



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TÍTULO:  
MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR (A):  
CHAW TUTIVÉN, JUAN MANUEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN:  
APLICACIÓN DE SISTEMAS DE RADIO PUNTO -  
MULTIPUNTO BASADOS EN ACCESO TDMA CON CALIDAD  
DE SERVICIO PARA TRANSMITIR DATOS IP EN ZONAS  
GEOGRÁFICAS CON SATURACIÓN DEL ESPECTRO  
RADIOELÉCTRICO EN BANDAS NO LICENCIADAS**

**TUTOR:  
ROMERO PAZ, MANUEL ING. MSC**

**Guayaquil, Ecuador  
2016**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Juan Manuel Chaw Tutivén** como requerimiento para la obtención del Título de **Magister en Telecomunicaciones**

**TUTOR**

**Manuel Romero Paz, Ing. Msc.**

**DIRECTOR DE LA MAESTRÍA**

**Manuel Romero Paz, Ing. Msc.**

**Guayaquil, a los dos del mes de febrero del año 2016**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES  
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Juan Manuel Chaw Tutivén**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación **Aplicación de sistemas de radio punto - multipunto basados en acceso TDMA con calidad de servicio para transmitir datos IP en zonas geográficas con saturación del espectro radioeléctrico en bandas no licenciadas**, previo a la obtención del Título de **Magister en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación, de tipo **aplicativo** referido.

**Guayaquil, a los dos del mes de febrero del año 2016**

**EL AUTOR**

**Juan Manuel Chaw Tutivén**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Juan Manuel Chaw Tutivén**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Aplicación de sistemas de radio punto - multipunto basados en acceso TDMA con calidad de servicio para transmitir datos IP en zonas geográficas con saturación del espectro radioeléctrico en bandas no licenciadas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los dos del mes de febrero del año 2016**

**EL AUTOR:**

---

**Juan Manuel Chaw Tutivén**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por la formación académica que recibí y las oportunidades que me proporcionaron para llevar a término esta tesis.

A todas las personas que me colaboraron en la ejecución de los trabajos y proceso de investigación académica y en especial a mi esposa e hija que son mi más grande estímulo.

A mi tutor, el Ing. Manuel Romero, por su apoyo para seguir adelante y su guía en la elaboración de esta tesis.

Juan Manuel Chaw Tutivén

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	i
INDICE GENERAL .....	ii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	3
CAPITULO 1.....	5
1 MARCO TEORICO .....	5
1.1 IEEE802.11 .....	5
1.2 MIMO – Multiple Input Multiple Output .....	17
1.3 OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplex.....	21
1.4 Aplicación del estándar 802.11 en los equipos propuestos.....	22
CAPITULO 2.....	36
2 METODOLOGÍA, INVESTIGACION DE DATOS, OBTENCION DE RESULTADOS .....	36
2.1 Enfoque metodológico .....	36
2.2 Requerimientos de los operadores .....	37
2.3 Análisis de requerimientos y resultados estimados .....	38
CAPITULO 3.....	58
3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PILOTO .....	58
3.1 Resultados piloto Claro .....	58
3.2 Resultado piloto Telconet .....	66
3.2 Resultados globales.....	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	74
CONCLUSIONES .....	74
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXO 1 ESPECIFICACIONES TECNICAS EQUIPOS.....	79

ANEXO 2 PROGRAMA RADIOMOBILE .....	86
ANEXO 3 PROGRAMA R-PLANNER .....	98
ANEXO 4 PROGRAMA JPERF .....	111

## RESUMEN

El uso de tecnologías inalámbricas como método de acceso para el transporte de información es ampliamente usado en diferentes tipos de negocios como el acceso de sucursales hacia oficinas centrales, enlaces privados, control de tráfico, control remoto, accesos de proveedores ISP a clientes finales hacia el internet sean estos particulares o negocios (conocidos como Cybers).

Los enlaces de radio en zona urbana se hicieron populares por la facilidad de despliegue pero provocó al poco tiempo una saturación del espectro en las bandas no licenciadas. Como consecuencia se tiene una degradación en la calidad de servicio o disminución del ancho de banda ofrecido, sea por interferencias de otros enlaces o por el aumento del ruido radioeléctrico en la zona; las nuevas tecnologías para sistemas de acceso inalámbrico o multipunto permiten superar este obstáculo y abaratar costos.

