de bastante potencia y/o de antenas directivas con bastante ganancia.

Cálculo de potencia y ganancia necesaria para irradiar la distancia necesaria

Para hacer los cálculos correspondientes, se debe saber que la distancia requerida para el proyecto es de 10 Kms en primera instancia. Se hace uso de la ecuación del cálculo de propagación en el espacio libre, pero tomando en cuenta que las pérdidas sobre agua de mar crecen con la distancia a la cuarta (no al cuadrado) (Albentia Systems, 2008), y las Ganancias de las antenas de recepción y transmisión son las mismas, y la potencia de recepción va a ser un valor promedio de la sensibilidad de los equipos que se pueden encontrar en el mercado (-86 dB).

Existen dos modelos de propagación para exteriores, Longley-Rice (propio del estándar para ITM) y SUI (Standford University Interim). Se ha utilizado el modelo de SUI para terrenos irregulares y para frecuencias hasta de 1.9 GHz. Para frecuencias mayores, el modelo añade un factor de corrección $X_f(dB)$, y trabaja con tres tipos de terrenos, como se ve en la Tabla 2. 4. Se denomina al terreno A como terrenos montañosos con alta densidad de árboles; al terreno B como terrenos montañosos con poca densidad de árboles o un terreno llano con alta densidad de árboles; y al terreno C como terrenos llanos con poca densidad de árboles. Las pérdidas de propagación, L , se calculan mediante ajustes y factores especiales para el tipo de terreno a propagar (ecuación 13). Donde A es un factor de pérdidas por espacio libre (ecuación 8), λ es la longitud de onda de la portadora en metros, γ es el factor de pérdidas del trayecto (ecuación 9), d la distancia entre el transmisor y el receptor en metros, d_0 es la distancia de referencia (entre 100 m y 1000 m), X_f es el factor de corrección para frecuencias mayores a 1.9 GHz en MHz (ecuación 10), X_h es el factor de corrección de la altura de la antena del receptor en metros

(ecuación 11), h_b es la altura de la estación base en metros y S es el factor de corrección por apantallamiento (ecuación 12) en dB. (Caraguay, 2011)

$$A = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad (8)$$

$$\gamma = a - bh_b + \left(\frac{c}{h_b} \right) \quad (9)$$

$$X_f = 6 \log \frac{f}{2000} \quad (10)$$

$$X_h = \begin{cases} \text{para A y B: } -10.8 \log \frac{h_r}{2000} \\ \text{para C: } -20 \log \frac{h_r}{2000} \end{cases} \quad (11)$$

$$S = \begin{cases} \text{para terreno A: } 10.6 \text{ dB} \\ \text{para terreno B: } 9.6 \text{ dB} \\ \text{para terreno C: } 8.2 \text{ dB} \end{cases} \quad (12)$$

$$L = A + 10\gamma \log \frac{d}{d_0} + X_f + X_h + S \quad (13)$$

Tabla 2. 4: Índices de terrenos para el modelo de propagación SUI (Caraguay, 2011)

	Terreno A	Terreno B	Terreno C
A	4,6	4,0	3,6
b (m^{-1})	0,0075	0,0065	0,005
c (m)	12,6	17,1	20

$$A = 20 \log \left(\frac{4 \pi 1000}{0.3333} \right) = 91.53 \text{ dB}$$

$$\gamma = 3.6 - (0.005)(200) + \left(\frac{20}{200} \right) = 2.7$$

$$X_f = 6 \log \frac{900}{2000} = -2.08 \text{ dB}$$

$$X_h = -20 \log \frac{200}{2000} = 20 \text{ dB}$$

$$L = 91.53 + 10(2.7) \log \frac{10000}{1000} - 2.08 + 20 + 8.2 = 144.65 \text{ dB}$$

La pérdida que se tiene a 10 Kms es de 144.65 dB, dentro de un área de terreno llano con poca densidad de árboles (terreno C). Por lo tanto, se utiliza la ecuación 4 para calcular la potencia necesaria para irradiar a 10 Kms.

$$P_{TX} = P_{RX} - G_{TX} - G_{RX} + L$$

$$P_{TX} = -86 \text{ dBm} - 15 \text{ dBi} - 15 \text{ dBi} + 144.65 \text{ dB} = 28.65 \text{ dBm} = 732.82 \text{ mW}$$

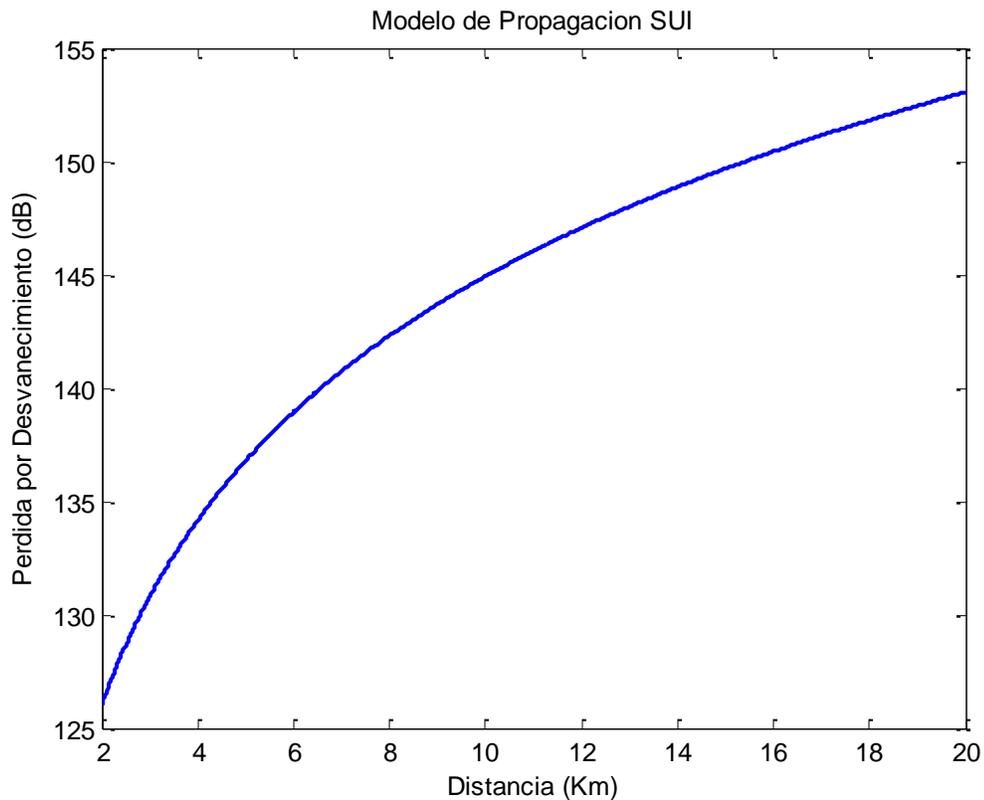


Figura 2. 3: Curva de las Pérdidas vs. Distancia para modelo SUI

Efecto Doppler

El efecto doppler es una característica muy importante a considerar cuando se tiene una comunicación móvil, ya que la frecuencia de la portadora y de todo el mensaje se desplaza en frecuencia por un Δf , que normalmente es 6 Hz para enlaces estáticos (Krishnamurthy, 2002). No obstante, se debe considerar el desplazamiento de la frecuencia por efecto doppler, para determinar cuánto el PLL de la estación móvil debe hacer el barrido de frecuencia, para volver a ajustar al mensaje a la misma frecuencia a la que fue enviado desde la estación base. El cálculo del efecto doppler en función de la velocidad del receptor móvil, se lo puede realizar por medio de la ecuación 14, donde f_m es la frecuencia máxima doppler (Comes & Roig, 2003).

$$f_m = \frac{v_m}{\lambda} \quad (14)$$

Donde se la puede modelar con una frecuencia de portadora f_o , con la ecuación 15:

$$r(t) = A \cos(2\pi f_o t - 2\pi f_m t) \quad (15)$$

Para el caso analizado, la velocidad a la que el UAV va a planear es de 150 Km/h, por lo que la frecuencia máxima de doppler y su densidad espectral son:

$$f_m = 128,88 \text{ Hz}$$

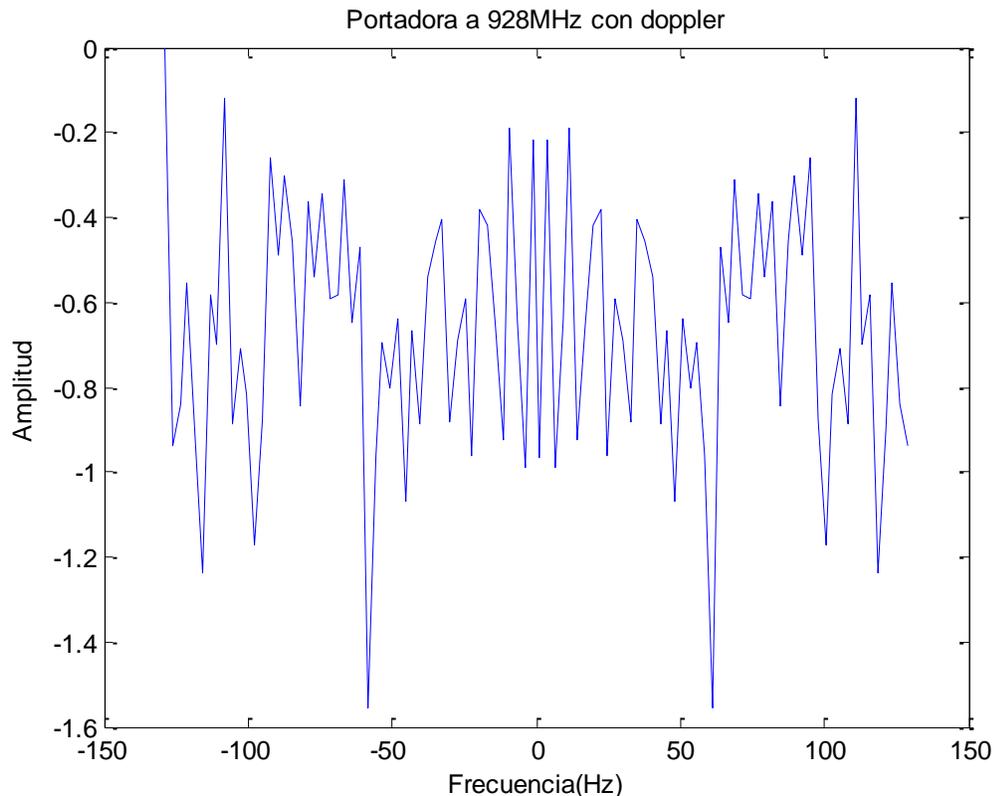


Figura 2. 4: Espectro del Efecto Doppler a 85.96 Hz y Portadora a 928 MHz

Por lo tanto, el PLL del dispositivo debería soportar una desviación de frecuencia entre ± 85.96 Hz, para que pueda demodular y después decodificar el mensaje enviado.

Cálculos de ancho de banda y relación pixel-metro cuadrado

Las cámaras digitales no son muy diferentes a las analógicas en cuanto a video, ya que las dos tienen una frecuencia de muestreo, por así decirlo, esta frecuencia se denomina cuadros (frames) por segundo, por lo que a mayor frecuencia, se va a tener un mejor detalle de los objetos que se encuentran en movimiento. La frecuencia a la que una persona ya no distingue los cortes

por cada cuadro es de 25 cuadros por segundo o fps (frames per second) (Guerrero, 2013). No obstante, en las cámaras digitales cada cuadro es dividido por pixeles y mientras mayor es su número, será mejor la resolución. Por lo tanto, dentro de cada cuadro se tiene una cierta cantidad de pixeles que configuran a la imagen en un cuadro y dependiendo de la velocidad de los cuadros por segundo y de la cantidad de pixeles en un cuadro, es posible calcular qué tan pesado es un video.

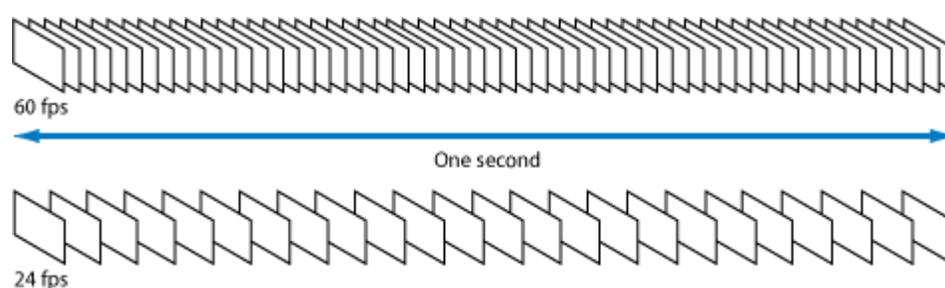


Figura 2. 5: Cuadros por segundo (Weise & Weyland, 2007)

Usualmente, se hace uso de compresiones, durante el transporte o el almacenamiento de estos videos. Se tienen formatos de compresión con pérdidas y también sin pérdidas. Esta denominación se refiere a si alguna información de cada cuadro es desechada durante la compresión. Cierta información es desechada por ser redundantes o porque el ojo humano no logra distinguirla (la intensidad de color, por ejemplo). Las técnicas de compresión con pérdidas son JPEG y MPEG (más usadas). En este proyecto, para procurar de obtener la mayor compresión disponible, se ha elegido la compresión MPEG 4 (H.264), la cuál es la más rigurosa de todas.

MPEG 4, incluye compresiones por intraframe e interframe. La intraframe elimina información espacial redundante, sobre grupos de pixeles, remplazándolos con un pixel por su

valor medio. Por otra parte, la compresión interframe hace una compresión temporal, donde se elimina la información temporal redundante, como por ejemplo, un paisaje o algún fondo que se encuentra estático. Para la operación se hace uso de GoP's (Group of Pictures), como se muestra en la Figura 2.5. El GoP diferencia cada cuadro y trata de identificar fondos y objetos en movimiento. Se pueden encontrar:

- Cuadros tipo I: Es una codificación intraframe, que ocurre cuando la imagen tiene un cambio de fondo o si es el inicio de un cuadro totalmente diferente (Weise & Weyland, 2007).
- Cuadros tipo P: Es una codificación mediante predicción. Elimina el fondo y envía solo los píxeles que han cambiado (Weise & Weyland, 2007).
- Cuadros tipo B: Es una codificación predictiva bidireccional, donde predice dos cuadros adelante, basándose en dos anteriores (Weise & Weyland, 2007).



Figura 2. 6: GoP (IBBP)

La compresión MPEG 4 aproximadamente puede llegar a tener un mínimo de 50% de ahorro, respecto al ancho de banda necesario para el transporte de este flujo de video. Este valor

puede aumentar dependiendo del contenido. Un codificador profesional puede hacer una compresión de 270 Mbps a 4 Mbps, en calidad de video SD (Tabla 2.5).

Tabla 2. 5: Capacidades de compresión (Piña, 2010)

Compresión	SD (Mbps)	HD (Mbps)	3G (Mbps)
Sin Compresión	270	1485	2970
MPEG-2 4:2:2	1,5 - 50	25 - 80	-
MPEG-2 4:2:0	1 - 15	15 - 80	-
H.264 4:2:0	0,1 - 4	4 - 25	-

Dado que el proyecto utilizará una cámara IP para su mejor control y transporte del video, se debe tomar en cuenta cuál es la calidad de imagen requerida, ya que dependiendo de ella se podrá distinguir un objeto o no. Por lo tanto, más adelante se hace el cálculo de cuánta área representa un pixel a una distancia determinada, a partir de un análisis trigonométrico y de las características de la cámara y vídeo.

Las características más importantes de una cámara es la cantidad de pixeles que usa para muestrear, el ángulo de apertura y el tipo de estándar de grabación para el video. El ángulo de apertura de una cámara representa el ángulo que forma la diagonal de un cuadro, como se ilustra en la Figura 2. 56. Además, se debe tomar en cuenta que para grabación de video se usa un radio de aspecto de 4:3, es decir, una relación de 1.33:1 de horizontal a vertical.



Figura 2. 7: Ángulo de apertura y radio de aspecto

Por lo tanto, se deduce que la longitud de la diagonal en función de la distancia y el ángulo de apertura, es igual a $y = 2d \tan \frac{\theta}{2}$, por lo que el cuadro tendrá una relación de $x = 0.6y$. Para determinar el área de un pixel, se divide la longitud del cuadro en horizontal y vertical por el número de líneas y puntos de la calidad del video respectivamente, como se muestra en la Figura 2. 78; entonces, la ecuación del cálculo de área por metro cuadrado se expresa en la ecuación 16, donde P_H y P_V es la cantidad de pixeles en horizontal y vertical respectivamente, θ es el ángulo de apertura del lente y d la distancia en metros.

$$A_{pixel} = \frac{1.92 d^2 \tan^2 \theta/2}{P_H P_V} [m^2] \quad (16)$$

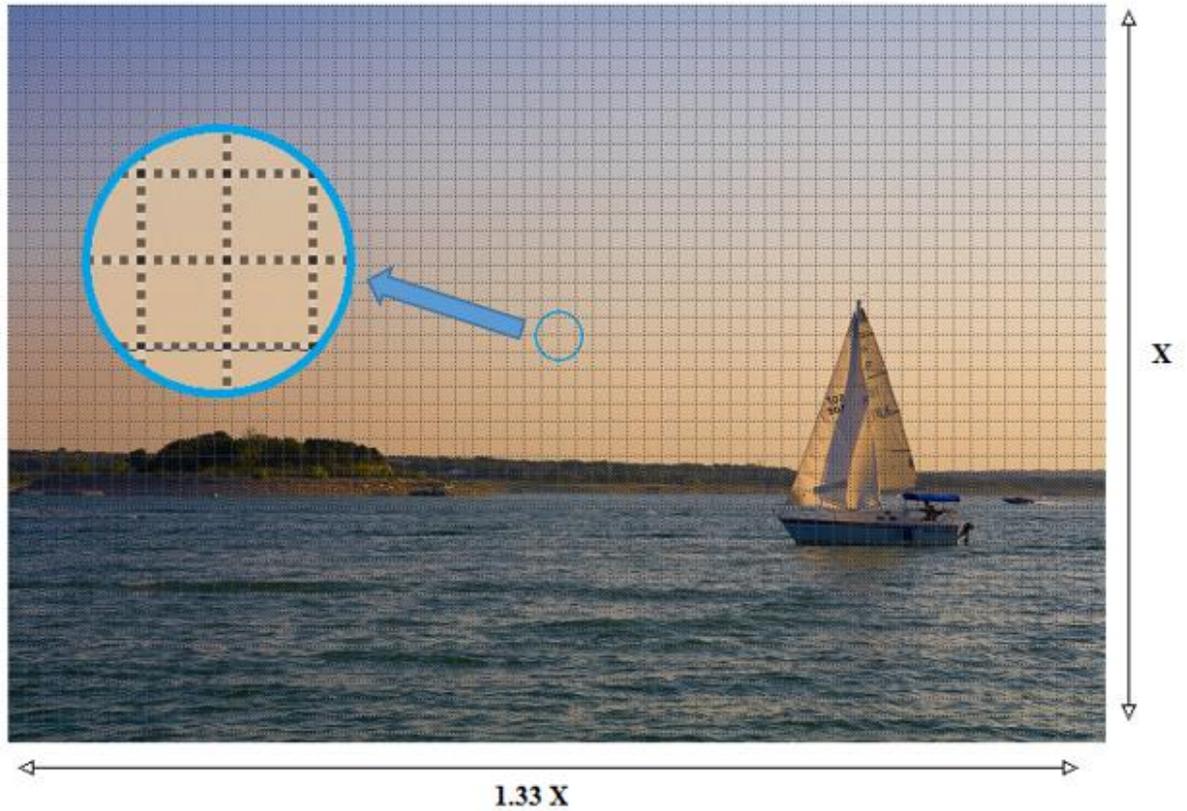


Figura 2. 8: Área de un pixel en un cuadro

Conociendo el área que se desea cubrir, se puede hallar una resolución que se necesita para identificar objetos a una distancia determinada, y después hacer el cálculo de cuánta velocidad de transmisión se requiere al maneja ese tipo de resolución. Por lo que, en la ecuación 17 muestra el cálculo de la velocidad de transmisión en función de la resolución y la velocidad de muestreo del video, donde R es la velocidad de transmisión, fps es la cantidad de cuadros por segundo, P_H y P_V es la cantidad de pixeles en horizontal y vertical respectivamente (en escala de grises).

$$R = fps * P_H * P_V \quad (17)$$

Hay que tomar en cuenta que el ancho de banda va a disminuir a causa de la compresión MPEG-4 Part.10 o H.264, por lo que el ancho de banda del enlace va a ser de menor carga. Las gráficas de las Figuras 2.9 y Figura 2.10, permiten dimensionar el sistema si se requiere una mayor resolución o una mayor cantidad de área. La Figura 2.9, indica la relación entre la resolución de un video y el ancho de banda que este generará sobre la red. Por otra parte, La figura 2.10, indica la cantidad de área cubierta si la cámara usada tiene un ángulo de apertura determinado.

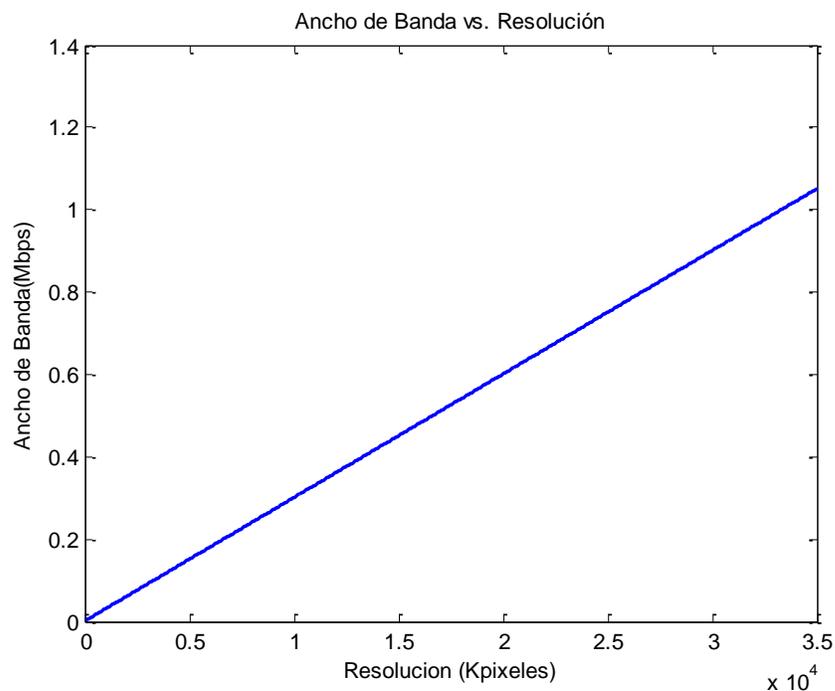


Figura 2. 9: Relación entre el Ancho de banda y la resolución del video

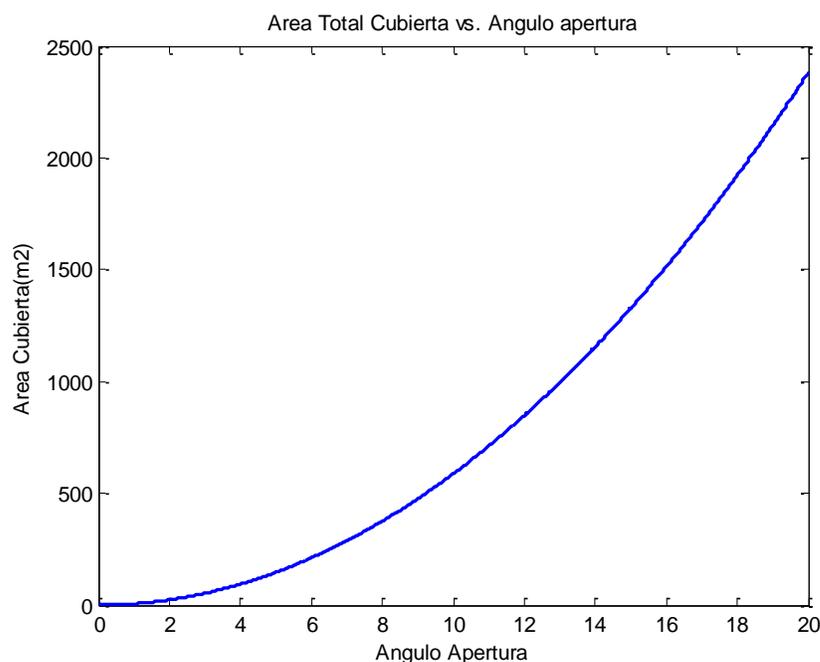


Figura 2. 10: Relación entre Angulo de apertura y Área cubierta

Regulación y restricciones en el uso del espectro

Se conoce de la existencia de una gran cantidad de enlaces en la banda de 2.4 GHz, lo que significa una alta probabilidad de interferencia. Esta banda de 2.4 GHz no solamente es usada por los hoteles y casas para brindar internet, sino también es usada por barcos y buques pesqueros en altamar, por lo tanto la interferencia es alta. Por otra parte, 5.8 GHz es una frecuencia muy alta para lograr grandes distancias de propagación. Usando la ecuación de la distancia de propagación usada en el apartado del cálculo de propagación (ecuaciones 8-13), se puede ver que la frecuencia es inversamente proporcional a las pérdidas, por lo que si la frecuencia aumenta, su distancia disminuye y es más propensa a interferencias por obstáculos,

pero mientras la frecuencia es más baja, su distancia de propagación es mayor y es menos vulnerable a interferencias por obstáculos. Es por eso que el uso de la banda de frecuencia de 900 MHz puede tener una mayor área de cobertura que las otras frecuencias ICM, pero también hay que tomar en cuenta, que el tamaño de las antenas usadas, es inversamente proporcional a la frecuencia usada, es decir, a mayor frecuencia, es más pequeña la longitud de la antena y viceversa.

Las regulaciones y restricciones del espectro radioeléctrico se encuentran controlados siempre por un organismo de control gubernamental. En el caso del Ecuador, la Supertel (Superintendencia de Telecomunicaciones) establece una regulación para el uso y aplicación de las frecuencias. Dado que este proyecto se está usando la banda de frecuencia ICM, y por ende se enfocará a entender las regulaciones para las tres distintas bandas de frecuencia no licenciadas (900 MHz, 2.4 GHz y 5.8 GHz).

El plan nacional de frecuencias y uso del espectro radioeléctrico en nuestro país, establece que la banda de frecuencia para 902 MHz – 928 MHz, está destinada para enlaces fijos, para personas que sean aficionadas, para comunicaciones móviles salvo móvil aeronáutico (norma 5.325A) y para radiolocalización (normas 5.150, 5.325, 5.326), además, que las frecuencias de 902 MHz – 928 MHz, 2.4 GHz – 2.5 GHz y 5.7 GHz – 5.8 GHz, están destinadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (norma 5.150). Para los enlaces fijos, se debe usar la norma EQA.50, la cual establece que esta banda es para uso de enlaces fijos únicamente, pero también tienen el derecho para el uso de sistemas de modulación digital de banda ancha y enlaces auxiliares de radiodifusión. Por otra parte, la norma 5.325A, dice que la

banda de frecuencia para 900 MHz puede ser usado para usuarios móviles terrestres únicamente. (CONARTEL, 2012)

Sabiendo que las bandas de frecuencia para móviles aeronáuticos en el Ecuador son: 200KHz - 285KHz y 325KHz – 415KHz para Radionavegación Aeronáutica, 2850KHz – 3155KHz, 3400KHz -3500KHz y 4650KHz – 4750KHz, 5480KHz – 5730KHz, entre otras; para comunicaciones móviles aeronáuticas (norma 5.111 y 5.115). (CONARTEL, 2012)

Estudio de ingeniería sobre las islas Galápagos

Para el estudio de ingeniería se hizo uso del software libre “Radio Mobile” de Roger Coudé, que hace uso del modelo de propagación estadístico conocido como modelo de Longley-Rice. El estudio de ingeniería está dividida en dos partes: el diseño de la red de celdas o backbone; y el diseño de la comunicación entre el UAV a la celda. Además, Radio Mobile hace uso del modelo de ITM, por lo que es muy importante ingresar los valores de los parámetros, en la forma más aproximada posible a la realidad.