Los sistemas Punto – Multipunto, con características de calidad de servicio en el transporte, ofrecen una alternativa viable para ofrecer el mismo servicio que un enlace punto – punto, especialmente cuando se hace uso de bandas no licenciadas, asegurando el ancho de banda comprometido con el cliente final.

**Palabras Claves:** Red de acceso, WI-FI, Multipunto, IP, 802.11



## **ABSTRACT**

Wireless technologies used as access method to transmit information is widely used in different business scenarios like to access Headquarters from remote agencies, to access Carrier's nodes from Internet Service Providers, dedicated links, traffic control or internet access for home or business clients, and others popular medium sizes business for internet access as the Cybers coffees.

Radio link implementation in urban zone has become popular because they are easy to deploy but causing spectrum saturation in a short period of time, especially with non-licensed bands. As consequence we have Quality of Service degradation or a reduction of the offered and assured bandwidth due to interference coming from nearby links or the increment of spectral noise within the area.

Emerging technologies in wireless access technologies or multipoint systems allow overcoming this obstacle and decrease operational costs.

Point to Multipoint systems with quality of service features in the transport layer offer an alternative and viable products to offer same service as a point to point link does, working over non-licensed frequency bands assuring a committed bandwidth with the final client.

**Palabras Claves:** Access Network, WI-FI, Multipoint, IP, 802.11

## INTRODUCCIÓN

Los accesos inalámbricos, conocidos comúnmente como enlaces microonda, han sido uno de los instrumentos más utilizados para transportar datos entre puntos extremos lejanos, especialmente en zonas rurales, inalcanzables para la red de cobre tradicional, la cual fue y es usada ampliamente en zonas urbanas.

En nuestro medio la calidad de la red de cobre se ve afectada por factores externos desde degradación por efectos climáticos hasta vandalismo, lo cual complica el mantenimiento preventivo y correctivo. Esta situación derivó en el uso de enlaces microondas como medio de transporte alternativo viable a las líneas de cobre y más baratas que los accesos por fibra óptica.

Usar frecuencias no reguladas en medios inalámbricos bajó el costo de alquiler de equipos o de uso de infraestructura inalámbrica al no requerir licencias de operación ante el ente regulador; adicionalmente el desarrollo de la tecnología y el descenso de los precios en equipos, provocó en los últimos años, que el espectro radioeléctrico de uso libre en zona urbana se sature haciendo cada vez más difícil el uso de enlaces punto a punto; en especial si el proveedor de servicios tiene pocos nodos de acceso o ubicados en elevaciones ocupadas también por otros proveedores.

Como solución inicial para ahorrar costos de equipamiento, los desarrolladores de equipos crearon sistemas Punto – Multipunto basando su funcionamiento en sistemas TDMA, concordando con los medios físicos y los protocolos que se manejaban en banda base en los años 90, como eran el V35, RS232, X25, E1, Frame Relay o el ATM.

Con el desarrollo de las tecnologías Ethernet y del protocolo IP a finales de los 90 así como de los accesos WI-FI y WIMAX en la primera década del 2000, se desarrollaron accesos Punto – Multipunto basados en IP nativo, sin embargo la naturaleza misma del protocolo IP hace difícil asegurar un ancho de banda comprometido con un cliente en la capa de transporte aire que se comporta de manera similar a una red LAN (Local Area Network) de cobre.

A pesar de tener métodos de aseguramiento de ancho de banda en los sistemas WIMAX, el producto más popular a inicios del 2000, en su desarrollo temprano era destinado hacia las empresas operadoras con títulos habilitantes de servicio portador debido al costo de equipos y de los permisos de uso de frecuencias licenciadas sobre el cual operaban, esto también hacia que el costo de renta de enlaces dedicados para empresas sea alto.

Otras tecnologías de acceso inalámbricas, basadas en tecnología WI-FI operando en bandas no licenciadas, solo podían asegurar el ancho de banda del cliente fuera del transporte inalámbrico en el segmento terrestre o dando prioridad a los paquetes de información a ciertos clientes; situación que derivaba que la mayoría de los clientes compitan por el único medio de acceso hacia el multipunto y sobre el cual recaía toda la carga de procesamiento de información.

Para ambos sistemas, la situación particular de un cliente para enfrentar los problemas inherentes de interferencia de frecuencia o saturación de espectro en un nodo, provocaba que se afectara su throughput y no se pueda asegurar un ancho de banda comprometido.

## **ANTECEDENTES**

Los operadores Claro y Telconet están interesados en la implementación de sistemas inalámbricos punto – multipunto pero con características específicas para asegurar un ancho de banda al cliente final y trabajar en la banda no licenciada de 5 Ghz; hacer más barato el producto final sin enfrentar la problemática de la administración y legalización de enlaces punto – punto en bandas licenciadas con el ente regulador ecuatoriano.

Otros beneficios adicionales de usar enlaces punto – multipunto se basan en el ahorro de espacio y energía en los nodos de distribución o radio bases y de bajar la cantidad de equipamiento usado por cliente.

## **OBJETO DE ESTUDIO**

El estudio se enfoca en la evaluación de un piloto para un sistema punto – multipunto desplegado en la infraestructura de los 2 operadores y del desempeño teórico - práctico de un enlace, siguiendo los requerimientos del operador de cumplimiento obligatorio para la implementación de la tecnología dentro de su infraestructura.

## **ALCANCE**

Demostrar que el uso de la tecnología TDMA aplicada a un sistema Punto – Multipunto para transporte de datos IP, puede brindar calidad de servicio a la vez que asegura un ancho de banda comprometido con el cliente.

Se utilizará como soporte técnico de este proyecto, los resultados de la implementación del piloto en 2 operadores de voz y datos en el Ecuador (Claro y Telconet).

En el capítulo 1 se hace referencia al marco teórico que sustenta el funcionamiento de los equipos para la solución propuesta.

En el capítulo 2 indica la metodología y las herramientas usadas para el análisis del proyecto y la obtención de los resultados; se indica también los requerimientos a satisfacer en los 2 operadores donde se desea introducir esta tecnología y se realiza un análisis de factibilidad con los datos referenciales de equipos y las condiciones de operación de los mismos en los diferentes sitios propuestos para la ejecución de este proyecto.

En el capítulo 3 se hace una descripción de los resultados obtenidos en las instalaciones piloto para ambos operadores.

Se adjuntan anexos donde se explica el funcionamiento de los programas utilizados para la realización de los cálculos teóricos así como para las pruebas de desempeño de los pilotos instalados en cada operador.

# CAPÍTULO 1

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 IEEE 802.11

Los sistemas de comunicaciones basados en redes inalámbricas WI-FI están soportados por el estándar 802.11 de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), parte de la familia de estándares 802 que cubren las redes de área local y metropolitana (ver figura 1.1) [1]