Radio Mobile, tiene dos partes de configuración: los parámetros necesarios para el modelo de propagación y las características de los sistemas que se usarán, es decir, la característica de los equipos. En los parámetros, se hace uso de la refractividad de la superficie, conductividad del suelo y la permitividad relativa del suelo, todos estos datos se encuentran en el modelo ITM que se mostró en la Tabla 2. 1 y Tabla 2. 12. El modelo estadístico de propagación usado por el software, se apega a los parámetros de variabilidad del modelo Longley-Rice, como se muestra en la Figura 2.11, donde la variabilidad del tiempo es el

porcentaje probabilístico en el que la magnitud de la señal de recepción se mantiene o es mayor, es mejor conocido como el porcentaje de confiabilidad de enlace; la variabilidad de localización es el porcentaje probabilístico que la magnitud de la señal de recepción se mantiene a la misma distancia, pero a diferente posición; y por último, la variabilidad de las situaciones es el porcentaje de confiabilidad de los equipos usados (Henderson, 2013).

No obstante, el cálculo de pérdidas se ajusta al tipo de clima en el que se va a propagar el enlace y dependiendo de este, se podrá elegir un modelo estadístico adecuado para ese tipo de pérdidas de propagación. No obstante, las pérdidas adicionales son tomadas en cuenta y tienen su porcentaje de pérdida.

Parameters	Topology	Membership	Systems	Style
Net name <input type="text" value="Enlace 900MHz"/>		Surface refractivity (N-Units) <input type="text" value="301"/>		
Minimum frequency (MHz) <input type="text" value="915"/>		Ground conductivity (S/m) <input type="text" value="0.005"/>		
Maximum frequency (MHz) <input type="text" value="920"/>		Relative ground permittivity <input type="text" value="15"/>		
Polarization <input type="radio"/> Vertical <input checked="" type="radio"/> Horizontal		Climate <input type="radio"/> Equatorial <input type="radio"/> Continental sub-tropical <input type="radio"/> Maritime sub-tropical <input type="radio"/> Desert <input type="radio"/> Continental temperate <input type="radio"/> Maritime temperate over land <input checked="" type="radio"/> Maritime temperate over sea		
Mode of variability <input type="radio"/> Spot % of time <input type="text" value="90"/> <input type="radio"/> Accidental % of locations <input type="text" value="90"/> <input type="radio"/> Mobile % of situations <input type="text" value="70"/> <input checked="" type="radio"/> Broadcast				
Additional loss <input type="radio"/> City <input checked="" type="radio"/> Forest % <input type="text" value="20"/>				

Figura 2. 11: Parámetros para el modelo de propagación

Parameters	Topology	Membership	Systems	Style
00		Select from VHF ... UHF ...		
System name: Celda				
Transmit power (Watt)	1	(dBm)	30	
Receiver threshold (μ V)	1	(dBm)	-107	
Line loss (dB)	0,5	(Cable+cavities+connectors)		
Antenna type	yagi.ant	View		
Antenna gain (dBi)	30	(dBd)	27,85	
Antenna height (m)	12	(Above ground)		
Additional cable loss (dB/m)	0,475	(If antenna height differs)		
Add to Radiosys.dat		Remove from Radiosys.dat		

Figura 2. 12: Características del sistema de comunicación

El estudio de factibilidad para la red de celdas mostrada en la Figura 2. 2, se muestra a continuación, donde se puede ver que se tiene un 99% de factibilidad, pero cabe recordar que dentro de los perfiles del terreno, no se incluye la altura de la vegetación, por lo que para ese caso se tendría que levantar las alturas de las torres que soporten al sistema de comunicación. A continuación se muestran las simulaciones para los enlaces del backbone:



Figura 2. 13: Enlace de Cerro Wolf a Cerro Azul



Figura 2. 14: Enlace de Cerro Wolf a Cerro Croker

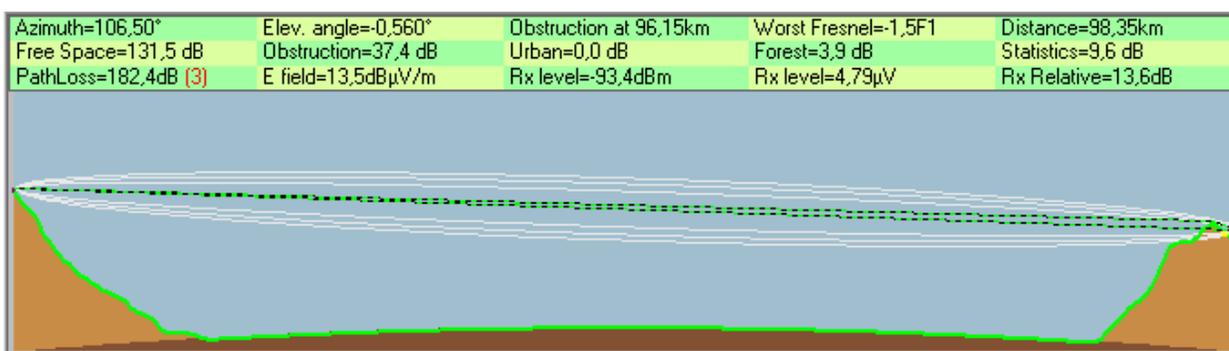


Figura 2. 15: Enlace de Cerro Croker a Cerro El Junco



Figura 2. 16: Enlace de Cerro Croker a Cerro del Agua

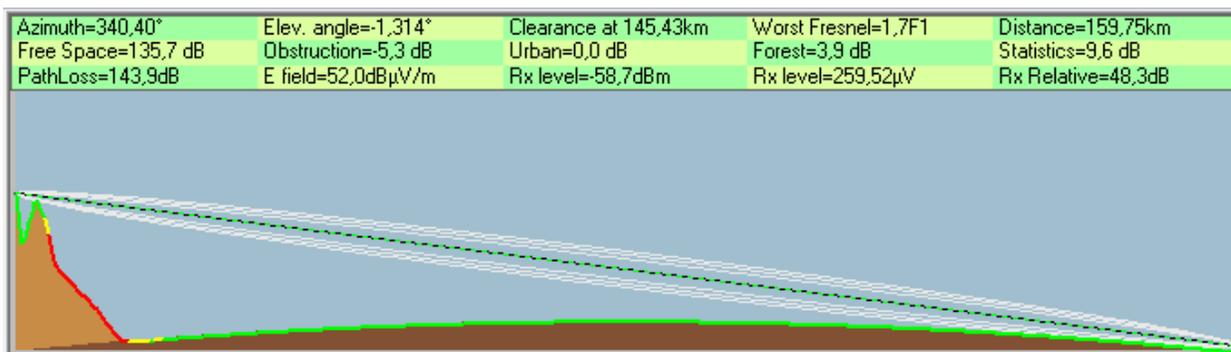


Figura 2. 17: Enlace de Cerro Wolf a isla Wolf

Como se pueden ver en los estudios de factibilidad, las tres primeras zonas de fresnel se encuentran libres y sin obstáculos, por lo tanto el enlace va a ser muy estable y menos propenso a interferencias, tomando en cuenta que las antenas usadas tienen un patrón ideal. El sistema usado, puesto en los parámetros en la Figura 2. 11, es de 1W de potencia de transmisión y antenas directivas de 30 dBi de ganancia, además, los valores de las pérdidas de los cables fueron obtenidos de la tabla del Anexo A. Los resultados de los enlaces se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2. 6: Resultados del estudio de factibilidad

Enlace	Distancia (Km)	Recepción (dBm)
C. Wolf - C. Azul	103,73	-57,2
C. Wolf - C. Croker	134,12	-60,1
C. Croker - C. El Junco	98,35	-93,4
C. Croker - C. del Agua	73,51	-60,2
C. Wolf - Isla Wolf	159,75	-58,7

CAPITULO III.- BENCHMARKING Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA FASES DE PRUEBAS

La implementación de la solución de comunicación, consta en tres partes, en el análisis y selección de equipos disponibles en el mercado, la configuración de los equipos y las pruebas de estos. Por lo tanto, para el análisis y selección de equipos, primero se analizan las características mínimas requeridas para cumplir con el diseño pretendido, luego hacer una comparativa de los equipos disponibles en el mercado y que estos cumplan con los requisitos mínimos, y por último la selección del mejor equipo.

La selección de los equipos debe ser basada en las limitaciones que el avión tiene, como es el caso de las dimensiones y peso, donde toda la solución de comunicación y energía tiene que pesar menos de 6 Kg, por lo tanto deben ser equipos de bajo consumo y peso. Además, el tipo de antenas deben ayudar a la aerodinámica del avión, para que este no genere resistencia al aire. No obstante, se tiene que considerar que los equipos deben resistir una alta temperatura, dado que se encontrarán encerrados en una caja.

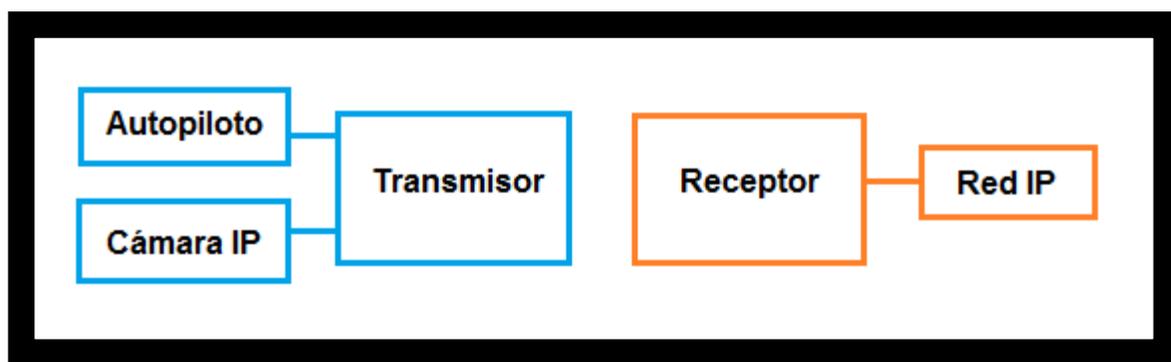


Figura 3. 1: Esquema de funcionamiento de la solución

Características mínimas necesarias según estudio de ingeniería

Las características mínimas para los equipos, se encuentran en el capítulo anterior, donde se puede resumir que para la frecuencia del barrido del PLL (Phase Lock Loop) se debe tener como mínimo hasta una frecuencia de ± 129 Hz. Además, se demostró que los equipos de comunicación necesitan una potencia de irradiación de 1 Watt (30 dBm), para conseguir la distancia requerida según el estudio de ingeniería, con una sensibilidad mínima de -94 dBm, la cual es la menor sensibilidad necesaria para obtener conectividad, según el estudio de ingeniería, y una antena de 30 dBi de ganancia, según lo usado en el estudio de ingeniería. Además, cabe recordar que los equipos deben ser de bajo costo, cumplir todas las regulaciones y ser muy fácil de conseguir.

Por otra parte, la cámara también tiene requerimientos, como el ángulo de visión o apertura máximo (en zoom), basándose en un barco pesquero Long line con 17.65m de eslora (largo) y 5.49m de manga (ancho) y la ecuación 16 del cálculo del pixel – metro cuadrado, se necesita un ángulo de visión de 5° para cubrir 13.95 cm^2 por cada pixel (resolución de 640x480 y altura de 200). Además, la cámara debe permitir grabar video en compresión MPEG-4, y soportar protocolos de RTP, RTCP o RTSP, TCP y UDP. No obstante, los equipos de comunicación, deben soportar los mismos protocolos que la cámara, además de soportar 40 MHz de ancho de banda y una velocidad de transmisión no menor a 256 Kbps.

También, es necesario saber los requerimientos que el avión UAV necesita o los límites que se pueden llegar a tener en su momento. La solución de comunicación debe tener un peso neto menor a 6 kilogramos. Además, las dimensiones son muy pequeñas, por lo que se necesitará

a un equipo sin chasis, resistente a los golpes, al agua y debe tener un consumo bajo en energía. Las antenas a bordo, no pueden ser muy grandes y deben contribuir a la aerodinámica del avión.

El uso de los protocolos como RTP, RTCP o RTSP, permitirá mejorar nuestro flujo de datos a través de nuestra red IP, donde para este tipo de capa de aplicación, permite no solo mejorar el flujo de información, sino permite que los tiempos de latencia sean menores a los que se originan de mandar los paquetes con cabeceras no útiles en el PDU. Todas estas características se encuentran resumidas en las Tablas 3.1 y 3.2:

Tabla 3. 1: Tabla de requerimientos para los equipos de comunicación

Requerimientos Equipo de Comunicación	
PLL	129 Hz
Sensibilidad de Recepción	-94 dBm
Tipo	Digital / IP
Protocolos	TCP, UDP, RTP, RTCP, RTSP
Frecuencia	900MHz
Ancho de Banda	40 MHz
Consumo	Bajo Consumo
Potencia	1 Watt
Estándares	IEEE 802,11 g/n

Tabla 3. 2: Tabla de requerimientos para la cámara

Requerimientos Cámara	
Ángulo de Visión	5°
Tipo	Digital / IP
Compresión	MPEG-4
Resolución	640 x 480
Frames por segundo	30 o 25
Protocolos	TCP, UDP, RTP, RTCP, RTSP
Control	HTTP
Autoenfoco	Si
Memoria	Expandible incluida

Estudio comparativo de equipos disponibles en el mercado

En el mercado se pudo encontrar varios tipos de radios, todos bajo la norma IEEE802.11, es decir, WIFI. Por lo tanto, dado que son enlaces IP en WIFI, se hace uso de un router, que se encarga de todo el procesamiento que involucra redes, y por otra parte, se tiene un módulo que se encarga de la transmisión, modulación, etc. Existen pocas marcas que hacen uso de la banda de frecuencia de 900MHz, por lo que la búsqueda de este tipo de equipos fue ardua, y se enlistan los equipos que se pudieron encontrar. Cabe destacar que todos a excepción de un equipo, son soluciones integrales, es decir, tienen el módulo de modulación y procesamiento dentro de un mismo equipo, pero la marca Mikrotik permite separar estos dos módulos.

- Freewave FGR2 series
- XTend-PKG 900 MHz
- Mikrotik SR9
- Ubiquiti XR9

Los equipos nombrados, todos tienen la capacidad de transmitir a una sola frecuencia, pero la tecnología Mikrotik RouterBoard, hace uso de tarjetas moduladoras denominadas tarjetas mini-PCI. Al tener separado, estos dos módulos, el equipo de Mikrotik permite tener hasta 3 tarjetas mini-PCI y cada una operando a una frecuencia distinta, lo que nos ayuda a ahorrar costos en cuanto estaciones que necesiten establecer más de un enlace por sitio, como es el caso del Cerro Croker. Además, tener un equipo que tenga integrado estos dos módulos permite dar una mejor solución de Plug&Play (equipos que no requieren mucha configuración para su funcionamiento), y ocupan menos espacio físico.

No obstante, la selección de las tarjetas mini-PCI para la RouterBoard, también es importante, ya que de esto dependerá el funcionamiento óptimo del enlace, por lo que se tienen solo 2 fabricantes que pueden trabajar de manera óptima con la marca Mikrotik, una de ellas es Ubiquiti con la tarjeta XR9 y la misma Mikrotik con la tarjeta SR9. Las especificaciones de cada equipo se encuentran detalladas en la Tabla 3.3 a continuación.

Tabla 3. 3: Tabla de las características básicas de los equipos a comparar

	FGR2-C-U	XTend-PKG	SR9	XR9
Frecuencia	902-928	902-928	907-922	907-922
Potencia	1 Watt	1 Watt	1 Watt	1 Watt
Sensibilidad	-105 dBm	-100 dBm	-93 dBm	-95 dBm
Peso	58 g	200 g	86 g	92 g
Consumo	4,38 Watt	25,2 Watt	3,96 Watt	3,63 Watt

Por otra parte, se realizó el estudio comparativo acerca de la cámara a bordo del avión, cabe recordar que esta cámara debe ser IP, para tener una mejor administración en la información que pase por nuestro enlace, por lo que se tomó en cuenta los requerimientos mínimos de la Tabla 3.2, mostrada anteriormente. A continuación se encuentran las marcas y modelos de las cámaras analizadas:

- AXIS 213 PTZ
- Lumenera Le165
- Arecont Megavideo compact AV2116DNv1
- Compro IP570

Las características de las cámaras analizadas se encuentran a continuación, donde se encontraron muchas cámaras IP destinadas a CCTV (Circuito Cerrado de Televisión), por lo

que existen muchas variedades, pero dado que se necesita una cámara que sea para largas distancias, se decidió analizar cámaras que tengan su lente ajustable o removible, para así ganar calidad en un zoom óptico. También, se tomó en cuenta que la cámara debe tener un control de PTZ integrado, por lo que en la Tabla 3.4 se encuentra una gran diversidad de cámaras. Para la selección de las cámaras, se deben tomar en cuenta el peso y el consumo de estas, ya que el avión solo puede llevar hasta 6Kg para la solución integral de comunicaciones y el consumo eléctrico debe ser el mínimo para maximizar la operación de las baterías.

Tabla 3. 4: Tabla de las características básicas de las cámaras a comparar

	AXIS 213 PTZ	Le165	AV2116DNv1	Compro IP570
Angulo de Visión	1,7°	ajustable	ajustable	4,49°
Resolución	704x576	640x480	1920x1080	640 x 480
Frames por segundo	25/30	27	30	30
Peso	700 g	300 g	164 g	522g
Consumo	13 Watt	5 Watt	5,43 Watt	24 Watt

Selección de equipos

Para la selección de los equipos se debe priorizar los requerimientos mínimos del avión, y a partir de esto, comparar cuál de estos equipos tiene mejores prestaciones. Dado que todos los equipos mencionados anteriormente cumplen con los requerimientos mínimos del análisis realizado en el capítulo anterior, se tomará más en cuenta como solución integral y no por mejor prestación.

Una restricción importante impuesto por el diseño aerodinámico, es que la solución no debería pesar más de 6 Kg, incluyendo los equipos de radio comunicación, antenas, banco de baterías, cámara, cables y conectores. Por lo tanto, al comparar los equipos de radio

comunicación, se descarta XTend-PKG, ya que los niveles de consumo eléctrico y peso, son bastantes grandes. Dado que las tarjetas mini-PCI necesitan de un RouterBoard, el peso y consumo total sería de 25 Watts (con 3 tarjetas mini-PCI) y un peso de 230 g aproximadamente para las dos tarjetas. Pero, el hacer uso de tarjetas mini-PCI, ayuda a que si una tarjeta recibe una descarga eléctrica en su antena, la modularidad permite que el punto siga en funcionamiento y así determinar fallas y soluciones desde lugares remotos; además, el ahorro económico que representa el equipo, por la facilidad de hacer uso de hasta tres frecuencias distintas, y es por ende realizar hasta 3 enlaces punto a punto. Por lo tanto, las tarjetas XR9 y SR9 son las más adecuadas, pero las tarjetas XR9 permite tener una sensibilidad mucho menor, por lo que la tarjeta XR9 y la RouterBoard 433AH son las seleccionadas para solucionar la radiocomunicación entre el backbone y la comunicación entre el avión y la celda.



Figura 3. 2: RouterBoard 433AH de Mikrotik



Figura 3. 3: Tarjeta mini-PCI XR9 de Ubiquiti

Por otra parte, las cámaras comparadas anteriormente muestran características diferentes entre ellas, por lo que se juzgará el costo y las mejores características que un UAV pueda aprovechar de mejor manera. Las cámaras que tienen lente ajustable como son la Le165 y la AV2116DN, pueden ayudar a corregir problemas en cuanto el área de cobertura, ya que permite cambiar el ángulo de visión según lo requerido. Sin embargo, hay que tomar muy en cuenta la velocidad de los cuadros por segundo, porque según lo explicado en el primer capítulo, para que un video se vea sin cortes se requiere al menos de 25 fps. Para este tipo de aplicación se debe tomar en cuenta la velocidad a la que va la cámara, por lo que 25 fps no es suficiente para que se pueda ver un video sin cortes, por lo que tiene que ser una cámara con 30 fps.

No obstante, la cámara IP570 es la más pesada, pero tiene control de PTZ, lo que ayuda a tener control de la dirección a la que apunta y esta característica es bastante útil especialmente para aviones de vigilancia como los UAV. Por lo tanto, la selección de la cámara IP570, es la mejor opción en cuanto a prestaciones, pero la cámara AV2116DN de Arecont es la que mejor imagen y peso tiene, además de que su consumo es bastante bajo.



Figura 3. 4: Cámara Compro IP570



Figura 3. 5: Cámara AV2116DN de Arecont Vision

En cuanto a las antenas que serán usadas, son de dos tipos, unas son de alta ganancia y directividad, para establecer enlaces punto a punto (fijos) para la red de backbone, por lo que estas antenas tienen que ser de grilla con una ganancia de 30 dBi para una frecuencia de 900 MHz. Pero, las antenas a bordo del avión, no pueden ser de la misma dimensión y peso, por lo que se requiere de un arreglo de dipolos omnidireccionales para que se pueda cubrir en 360° con una polarización mixta, por lo que se debería realizar un análisis del arreglo de antenas para obtener un patrón de radiación esférico. La marca L-Com es una empresa muy reconocida en fabricación de antenas, además de que no existen muchos fabricantes de antenas para la banda

de 900 MHz, por lo tanto se usará la marca L-Com para los dos tipos de antenas antes mencionadas.



Figura 3. 6: Antena L-Com tipo grilla de 30 dBi



Figura 3. 7: Antena L-Com tipo dipolo omnidireccional de 5dBi

Los enlaces de grandes distancias como los analizados, van a requerir de más potencia de transmisión, para ser enlaces confiables y estables, por lo que se recomienda hacer uso de amplificadores bidireccionales. Los amplificadores bidireccionales brindan una ganancia en la potencia de transmisión y también una ganancia en recepción, pero se debe tomar en cuenta que solo soportan un tipo de modulación y frecuencia que se está transmitiendo. El amplificador

bidireccional compatible para OFDM de 5 Watts (37 dBm) y ganancia en recepción de 15 dB, puede ser muy útil, por lo que se toma en cuenta el modelo HA905-DM de HyperLink Technologies. Además, se debe tomar en cuenta que para optimizar la distancia de cobertura, se debería desarrollar un seguimiento (tracking) por parte de una antena de alta ganancia y directividad en tierra.



Figura 3. 8: Amplificador Bidireccional HA905-DM de HyperLink para 900MHz

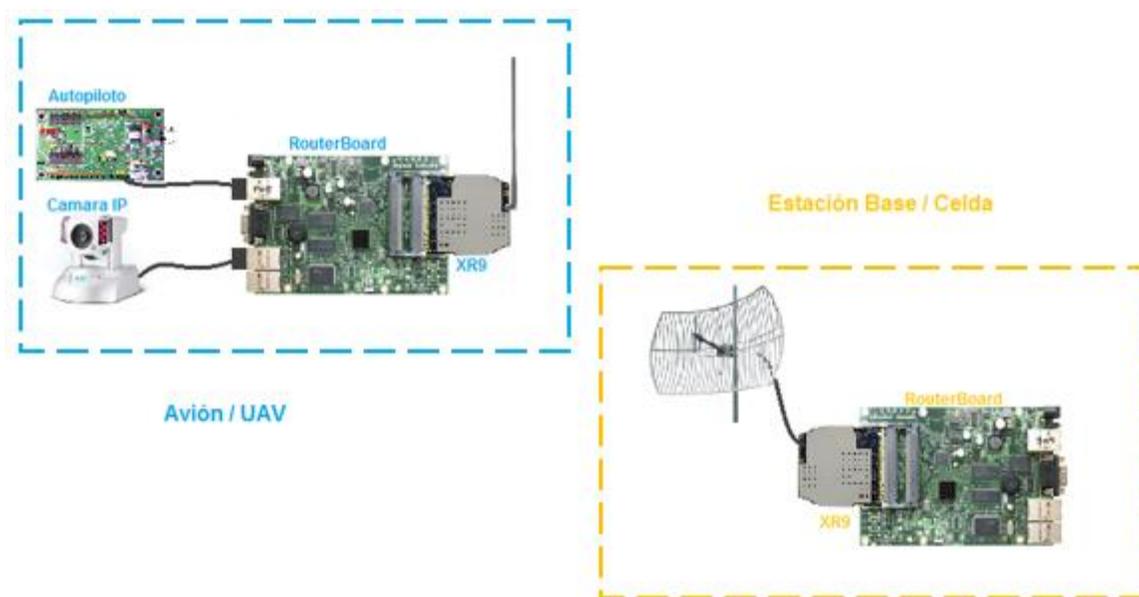


Figura 3. 9: Esquema de solución y conexión

Estudio de Ingeniería con equipos seleccionados

Los equipos seleccionados, no cumplieron con todos los requerimientos mencionados en el anterior capítulo, por lo que se necesita realizar un nuevo estudio con las características de los equipos disponibles en el mercado. En la Tabla 3.5, se indican las características de los equipos seleccionados:

Tabla 3. 5: Tabla de requerimientos para los equipos de comunicación

UBIQUITI RX9 mini-PCI	
Potencia Transmisión	28dBm
Sensibilidad de Recepción	-92 dBm
Ancho de Banda	5 MHz, 10 MHz, 20 MHz, 40 MHz
Frecuencia	907MHz - 922 MHz
Antena de Estación Base	
Ganancia	15 dBi
Frecuencia	824MHz - 960 MHz
Impedancia	50 Ohm
Antena de Estación Base	
Ganancia	5 dBi
Frecuencia	900MHz - 930 MHz
Impedancia	50 Ohm

Por lo tanto, se utilizan estos valores en las fórmulas del modelo de propagación SUI (ecuación 8 - 13). La frecuencia usada es la del canal a 922 MHz y un ancho de banda de 20 MHz.

$$A = 20 \log \left(\frac{4 \pi 1000}{0.3254} \right) = 91.7364 \text{ dB}$$

$$\gamma = 3.6 - (0.005)(200) + \left(\frac{20}{200} \right) = 2.7$$

$$X_f = 6 \log \frac{922}{2000} = -2.0178 \text{ dB}$$

$$X_h = -20 \log \frac{200}{2000} = 20 \text{ dB}$$

$$L = 91.7364 + 10(2.7) \log \frac{10000}{1000} - 2.0178 + 20 + 8.2 = 144.92 \text{ dB}$$

La pérdida que se tiene a 10 Kms es de 144.65 dB, dentro de un área de terreno llano con poca densidad de árboles (terreno C). Por lo tanto, la potencia necesaria para irradiar a 10 Kms se calcula de la ecuación 1:

$$P_{TX} = P_{RX} - G_{TX} - G_{RX} + L$$

$$P_{TX} = -92 \text{ dB} - 15 \text{ dBi} - 5 \text{ dBi} + 144.92 \text{ dB} = 32.92 \text{ dBm} = 1.96 \text{ W}$$

No obstante, despejando la fórmula de la pérdida por desvanecimiento de la señal (L), se puede llegar a encontrar la distancia máxima a la que puede llegar el enlace (ecuación 18) con las características de los equipos seleccionados, donde este puede ser calculado despejando d de la ecuación 13.

$$L = P_{TX} - P_{RX} + G_{TX} + G_{RX}$$

$$L = 28 \text{ dBm} + 92 \text{ dBm} + 15 \text{ dBi} + 5 \text{ dBi} = 140 \text{ dB}$$

$$L = A + 10\gamma \log \frac{d}{d_0} + X_f + X_h + S$$

$$L - A - X_f - X_h - S = 10\gamma \log \frac{d}{d_0}$$

$$L_f = L - A - X_f - X_h - S$$

$$L_f = 140 - 91.7364 + 2.0178 - 20 - 8.2 = 22.0814 \text{ dB}$$

$$d = d_0 10^{L_f/10\gamma} \quad (18)$$

$$d = 1000 * 10^{\frac{22.0814}{10} * 2.7} = 6.57 \text{ Kms}$$

El uso de una mejor antena y amplificador bidireccional, como el recomendado, se puede llegar a tener hasta una distancia de $d = 50.90$ Kms., si solo se hace uso del amplificador.