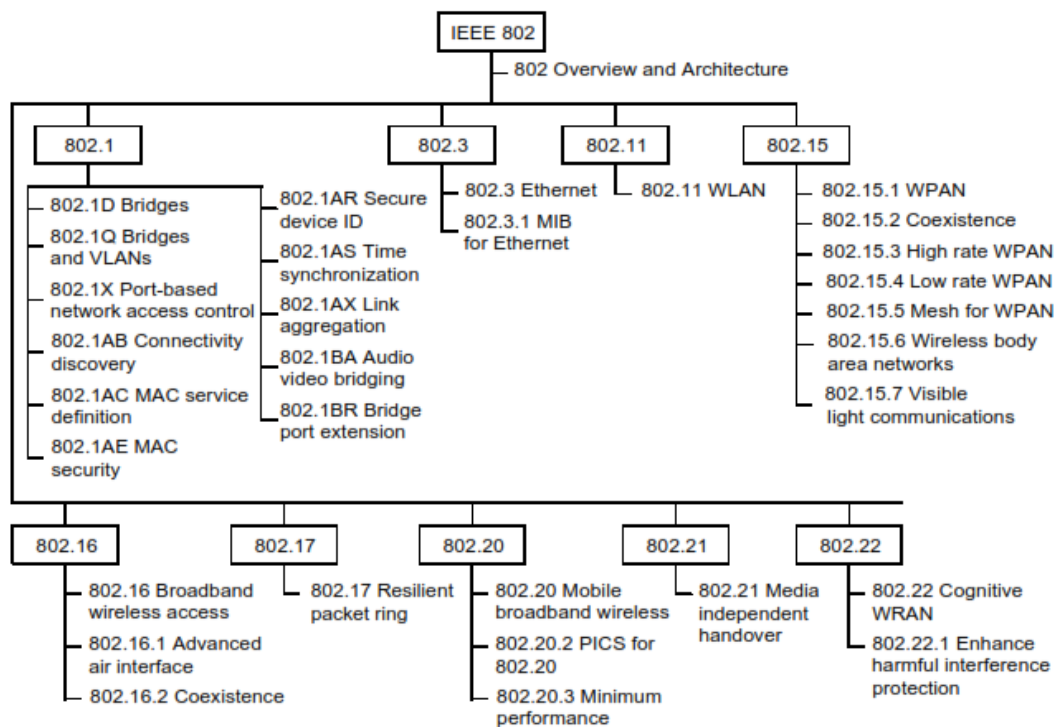


Figura 1.1.- familia de normas IEEE 802

En la descripción general del conjunto de normas IEEE 802, el modelo de referencia para esta norma es derivado del modelo OSI (Open Systems Interconnection); sobre este modelo de referencia, la norma IEEE 802 se enfoca en las 2 capas más bajas del modelo OSI: la capa física (PHY) y la

capa de enlace de datos DLL (Data Link Layer); el modelo considera que las capas superiores están relacionadas a la administración de red [1].

La capa de enlace de datos DLL del modelo OSI, para el modelo de referencia IEEE 802, se subdivide en 2 sub capas: El control de enlace lógico LLC (Logical Link Control) y la capa de Control de Acceso al Medio MAC (Media Access Control).

La capa LLC provee seguridad a los datos enviados a la capa MAC, verifica los datos de origen, permite agregar 2 o más enlaces lógicos para aumentar la velocidad de datos y provee autenticación, autorización y llaves criptográficas para asegurar la comunicación entre entidades conectadas a redes IEEE802.

La capa MAC existe entre la capa LLC y la capa PHY para brindar servicio a la capa LLC proveyendo la transferencia de datos desde y hacia la capa física por medio de datagramas en formato de tramas, desde y hacia otros dispositivos, entidades o estaciones; direcciona las estaciones de destino, corrige errores de trama, delimita y reconoce tramas y actúa como control de acceso hacia el medio de transmisión física

La capa PHY es usada por las entidades MAC para intercambiar información (bits) y provee la capacidad de transmitir y recibir señales moduladas asignadas a canales de frecuencias específicas para medios de banda ancha o medios inalámbricos o hacia un canal de banda base [1]. Los bits transferidos desde y hacia la capa MAC conforman las tramas MAC, los mismos que son representación de la verdadera información ya que han sido previamente codificados y convertidos en símbolos representativos de bloques de información de las tramas, previos a su transmisión.

El estándar IEEE 802 Parte 11 describe las especificaciones del Control de Acceso al Medio (MAC) sobre la LAN Inalámbrica y de la capa física (PHY) [2]

para la conectividad inalámbrica para dispositivos fijos, portátiles o estaciones móviles dentro de un área local.

La norma 802.11 describe los conceptos e interrelaciones de los componentes funcionales de una LAN inalámbrica.

Dentro de una LAN tradicional, se considera que un dispositivo con una dirección de red está sujeto a una ubicación física, en las redes inalámbricas este concepto no se cumple de forma necesaria. Se introduce el concepto de que el dispositivo es un destinatario de un mensaje, el destinatario puede ser un dispositivo fijo, un dispositivo portátil o un equipo móvil; dentro de la norma tal dispositivo se lo define como una estación inalámbrica o STA (Station)

Comparando la parte física de las redes inalámbricas con los medios alámbricos, la norma 802.11 define las siguientes diferencias fundamentales [2]:

- El medio no tiene fronteras observables que permitan discriminar desde donde un transceptor de una estación no es capaz de recibir tramas de red
- Las estaciones no están protegidas de otras señales que comparten el medio
- La comunicación sobre el medio es menos confiable que un medio alámbrica
- La topología puede ser dinámica
- Carece de conectividad completa y por lo tanto la asunción de que todas las estaciones se escuchan no es válida
- Las propiedades de propagación son asimétricas y varían con el tiempo
- Puede experimentar interferencias ocasionadas por redes que se traslapan



Debido a que el medio físico tiene limitaciones inherentes a frecuencia y potencia de transmisores al ser medios inalámbricos, las redes inalámbricas o WLAN (Wireless LAN) descritas en la norma 802.11 están enfocadas en tener una cobertura geográfica razonable y garantizar el servicio proveyendo QoS (Quality of Service); también están limitadas a las propiedades del medio sobre todo en espectro no licenciado, esta garantía de servicio no siempre es posible.

Con estas consideraciones, suministrar QoS está ligado a las restricciones del equipo que puede dar un servicio asegurado pero limitado a un cierto ancho de banda en función de la frecuencia no licenciada usada así como de las condiciones de envío y recepción de la información, en la capa física dentro de los diferentes esquemas de modulación y propagación del enlace que posee el equipamiento.

La norma 802.11 en su arquitectura define el concepto de área de servicio o área de cobertura dentro de la cual las estaciones se mantienen en comunicación; define este concepto como Conjunto Básico de Servicio o BSS (Basic Service Set); si una estación se mueve fuera de esta área de servicio, ya no se puede comunicar con las otras estaciones.

Una red 802.11 LAN mínima consiste en 2 estaciones que se pueden comunicar entre sí, a este tipo de red se lo define como Conjunto Básico de Servicio Independiente o IBSS (Independent Basic Service Set) y como la permanencia de esta unión es solo momentánea y para fines específicos, a este tipo de conexión se lo llama red *ad hoc*.

Para conectar estaciones entre si y acceder a otras redes ajenas al área de servicio, sean alámbricas o inalámbricas, 802.11 define una entidad de red llamada Punto de Acceso o AP (Access Point). Un AP es una estación cuya función es acceder a un sistema de distribución o DS (Distribution System) el

que permite la interconexión con otras redes y que a su vez pueden contener otros Access Point que conectan a otras estaciones.

El AP permite la distribución de los datos desde el DS hacia las estaciones asociadas a él y viceversa. Un Access Point al ser definido como un STA que cumple con los requerimientos 802.11, es una entidad direccionable y su dirección dentro de la red es usada por los AP para la comunicación sobre el medio inalámbrico desde/hacia el DS.

El AP por ser una STA que se comunica sobre 2 medios diferentes (la capa física hacia la WLAN y la capa física del DS) puede tener direccionamiento diferente para su comunicación con los STA asociados sobre el medio inalámbrico y para la entrega y recepción de datos desde y hacia los otros elementos conectados a través del DS.

Dentro de la norma 802.11 no se establece una preferencia sobre el medio que usará el sistema de distribución DS por lo que este medio de distribución que interconecta los AP, definido por el 802.11 como DSM (Distribution System Medium), puede ser de diferente arquitectura a la comunicación inalámbrica y puede ser incluso compartida tanto por otros AP como por otros dispositivos dentro del DS.

La figura 1.2 muestra la ubicación de los componentes tal como están definidos en la IEEE 802.11 [2] donde STA 1 y STA 4 son estaciones, STA2 y STA3 son Access Points (AP). STA1 / STA2 y STA3 / STA4 pertenecen al área de servicio BSS1 y BSS2 respectivamente.

BSS1 y BSS2 son áreas de servicio independientes entre sí que pueden o no estar ubicadas en el mismo sitio (Zonas de cobertura sobrepuestas) y ambos AP (STA 2 y STA 3) comparten un mismo medio (DSM) dentro del sistema de distribución (DS).