CAPITULO IV.- CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS DE COMUNICACIÓN

La configuración de los equipos de comunicación con los otros equipos usados, es la parte más importante en el funcionamiento de la solución ya que de esto dependerá si la solución funcione de manera correcta y efectiva. La utilización de diferentes tipos de configuraciones que deben ser usadas para determinar la mejor configuración de los equipos. Luego de tener configurado los equipos se deben maximizar y optimizar los parámetros de configuración usados en cada equipo, por ejemplo, el cambio de ancho de banda, incremento de resolución, tamaño de los paquetes, etc.

Por lo tanto, la configuración de los equipos constará de varias partes. Una de ellas es la configuración de los equipos de comunicación para los radio enlaces, en esta parte se deben configurar las tarjetas moduladoras mini-PCI XR9 y la tarjeta RouterBoard de Mikrotik, para que funcionen entre ellas. La segunda parte consiste en la configuración de la cámara IP, donde se debe configurar el tipo de compresión, cuadros por segundo, resolución, protocolos de transporte, etc. Por último, la tercera parte consiste en configurar al autopiloto, para que pueda comunicarse entre el RouterBoard y el Sistema de control del Autopiloto.

Al tener todas estas tres partes funcionando, deben integrarse, para conformar la solución completa y proceder en su optimización.

Diseño de red

El diseño de la tipología de red, nos va a dar una clara idea acerca de cómo deben ser configurados los equipos. Dado que se tienen equipos que basados en la tecnología de red sobre IP, se determina que el tipo de red estrella, donde en tierra, las celdas deben ser conectadas bajo enlaces de punto a punto por cada cerro, pero con el objetivo de obtener una redundancia de enlace en el backbone, se deben tener dos enlaces en diferentes frecuencias, es decir, un enlace ajustado a la frecuencia de portadora a 922 MHz y el otro a 908 MHz, y esto se lo puede hacer mediante el mismo equipo, ya que permite tener hasta 3 enlaces a frecuencias distintas. Cabe recordar que existen modelos iguales con más de 4 puertos mini-PCI, además de que el uso de un doble enlace puede permitir aumentar el ancho de banda.

Los equipos que funcionan bajo el protocolo IP son los equipos de comunicación y la cámara, porque el autopiloto tiene una salida RS-232, que es un puerto serial. Por lo tanto, la configuración de los equipos sería mediante la separación en dos redes distintas, donde la primera red contiene a la red de celdas (backbone) y la segunda red contiene a los usuarios móviles (UAVs). Es por eso que el Router a bordo del UAV permite la separación de estos dos tipos de redes, para así tener un mejor control y manejo de la información que se transporta desde el avión a la red y de la red al centro de control.

La configuración de los equipos IP deben ser mediante IPs estáticas, para tener un mejor control de los equipos, en la Figura 4. 1 se puede apreciar el esquema de cómo conectar los equipos, donde el autopiloto deberá conectarse al RouterBoard del UAV.

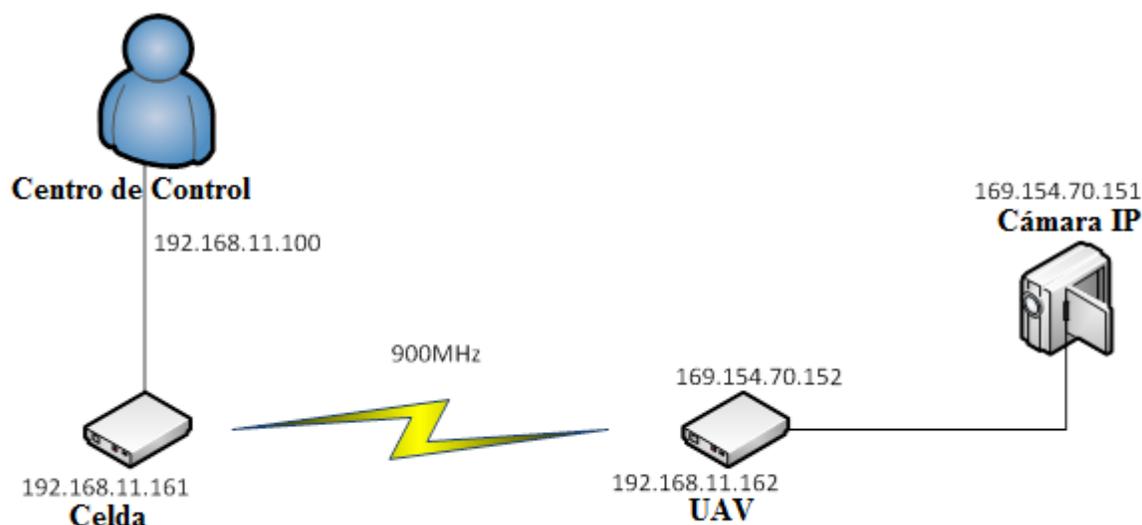


Figura 4. 1: Esquema de conexión de los equipos IP

Para este tipo de topología usada, se debe explicar detalladamente que el RouterBoard a bordo del UAV tiene varios tipos de periféricos, donde las conexiones mini-PCI son usadas mediante una sola tarjeta moduladora XR9, en cambio la celda utiliza dos tarjetas XR9, una para comunicarse con el avión y la otra para comunicarse hacia la red. Por otra parte, la Cámara IP se conecta al RouterBoard mediante el puerto de Ethernet de la cámara, hacia uno de los tres puertos Ethernet que el RouterBoard tiene integrado. Los parámetros de configuración de los equipos de comunicación y cámara, se deben tomar en cuenta que se debe configurar a la red como un tipo de red WDS, para que el avión sin importar a qué celda se conecta, se mantenga dentro de la red y no se interrumpa la transmisión de datos. El uso de protocolos específicos para el transporte de un flujo continuo de datos, es por eso que se necesita usar RTP y optimizarlo mediante QoS (Quality of Service), así logrando disminuir la latencia y cortes del video. No obstante, un parámetro importante que debe ser ajustado, es el tiempo de espera para un ACK, ya que este paquete determinará si el mensaje llegó o no al destinatario, y a su vez

confirmar si el destinatario se encuentra conectado o no, pero este valor es muy pequeño y por motivos del tiempo de propagación del mensaje a largas distancias, genera que este tiempo supere el tiempo de ACK y que existan bastantes errores en la transmisión de datos o la pérdida total de la información.

Parámetros de configuración

Mikrotik permite manejar bastantes parámetros del Estándar 802.11, y esto es lo que hace que este equipo diferente a los demás, ya que para motivos de optimización del enlace y disminución de latencia, se debe cambiar ciertos parámetros que involucran salir del estándar. Mikrotik tiene una actualización llamada Nv2, que permite el uso de TDMA (Time Division Multiplexing Access) en lugar de CSMA (Carrier Sence Multiple Access), incorpora WDS (Wireless Distribution System) y uso de QoS, además de permitir cambiar ciertos parámetros del 802.11. El protocolo Nv2 ayuda a reducir la latencia por propagación de los procesos internos, ya que elimina los ACKs por cada paquete, también reduce o fracciona la cantidad de información enviada en cada paquete, incrementando así el ancho de banda (Gu, 2010).

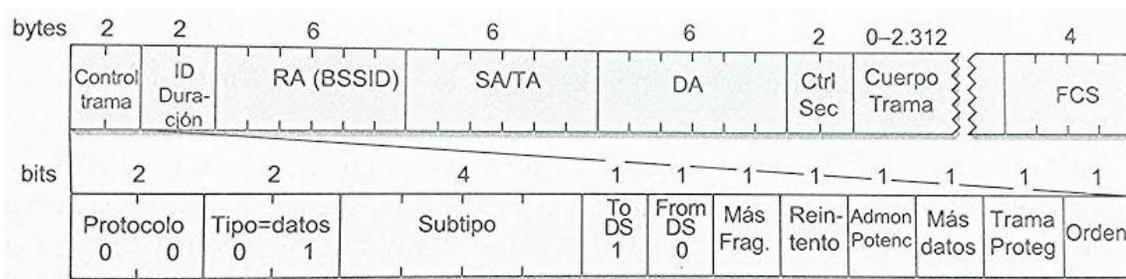


Figura 4. 2: Trama de WDS (Gast, 2006)

Al usar Nv2, se debe conocer ciertos parámetros relevantes (Gu, 2010), como:

- Nv2-queue-count: Especifica el número de niveles de prioridad a usar en el queue.
- Nv2-qos: Controla el QoS.
- Nv2-cell-radius: Especifica cuál es el cliente más lejano en Kms. Este parámetro cambia el tiempo del TDMA, considerando el tiempo de propagación.
- Tdma-period-size: Especifica en ms el tiempo del slot del TDMA.

Por otra parte, no solo el protocolo del Wireless es importante, sino que Mikrotik permite tener DFS (Dynamic Frequency Selection) que permite al equipo seleccionar la mejor canal de frecuencia, WMM (Wireless Multimedia Extention) que realiza un QoS básico para aplicaciones de multimedia (video, voz, etc.). El MTU (Maximum Transmission Unit) permite establecer el tamaño de los paquetes, y permitir un máximo de 1500 bytes (Krishnamurthy, 2002), pero el incremento del tamaño genera que los equipos pierdan eficiencia y necesiten un buffer más grande para almacenar mayor información.

Configuración de equipos Mikrotik

Los equipos de Mikrotik tienen un software de configuración denominado winbox, donde este programa mediante una búsqueda dentro de la red, identifica a las RouterBoard disponibles en la red. Este programa te permite manejar al equipo por un administrador web, aquí se pueden obtener estadísticas de los enlaces y los parámetros configurados en el equipo.

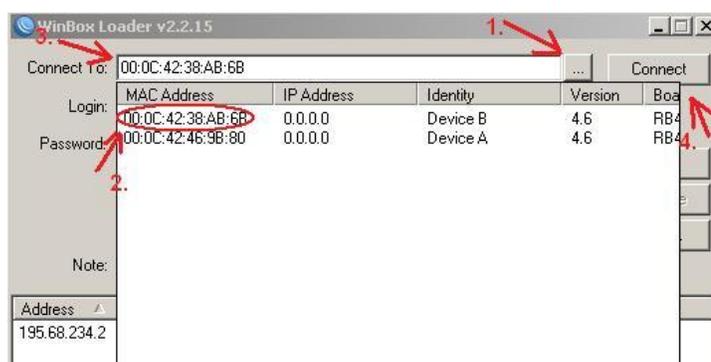


Figura 4. 3: Winbox

Para configurar los equipos para que puedan enlazarse entre ellos, se deben seguir ciertos pasos de instalación y configuración. Antes de todo, las tarjetas mini-PCI deben estar instaladas en los puertos del RouterBoard y las antenas conectadas a las tarjetas moduladoras, hay que tener mucho cuidado en alguna desconexión de alguna de estas partes, ya que podría generar un circuito abierto (Reflexión de toda la potencia) y dañar seriamente a los equipos. Los RouterBoard se deben configurar mediante bridges, donde se unen virtualmente a los puertos Ethernet con las tarjetas moduladoras. Para establecer un enlace, primero se debe crear la red inalámbrica, donde se le asigna un nombre para identificación interna, el tipo de chip usado para la modulación (Atheros), el tamaño de MTU (default a 1500), y la habilitación del ARP.

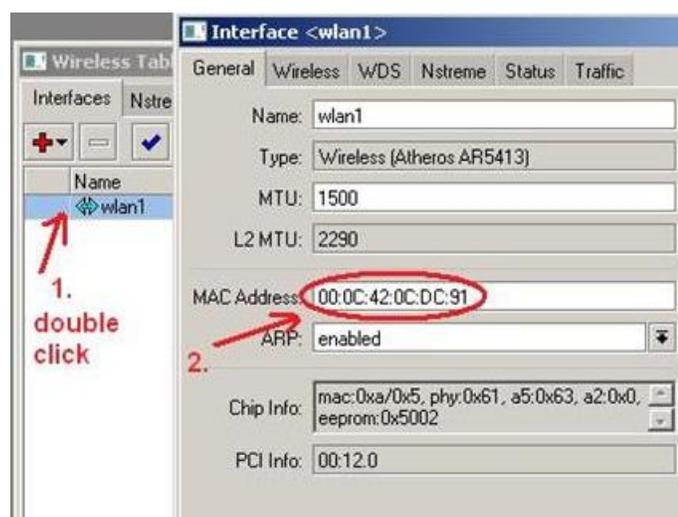


Figura 4. 4: Parámetros Generales del radioenlace

Segundo se deben configurar los parámetros del inalámbrico, donde se elige el tipo de modo de funcionamiento, la banda de frecuencia usada, el ancho de banda del canal (5 MHz, 10 MHz, 20 MHz, 40 MHz), la frecuencia del canal a usar en MHz, el nombre de difusión de la red o SSID, y el protocolo de Wireless (Nv2, 802.11, etc.). Es importante saber que si es elegido el protocolo Nv2 de Mikrotik, solo funciona con equipos que soporten este mismo tipo de protocolo. Y tercero, se debe configurar el WDS, el cual va a ayudar mucho con los enlaces móviles, en esta viñeta se debe ingresar el nombre de la celda principal y su dirección MAC.

El valor de la frecuencia del canal usado (Figura 4.5) difiere con el valor real transmitido. Dentro de las especificaciones técnicas de la tarjeta moduladora, se informa los valores frecuenciales a los que representan dichas frecuencias, es decir, la frecuencia de 2422 MHz se refiere a 922 MHz, en las tarjetas moduladoras para la banda de 900 MHz.

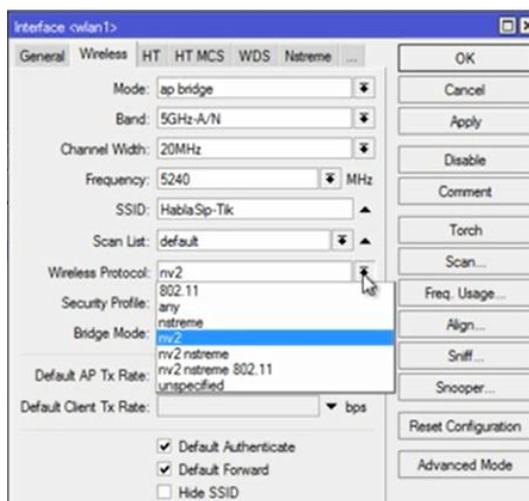


Figura 4. 5: Parámetros del Wireless

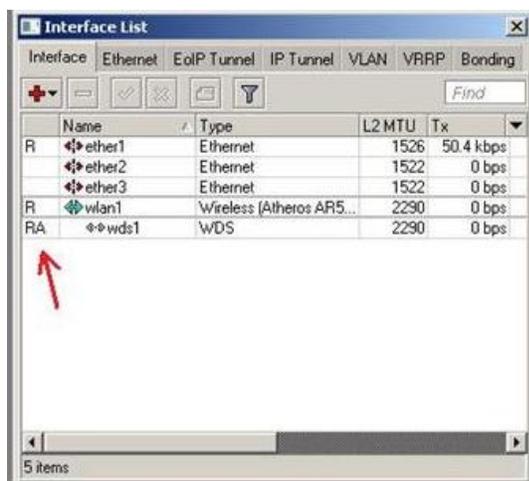


Figura 4. 6: Lista de Interfaces activas

La lista de interfaces nos indica cuáles interfaces tenemos reconocidas y configuradas. En el proceso descrito anteriormente, la tarjeta modulador XR9 es reconocida por la RouterBoard. El relacionamiento entre interfaces, va a permitir la comunicación entre dos puertos distintos, es por eso que se realiza un enlace entre el puerto Ethernet que se va a usar y la tarjeta moduladora. Para ello, se debe crear un nuevo enlace (Bridge), donde se puede

especificar el nombre, el MTU y la activación o desactivación del ARP. Al tener creado el enlace, se especifican los puertos que se van a enlazar bajo el enlace creado anteriormente, donde se tiene que detallar cuál interfaz se va a usar, cuál es el enlace, y la prioridad que este enlace tiene, así como se muestra en la Figura 4. 7. Y por último, se asigna una IP al enlace entre los puertos.

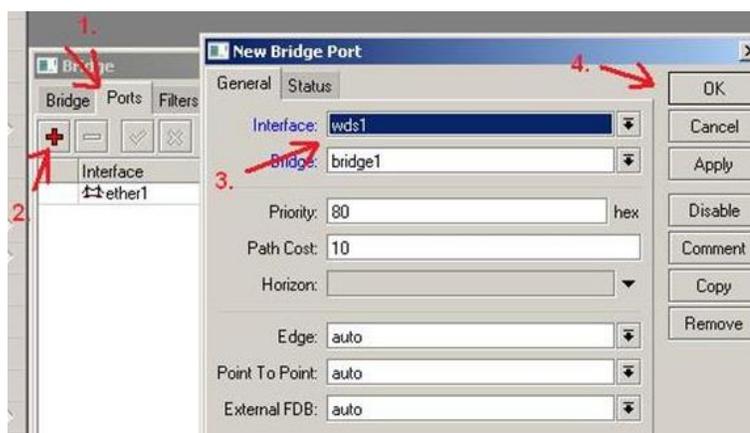


Figura 4. 7: Parámetros de los puertos enlazados

El proceso y la relación de los procesos, se los puede entender de mejor manera en la siguiente gráfica. Donde wlan1 es el nombre de la interfaz de la tarjeta moduladora, wds1 es el nombre de la WDS, Ether1 es el nombre del puerto Ethernet 1, y bridge1 es el nombre del enlace entre el puerto mini-PCI y el puerto Ethernet.

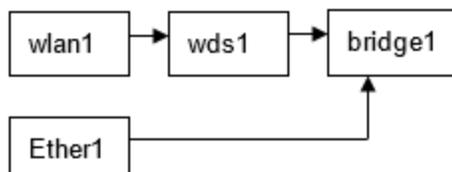


Figura 4. 8: Diagrama de los procesos de configuración

Descripción y configuración de cámara IP

Los parámetros de configuración de la cámara IP incluyen la resolución de la cámara, el tipo de compresión, el protocolo de transporte, la dirección IP, el número de cuadros por segundo, etc. La cámara IP 540 permite tener control PTZ y control, de audio y de video totalmente separado. En cuanto a configuración del equipo, presenta dos tipos de resolución: HD a 15 fps y 640 x 480 a 30 fps. Dado que la cámara se va a encontrar en movimiento a 120 Km/h, se necesitaría más de 25 cuadros por segundo para tener un video fluido, es por eso que no se recomienda el uso del modo Turbo Picture (resolución HD a 15fps) a pesar de su alta resolución.

La cámara permite una resolución de 640 x 480 (VGA) y una compresión de Motion-JPEG, MPEG-4 y H.264. Motion-JPEG es una compresión que mantiene una buena calidad de imagen y permite realizar RTP, pero el H.264 tiene una compresión más rigurosa y esto ayuda a disminuir la velocidad de transmisión necesaria. Mediante pruebas se determinó que los 25 fps a 120 Km/h no causan pausas en el video, solo se disminuye el detalle de los objetos.

Please set Stream-2's codec to Motion-JPEG if you wish to view the live stream on cell phones with web browser only (without a RTSP client).

Stream-1:		Stream-2:	<input type="checkbox"/> 3GPP Mode
Resolution:	VGA ▾	Resolution:	VGA ▾
Codec:	MPEG-4 ▾	Codec:	Motion-JPEG ▾
Framerate:	25 ▾	Framerate:	25 ▾
Quality:	3Mbps ▾	Quality:	Highest ▾

Figura 4. 9: Parámetros de configuración del video para la cámara IP570

Por otra parte, este equipo al ser IP, debe configurarse con la dirección IP y la máscara de subred y determinar los puertos que se usarían para su administración web (HTTP), el puerto

de RTSP o su RTP. El protocolo RTP, permite un multicast y es por eso que se debe poner una IP de multicast y el puerto que se usaría para generar el Transport Stream de video, aunque se debe saber que el video y el audio (Codificado a G.711PCM) es transmitido totalmente aparte, y es por eso que se le debe configurar con otro puerto distinto.

Multicast	
Video Address:	169.254.70.152
Video Port:	5160
Audio Address:	169.254.70.153
Audio Port:	5161

Figura 4. 10: Parámetros de configuración del RTP multicast



Figura 4. 11: Administración de la cámara en HTTP

Descripción e integración del piloto automático

El autopiloto del avión tiene características muy importantes en la automatización del UAV, ya que este dispositivo podrá determinar rutas de vuelo y el control de todo el avión. El autopiloto YAPAv2.0 de Paparazzi, es un autopiloto desarrollado en la universidad ENAC

(Ecole Nationale de l'Aviation Civile) en Francia. Este tipo de autopiloto tiene la capacidad de controlar los servos, para así maniobrar al avión para el despegue, aterrizaje y vuelo; el GPS incluido permite que el avión se mueva a través de puntos GPS programados en la ruta.

YAPA trabaja sobre el sistema operativo Ubuntu de Linux, es por eso que para su correcta instalación, se tiene dos diferentes maneras, una de ellas es usar un CD como booteo, en el cual se encuentra con todas las aplicaciones necesarias para el autopiloto, pero el contenido del CD es una versión antigua del 2008; la otra manera es descargar Ubuntu y la última versión manualmente desde la página de la ENAC.

Para la comunicación entre el autopiloto con el sistema de comunicación se requirió utilizar un conversor de serial RS232 a Ethernet RJ45, ya que toda nuestra red se encuentra bajo el protocolo IP, por lo que es necesario pasar todos los equipos a este tipo de protocolo.

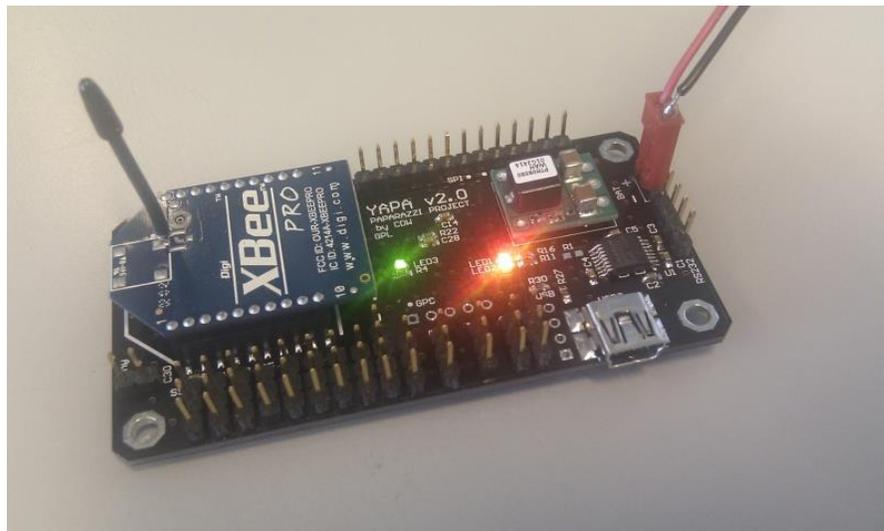


Figura 4. 12: Autopiloto Paparazzi modelo Yapa v2.0

En la Figura 4. 13 se muestra el diagrama de conexión del autopiloto, donde se puede observar que se tiene hasta 10 controladores de servo, 2 puertos ADC (Analog to Digital Converter), para conectar sensores analógicos, 1 puerto SPI (Serial Peripheral Interface Bus) para tener una conexión de datos serial síncrona, 1 entrada GPS y 1 entrada para transmisor XBee. Cabe recordar que el enlace serial SPI bus especifica 4 señales lógicas, donde SCLK es el reloj que permite la sincronización en la conexión, MOSI (master output, slave input) transmite la información hacia el receptor, mejor conocido como puerto TX, MISO (master input, slave output) transmite la información para el transmisor, mejor conocido como puerto RX, y SSEL (slave select) es el puerto donde se especifica si el equipo es transmisor o receptor, es decir, master o slave.

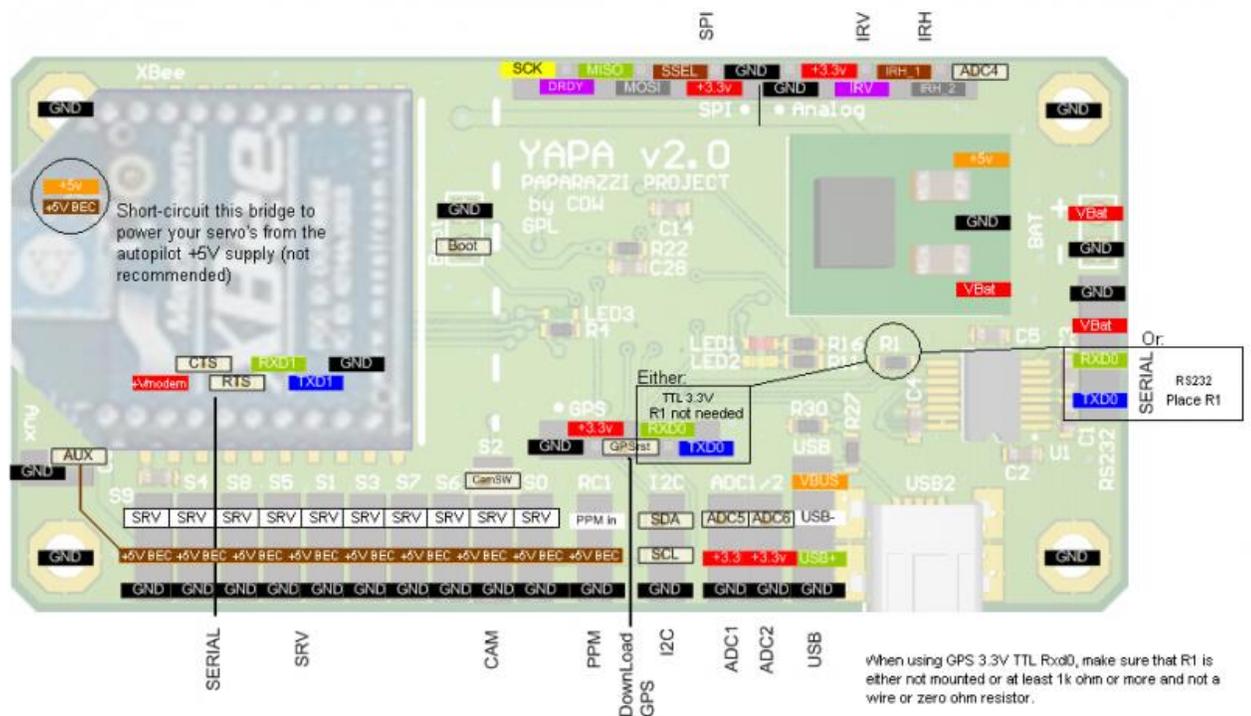


Figura 4. 13: Diagrama del Yapa v2.0 (Paparazzi, 2011)

La conexión SPI sirve para conectar un nivelador digital llamado CHIMU, usado para disponer de lecturas sobre la inclinación del avión. Este nivelador se lo configura como master en la conexión SPI. Los datos recogidos por el CHIMU, permite que el autopiloto tome decisiones para mover servos y estabilizar el avión o para conocer la inclinación necesaria para aterrizar, despegar y cumplir con la ruta de vuelo. En la Figura 4. 14 se muestra el diagrama de conexión del CHIMU al YAPA.

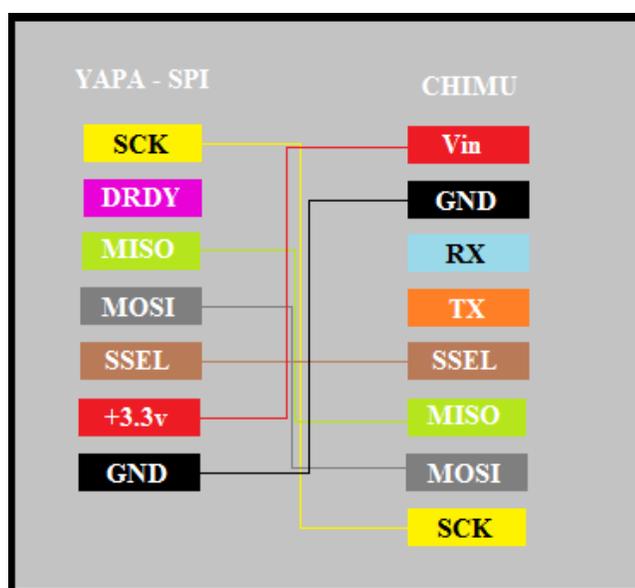


Figura 4. 14: Diagrama de conexión entre CHIMU y YAPA

CAPITULO V.- PRUEBAS Y RESULTADOS

A fin de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de comunicación y conocer sus limitaciones, estos deben ser probados y caracterizados. La caracterización de los equipos de comunicación, así como de los equipos complementarios para la solución, es muy importante, ya que a partir de los resultados obtenidos puede darse una clara idea acerca de su funcionamiento y cómo modificar su comportamiento, en respuesta a cambios en configuración o condiciones de uso.

Por lo tanto, las pruebas se encuentran divididas en tres partes: la primera, corresponde a la caracterización de los equipos de comunicación, generación eléctrica y complementos; la segunda, a la integración de todos los equipos que conforman al sistema como solución y, la tercera y última, son los resultados de las pruebas de los equipos en el avión no tripulado (UAV).

Caracterización de los equipos de radio comunicación

La caracterización de los equipos de comunicación, es la más importante de todas, ya que estos datos proporcionarán un mayor entendimiento acerca de las limitaciones de la solución y así optimizar la integración de los equipos.

Prueba 1: Temperatura vs Tiempo

Objetivo: Puesto que los equipos, por motivos de protección, se encontrarán encerrados dentro de una caja impermeable, debe realizarse una caracterización de la operación de dichos equipos en altas temperaturas y llegar a entender si la temperatura va a ser un problema o no.

Escenario: Prueba de laboratorio elaborada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Caja aislada térmicamente
- Tarjeta moduladora
- RouterBoard
- Cámara IP de video
- PoE (Power over Ethernet)
- Termómetro digital
- Datalogger
- Termocuplas

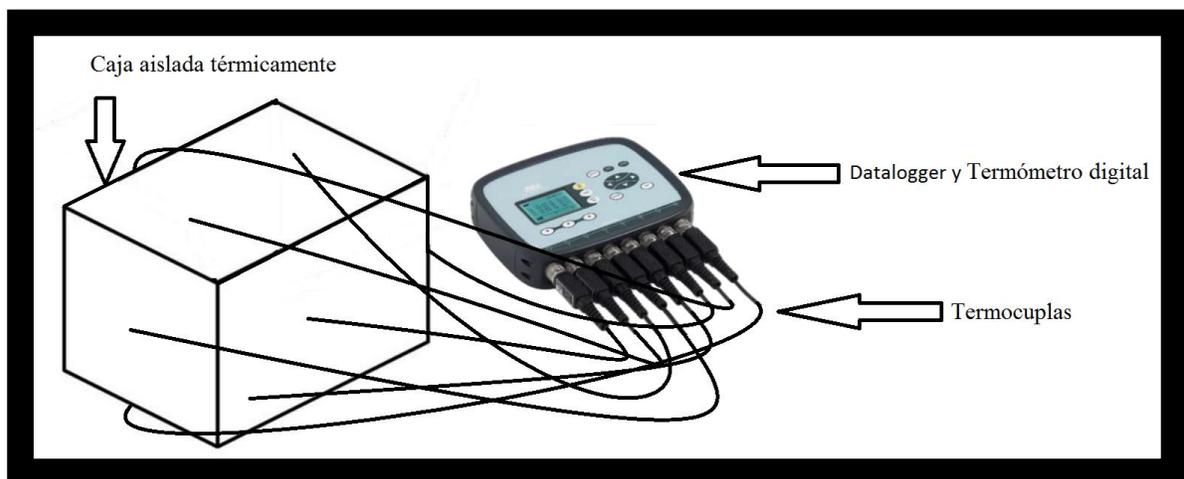
Esquema:

Figura 5. 1: Esquema de caracterización de temperatura

Método de Medición:

La medición de temperatura se realiza dentro de una caja aislada térmicamente, para que la temperatura interna no disminuya por causa de la temperatura ambiente, y dentro de esta caja se encierra a la tarjeta moduladora, el RouterBoard, la cámara de video y un alimentador PoE (Power over Ethernet); todos estos equipos se encuentran debidamente integrados y en funcionamiento a su máxima potencia. En la siguiente tabla se muestran los datos tomados.

Mediciones:

Tabla 5. 1: Temperatura vs. Tiempo

Tiempo [min]	Temperatura [°C]
0	27
10	29
20	33,5
30	34
40	38
50	39,5
60	40
70	42
80	44,5
90	47
100	49,2
110	49,4
120	50
130	51,8
140	52
150	52,2
160	52,2
170	52,29
180	52,3

Método de análisis:

El análisis de temperatura se realiza tomando datos de la misma durante un intervalo de tiempo. La prueba se realiza durante un total de 180 minutos y la toma de datos en intervalos de 10 minutos cada uno. En esta prueba se busca establecer la temperatura más alta y cómo se comportan los equipos al alcanzar dicha temperatura.

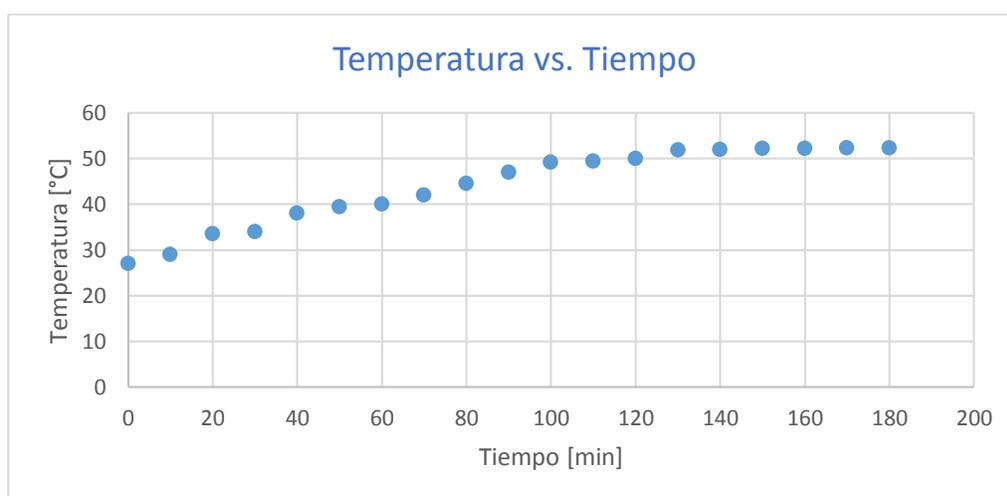
Resultados:

Figura 5. 2: Gráfico de la Temperatura vs. Tiempo

Conclusiones:

La prueba de temperatura muestra que la temperatura llega a un valor máximo de 53°C, que al compararse con la temperatura máxima de funcionamiento de los equipos de 65°C, conforme a las hojas de especificaciones, se encuentran dentro del rango de funcionamiento. Por lo tanto, se infiere que la temperatura no sería un problema, en condiciones de operación. Sin embargo, cabe mencionar que los equipos electrónicos a menor temperatura, tienen una

mejor eficiencia, por lo que se recomienda que la caja de almacenamiento de los equipos incorpore mecanismos de disipación de temperatura.

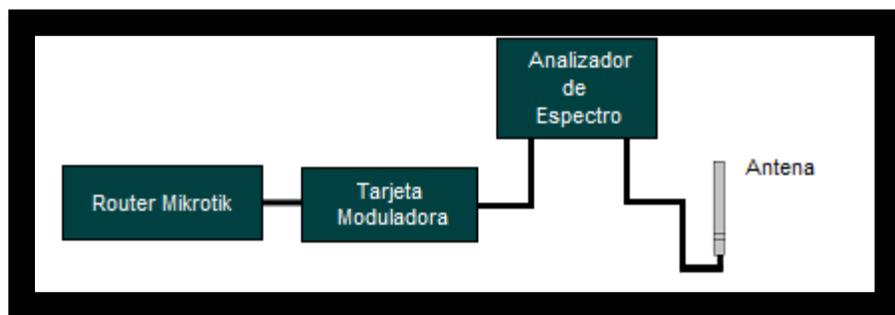
Prueba 2: Caracterización de la tarjeta de modulación

Objetivo: Caracterizar la tarjeta moduladora para comprender de qué manera la energía se encuentra distribuida a medida que se aumenta el ancho del canal, y determinar el esquema más eficiente en términos de potencia transmitida y velocidad de transmisión.

Escenario: Prueba de laboratorio elaborada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Analizador de Espectro
- Cables de interconexión
- Juego de conectores
- RouterBoard
- Tarjeta moduladora
- Antenas
- Computadora

Esquema:**Figura 5. 3: Esquema para caracterización de la tarjeta moduladora**

Rate	Tx Power	Real Tx P...	Total Tx ...
6Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
9Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
12Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
18Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
24Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
36Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
48Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
54Mbps	30dBm	30dBm	30dBm

Figura 5. 4: Configuración del tipo de modulación**Método de Medición:**

La caracterización de la tarjeta moduladora permite comprender la distribución y comportamiento de la energía al usar diversos parámetros y diversos esquemas de modulación, con el fin de determinar el ancho de banda más eficiente en términos de potencia y velocidad de transmisión. En primera instancia se analizaron los dos tipos de modulaciones posibles: OFDM y DSSS, los cuales fueron configurados como se muestra en la Figura 5.4. Se constató mediante el analizador de espectro, que si el equipo modulaba únicamente en OFDM o DSSS con las

configuraciones realizadas. Además, se constató que estos cambios generan un aumento o disminución de la potencia de transmisión.

Para esta prueba se estableció un enlace entre los equipos de comunicación, donde la salida del transmisor se encontraba conectada en serie al analizador de espectro y este a su vez a la antena. Dado que no todas las portadoras se encuentran activas en un mismo instante de tiempo, se utilizó la opción Max. Hold (Mantener Máximo) durante un minuto, para así observar el espectro del canal. Además, para obtener el ancho de banda real del canal, se ubicaron marcadores a -60 dB de la potencia máxima registrada (Agilent Technologies, 2013).

Por otra parte, se constató con el analizador de espectro los anchos de banda reales y las potencias de transmisión para diferentes anchos de banda (5, 10, 20 y 40 MHz) en la modulación OFDM. Por lo que, se configuró el ancho de banda como se muestra en la Figura 4.5 y mediante el analizador de espectro se midió el valor pico y el ancho de banda del canal a -60 dB del valor pico.

Mediciones:

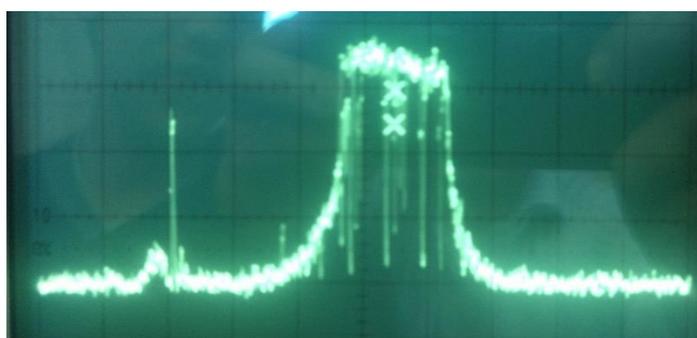


Figura 5. 5: Espectro de OFDM a 20 MHz de ancho de banda

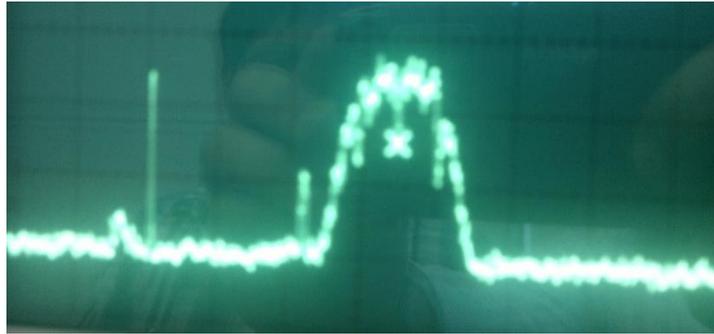


Figura 5. 6: Espectro de DSSS a 20 MHz de ancho de banda

Resultados:

Los equipos de comunicación hacen uso de la modulación OFDM para lograr velocidades de transmisión grandes, pero a largas distancias donde SNR disminuye considerablemente, la modulación DSSS es la mejor opción por su alta resistencia al ruido. También, es importante entender el comportamiento de los diferentes anchos de canal en modulación OFDM, por lo tanto se analizaron los canales de 5 MHz, 10 MHz, 20MHz Y 40 MHz. Donde, para 5 MHz, se midió un ancho de banda de 5,7 MHz y una intensidad promedio por cada subportadora de -33,82 dBm; para 10 MHz, se midió un ancho de banda de 10 MHz y una intensidad promedio por cada subportadora de -36,30 dBm; para 20 MHz, se midió un ancho de banda de 18.7 MHz y una intensidad promedio por cada subportadora de -36,81 dBm; y para 40 MHz, se obtuvo un ancho de banda real de 34,3 MHz y una intensidad promedio por cada portadora de -39,94 dBm.

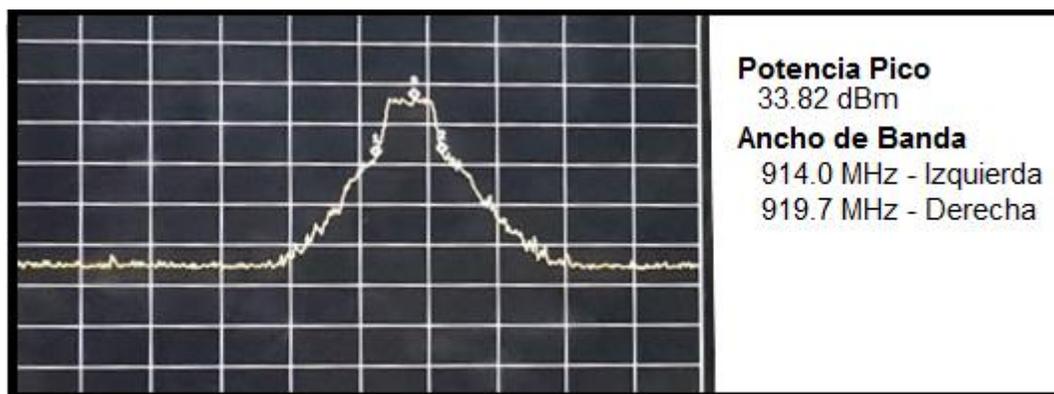


Figura 5. 7: Espectro de 5 MHz

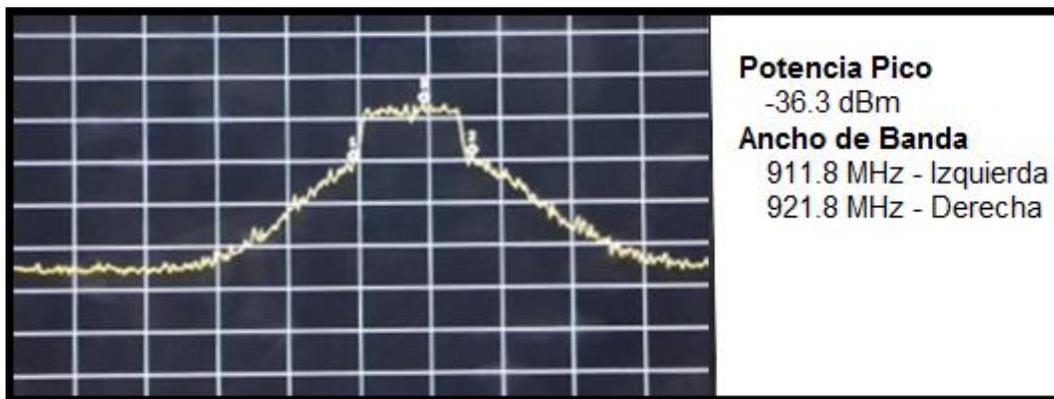


Figura 5. 8: Espectro de 10 MHz

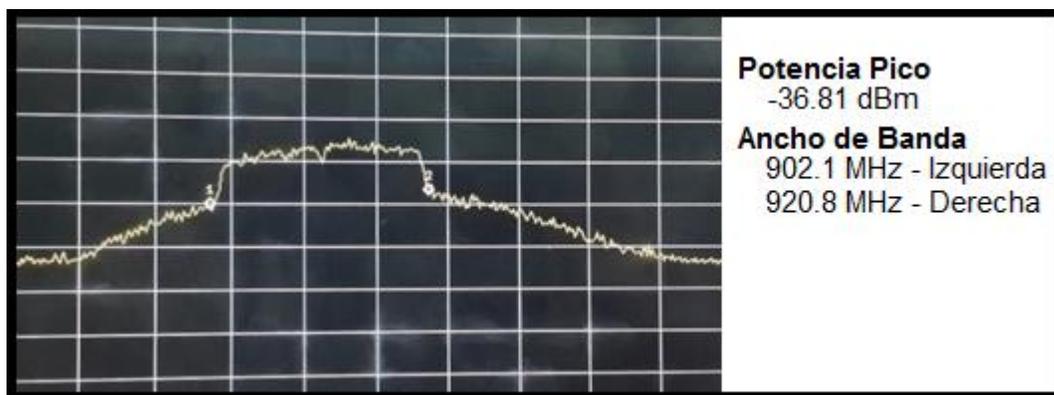


Figura 5. 9: Espectro de 20 MHz

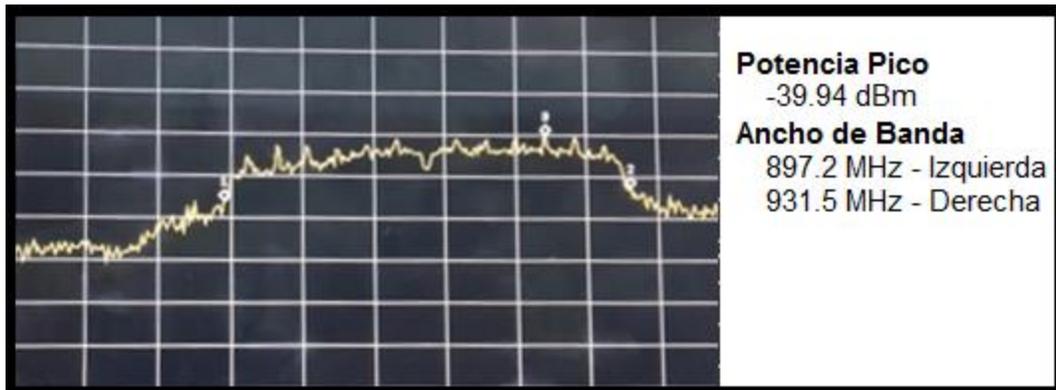


Figura 5. 10: Espectro de 40 MHz

Conclusiones:

Los datos recogidos demuestran que los anchos de banda de 20 MHz y 10 MHz tienen casi la misma intensidad de señal transmitida, en cambio, el canal de 40 MHz, divide la energía en dos canales de 20 MHz, por lo que cada canal de 20 MHz tiene la mitad de potencia, y por último, el canal de 5 MHz proporciona la mayor intensidad, por lo que permitiría alcanzar a una mayor distancia. El canal de 10 MHz proporciona 2,48 dB menos de intensidad que el de 5 MHz, y el canal de 20 MHz es 2,99 dB menos que el de 5 MHz, lo que significa que la potencia se reduce casi a la mitad. Por lo tanto, es más recomendable usar el canal de 5 MHz que los restos de canales de 10 MHz, 20 MHz y 40 MHz. No obstante, basándonos en el teorema de Shannon sobre la capacidad del canal (ecuación 19), se puede determinar que usar el canal de 20 MHz es la mejor opción, ya que al ser el ancho de banda directamente proporcional al límite del canal, el ancho de banda de 20 MHz permite transportar hasta cuatro veces más que 5 MHz a la misma potencia de recepción.

$$C = BW \log_2(1 + SNR) \quad (19)$$

La ecuación 19 explica la relación del ancho de banda y SNR entre la capacidad de transporte del canal, donde C es la capacidad del canal, BW el ancho de banda y SNR la relación señal a ruido ($SNR = P_{RX}/N$) de la potencia de recepción.

Prueba 3: Interferencia con el motor

Objetivo: Analizar el comportamiento de los equipos dentro de las condiciones de funcionamiento, por lo que se identifican los posibles factores que degradan a la calidad de la señal. La interferencia es un factor muy importante a considerar, ya que según el teorema del ancho del canal de Shannon (ecuación 19), los factores que afectan al canal son el ancho de banda y la relación señal a ruido (SNR), por lo tanto se realiza un análisis de la interferencia que el motor puede generar, por lo tanto, si existe mucho ruido o interferencia, genera una disminución en la SNR y esto a su vez la capacidad del canal.

Escenario: Prueba de laboratorio elaborada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Analizador de Espectro
- Cables de interconexión
- Juego de conectores
- RouterBoard
- Tarjeta moduladora
- Antenas
- Computadora
- Motor de avión a combustible 3W 85Xi

- Cámara IP de video

Esquema:

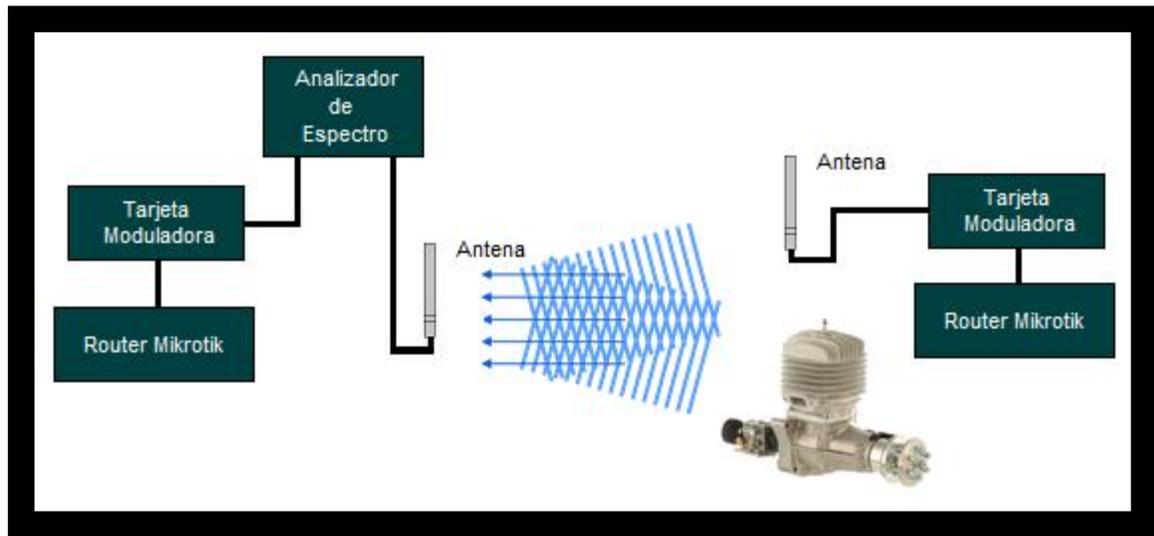


Figura 5. 11: Esquema de enlace con interferencia

Método de Medición:

Primero se realiza un barrido con el analizador de espectro en el rango de frecuencias comprendidas entre 860 MHz y 940 MHz, sin que los equipos de comunicación y el motor se encuentren encendidos, para así obtener una referencia del ruido ambiental. Luego se procede a encender el motor e identificar el aumento del piso de ruido agregado al ambiente por los armónicos que la ignición para la combustión interna del motor genera. Por último, se repite el proceso pero con el enlace de radio activo y transmitiendo los datos enviados por la cámara IP.

Mediciones y Resultados:

En las Figuras de a continuación muestran el incremento del piso del ruido del motor a combustión, pero cabe señalar que dentro de las Figuras, se puede evidenciar que alrededor de 860 MHz se encuentran varias portadoras, las cuales son provenientes de las celdas de celular, pero para nuestro propósito han sido excluidas.

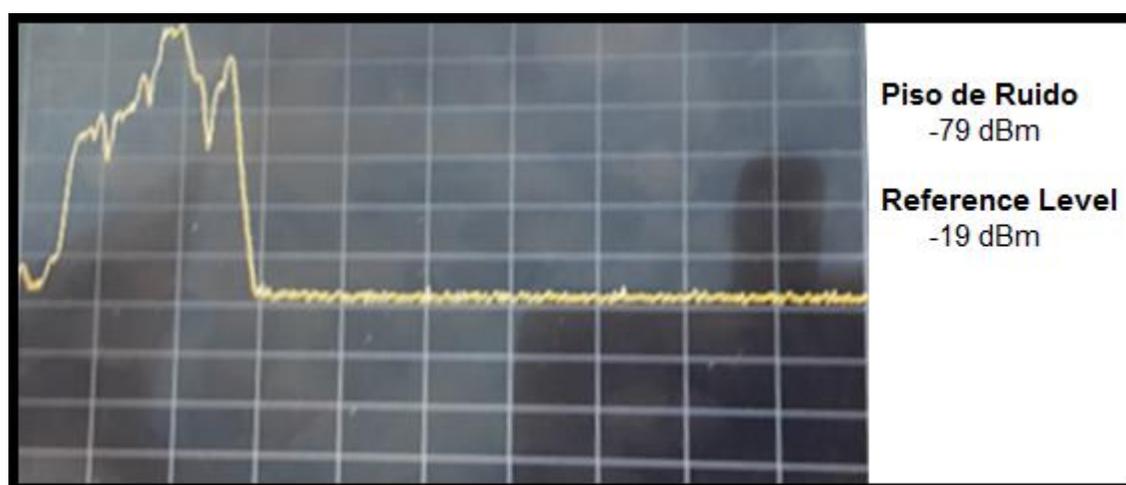


Figura 5. 12: Espectro del ruido ambiental

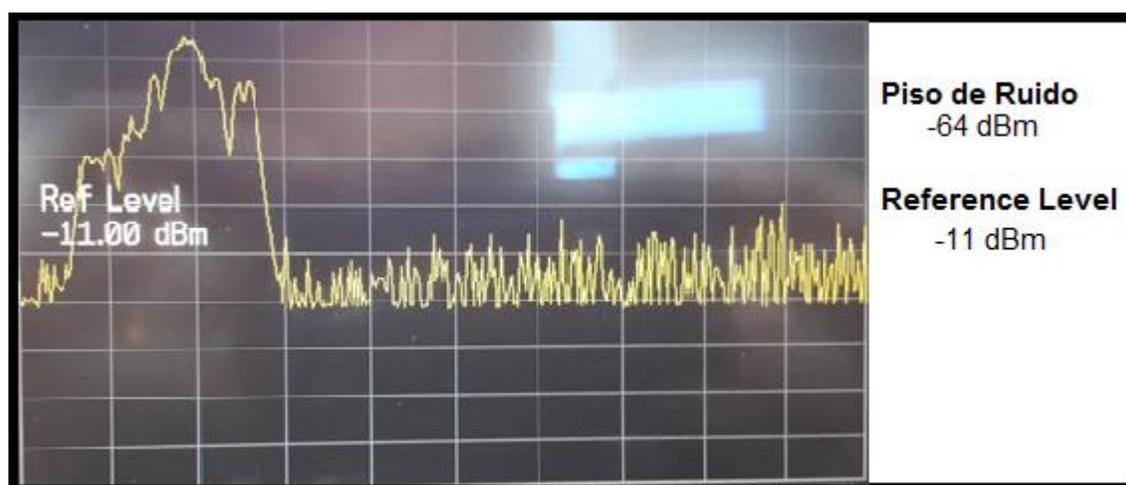


Figura 5. 13: Espectro de la interferencia del motor más ruido ambiental



Figura 5. 14: Espectro de la señal más interferencia y ruido

Conclusiones:

Basándonos en los resultados mostrados en las figuras anteriores, se puede deducir que sí existe una interferencia por parte del motor, ya que aumenta la potencia del ruido en 15 dB por espurias, además, se observa que la banda de uso celular (860 MHz) se encuentra presente, es por eso que se encuentra presente un canal al lado izquierdo de las gráficas espectrales. Dado que las espurias generadas por el motor son muy pequeñas a comparación del nivel de la señal del enlace, se puede descartar que este no es un problema muy importante, pero si se recomendaría aislar al motor conectando su chasis a tierra.