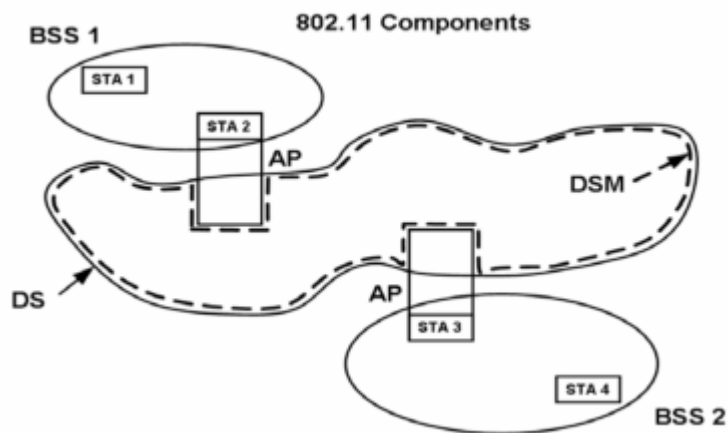


Figura 1.2.- Componentes de una red 802.11

Debido a que el rango de una zona de servicio o área de cobertura BSS no está restringido, es posible que las áreas se traslapen y por lo tanto 802.11 establece la posibilidad de restringir la asociación de los STA a determinados APs. 802.11 define características de seguridad adicionales a la autenticación de un STA sobre su AP. Entre estas características adicionales se tienen algoritmos de llaves, llaves criptográficas, mecanismos de encapsulación de datos criptográficos, etc

802.11 provee facilidades de calidad de servicio QoS a través de mejoras en la capa MAC, la flexibilidad de la norma IEEE 802.11 permite que tanto estaciones o Access Points con o sin mejoras QoS, puedan conectarse entre sí para solventar problemas de compatibilidad de equipos legados.

Existen 2 tipos de mecanismos para soportar QoS dentro de una red WLAN: el acceso a canal distribuido mejorado EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) y la función de coordinación híbrida HFC (Hybrid Coordination Function) [2]

EDCA entrega tráfico basado en una diferenciación de prioridades de usuario a través del uso de diferentes valores, entre ellos la duración en la que una

estación transmite posterior a tomar el canal. HCF permite la reserva de las oportunidades de transmisión desde y hacia el AP.

802.11 define mediciones de radio sobre la red inalámbrica LAN o WLAN (Wireless LAN) para que la STA sea capaz de comprender el ambiente de radio donde existe, estas mediciones le permiten tomar datos del ambiente de radio, entre estas mediciones se encuentran el faro (Beacon), el histograma de ruido (Noise Histogram) y la calidad del enlace (Link Measurement).

El reporte del Beacon le informa a los STA la lista de AP sobre los cuales se recibe señal sobre un canal o canales específicos, dentro de la información del Beacon se encuentra el Identificador del conjunto de servicio SSID (Service Set Identifier), el cual identifica a un AP particular con su correspondiente zona de cobertura (BSS) así como la potencia del canal a usar o RCPI (Received Channel Power Indicator)

El Noise Histogram devuelve información concerniente a las muestras de potencia del canal muestreado para los AP detectados. El reporte Link Measurement entrega información concerniente a las características de un enlace entre 2 STA e indica la calidad instantánea del enlace.

Dentro de la norma 802.11 se define el concepto de estación con gran ancho de banda High-Throughput (HT) STA, esto se logra en la capa física de acceso al medio mediante esquemas de modulación y codificación o MCS (Modulation and Coding Scheme). Define el concepto de que la estación puede operar con la funcionalidad MIMO (Multiple Input Multiple Output) o con Multiplexación Espacial SM (Spatial Multiplexing), selección de antena o ASEL (Antenna Selection) así como trabajar con canales inalámbricos (medio inalámbrico) con anchos de banda de 20 Mhz o 40 Mhz (mediante la unión de 2 canales adyacentes de 20 Mhz)

Dentro de los servicios de gestión de espectro, 802.11 define 2 funciones que deben ser cumplidas por equipos que operan en la banda de 5 Ghz: el control de potencia de transmisión TPC (Transmit Power Control) y la selección dinámica de frecuencia DFS (Dynamic Frequency Selection).