Prueba 4: Sensibilidad de Recepción y Velocidad de Transmisión

Objetivo: Para entender el comportamiento del equipo de comunicación, se realizó la prueba de Sensibilidad vs. Velocidad de transmisión, donde se establece el máximo de velocidad de transmisión que se llega a tener, dependiendo del nivel de recepción. Por lo tanto, el objetivo de

la prueba es la de establecer los límites en la velocidad de transmisión en términos de la potencia de recepción.

Escenario: Prueba de laboratorio elaborada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Cables de interconexión
- RouterBoard
- Tarjeta moduladora
- Antenas
- Computadora
- Cámara IP de video
- Vatímetro

Esquema:

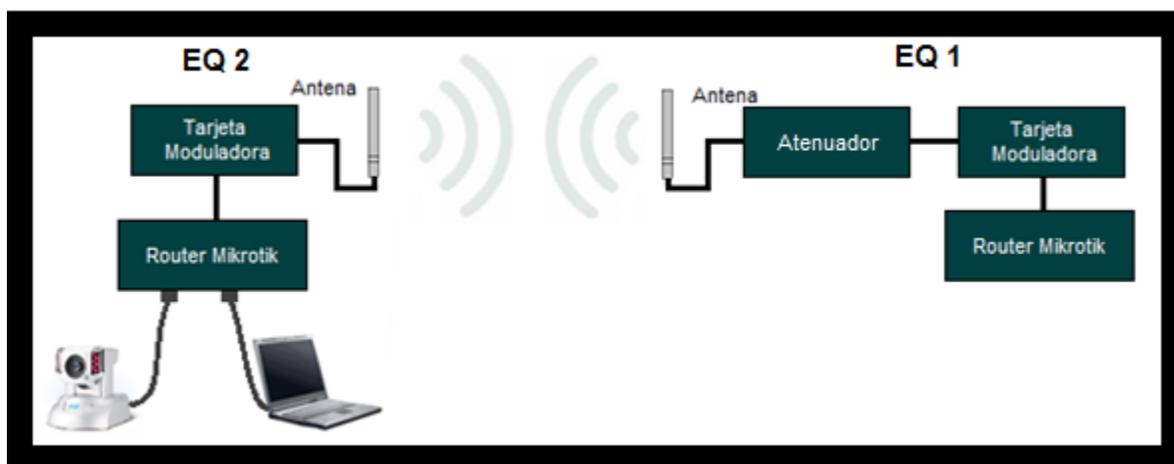


Figura 5. 15: Esquema de enlace

Método de Medición:

La prueba se realiza midiendo el nivel de recepción del equipo y la máxima velocidad de transmisión que se puede tener para OFDM, por lo que se satura al canal enviando video en alta definición. La potencia de recepción fue medida por medio de un vatímetro en serie a la antena y la tarjeta moduladora del receptor, y la velocidad de transmisión, fue obtenida mediante el software administrador de los equipos de comunicación (Winbox). Por lo tanto, la potencia de transmisión era disminuida parcialmente para así generar una disminución en la potencia de recepción y mediante el software administrador, se obtenía la velocidad máxima del canal.

Mediciones y Resultados:

Tabla 5. 2: Prueba de Sensibilidad vs. Velocidad de transmisión

Tx EQ1 (dBm)	Tx EQ2(dBm)	Atenuación (dB)	Rx EQ1 (dBm)	Rx EQ2 (dBm)	Tasa Tx/Rx EQ1 (Mbps)	Tasa Tx/Rx EQ2 (Mbps)
00:0C:42:B4:9D:3A	00:15:6D:69:61:6A		00:0C:42:B4:9D:3A	00:15:6D:69:61:6A	00:0C:42:B4:9D:3A	00:15:6D:69:61:6A
30	30	0	-54	-54	36/36	36/36
30	29	0	-54	-54	36/36	36/36
30	28	0	-55	-54	36/6	54/36
30	27	0	-56	-54	36/54	48/36
30	26	0	-57	-54	36/54	54/36
30	25	0	-58	-54	36/54	54/36
30	24	0	-59	-54	36/54	54/36
30	23	0	-61	-54	36/54	54/36
30	22	0	-63	-54	36/54	54/36
30	21	0	-62	-55	36/54	54/36
30	20	0	-64	-54	36/48	54/36
30	19	0	-66	-54	36/36	36/36
30	18	0	-66	-52	36/6	48/36
30	17	0	-64	-52	36/54	54/36
30	16	0	-66	-52	36/54	54/36
30	15	0	-66	-53	36/6	18/36
30	14	0	-65	-54	36/54	54/36
30	14	1	-66	-55	36/36	36/6
30	14	2	-67	-56	36/36	36/18
30	14	3	-67	-57	18/54	54/18
30	14	4	-69	-58	36/54	6/36
30	14	6	-71	-60	36/6	6/36
30	14	8	-73	-62	36/6	18/6
30	14	10	-76	-64	36/6	6/6
30	14	15	-82	-70	6/6	6/18
30	14	20	-87	-75	6/6	6/6
30	14	23	-90	-76	6/6	6/6
30	14	25	-	-	-	-

Conclusiones:

Los resultados de la prueba muestran que las velocidad de transmisión en la modulación OFDM, no son iguales a las encontradas en el datasheet de la tarjeta moduladora XR9 (Anexo C). Las velocidades de transmisión respecto a la sensibilidad de recepción, cambian abruptamente, donde se muestra que el mínimo que se llega a tener es de 6 Mbps y con un máximo de 54 Mbps. Además, se encuentran algunas inconsistencias en las capacidades del canal, esto se debe al algoritmo de control de velocidad (ONOE), el cual selecciona la capacidad del canal (máximo 54 Mbps y mínimo 6 Mbps) cada 1000ms, dependiendo de la latencia de los ACK's, la magnitud del BER y SNR. (Xia, 2013)

En conclusión, el equipo cumple parcialmente con las especificaciones técnicas, ya que logra trabajar al máximo de 54Mbps y a un mínimo de 6 Mbps, pero el sistema no trabaja de igual manera según el datasheet (Anexo C), por lo que se considera 6 Mbps como la capacidad del canal

Caracterización de equipos complementarios**Prueba 5: Caracterización del comportamiento de la cámara IP**

Objetivo: Determinar subjetivamente el comportamiento del video a diferentes velocidades de transmisión, capacidad del canal y temperaturas.

Escenario: Prueba de laboratorio elaborada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Cables de interconexión
- RouterBoard
- Tarjeta moduladora
- Antenas
- Computadora
- Cámara IP de video
- Termómetro digital
- Datalogger
- Termocuplas

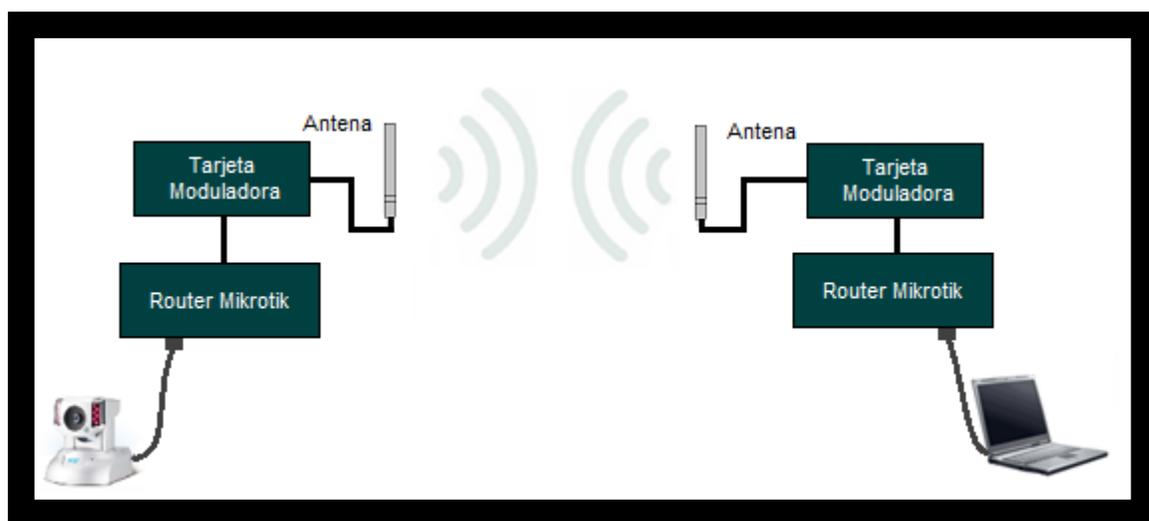
Esquema:

Figura 5. 16: Esquema de caracterización del tráfico de la cámara

Método de Medición:

La velocidad de transmisión que la cámara IP, puede ser controlada directamente desde la cámara como muestra la Figura 4.9, en el cual se varió la calidad del video y se observó el comportamiento del video. Dentro de la configuración de los enlaces de radio, se fue disminuyendo la capacidad de transmisión del canal (Anexo J) para observar el comportamiento del video. Por otra parte, se realizó la prueba de temperatura, en la que se puso en funcionamiento a la cámara dentro de una caja herméticamente cerrada, conjuntamente con un sensor de temperatura, se midió la temperatura cada 10 minutos.

La subjetividad es medida según el nivel de pixelamiento de la imagen, por lo que se considera buena si los objetos pueden ser reconocidos y no tienen cortes o congelamientos en la imagen.

Mediciones y Resultados:

Un problema encontrado al disminuir la capacidad del canal, es que el flujo del video comienza a tener cortes o congelamientos, pero la calidad de la imagen no disminuye significativamente, es decir, su calidad de imagen es casi la misma, pero el flujo del video es comprometido. Otro problema, es el un aumento de la velocidad de reproducción o el congelamiento en el flujo del video, periódicamente y en especial si existen muchos objetos en movimiento.

Conclusiones:

Al realizar las pruebas de la variación de la calidad de la imagen, solamente se percibe una pixelación de la imagen, pero esto no afecta al reconocimiento de objetos y es casi imperceptible para el ojo humano.

Por otra parte, la limitación de la velocidad del canal, se concluyó que una mala recepción del enlace, la velocidad de transmisión disminuye y esto a su vez degrada la calidad del video. Además, los cortes o congelamientos en el video al momento de tener objetos en movimiento, se debe a que la velocidad de transmisión aumenta ya que el codificador no puede comprimir de la misma manera que al tener una imagen en estático. La capacidad del buffer (espacio de memoria interna) que tiene el RouterBoard para el encolamiento de paquetes recibidos es muy pequeña para este tipo de aplicación, ya que al llenarse la memoria de paquetes provenientes de la cámara u otros dispositivos, aumenta la velocidad de entrega para vaciar esta memoria.

En cambio, la prueba de temperatura de la cámara es la misma que se realizó a los equipos de comunicación, ya que la cámara se encontraba en funcionamiento de igual manera que los equipos de comunicación, en esta prueba se pudo mostrar que la temperatura máxima que se puede llegar a tener es de 53°C, como se muestra en la gráfica de la Figura 5.2 de la Prueba 1.

Caracterización del autopiloto y consumo eléctrico

El autopiloto fue probado para entender el funcionamiento del mismo, por lo que se pudo llegar a encontrar ciertos problemas y tiempos de calibración, no obstante, solo se necesita una calibración única, pero se debe esperar que todos los sistemas electrónicos se autocalibren por si solos cada vez que son encendidos. Cabe destacar que el GPS tarda aproximadamente unos 30 a 45 minutos para establecer su posición al autocalibrarse inicialmente, pero este dispositivo guarda la última coordenada en la que se encontró y transmite aproximadamente 2770 puntos en 15 minutos. El consumo eléctrico por parte de los motores servos y del autopiloto, es mínima, es por eso que este a su vez tiene un paquete de baterías de baja capacidad y dado que es un equipo muy sensible a las variaciones de potencia, se ha decidido separar eléctricamente el sistema de control del avión y el sistema de comunicaciones.



Figura 5. 17: Paneles de información para el autopiloto

La generación eléctrica del sistema es una de las partes más críticas del mismo, ya que de esta misma dependerá la autonomía y tiempo de funcionamiento de todos los equipos como el piloto automático, el sistema de comunicación y superficies de control del avión. Para obtener el consumo de todos los equipos para partir de ahí para encontrar la solución más óptima para la generación eléctrica. Se tomó el consumo máximo de cada equipo y se sumó todo para ver el consumo de todos los equipos en su consumo máximo, también se tomó en consideración un 40% extra en caso de que se implemente más equipos a futuro.

Prueba 6: Caracterización del consumo eléctrico de los componentes

Objetivo: El consumo eléctrico es un problema en aeronaves de este tipo, por lo que es muy importante cuantificar el consumo eléctrico real de todos los equipos que se encontrarán a bordo, a fin de dimensionar la alimentación eléctrica necesaria para suplir con las necesidades eléctricas propuestas.

Escenario: Prueba de laboratorio elaborada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Cables de interconexión
- RouterBoard
- Tarjeta moduladora
- Antenas
- Computadora
- Cámara IP de video
- Autopiloto YAPAv2
- PoE
- Conversor RS232/Ethernet Wiznet WIZ110SR
- Servos

Esquema:

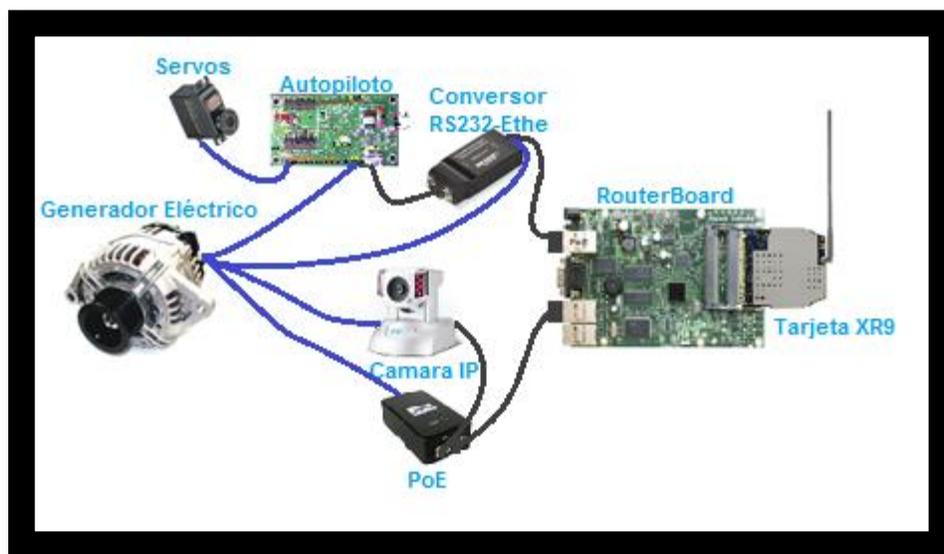


Figura 5. 18: Esquema de conexión de todos los equipos

Método de Medición:

Toda la solución de comunicación y control del avión, fue interconectada entre sí, para medir el consumo de cada uno de los componentes o equipos usados y se midió el voltaje y corriente de alimentación independientemente. Primero, se midió el voltaje y corriente del RouterBoard sin conectar la tarjeta XR9, luego se conectó la tarjeta moduladora trabajando a su máxima potencia y se midió el voltaje y corriente de alimentación. Segundo, se midió el consumo de la cámara IP al encontrarse transmitiendo imágenes con objetos en movimiento y control PTZ activado. Tercero, se midió el consumo del autopiloto sin los servos conectados y se midió la corriente pico al hacer uso de los servos conectados en el autopiloto. Por último, se midió el consumo del convertidor RSR232 a Ethernet, transmitiendo un flujo de datos.

Mediciones y Resultados:

Tabla 5. 3: Consumo eléctrico de cada equipo

Equipo	Consumo (Amp)	Voltaje (V)	Potencia (W)
RouterBoard RB433AH	0,5	12	6
Tarjeta RX9	2	12	24
Cámara IP	2	12	24
PILOTO AUTMATICO	0,5	12	6
Conversor RS232/Ethernet	0,8	12	9,6
Servos	1,5	12	18
Total de consumo máximo	7,3	12	87,6
40% extra futuro	2,92	12	35,04
TOTAL	10,22	12	122,64

Se incluyó un 40% de crecimiento para nuevos componentes que puedan ser agregados en un futuro, como el uso de sensores de temperatura, infrarrojo, etc.

Conclusiones:

El consumo eléctrico es muy alto para ciertos equipos, dado que la cámara tiene un control PTZ, el cual consume mucha energía y la cantidad de servos utilizados, hacen que la corriente aumente a 1.5 A y un consumo de 87.60W de potencia. Esto indica que no se pueden

hacer uso de baterías, ya que el consumo eléctrico es muy alto para la capacidad que las baterías puedan proporcionar, por lo que se recomienda el uso de un generador eléctrico (alternador). No obstante, se debe considerar un crecimiento dentro del sistema de alimentación eléctrica, por lo tanto, es pertinente considerar un 40% del consumo total medido.

Como se puede observar en la Tabla 5.3, se ve que nuestro requerimiento de generación abordó del avión es de doce voltios y diez punto veintidós amperios, el otro problema del requerimiento es que no deben ser muy pesado ya que se estaría usando una gran parte del payload del avión para llevar la generación eléctrica del mismo. Se comenzó como primera opción el uso de baterías, pero para el requerimiento en tanto en voltaje como en corriente se hizo una comparación entre las baterías NiMh, LiPo y A123.

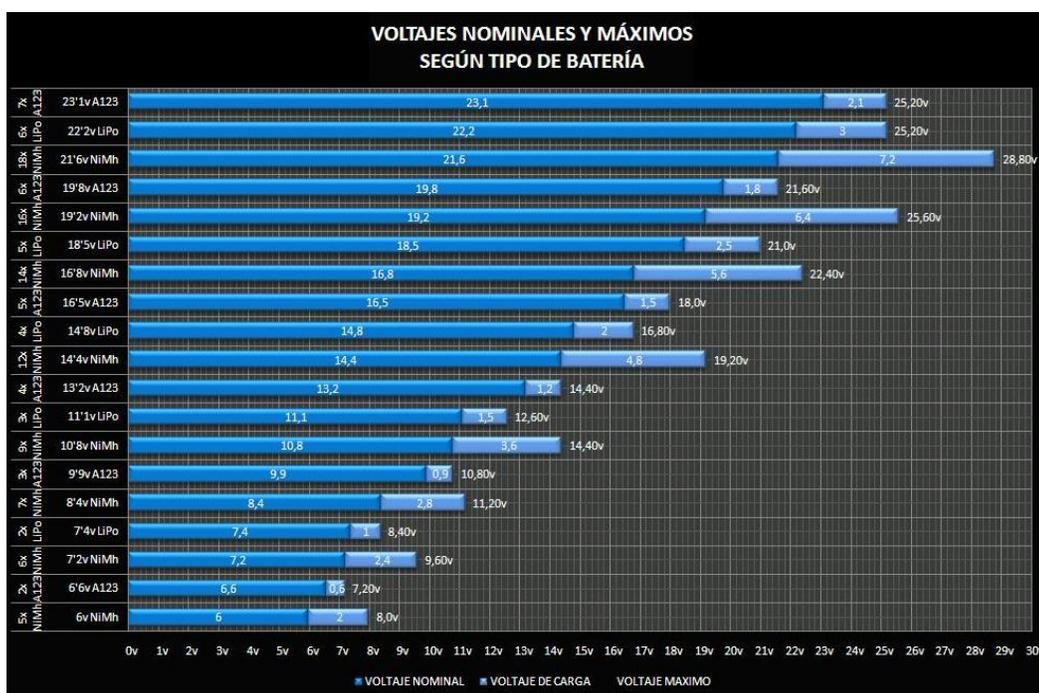


Figura 5. 19: Voltajes nominales según el tipo de batería (CochesRc, 2012)

Como se observa el mejor tipo de batería es la A123 ya que su voltaje es de 12V y muestra una alta capacidad de 40000 mAh; sin embargo, su peso es de alrededor de 8kg por lo que no es viable su uso; mientras que la batería LiPo tiene la mitad de la capacidad pero todavía cumple con nuestros requerimientos. Las características de la batería LiPo es de 12V y 20000mAh y su peso es de 800 gr lo cual es ideal para nuestra aplicación. El único inconveniente que se encontró en el uso de esta batería que debe cuidarse en el tiempo de carga de las mismas, que su corriente de carga se mantiene dentro de la especificación del fabricante, el no realizar sobre cargas; adicionalmente se debe tener cuidado de no golpear las baterías y no exponerlas a altas temperaturas y lo más importante no descargar por completo las baterías. Estas recomendaciones se las tiene que tener muy en cuenta ya que este tipo de baterías son muy volátiles ya que contiene mucho poder energético en un empaque muy reducido y compacto. Por lo tanto para realizar las pruebas del sistema y de equipos solo se utiliza un pack de baterías con una duración de alrededor de una hora y veinte minutos.

Debe cuidarse también la parte de protección en la red de generación ya que estas baterías son de gran capacidad y pueden dañar los equipos que se encuentran conectados a la red de generación. Las protecciones recomendadas son un fusible y usar reguladores de voltaje en la línea principal de la red.

Comunicaciones a largas distancias

Enlaces a largas distancias son muy problemáticos. Uno de sus mayores problemas es la latencia (delay) de la señal, además de la optimización del enlace al momento del

apuntalamiento. Es importante, analizar los problemas de los sistemas de comunicación a largas distancias, para determinar las posibles fallas que la distancia genera al video y a la limitación de la velocidad del canal.

Prueba 7: Comportamiento de un enlace estático a larga distancia

Objetivo: Analizar y comprender el comportamiento de enlaces para largas distancias.

Escenario: Universidad San Francisco de Quito y Cerro Ilaló

Equipos:

- Cables de interconexión
- RouterBoard
- Tarjeta XR9
- Antena tipo grilla de 15 dBi
- Cámara IP

Esquema:

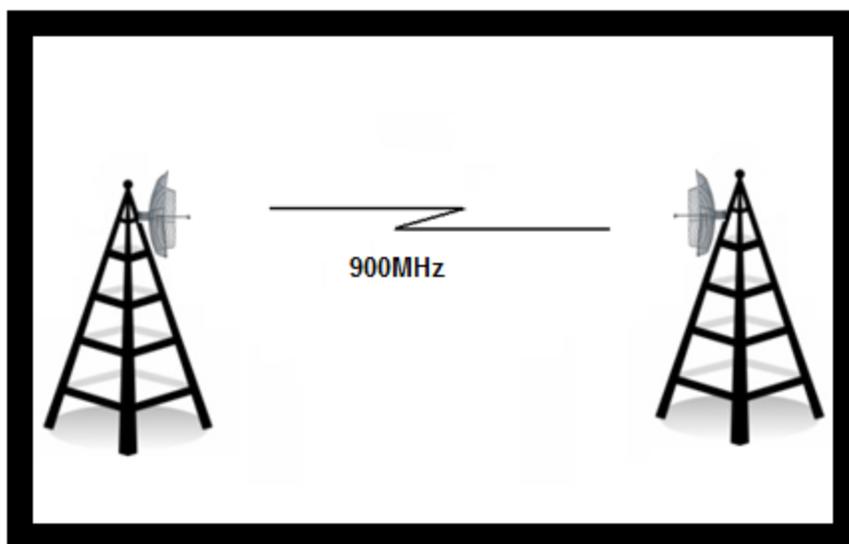


Figura 5. 20: Diagrama de enlace estático a larga distancia

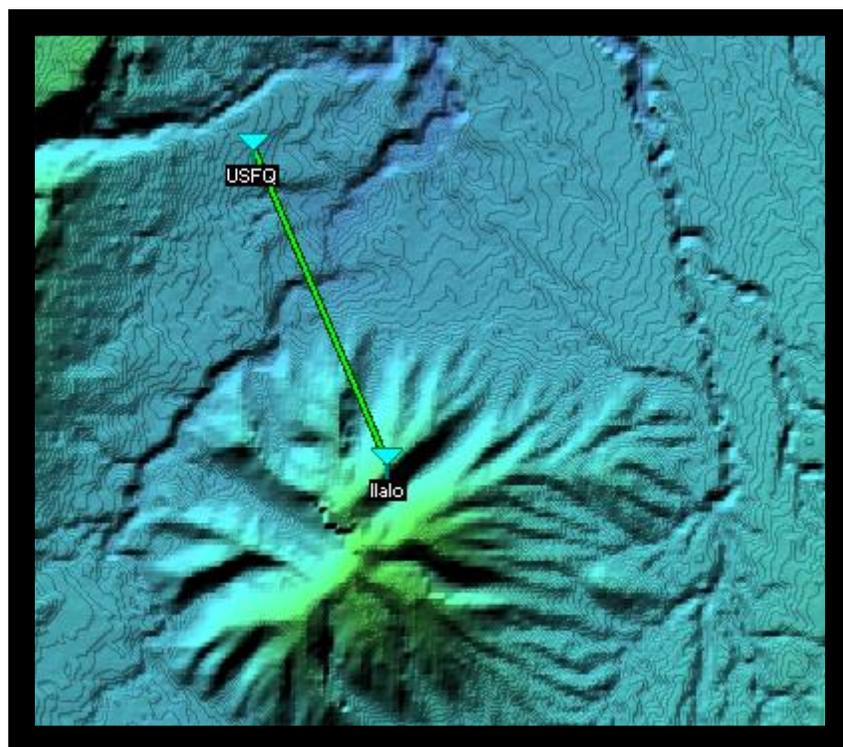


Figura 5. 21: Diagrama de enlace USFQ a Ilaló

Método de Medición:

Se instalaron las dos antenas tipo grilla sobre mástiles telescópicos de 3m de altura, se alinearon las antenas con una brújula y un inclinómetro, se instalaron los RouterBoard y se los configuró a 20 MHz y a su máxima potencia (28dBm). Se inició la transmisión y se recogieron los datos capturados del RouterBoard receptor, mediante el software de gestión de redes, dentro de la pestaña de interfaces como lo muestra la Figura 4.6, donde nos muestra la frecuencia (frecuencia referencial no real), la calidad del enlace, la latencia de los ACK's y el nivel de recepción.

Mediciones y Resultados:

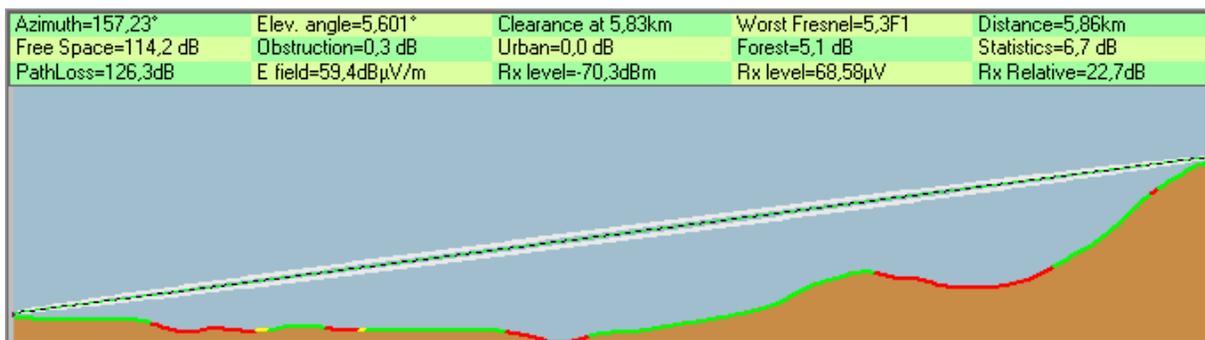


Figura 5. 22: Simulación del enlace entre USFQ y Cerro Ilaló



Figura 5. 23: Fotografía del ensamble del sistema de comunicación



Figura 5. 24: Fotografía del video transportado de la prueba estática

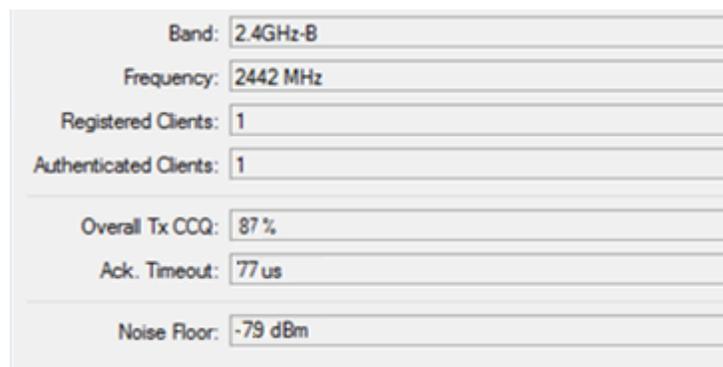


Figura 5. 25: Estado de la prueba a larga distancia

Conclusiones:

El radio enlace entre la USFQ - Universidad San Francisco de Quito ($0^{\circ}11'52''S$, $78^{\circ}26'04.2''O$) y el cerro Ilaló ($0^{\circ}14'47.1''S$, $78^{\circ}24'50.7''O$) fue exitoso, ya que se pudo enviar video en baja calidad a una distancia de 5.86 Kms. El video transmitido y el control de la cámara tenía un retardo considerable, pero el video no tenía ningún corte o congelamiento, como se muestra en el siguiente video <https://www.youtube.com/watch?v=85dCYubHZEE>. La potencia de recepción calculada por Radio Mobile es de -70.3dBm, pero la potencia recibida es de -79dBm y con una velocidad del canal de 46.98Mbps. No obstante, en la Figura 5.25 muestra que el CCQ (Client Connection Quality) es del 87%, este “es un valor en porcentaje que muestra que tan efectivo es la velocidad de transmisión respecto a la velocidad teórica máxima disponible. CCQ es el valor medio del T_{min} / T_{real} , que se calcula para cada trama transmitida” (Gu, 2010), donde T_{min} es el tiempo que se necesitaría para transmitir una trama dada a la tasa más alta con ningún reintento y T_{real} es tiempo que se tardó en transmitir la trama en la vida real tomando en cuenta los reintentos.

El problema de la alta latencia se debe a que la normativa IEEE802.11 hace uso de ACK's para identificar el recibo los datos enviados en las tramas, por lo que es necesario hacer

uso del protocolo Nv2 de Mikrotik, para obviar esta información innecesaria para esta aplicación, también, se pudo descubrir que se puede mejorar la latencia si el MTU disminuye (Figura 4.4).

Se analizó la razón de la diferencia de 8.7 dB entre la potencia de recepción real (Figura 5.25) y la simulada (Figura 5.22), se consideró la posibilidad que las pérdidas se relacionen con multipath; sin embargo, el tiempo de guarda en OFDM es alrededor de 200ns (Van Nee & Prasad, 2000); y al calcular la diferencia en metros de la trayectoria de un multipath a una distancia de 6 Kms, el retardo alcanzaría apenas a 44.4ns, que se encuentra dentro del tiempo de guarda por lo que no se considera un problema. Cabe destacar que el retardo para enlaces menores a 1.3Kms, se vuelven un problema.

Integración y comportamiento del sistema

Los comportamientos de todos los sistemas y equipos que conforman la solución, fueron probados independientemente, para realizar ajustes y optimizar su funcionamiento conjunto. Primero, se realizó la integración de la cámara con el sistema de comunicación, para transportar un flujo de video a corta distancia, donde se tuvo que configurar al RouterBoard para que pueda permitir el paso del protocolo RTP en el puerto usado y se cambió ciertos parámetros de configuración. Después, se integró el autopiloto con el sistema de comunicación, para transportar un flujo de datos de control del avión (Servos, GPS, Inclínómetro, Acelerómetro, etc.), pero, dado que el piloto automático tiene una salida RS232 / Serial, se utilizó un conversor de puerto Serial a Ethernet, Wiznet WIZ110SR (velocidad máxima de 230Kbps para Serial y

10/100 Mbps para Ethernet). Finalmente, se realizó la integración del autopiloto, la cámara y el sistema de comunicación, donde se configuró a cada equipo con una IP distinta bajo la misma subred. Se realizó calibración de todos los sistemas en conjunto y se comprobó el comportamiento de los mismos.

Prueba 8: Integración del autopiloto hacia la red IP

Objetivo: El autopiloto puede transmitir control y monitoreo de las condiciones del avión, pero hace uso de comunicación serial RS232. Dado que la solución de comunicación se basa en la comunicación por IP, se requiere una integración del autopiloto hacia la red IP. Por lo que el objetivo de esta prueba es verificar la correcta integración del autopiloto hacia la red IP.

Escenario: Prueba de laboratorio elaborada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Autopiloto YAPAv2
- GPS
- Conversor RS232/Ethernet
- Servos

Esquema:

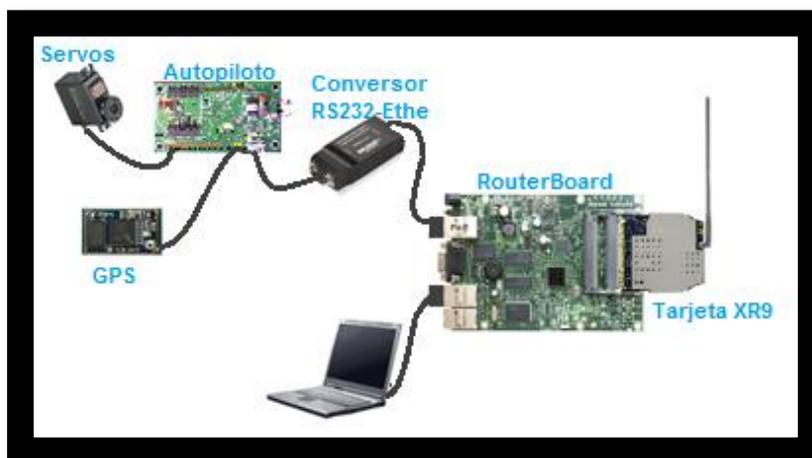


Figura 5. 26: Esquema de conexión de integración del autopiloto

Método de Medición:

El autopiloto es conectado como se ilustra en la Figura 5.26, e inmediatamente se inicia el envío de datos a través de su puerto de salida (RS232), conectado al conversor RSR232 a Ethernet para convertir la información serial a IP. El RouterBoard se conectó a la salida IP del conversor y se capturó el tráfico generado, por medio del programa de gestión de redes (propio del equipo), cabe mencionar que fue utilizado el enlace de radio para esta prueba y los datos medidos provienen de lo recibido. Por último, se analizó que la información enviada sea la misma que la recibida, por lo que se inició un Hiperterminal en la computadora conectada en otro puerto del RouterBoard y se conectó la cámara IP a la misma red.

Mediciones y Resultados:

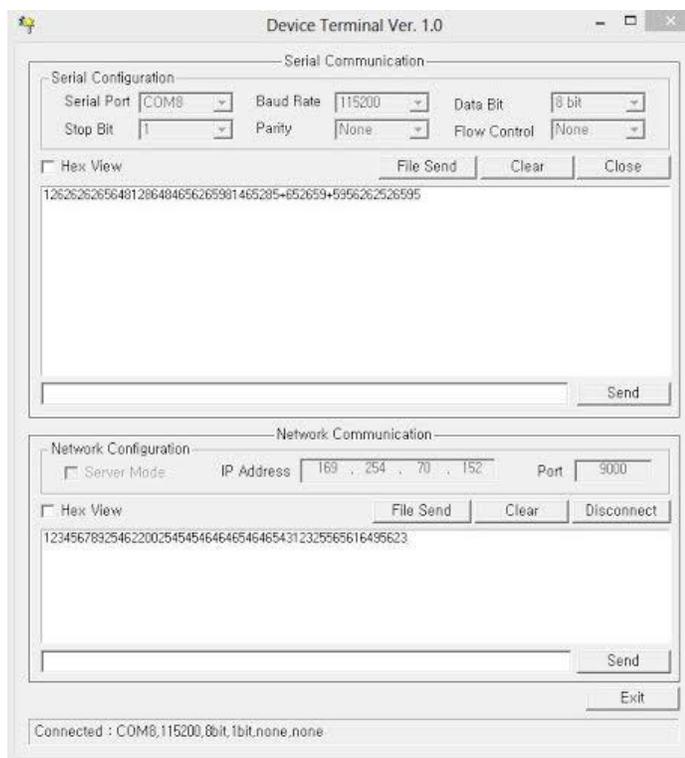


Figura 5. 27: Terminal de Wiznet WIZ110SR

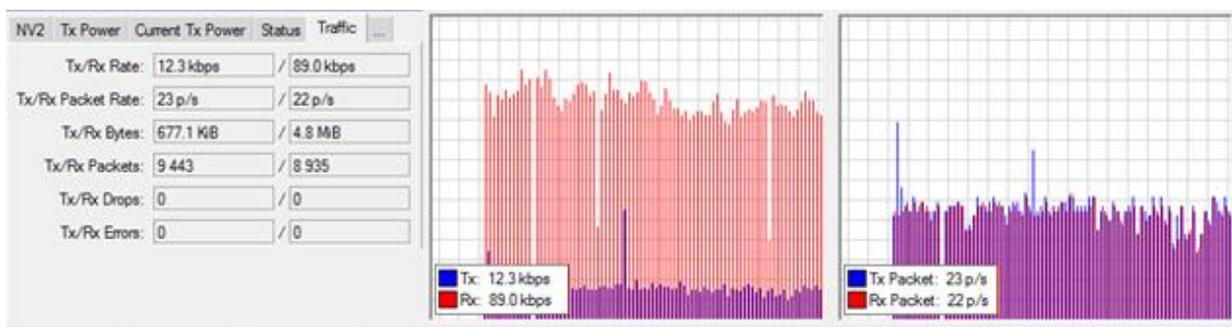


Figura 5. 28: Comportamiento de red con la integración de equipos

Conclusiones:

En la gráfica se puede observar el comportamiento del sistema totalmente integrado en la WLAN luego de haber realizado las calibraciones pertinentes, donde se puede identificar que en la Figura 5.28 que el número de paquetes transmitidos son iguales a los recibidos, pero los paquetes recibidos contienen 7 veces mayor información. Se puede observar que el mayor flujo de datos se da en la recepción de Bytes pero gracias a la utilización de los protocolos antes mencionados se puede observar que en recepción de paquetes la cantidad de los mismos es menor que los que se transmiten; esto nos da como resultado una imagen continua y con pérdida de algunos pixeles los cuales no son críticos en nuestra aplicación gracias a la utilización de RTP, también se aseguró que los paquetes que llevan los datos del autopiloto este con un canal siempre abierto entre estación base y avión gracias a la utilización de TCP.

Prueba 9: Comportamiento de la integración

Objetivo: Caracterizar el comportamiento del sistema integrado en su totalidad.

Escenario: Prueba de laboratorio elaborada en la Universidad San Francisco de Quito

Equipos:

- Cables de interconexión
- RouterBoard
- Tarjeta moduladora
- Antenas
- Computadora
- Cámara IP de video

- Autopiloto YAPAv2
- Conversor RS232/Ethernet
- Servos
- Inversor Eléctrico

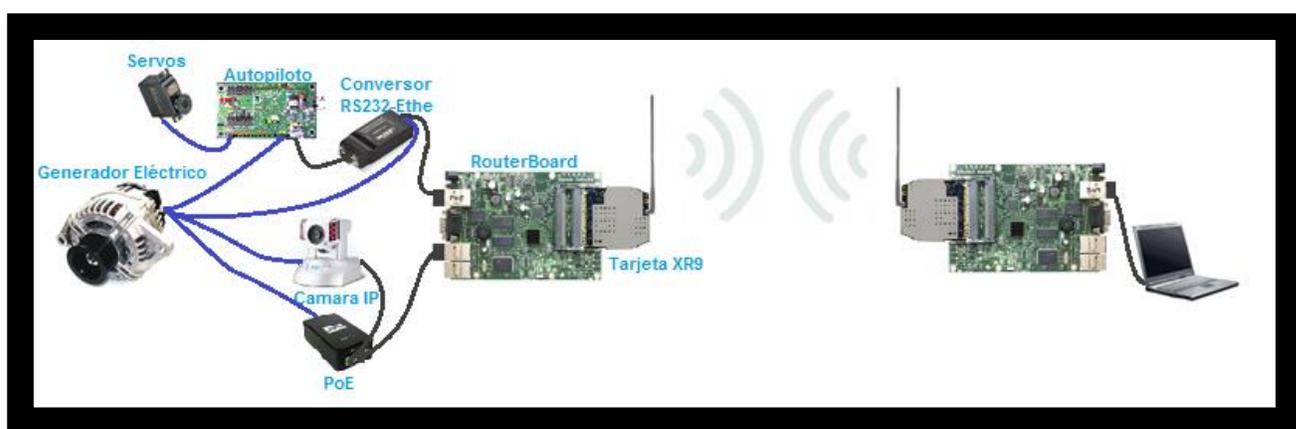
Esquema:

Figura 5. 29: Esquema de conexión para la integración de la solución

Método de Medición:

Los equipos de comunicación, control y vigilancia, fueron interconectados entre sí, al estar integrados, se realizó una prueba a corta distancia y medir el tráfico generado por la cámara y el autpiloto a través del enlace de radio.

Mediciones y Resultados:

Rate	Tx Power	Real Tx P...	Total Tx ...
6Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
9Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
12Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
18Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
24Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
36Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
48Mbps	30dBm	30dBm	30dBm
54Mbps	30dBm	30dBm	30dBm

Figura 5. 30: Configuración de Potencia en el transmisor para la integración

Topic / Item	Count	Rate (ms)	Percent
Packet Lengths	3160	0,249244	
0-19	0	0,000000	0,00%
20-39	0	0,000000	0,00%
40-79	36	0,002839	1,14%
80-159	28	0,002208	0,89%
160-319	8	0,000631	0,25%
320-639	4	0,000315	0,13%
640-1279	204	0,016090	6,46%
1280-2559	2880	0,227159	91,14%
2560-5119	0	0,000000	0,00%
5120-4294967295	0	0,000000	0,00%

Figura 5. 31: Comportamiento de la longitud de paquetes

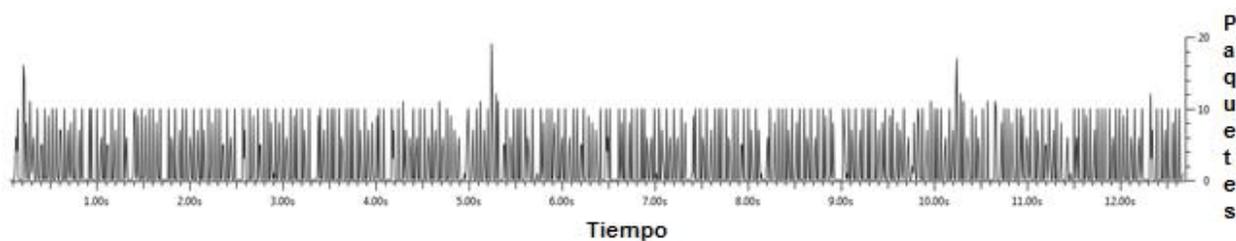


Figura 5. 32: Comportamiento de la red en Paquetes vs. Tiempo

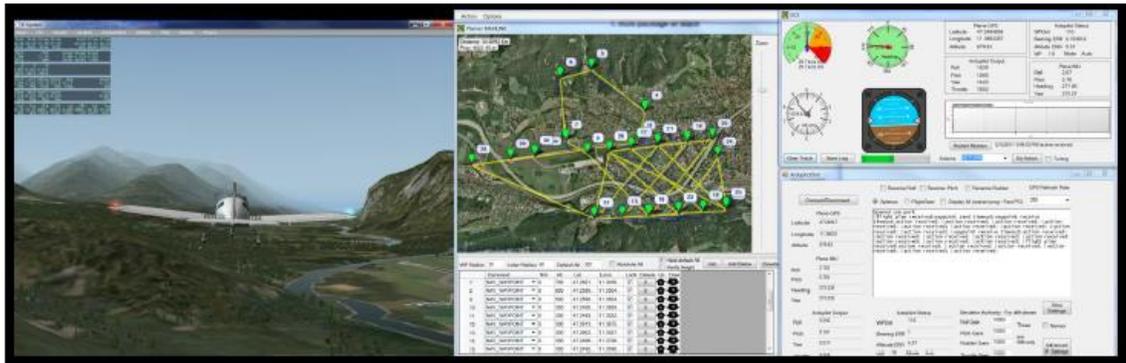


Figura 5. 33: Comportamiento de autopiloto

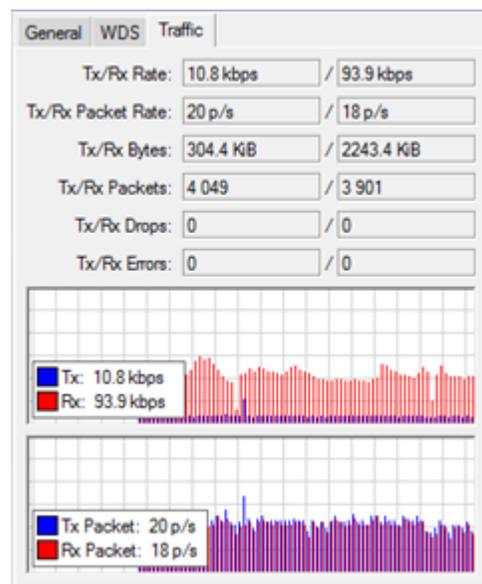


Figura 5. 34: Comportamiento de la red con el sistema integrado con autopiloto

Topic / Item	Count	Rate (ms)	Percent
IP Protocol Types	3152	0,248613	
UDP	3118	0,245931	98,92%
TCP	34	0,002682	1,08%

Figura 5. 35: Distribución entre autopiloto y cámara en la red

Conclusiones:

Se puede observar en la Figura 5.31 que el sistema hace uso de paquetes grandes, donde el 91% de los paquetes tienen entre 12880 a 2559 bytes cada uno, esto se debe a que el MTU fue ajustado a 1500 bytes. Además, indica que se necesita un buen ancho de banda para que el sistema tenga un comportamiento normal y no degradado o saturado, ya que el sistema envía un máximo de 18 paquetes por segundo (Figura 5.32) y analizando la Figura 5.35 se observa que el 98.92% de los paquetes son UDP, lo que indica que solo el autopiloto hace uso del 1.08% del total de paquetes enviados. También, hay que tomar en cuenta que al realizar la integración de cámara y el sistema de comunicación, se pudo encontrar que existen unos picos de manera periódica (Figura 5.32), y al analizar cada paquete, se pudo encontrar que se envía un paquete NBNS (sirve como un traductor NAT), por lo que se debe considerar estos picos como el mínimo ancho de banda requerido. Dado que el 91% de los paquetes son 1500 bytes, se puede aproximar que el sistema necesita:

$$R = 1500 \text{ bytes} * 18 \text{ paquetes/s} = 27 \text{ kbps}$$

En la Figura 5.30 se observa el funcionamiento del sistema integrado donde podemos ver la potencia de transmisión configurada, donde se puede apreciar que se utiliza varias velocidades de transmisión pero siempre se mantiene la potencia de la misma (aunque el sistema permita enviar 30dBm, la realidad medida anteriormente es de 28 dBm). Esto se debe a que el sistema a través del NV2 siempre mantiene potencia de transmisión y varía velocidad de la misma con lo que nos garantiza mantener la conexión entre estación base y avión. La misma nos asegura una conexión mínima de 6Mbps lo cual nos permite tener un video fluido con

pérdida de pixeles lo cual no es crítico y con un canal de transmisión siempre activo entre estación base y avión para los datos de autopiloto.

Prueba 10: Comportamiento del video a distancias mayores de 30Kms

Objetivo: Optimizar la configuración de los equipos de comunicación para el transporte de video a distancias mayores de 30 Kms.

Escenario: Prueba elaborada en el cerro Ilaló y Cochasquí.

Equipos:

- Cables de interconexión
- RouterBoard
- Tarjeta moduladora
- Antenas tipo grilla de 15dBi
- Cámara IP de video
- Inversor Eléctrico

Esquema:

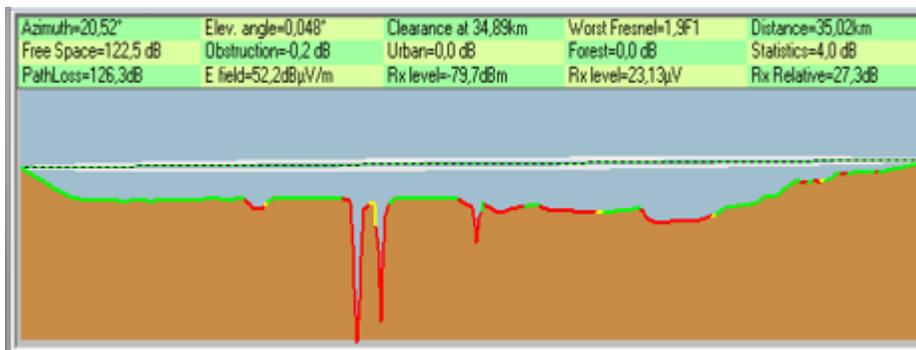


Figura 5. 36: Perfil topográfico y predicción del enlace Cochasquí – Ilaló

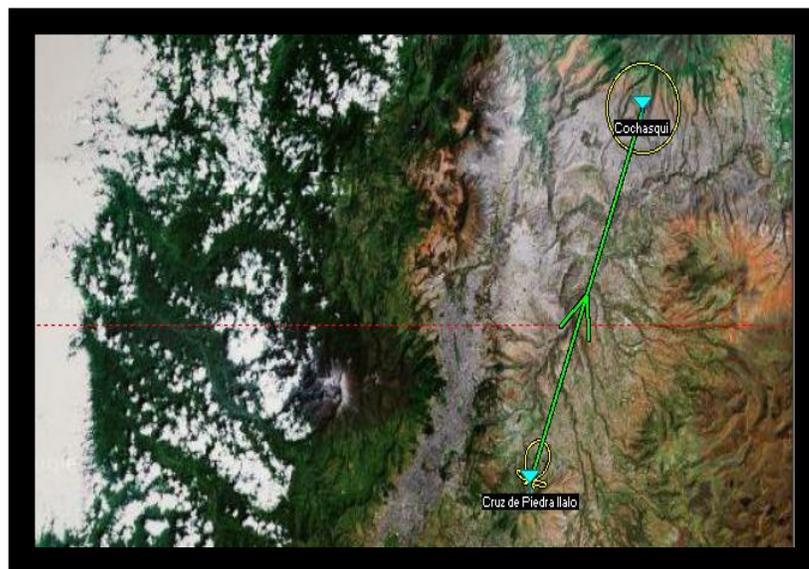


Figura 5. 37: Enlace de cerro Cochasquí a cerro Ilaló

Método de Medición:

Se alinearon las antenas tipo grilla para el enlace entre Cerro Cochasquí y Cerro Ilaló, para medir el comportamiento de la velocidad del canal y observar el comportamiento del video a larga distancia, mediante la utilización del estándar Nv2 de Mikrotik. Los datos recogidos fueron obtenidos desde el software de gestión de redes (Winbox) del receptor y también, mediante un software de análisis de tráfico para redes, denominado Wireshark, ejecutado desde una computadora conectada a uno de los puertos del receptor.

Mediciones y Resultados:

Se realizó una prueba estática de larga distancia, donde se estableció un enlace de aproximadamente 35 Kms y se probó el comportamiento del video y las señales de control. Se consideraron los tiempos de time out, el tiempo de propagación, entre otros parámetros que se

indican en la página 78. Sin embargo, se observó mucho congelamiento en el video recibido, también mucha latencia en el control de la cámara, además, el enlace se caía intermitentemente, por lo que se configuró como red WDS (Figura 4.7), lo que mejoró la intermitencia de la señal y el tiempo de latencia.

En la Figura 5.38 muestra que en la imagen de la izquierda un mayor pixelamiento (<https://www.youtube.com/watch?v=TT-1nf36NDI>), pero con las nuevas configuraciones se aprecia una mejor respuesta de latencia y menor pixelamiento de la imagen de la derecha (<https://www.youtube.com/watch?v=kmeeEzP1grM>), cabe mencionar que ambas imágenes fueron tomadas en diferentes días y diferentes lugares por problemas de permisos, pero ambos enlaces fueron de 35Kms.

Además, las Figuras 5.40 y 5.41 obtenidas del software Wireshark, muestra el comportamiento de la red al momento después de haber realizado las correcciones en las configuraciones.