La función TPC hace que las estaciones se conecten a los AP de acuerdo a las capacidades de potencia y los canales de operación sujetos a regulaciones locales. La función DFS implementa mecanismos que impiden la operación en canales adyacentes a sistemas de radar y permite la utilización uniforme de los canales disponibles

La norma 802.11 ha sufrido una evolución desde su creación, este desarrollo ha estado encaminado a aumentar la cantidad de información a ser transmitida de manera confiable y sin errores sobre el medio inalámbrico; dentro del conjunto de sistemas inalámbricos que utilizan tecnología WI-FI se han aplicado las diferentes variantes de la norma 802.11 [3] [4] como aparece en la tabla 1.1

Respecto a la aplicación de la parte 11 de la norma IEEE802, enmienda 5 conocida como IEEE Std 802.11n™-2009: Enhancements for Higher Throughput (Amendment 5) [5], esta fue unificada en la última publicación de la norma IEEE Std 802.11™-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007) Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications por lo que todos los documentos y enmiendas anteriores, incluyendo la enmienda 5, fueron retiradas para ser unificadas en este único y último documento publicado en el 2012, incluyendo los estándares IEEE802.11a, IEEE802.11b, IEEE802.11g previamente incluidos en la revisión de 2007 de la norma original reafirmada en 2003.

Las especificaciones descritas anteriormente en el estándar IEEE802.11n (actualmente incluidas en IEEE802.11-2012) recoge las mejores

características de las enmiendas aplicadas al 802.11 original, unificando su funcionamiento y adicionando cambios y mejoras que incrementan el desempeño para aumentar el throughput como se aprecia en la tabla 1.1.

	<b>802.11</b>	<b>802.11a</b>	<b>802.11b</b>	<b>802.11g</b>	<b>802.11n</b>
<b>Liberación de estándar</b>	1997	1999	1999	2003	2009
<b>Data Rate Máximo</b>	1 o 2 Mbps	54 Mbps	1 o 2 Mbps / 11 Mbps	1 o 2 Mbps / 5,5 o 11 Mbps / 54 Mbps	600 Mbps
<b>Modulación</b>	FHSS / DSSS	OFDM	DSSS / CCK	DSSS / CCK / OFDM	DSSS / OFDM
<b>Banda RF</b>	2,4 Ghz	5 Ghz	2,4 Ghz	2,4 Ghz	2,4 Ghz / 5 Ghz
<b>Numero de transmisiones espaciales</b>	1	1	1	1	1,2,3 o 4
<b>Ancho de canal</b>	20 Mhz	20 Mhz	20 Mhz	20 Mhz	20 Mhz o 40 Mhz

Tabla 1.1. Evolución de la norma 802.11

Como se aprecia en la tabla 1.1 la codificación de espectro ensanchado por secuencia directa DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) predominó sobre la codificación de espectro ensanchado con salto en frecuencia FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Ambos dirigidos a la banda de 2,4 Ghz

La introducción de la multiplexación por división de frecuencias ortogonales OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation) se introdujo con el estándar 802.11a anterior al estándar 802.11n, aplicado a la banda de 5 Ghz y por ser más eficiente brindaba un servicio de 54 Mbps en comparación con 802.11b que solo brindaba hasta 11 Mbps utilizando codificación CCK (Complementary Code Keying) .

Con la norma 802.11g se igualó la capacidad de 54 Mbps operando en la banda de 2,4 Ghz y con la especificación de que los AP conectaran equipos legados usando DSSS o CCK, de acuerdo a la necesidad.

Finalmente con la introducción del estándar 802.11n, el uso de OFDM se amplía en el concepto de alto throughput o HT STA (High Throughput STA) que junto con la técnica de MIMO (Multiple-Input Multiple Output) permite el uso de hasta 4 transmisiones espaciales (flujos de transmisión) en canales de 20 Mhz o 40 Mhz de ancho de banda.

Adicionalmente 802.11n permite la asociación de canales adyacentes de 20 Mhz, mediante la técnica de channel bonding en la capa física, para tener una capacidad total de 40 Mhz, y permite la agregación de tramas en la capa MAC [4] para aumentar aún más el throughput.

La norma también hace una modificación sobre la técnica de Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) originalmente usada en el estándar 802.11a, en los métodos de modulación BPSK, QPSK y 16 QAM y 64QAM agregando 5/6 al método de corrección de errores FEC (Forward Error Correction) que llegaba solo hasta 3/4 en 802.11a usando 64QAM, con lo que es capaz de entregar hasta 65 Mbps sobre un canal de 20 Mhz [6]

Las tablas siguientes, tomadas de la norma 802.11, muestran los diferentes índices de modulación MCS (Modulation & Coding Schemes) que pueden ser usados en canal de 20 Mhz con 1 y 2 flujos de transmisión (tabla 1.2 y 1.3), para canal de 40 Mhz con 1 y 2 flujos de transmisión (tabla 1.4 y 1.5) y para canal de 40 Mhz con 4 flujos de transmisión (tabla 1.6).