Figura 5. 38: Mejoramiento de calidad de imagen por configuración de WDS y MTU



Figura 5. 39: Fotografía del receptor para la prueba a larga distancia a 35Kms

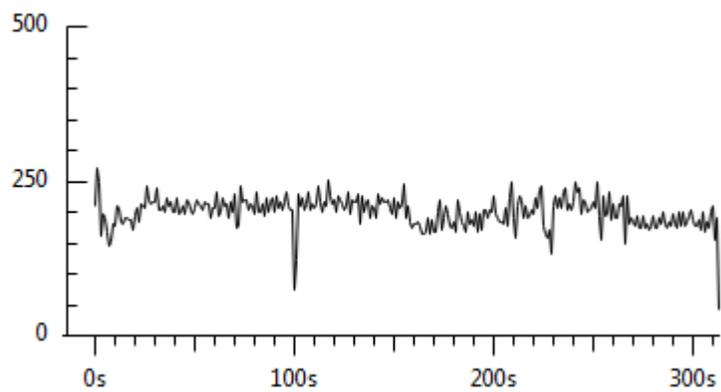


Figura 5. 40: Comportamiento de Paquetes vs. Tiempo para la prueba estática a 35 Kms

Topic / Item	Count	Rate (ms)	Percent	Topic / Item	Count	Rate (ms)	Percent
Packet Lengths	61229	0,195472		IP Protocol Types	61134	0,195168	
0-19	0	0,000000	0,00%	UDP	60489	0,193109	98,94%
20-39	0	0,000000	0,00%	TCP	645	0,002059	1,06%
40-79	780	0,002490	1,27%				
80-159	639	0,002040	1,04%				
160-319	813	0,002595	1,33%				
320-639	1399	0,004466	2,28%				
640-1279	3466	0,011065	5,66%				
1280-2559	54132	0,172815	88,41%				
2560-5119	0	0,000000	0,00%				
5120-4294967295	0	0,000000	0,00%				

Figura 5. 41: Estadísticas del comportamiento de la prueba estática a 35 Kms

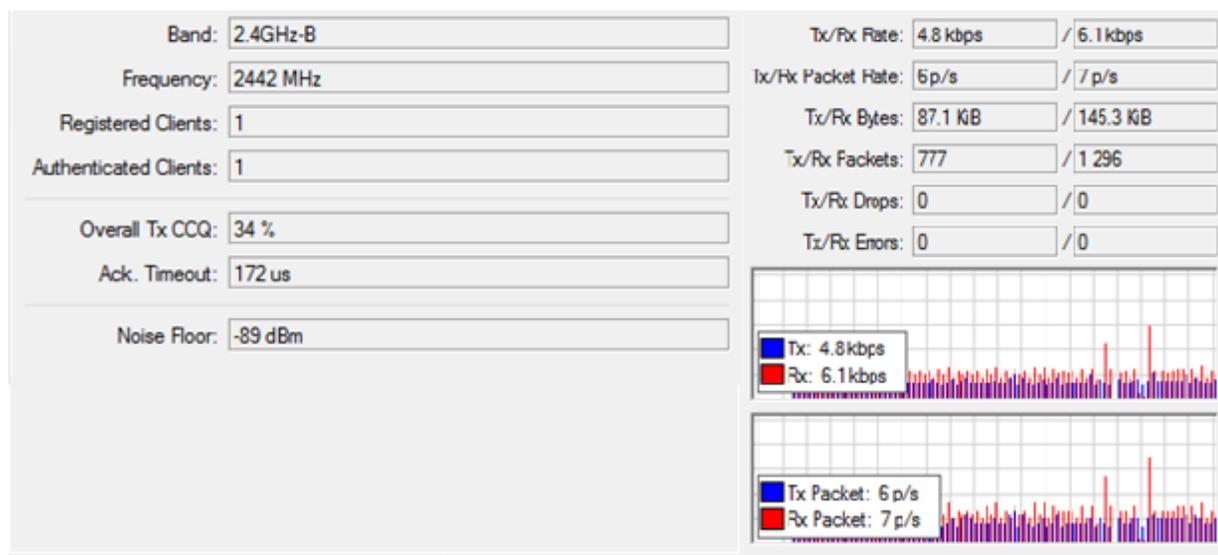


Figura 5. 42: Comportamiento de la red para la prueba estática a 35 Kms

Conclusiones:

El enlace se pudo conectar con niveles muy bajos de recepción, calidad de video y alta latencia en la comunicación, por lo que la calidad del enlace (CCQ) cae al 34%, es decir, la

relación entre el ancho de banda teórico con el real, por lo que la calidad de imagen se degrada y a su vez se llega a pixelear. La potencia de recepción simulada fue de -80dBm y se obtuvo una potencia de recepción de -89dBm, con una diferencia de 9dBm, la misma diferencia que la prueba 7 (Enlace a larga distancia).

Entre las fallas encontradas se encuentra la necesidad de aumentar el buffer de los RouterBoard mediante configuración, que el enlace muestra mucha variación en recepción, y que el enlace se desconecta momentáneamente. Por lo tanto, mediante configuración se solucionan estos problemas. En efecto, se amplió el tamaño del buffer y se estableció un QoS (Quality of Service) o calidad de servicio a los paquetes de video, el cual es configurado aumentando una nueva regla en Queue. Además, cabe destacar que se realizó un ajuste de la distancia de enlace, el cual es permitido por el estándar Nv2, donde elimina los ACK's y disminuye la latencia de los paquetes; también, disminuir el tamaño del MTU permitió que el video mejorara notoriamente, ya que no saturaba la red con el envío de paquetes muy grandes, con lo que mejoró la fluidez del video transmitido. Por otra parte, para solucionar el problema de la intermitencia de conexión, se configuró al equipo como una red WDS, con lo cual el enlace no pierde tiempo en la reconexión, sino que se realizaba un multicast y los paquetes perdidos por la intermitencia de la señal únicamente origina cierta degradación en la calidad de imagen.

Se puede observar en la Figura 5.38, el comportamiento de la red en el WDS tanto en transmisión como en recepción, ahí puede confirmarse que al utilizar WDS, la imagen de la izquierda tiene una mayor pixelación que la imagen de la derecha. Esto muestra el antes y el después de la implementación del WDS y los ajustes del MTU.

Pruebas de servicio de comunicación en el avión

Después de tener caracterizados los equipos que conforman a la solución y, al poner en punto las configuraciones para que estos puedan integrarse de la manera más óptima, se procede a realizar la caracterización de la solución integrada en un avión de pruebas, con el motivo de probar el sistema en movimiento y con las condiciones más próximas a las que estos podrían sufrir al momento que el avión se encuentre operando en una misión. Por lo tanto, se hizo uso de un avión a escala para probar la movilidad y detectar nuevas fallas del sistema en movimiento.

Prueba 11: Comportamiento del video sobre vuelo

Objetivo: Optimizar la configuración de los equipos de comunicación para el transporte de video cuando el transmisor se encuentra sobre un avión.

Escenario: Prueba elaborada en la Pista de aerodelismo “Jerusalem”

Equipos:

- Cables de interconexión
- RouterBoard
- Tarjeta moduladora
- Antenas
- Computadora
- Cámara IP de video

Esquema:

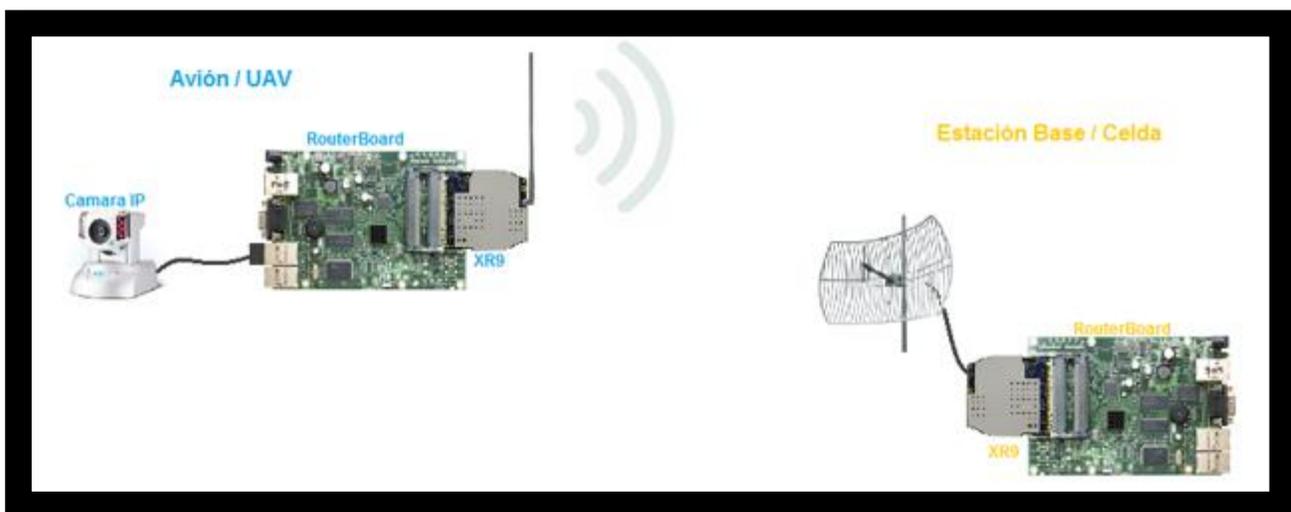


Figura 5. 43: Esquema de equipos usados para la prueba de movilidad

Método de Medición:

Los equipos de comunicación fueron armados dentro de un avión de aerodelismo de prueba, por lo que la alimentación eléctrica de los equipos fue por medio de un banco de baterías tipo Li-Po. El receptor fue armado sobre un mástil de 3m de altura, que se encontraba a unos 500m de la pista. Se inició la comunicación en el momento que los motores del avión ya se encontraban encendidos y se grabó el vuelo del avión desde una computadora en la estación base (receptor) y también se midió el estado de la red mediante el software de administración (Winbox) del receptor.

Mediciones y Resultados:

Vale la pena mencionar que la configuración de autofocus de la cámara tiene que ser deshabilitada, ya que al estar en movimiento se encuentra constantemente auto-enfocando y no

se puede apreciar muy bien los objetos. No obstante, el balanceo del contraste, color, etc., es bastante importante, ya que mejorará la calidad de imagen y el reconocimiento de objetos.



Figura 5. 44: Fotografía del avión para las pruebas de movilidad e integración



Figura 5. 45: Fotografía del video transportado de la prueba de movilidad

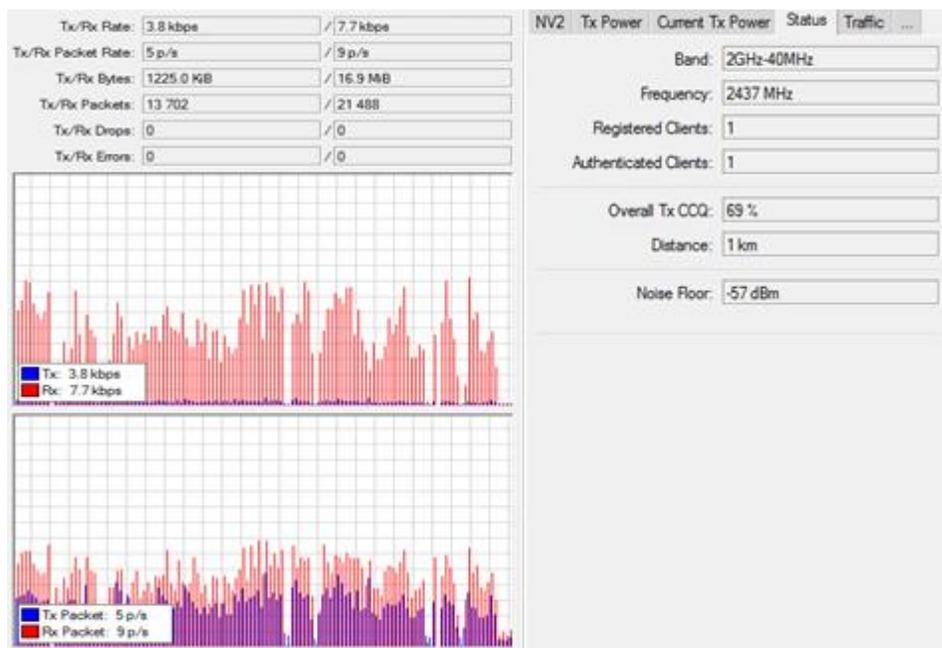


Figura 5. 46: Comportamiento de la red para avión en movimiento

Conclusiones:

La prueba de movilidad e integración demostró que el uso de WDS para el enlace, permite tener una mayor movilidad y estabilidad en la conexión (<https://www.youtube.com/watch?v=dx7ocvVi9LE>). El avión de prueba usado voló a una altura aproximada de 100 m sobre el nivel del suelo y a una distancia aproximada de 1 Km a la redonda, por lo que se obtuvo un nivel de recepción de -57 dBm. El problema encontrado es que la velocidad de transmisión tiene bastante variación, lo que no es conveniente, pero se debe tomar en cuenta, que el patrón de radiación de las antenas usado en el avión, no es el mejor y esto hace que la tasa de transmisión dependa de la posición del avión y la dirección de este; pero, esto puede ser solucionado mediante el uso de mayor potencia en transmisión y mayor ganancia en recepción del sistema de comunicación en tierra, así logrando que los niveles de recepción sean mejores.

La calibración de la imagen de la cámara es bastante importante, y de esto dependerá el tiempo que el avión necesitará para cubrir una cierta cantidad de área, la calidad de imagen y el reconocimiento de objetos. Según el video obtenido en esta prueba, indica que la cámara debe tener un zoom, para reconocer de mejor manera objetos, ya que a una altura de 100 metros sobre el nivel del suelo, se puede apreciar que no se tiene un buen reconocimiento a esa altura y a esa cantidad de acercamiento.

CONCLUSIONES

Conclusiones

En conclusión, la optimización del transporte del video y control para un avión no tripulado, es muy importante diferenciarlo, por lo que el uso de la tecnología basada en IP, permite un control mucho más sencillo y efectivo para el transporte de información. Pero, el proceso de encapsulamiento y empaquetamiento de la información en paquetes IP, puede generar retardos en la señal, y es por eso que el uso protocolos de tiempo real, ayudó a que la imagen del video transportado, mejore en fluidez y en calidad.

Además, se mostró que el simulador de enlaces de radio (Radio Mobile) se muestra 9dB más optimista en la potencia de recepción real, ya que las cartografías no consideran la altura de la vegetación, un apuntalamiento perfecto entre las antenas y usa antenas con patrones de radiación perfectos. No obstante, es un software diseñado para enlaces totalmente analógicos y no para enlaces digitales, los cuales manejan una velocidad de transmisión y esquemas de modulación diferentes.

El cambio del estándar 802.11, permitió que se pueda maximizar el ancho de banda útil para la transmisión de los datos y permitió el aumento considerable de la distancia a la que el enlace puede alcanzar. La eliminación del timeout de cada frame y la utilización de WDS permitió el incremento de la velocidad de transmisión y la estabilidad en el enlace, para que la calidad del video sea fluido y no exista congelamiento en la imagen.

Por otra parte, la antena de recepción es importante diseñarla, ya que según las pruebas realizadas, se obtuvieron que la señal se encontraba intermitente, dado que a la alta variación de

nivel de recepción de la señal transmitida, por lo que el uso del sistema MIMO (Multiple Inputs, Multiple Outputs) permite tener dos diferentes patrones de radiación, para así solucionar el problema en cuanto el avión se encuentre en diferentes inclinaciones o direcciones.

La generación eléctrica puede permitir un vuelo mucho más largo y ayuda a que el consumo de gasolina por parte del motor, sea mucho menor, ya que alimentar a los equipos de comunicación, control y cámara, se requiere el uso de bastantes baterías tipo LiPo para cumplir con cierta capacidad de consumo por un tiempo estimado de vuelo. Por lo tanto, es mucho más eficiente tener un generador eléctrico a bordo del avión, pero dado que los alternadores eléctricos son muy pesados, se decidió utilizar un motor paso-paso, para que este funcionara como alternador y no aumente mucho en el peso del avión. Además, se debe tomar en cuenta que al momento de realizar un diseño o solución, se debe distribuir el peso de carga a lo largo del avión, o sino esto cambiaría el centro de gravedad del avión y afectaría al vuelo del mismo.

No obstante, se debe considerar que los equipos usados deben tener una eficiencia eléctrica, para que no tengan un alto consumo eléctrico y que estos puedan soportar las variaciones de voltaje que el alternador genera. Además, el uso de frecuencias no-licenciadas, no permite tener un buen ancho de banda, por lo que la calidad del video mejoraría si se pudiera utilizar este tipo de frecuencias licenciadas.

En conclusión, se deben tener en cuenta las consideraciones técnicas que un avión tiene, ya que dependiendo de esto, se puede saber qué tipo de requerimientos mínimos puedo tener en el diseño e implementación de un sistema a bordo. Sin embargo, se tiene la libertad de elegir el tipo de tecnología y la manera de administrar o controlar los datos que se quieren transportar. Cabe destacar, que los objetivos del transporte deben ser cumplidos al cien por ciento, por lo

que el control de la calidad y latencia de los datos es muy importante. Por lo tanto, según los resultados obtenidos con los equipos de comunicación, se recomienda el uso de los mismos para realizar pruebas para este tipo de aplicaciones, pero para una solución definitiva se requiere equipos con bajas latencias, alta calidad y alta confiabilidad, sabiendo que este tipo de equipos tienen un alto costo.

Recomendaciones

Se recomienda el uso de un amplificador bidireccional de OFDM para la banda de 900 MHz, para alcanzar mayores distancias y mejorar la estabilidad del enlace, esto a su vez aumenta el ancho de banda para que la velocidad de transmisión aumente también.

Uso de un patrón de radiación diseñado específicamente para el avión, este puede ser mediante el uso de microstrip lines, donde se ubiquen a lo largo de las alas, para así no afectar a la aerodinámica y distribución de peso del avión, además, de obtener mayor ganancia en las antenas de recepción.

Uso de frecuencias licenciadas, para que el enlace sea mucho más confiable, estable y con mayor velocidad de transmisión. No obstante, el uso de un enlace por medio de una comunicación satelital, puede ayudar a mejorar la cobertura, si necesidad de crear una red de celdas, sin embargo, se debe diseñar la antena con alta ganancia y eficiencia, más un BUC (Block Upconverter) de aproximadamente 200W de potencia.

Uso de una cámara IP más liviana y separar el control de la cámara (PTZ), para que esto no afecte a la calidad de imagen y administrar estos datos mediante QoS.

Optimización del sistema de generación eléctrico, ya que este puede disminuir su peso, ya que en el motor usado como alternador, solo se están utilizando 2 polos de los 4 que tiene, a menos que se desee agregar nuevos accesorios útiles como una cámara infrarroja para hacer vigilancia de noche o un láser para medir altura y obtener perfiles topográficos en 3D.

Realizar las pruebas de fase 2 (Anexo H) y fase 3 (Anexo H), para comprobar la conexión y latencia mediante celdas, por lo que se recomienda hacer uso de una configuración de una red de celdas bajo MPLS (Multiprotocol Label Switching), para tener un mejor control de los protocolos de la red y dar una calidad de servicio.

Se recomienda un estudio más profundo sobre la herramienta de simulación, Radio Mobile, y su uso en sistemas digitales como el implementado en esta tesis. Además, de buscar simuladores alternativos más adecuados.

El estudio y profundización de los parámetros de configuración de la página 77, pueden optimizar de una mejor manera la transmisión del video a mayores distancias y la estabilidad del enlace en términos del BER.

REFERENCIAS

MURS Users Group. (2002). *Oocities*. Recuperado el 16 de 09 de 2013, de Oocities:
<http://www.oocities.org/horseshoe7/erp.html>

Agilent Technologies. (2013). *Spectrum Analysis Basics*. Agilent Technologies.

Albentia Systems. (2008). *Radioenlaces en entornos marinos*. Madrid: Albentia Systems.

Apple Inc. (2013). *Apple Documentation Manual*.

Argrow, B., Brown, T., Dixon, C., Doshi, S., Henkel, D., & Thekkekunel, R. (s.f.). *Ad Hoc UAV Ground Network (AUGNet)*.

Bhasin, K., Liberatore, V., & Newman, W. (2003). *IP COMMUNICATION AND DISTRIBUTED AGENTS FOR UNMANNED AUTONOMOUS VEHICLES*. Cleveland: Case Western Reserve University.

Biswas, A., Lee, S., Monacos, S., Ortiz, G., & Wright, M. (2003). *Design and development of a robust ATP subsystem for the Altair UAV-to-Ground Lasercomm 2.5 Gbps Demonstration*. Pasadena: California Institute of Technology.

Breheny, S., D'Andrea, R., & Miller, J. (2003). *Using Airborne Vehicle-Based Antenna Arrays to Improve Communications with UAV Clusters*. Ithaca: Cornell University.

Burdakov, O., Doherty, P., Holmberg, K., Kvarnstrom, J., & Olsson, P. (2010). *Generating UAV Communication Networks for Monitoring and Surveillance*. Linkoping: Linkoping University.

- Burdakov, O., Doherty, P., Holmberg, K., Kvarnstrom, J., & Olsson, P. (2010). *Positioning Unmanned Aerial Vehicles as Communication Relays for Surveillance Tasks*. Linkoping: Linkoping University.
- Cai, G., Chen, B., Dong, M., & Peng, K. (2007). *Development of a Real-time Onboard and Ground Station Software System for a UAV Helicopter*. Singapur: National University of Singapore.
- Caraguay, S. (2011). *Simulación de la Red Inalámbrica de Banda Ancha con Tecnología WIMAX para el Estado de Colima*. Colima: Universidad de Colima.
- Castro, C., Durney, H., & Ortiz, R. (2006). *Diseño e implementación de radioenlaces y estaciones repetidoras Wi-Fi para conectividad de escuelas rurales en zona sur de Chile*. Ssantiago de Chile: Universidad Tecnológica Metropolitana.
- Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional. (2012). *Los Sistemas No Tripulados*. Madrid: Ministerio de Defensa Español.
- Cheng, C., Hsiao, P., Kung, H., & Vlah, D. (2006). *Performance Measurement of 802.11a Wireless Links from UAV to Ground Nodes with Various Antenna Orientations*. Cambridge: Harvard University.
- Chou, W. (2013). *Communication Architecture*. Raleigh: NC State University. Obtenido de <http://www4.ncsu.edu/~chou/course/LectureNotes/architecture.htm>
- Cisco System. (2006). *Fundamentos de redes inalambricas*. Madrid: Pearson Educacion.
- Clanar, I. (2007). *Redes Inalambricas WI-FI*. Arequipa: Clanar Internacional.

- CochesRc. (7 de Junio de 2012). *Tablas comparativas entre tipos de baterías*. Obtenido de Team Mugen Sanlúcar: <http://teammugensanlucar.blogspot.com/2012/06/tablas-comparativas-entre-tipos-de.html>
- Comes, A., & Roig, O. y. (2003). Propagación. En *Principios de comunicaciones móviles* (pág. 226). Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- CONARTEL. (2012). *Plan Nacional de Frecuencias*. Quito: SENATEL.
- Cosic, J., Curkovic, P., Kasac, J., & Stepanic, J. (2012). *INTERPRETING DEVELOPMENT OF UNMANNED AERIAL VEHICLES USING SYSTEMS THINKING*. Zagreb: University of Zagreb.
- EFE. (24 de Enero de 2014). Prueban un dron para medir la radiación en Fukushima. *RPP Noticias*, pág. 1.
- Freeman, R. L. (2007). *Radio System Design for Telecommunications*. USA: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Gast, M. (2006). *Redes Wireless 802.11*. Madrid: ANAYA.
- Gerla, M., Hong, X., Lihui, D., Ly, H., Pei, G., & Zhang, B. (2000). *UAV Aided Intelligent Routing for Ad-Hoc Wireless Network in Single-area Theater*. Los Angeles: Univesity of California .
- Gu, P. (2010). *Mikrotik Documentation*. Mikrotik.
- Guerrero, V. (2013). *Videoproducción*. Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes.

- Gustafsson, J., Henriksson, F., & Jenvey, S. (2007). *A PORTABLE MONOPULSE TRACKING ANTENNA FOR UAV COMMUNICATIONS*. Luleå: Luleå University of Technology.
- Hague, D., Kung, H., & Suter, B. (2006). *FIELD EXPERIMENTATION OF COTS-BASED UAV NETWORKING*. IEEE MILCOM.
- Haykin, S. (2001). *Sistemas de Comunicación*. Mexico D.F.: Limusa Wiley.
- Henderson, B. (2013). *Program Operating Guide*. Calgary.
- Hufford, G., Kissick, W., & Longley, A. (1982). ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode. En G. Hufford, W. Kissick, & A. Longley, *ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode* (págs. 8-9). U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE.
- ICAO. (2011). *Sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS)*. Montréal: Organización de Aviación Civil Internacional.
- Krishnamurthy, P. y. (2002). *Principles of Wireless Networks*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Paparazzi. (28 de Noviembre de 2011). *Yapa2*. Obtenido de ENAC: <http://paparazzi.enac.fr/wiki/YAPA/v2.0>
- Piña, C. (2010). *Transporte de Video Profesional sobre IP en redes de Telecomunicaciones MPLS*. Madrid: SAPEC.
- Poole, I. (s.f.). *Radio-Electronics*. Recuperado el 16 de 09 de 2013, de Radio-Electronics: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11n.php>
- PUCP. (2013). Proyecto de alto vuelo. *NEO*, 59, 8.

Radcom. (01 de Julio de 2013). *Radcom*. Obtenido de Radcom:
<http://www.radcom.es/index.shtml?url=/catalog/accesorios/cables-rf/index.html>

Simó, F. (2007). *Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo*. Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

Van Nee, R., & Prasad, R. (2000). *OFDM for wireless multimedia Communicatiuons*. Boston: Artech House.

Weise, M., & Weyland, D. (2007). *How Video Works from Analog to High Definition* (2da ed.). Oxford: Focal Press.

Xia, D. (2013). *Experimental Study on the Performance of Rate Adaptation Algorithm in IEEE 802.11g Networks*. Wellington: Victoria University of Wellington.

ANEXOS

ANEXO A: Atenuación de cables coaxiales cada 100 metros (Radcom, 2013)

Cable / Frec.	28 MHz	50 MHz	145 MHz	435 MHz	900 MHz	1,2 GHz	2,4 GHz	4,8 GHz
RG-174 A/U	15,0 dB	20,0 dB	39,5 dB	59,0 dB	-	-	-	-
RG-188 A/U	14,5 dB	19,0 dB	38,0 dB	57,0 dB	-	-	-	-
* LMR-100A	12,5 dB	16,7 dB	28,8 dB	51,0 dB	-	-	-	-
RG-58 /U	7,9 dB	10,5 dB	18,1 dB	32,1 dB	47,5 dB	-	-	-
RG-223 /U	6,9 dB	9,1 dB	15,7 dB	28,2 dB	41,6 dB	-	-	-
RG-400 /U	6,8 dB	9,0 dB	15,6 dB	28,1 dB	41,4 dB	-	-	-
RG-142 B/U	6,5 dB	8,7 dB	15,0 dB	26,8 dB	39,7 dB	48,6 dB	-	-
* LMR-195	6,2 dB	8,4 dB	14,3 dB	25,1 dB	36,5 dB	42,4 dB	-	-
* LMR-200	5,6 dB	7,5 dB	12,8 dB	22,4 dB	32,6 dB	37,8 dB	-	-
AirCell-5	5,1 dB	6,9 dB	11,8 dB	21,0 dB	30,0 dB	37,8 dB	-	-
H-155	5,0 dB	6,5 dB	11,2 dB	19,8 dB	27,0 dB	34,9 dB	49,6 dB	-
CNT-240	4,6 dB	6,2 dB	10,1 dB	17,3 dB	24,9 dB	30,8 dB	42,9 dB	-
RF-240 LTA	4,3 dB	5,8 dB	9,8 dB	17,2 dB	25,1 dB	31,2 dB	43,1 dB	-
* LMR-240	4,2 dB	5,7 dB	9,7 dB	17,0 dB	24,8 dB	30,0 dB	41,5 dB	-
RG-213 /U	3,5 dB	4,7 dB	8,2 dB	14,9 dB	22,5 dB	28,0 dB	40,7 dB	-
RG-214 /U	3,4 dB	4,6 dB	8,1 dB	14,8 dB	22,4 dB	27,9 dB	40,6 dB	-
H-2007	3,4 dB	4,5 dB	7,7 dB	13,7 dB	20,5 dB	24,9 dB	35,6 dB	55,9 dB
AirCell-7	3,4 dB	4,5 dB	7,7 dB	13,7 dB	20,5 dB	24,9 dB	35,6 dB	55,9 dB
* LMR-300	3,4 dB	4,5 dB	7,7 dB	13,6 dB	19,9 dB	24,1 dB	33,4 dB	48,8 dB
CNT-300	3,8 dB	4,9 dB	7,9 dB	13,1 dB	19,4 dB	23,2 dB	33,3 dB	48,7 dB
CNT-400 Flex	2,7 dB	3,4 dB	5,5 dB	9,9 dB	15,1 dB	18,0 dB	30,9 dB	48,6 dB
EcoFlex-10	2,1 dB	2,9 dB	4,9 dB	8,9 dB	13,9 dB	16,5 dB	23,4 dB	36,5 dB
H-100	2,0 dB	2,7 dB	4,8 dB	8,6 dB	12,9 dB	15,8 dB	22,2 dB	34,9 dB
RF-400 LTA	2,0 dB	2,7 dB	4,8 dB	8,6 dB	12,9 dB	15,8 dB	22,2 dB	34,9 dB
H-2000 Flex	2,0 dB	2,7 dB	4,8 dB	8,5 dB	12,8 dB	15,7 dB	21,9 dB	34,5 dB
CNT-400	2,3 dB	3,2 dB	4,9 dB	8,7 dB	12,8 dB	15,6 dB	21,7 dB	32,0 dB
* LMR-400	2,1 dB	2,9 dB	4,9 dB	8,7 dB	12,8 dB	15,6 dB	21,7 dB	32,0 dB
AirCom Plus	1,9 dB	2,5 dB	4,6 dB	8,2 dB	12,3 dB	15,2 dB	21,6 dB	34,0 dB

FSJ4-50B 1/2"	1,8 dB	2,4 dB	4,2 dB	7,4 dB	11,1 dB	13,5 dB	19,5 dB	30,0 dB
LDF2-50 3/8"	1,8 dB	2,4 dB	4,2 dB	7,3 dB	10,9 dB	13,0 dB	18,9 dB	28,0 dB
EcoFlex-15	1,3 dB	1,9 dB	3,4 dB	6,1 dB	9,5 dB	11,4 dB	16,2 dB	25,6 dB
EcoFlex-15 +	1,3 dB	1,9 dB	3,3 dB	5,8 dB	8,5 dB	10,4 dB	14,9 dB	22,5 dB
CNT-600	1,6 dB	2,0 dB	3,2 dB	5,6 dB	8,2 dB	10,0 dB	14,4 dB	21,9 dB
* LMR-600	1,3 dB	1,8 dB	3,1 dB	5,5 dB	8,2 dB	10,0 dB	14,2 dB	21,3 dB
LDF4-50A 1/2"	1,1 dB	1,5 dB	2,6 dB	4,7 dB	6,9 dB	8,3 dB	11,8 dB	17,0 dB
* LMR-900	0,9 dB	1,2 dB	2,1 dB	3,8 dB	5,6 dB	6,5 dB	9,6 dB	14,3 dB
AVA5-50 7/8"	0,6 dB	0,8 dB	1,4 dB	2,4 dB	3,6 dB	4,3 dB	6,2 dB	9,1 dB
AVA6-50 1- 1/4"	0,4 dB	0,6 dB	1,0 dB	1,8 dB	2,6 dB	3,2 dB	4,7 dB	7,8 dB
AVA7-50 1- 5/8"	0,35 dB	0,45 dB	0,8 dB	1,4 dB	2,1 dB	2,6 dB	3,7 dB	6,3 dB
Cable / Frec.	28 MHz	50 MHz	145 MHz	435 MHz	900 MHz	1,2 GHz	2,4 GHz	4,8 GHz

ANEXO B: Datasheet de RouterBoard 433AH MIKROTIK

RouterBOARD 433AH



The RB433AH is a more powerful version of the standard RB433. The 128MB DDR will be capable of supporting new RouterOS features coming. The microSD slot supports an additional memory card that can be used for a Dude database and other features.

The 680MHz Atheros MIPS 24K CPU with a 64KB/32KB instruction/data cache is probably the fastest CPU used in low cost wireless access points.

The three Ethernet and mpci slots give you ample data interfaces to put the big CPU power to work.

CPU	Atheros AR7161 680MHz network processor
Memory	128MB DDR SDRAM onboard memory
Boot loader	RouterBOOT
Data storage	64MB onboard NAND memory chip and microSD
Ethernet	Three 10/100 Mbit/s Ethernet ports with Auto-MDI/X
miniPCI	Three MiniPCI Type IIIA/IIIB slots
Extras	Reset switch, Beeper
Serial port	One DB9 RS232C asynchronous serial port
LEDs	Power, NAND activity, 5 user LEDs
Power options	Power over Ethernet, 10..28V DC (except power over datalines). Power jack, 10..28V DC. Voltage monitor.
Dimensions	10.5 cm x 15 cm, 137 grams
Power consumption	~3W without extension cards, maximum ~ 25 W, 16W output to cards
Operating System	MikroTik RouterOS v3, Level5 license

ANEXO C: Datasheet de tarjeta mini-PCI XR9 UBIQUITI

XTREMERange9

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Frequency Freedom™



Think Outside the Band



CARD INFORMATION							
Chipset	Atheros, 6th Generation, AR5414						
Radio Operation	Proprietary 900MHz						
Interface	32-bit mini-PCI Type IIIA						
Operation Voltage	3.3VDC						
Antenna Ports	Dual MMCX						
Temperature Range	-45C to +90C (extended temp version up to +95C)						
Security	WPA, WPA2, AES-CCM & TKIP Encryption, 802.1x, 64/128/152bit WEP						
Data Rates	6Mbps, 9Mbps, 12Mbps, 24Mbps, 36Mbps, 48Mbps, 54Mbps						
TX Channel Width Support	5MHz / 10MHz / 20MHz / 40MHz						
RoHS Compliance	YES						
REGULATORY INFORMATION							
Wireless Modular Approvals	FCC Part 15.247, IC RS210						
RADIO OPERATING FREQUENCY 907-922MHz							
TX SPECIFICATIONS			RX SPECIFICATIONS				
	DataRate	TX Power	Tolerance		DataRate	Sensitivity	Tolerance
DSSS	1Mbps	28 dBm	+/-1dB	DSSS	1Mbps	-95 dBm	+/-1dB
	2Mbps	28 dBm	+/-1dB		2Mbps	-93 dBm	+/-1dB
	5.5Mbps	28 dBm	+/-1dB		5.5Mbps	-91 dBm	+/-1dB
	11Mbps	28 dBm	+/-1dB		11Mbps	-90 dBm	+/-1dB
OFDM	6Mbps	28 dBm	+/-1dB	OFDM	6Mbps	-92 dBm	+/-1dB
	9Mbps	28 dBm	+/-1dB		9Mbps	-91 dBm	+/-1dB
	12Mbps	28 dBm	+/-1dB		12Mbps	-91 dBm	+/-1dB
	18Mbps	28 dBm	+/-1dB		18Mbps	-88 dBm	+/-1dB
	24Mbps	28 dBm	+/-1dB		24Mbps	-84 dBm	+/-1dB
	36Mbps	26 dBm	+/-1dB		36Mbps	-81 dBm	+/-1dB
	48Mbps	25 dBm	+/-1dB		48Mbps	-75 dBm	+/-1dB
	54Mbps	24 dBm	+/-1dB		54Mbps	-72 dBm	+/-1dB
900MHz FREQUENCY CHANNEL SUPPORT							
Frequency	5MHz	10MHz	20MHz	Frequency	5MHz	10MHz	20MHz
907 MHz				917 MHz			
912 MHz				922 MHz			
CURRENT CONSUMPTION INFORMATION							
TX CURRENT CONSUMPTION			RX CURRENT CONSUMPTION				
	DataRate	Current	Tolerance		DataRate	Sensitivity	Tolerance
DSSS	1Mbps	1.10 A	+/-100mA	DSSS	1Mbps	300 mA	+/-100mA
	2Mbps	1.10 A	+/-100mA		2Mbps	300 mA	+/-100mA
	5.5Mbps	1.10 A	+/-100mA		5.5Mbps	300 mA	+/-100mA
	11Mbps	1.10 A	+/-100mA		11Mbps	300 mA	+/-100mA
OFDM	6Mbps	1.10 A	+/-100mA	OFDM	6Mbps	300 mA	+/-100mA
	9Mbps	1.10 A	+/-100mA		9Mbps	300 mA	+/-100mA
	12Mbps	1.10 A	+/-100mA		12Mbps	300 mA	+/-100mA
	18Mbps	1.10 A	+/-100mA		18Mbps	300 mA	+/-100mA
	24Mbps	1.10 A	+/-100mA		24Mbps	300 mA	+/-100mA
	36Mbps	1.00 A	+/-100mA		36Mbps	300 mA	+/-100mA
	48Mbps	0.90 A	+/-100mA		48Mbps	300 mA	+/-100mA
	54Mbps	0.80 A	+/-100mA		54Mbps	300 mA	+/-100mA
RANGE PERFORMANCE							
Indoor (Antenna Dependent):	Up to 400meters						
Outdoor (Antenna Dependent):	Over 50km						
DRIVER INFORMATION							
Operating System Support	Linux MADWIFI, WindowsXP, Windows2000						
Advanced Mobility / QuickHandoff	WindowsXP/2000 Utility with Enhanced Mobility Driver from Ubiquiti						
Cisco Support	CCX 4.0 Supported Driver/Utility also available from Ubiquiti						

ANEXO D: Datasheet de cámara IP570 COMPRO

Camera	
Image Sensor	1/4" CMOS Megapixel image sensor
Lens	<ul style="list-style-type: none"> • Focal Length: 3.8(Wide) ~ 45.6(Tele) mm • Max Aperture Ratio: F1.65(Wide) ~ F360(Tele) • Fixed and auto iris
Angle of View	52.8° (Wide), 4.49° (Tele)
Pan Range	-170° ~ +170° total of 340 degree
Tilt Range	-10° ~ +90° total of 100 degree
Max Speed	Pan 45°/Sec., Tilt 35°/Sec.
Zoom	48x (12x optical and 4x digital zoom)
Focusing Range	1m ~ INF
Minimum Illumination	<ul style="list-style-type: none"> • IR Mode: 0 lux with built-in IR LEDs on (12 LEDs in total; effective distance up to 15m) • Color Mode: 1.0 lux
Shutter Time	1/5 ~ 1/16000 Sec.
Video	
Video Compression	<ul style="list-style-type: none"> • H.264 (MPEG-4 Part 10) • Motion JPEG • MPEG-4 Part 2
Resolutions	160x120, 320 x 240, 640 x 480, 1280 x 1024
Frame Rate	<ul style="list-style-type: none"> • Up to 30 frames at 640 x 480 • Up to 15 frames at 1280 x 1024
Video Streaming	Dual H.264, MJPEG or MPEG-4 video stream
Image Settings	<ul style="list-style-type: none"> • Adjustable image size and quality • AGC, AWB, AES • Configurable brightness, contrast, saturation and sharpness
Audio	
Audio Communication	Two-way audio with built-in MIC (S/N ratio 58 dB, 50-10000hz)
Audio compression	G.711 PCM 64Kbit/sec
Audio input / output	MIC input / Audio output
Network	
Security	User ID / Password protection
Supported Protocols	DDNS (iDDNS) / PPPoE / HTTP Server / DHCP Client / NTP Client / DNS Client / FTP Client / SMTP Client / ARP / ICMP/IPV4/ UDP / TCP/IP
Firmware	
Firmware	<ul style="list-style-type: none"> • Support UPnP • Support online firmware update
Advanced Video Surveillance	
ComproView®	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-channel management (32-channels) • Fast and intuitive camera setup • Search and playback recordings by event types • Scheduled and event-based management • Smart motion and audio detection • Panorama PTZ
Web Browser	
Internet Explorer (ActiveX)	<ul style="list-style-type: none"> • Monitor the current condition of the monitor area via Internet Explorer • Capture a still image and save it in JPG format on PC • Alarm and event management : FTP, I/O alarm, server notification and email
Supported Viewing Devices	<ul style="list-style-type: none"> • PC, Laptop, Tablet, Nettop, MID with IE/ActiveX support • Viewing in MJPEG mode on mobile phone, iPhone/iPad, BlackBerry, Android, WM, PDA
Mobile Phone	
MJPEG Mode	Viewing of camera image via phone browsers
3GPP Mode	Viewing of camera image via 3G phones (3GPP Streaming)
General	
Operating Condition	5 °C ~ 40 °C
Power Supply	DC 12V/2A
System Requirements	<ul style="list-style-type: none"> • Computer with 1.7GHz processor and 512 MB memory or above • Supported Operating Systems: Windows XP SP3, Vista SP1, Windows 7, Mac OS X 10.6
Package Contents	<ul style="list-style-type: none"> • Software CD (manual included) • Quick installation guide • Power adapter and power cable • Wall plate • Network cable • Screws for ceiling mounting • Screw mount • Camera pads • Digital I/O expansion box with cable
Dimensions	105.1 x 125.5 x 128.6 mm

Bundled Accessory

CM500

Digital I/O Expansion Box

- Connect with various sirens and alarms
- 15-pin connectors:
 - Input (2-pin) x3, output (3-pin) x3
- Box dimensions: 104 x 60 x 27 mm
- Connection cable length: 100 cm

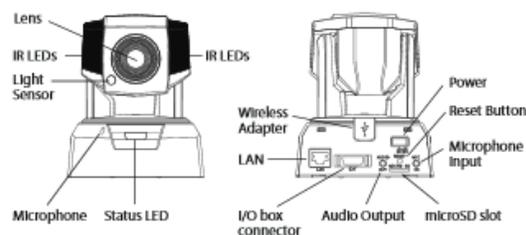


Optional Accessory

WL150

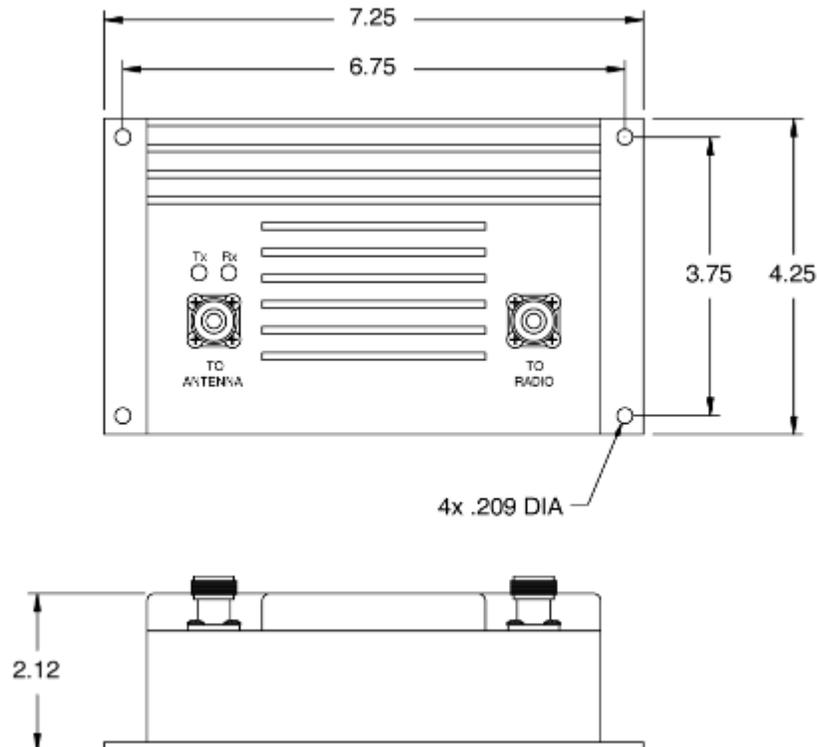
USB Wireless Adapter 802.11 b/g/n

- Complies with IEEE 802.11 b/g/n standards
- High transfer data rate – up to 150Mbps
- Supports 64/128-bit WEP, WPA, WPA2 functions for high level of security
- Supports USB 2.0/1.1 Interface



ANEXO E: Datasheet de amplificador bidireccional de OFDM para 900 MHz L-COM

Transmit Power	5 Watt (37 dBm)
Frequency	902 - 928 MHz
Receive Gain	15 dB
Max. Input Power	100 mW (20 dBm) (Call for higher input levels)
Operating Mode	Bi-directional, half-duplex Time Division Duplex. Senses RF carrier from transmitter and automatically switches from receive to transmit mode
Water Resistant Rating (Outdoor Models)	IEC 60529 IPX7
Current Draw	4.5A Peak Tx and 0.12A Peak Rx
Supply Voltage	12VDC -1.5V / +1V
Operating Temperature	-40°C to 50°C (-40°F to 122°F)
Dimensions	7.25" x 4.25" x 2.12" (184 x 108 x 54 mm)
Weight	1.7 lbs. (.77 kg)
Note: When contacting HyperLink about purchasing a 900 MHz series amplifier, please be sure to have the radio manufacturer and model number that will be use with the amplifier.	



ANEXO F: Datasheet de antena tipo grilla para 824 a 960 MHz L-COM

Electrical Specifications

Frequency	824-960 MHz
Gain	15 dBi
Horizontal Beam Width	18°
Vertical Beam Width	30°
VSWR (Typical)	1.5 or less
Input Impedance	50Ohm
Maximum Power	100 watts
Polarization	Vertical or horizontal
Lightning Protection	Direct Ground

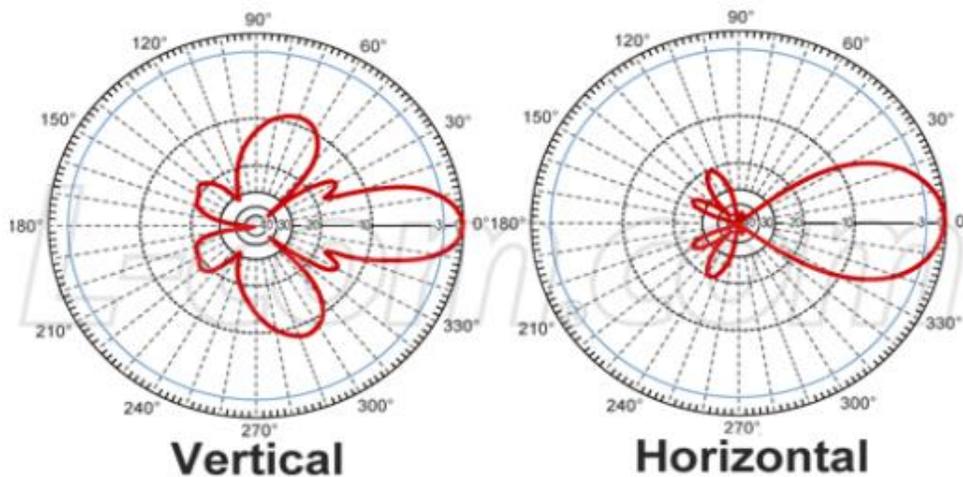
Mechanical Specifications

Connector	Integral N-Female
Weight	6.55 lbs. (2.9 kg)
Dimensions	35.43" (900 mm) x 23.6" (600 mm)
Grid Material	Die Cast Aluminum
Operating Temperature	-40° C to to 85° C (-40° F to 185° F)
RoHS Compliant	Yes
Mounting	1.37 - 2 in. (35 - 50 mm) dia mast max.

Wind Loading Data

Wind Speed (MPH)	Loading (2.1 sq. ft.)
100	80.5
140	125.5

RF Antenna Gain Patterns



ANEXO G: Datasheet de antena tipo dipolo omnidireccional L-COM

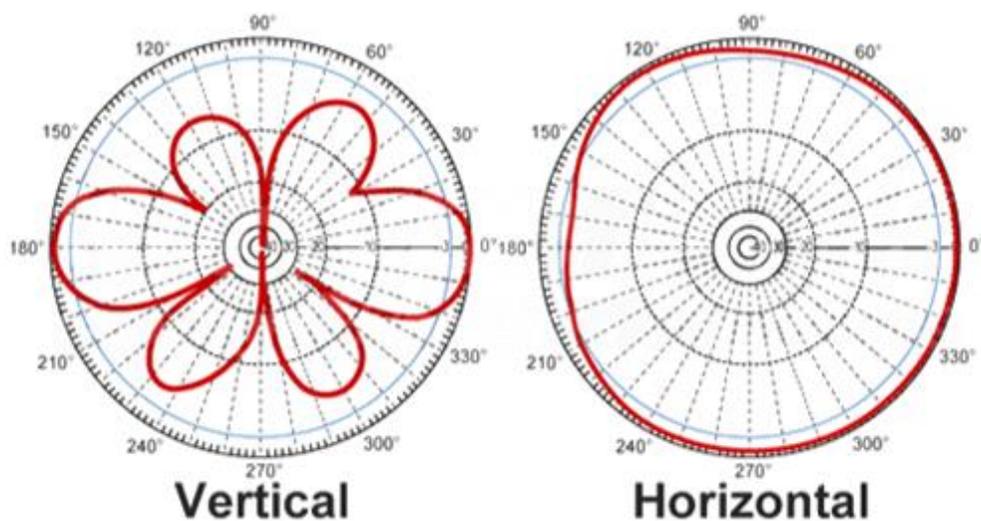
Electrical Specifications

Frequency	900-930 MHz
Gain	5 dBi
Horizontal Beam Width	360°
Impedance	50 Ohm
Max. Power	50W
VSWR	≤ 2.5
Lightning Protection	DC Ground

Mechanical Specifications

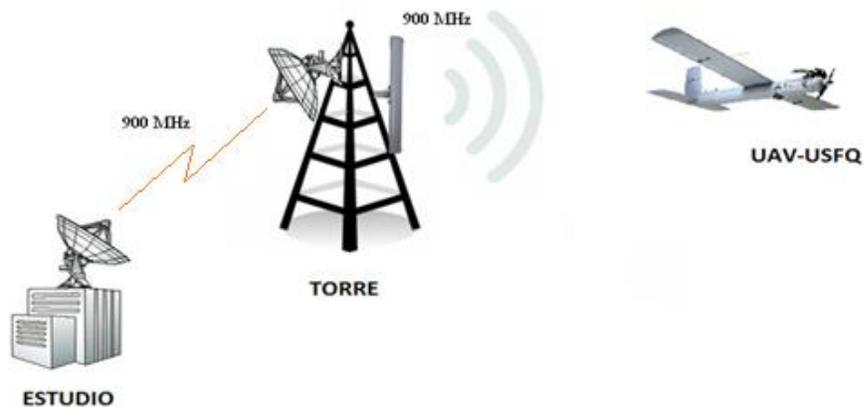
Weight	1.7 oz. (50 g)
Length	16.9" (430 mm)
Max. Diameter	0.56" (14.2 mm)
Finish	Matte Black
Connector	RP-TNC Plug
Operating Temperature	-40° C to 55° C (-40° F to 131° F)
Polarization	Vertical
Flame Rating	UL 94HB
RoHS Compliant	Yes

RF Antenna Patterns

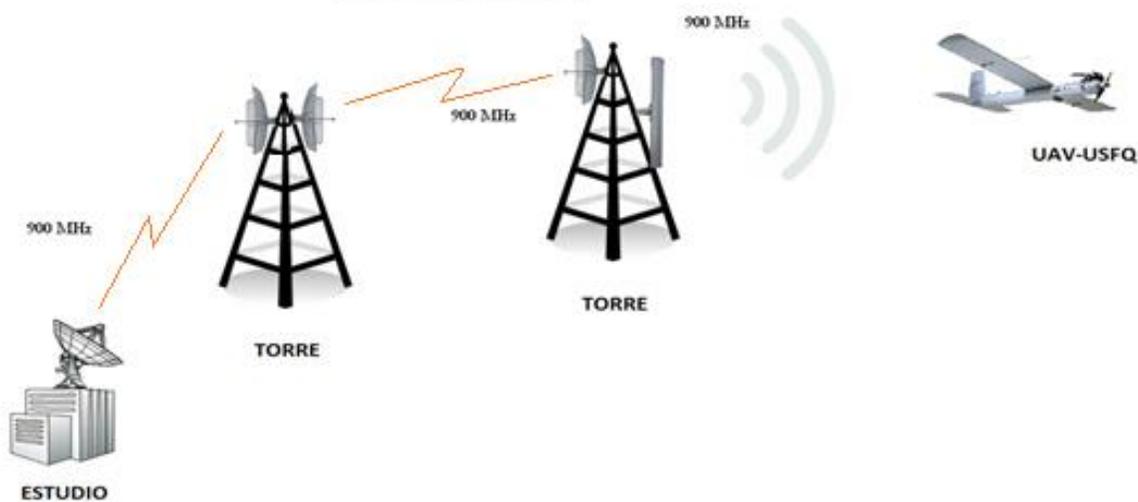


ANEXO H: Diagrama de fases de prueba 2 y 3

FASE #2 / DIAGRAM



FASE #3 / DIAGRAM



ANEXO I: Glosario de acrónimos**A**

ACK's - Acknowledgment

B

BER - Bit Error Rate

C

CCQ - Client Connection Quality

CCTV - Circuito Cerrado de Televisión

CDMA - Code Division Multiple Access

CRC - Cyclic Redundancy Check

D

Decibeles - [dB]

Decibeles Isotrópicos - [dBi]

Decibeles por milivatio - [dBm]

DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

G

GoP - Group of Images

I

ICMP - Internet Control Menssage Protocol

ICM – Investigación Ciencia y Médico

IP - Internet Protocol

ITS - Irregular Terrain Model

L

LAN – Local Area Network

M

MAC – Media Access Control Address

MAN – Metropolitan Area Network

MIMO – Multiple Input Multiple Output

MPDU – MAC Protocol Data Units

N

NIC – Network Interface Controller

O

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OSI – Open Systems Interconnection

P

PDU – Protocol Data Unit

PLL – Phase Lock Loop

R

RTCP – Real Time Control Protocol

RTP – Real Time Protocol

RTSP – Real Time Streaming Protocol

S

SNR – Signal Noise Relation

SRTM – Space Shuttle Radar Terrain Mapping Mission

Supertel – Superintendencia de Telecomunicaciones

T

TCP – Transmission Control Protocol

U

UDP – User Datagram Protocol

W

WAN – Wide Area Network

WEP – Wired Equivalent Privacy

WIFI – Wireless Fidelity

WPA – WiFi Protected Access

ANEXO J: Configuración de ancho de banda Mikrotik

Para limitar el ancho de banda dentro de un equipo Mikrotik, se debe ingresar al software de configuración denominado Winbox, en el cual en la pestaña Queues se agrega una nueva regla, como se muestra en la Figura J.1.

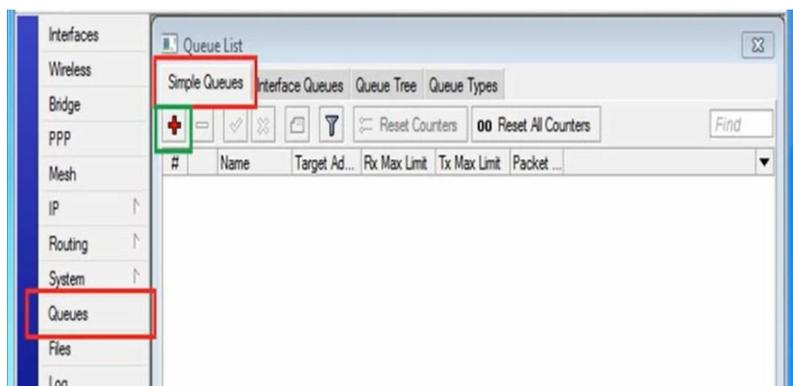


Figura J.1: Configuración de Queues

Cabe destacar que esta regla se asocia a la identificación IP del dispositivo, por lo que al agregar una nueva regla, el **Target Address** se especifica la dirección IP del dispositivo y en **Max Limit** se fija la velocidad máxima de transmisión y de recepción en bit/s.