En las tablas se muestra la columna R que designa el valor del FEC usado, la columna NSD que indica el número de sub portadoras usadas para OFDM y finalmente la tasa de información (Data Rate) en Mbps, en función del tiempo

de Guardia (GI) aplicado en las tramas OFDM, que puede ser 800 ns o 400 ns.

MCS Index	Modulation	$R$	$N_{BPSCS(i_{SS})}$	$N_{SD}$	$N_{SP}$	$N_{CBPS}$	$N_{DBPS}$	Data rate (Mb/s)	
								800 ns GI	400 ns GI (see NOTE)
0	BPSK	1/2	1	52	4	52	26	6.5	7.2
1	QPSK	1/2	2	52	4	104	52	13.0	14.4
2	QPSK	3/4	2	52	4	104	78	19.5	21.7
3	16-QAM	1/2	4	52	4	208	104	26.0	28.9
4	16-QAM	3/4	4	52	4	208	156	39.0	43.3
5	64-QAM	2/3	6	52	4	312	208	52.0	57.8
6	64-QAM	3/4	6	52	4	312	234	58.5	65.0
7	64-QAM	5/6	6	52	4	312	260	65.0	72.2

NOTE—Support of 400 ns GI is optional on transmit and receive.

Tabla 1.2.- MCS para canal de 20 Mhz con 1 flujo espacial

MCS Index	Modulation	$R$	$N_{BPSCS(i_{SS})}$	$N_{SD}$	$N_{SP}$	$N_{CBPS}$	$N_{DBPS}$	Data rate (Mb/s)	
								800 ns GI	400 ns GI (see NOTE)
8	BPSK	1/2	1	52	4	104	52	13.0	14.4
9	QPSK	1/2	2	52	4	208	104	26.0	28.9
10	QPSK	3/4	2	52	4	208	156	39.0	43.3
11	16-QAM	1/2	4	52	4	416	208	52.0	57.8
12	16-QAM	3/4	4	52	4	416	312	78.0	86.7
13	64-QAM	2/3	6	52	4	624	416	104.0	115.6
14	64-QAM	3/4	6	52	4	624	468	117.0	130.0
15	64-QAM	5/6	6	52	4	624	520	130.0	144.4

NOTE—The 400 ns GI rate values are rounded to 1 decimal place.

Tabla 1.3.- MCS para canal de 20 Mhz con 2 flujos espaciales



MCS Index	Modulation	$R$	$N_{BPSCS(i_{SS})}$	$N_{SD}$	$N_{SP}$	$N_{CBPS}$	$N_{DBPS}$	Data rate (Mb/s)	
								800 ns GI	400 ns GI
0	BPSK	1/2	1	108	6	108	54	13.5	15.0
1	QPSK	1/2	2	108	6	216	108	27.0	30.0
2	QPSK	3/4	2	108	6	216	162	40.5	45.0
3	16-QAM	1/2	4	108	6	432	216	54.0	60.0
4	16-QAM	3/4	4	108	6	432	324	81.0	90.0
5	64-QAM	2/3	6	108	6	648	432	108.0	120.0
6	64-QAM	3/4	6	108	6	648	486	121.5	135.0
7	64-QAM	5/6	6	108	6	648	540	135.0	150.0

Tabla 1.4.- MCS para canal de 40 Mhz con 1 flujo espacial

MCS Index	Modulation	$R$	$N_{BPSCS(i_{SS})}$	$N_{SD}$	$N_{SP}$	$N_{CBPS}$	$N_{DBPS}$	Data rate (Mb/s)	
								800 ns GI	400 ns GI
8	BPSK	1/2	1	108	6	216	108	27.0	30.0
9	QPSK	1/2	2	108	6	432	216	54.0	60.0
10	QPSK	3/4	2	108	6	432	324	81.0	90.0
11	16-QAM	1/2	4	108	6	864	432	108.0	120.0
12	16-QAM	3/4	4	108	6	864	648	162.0	180.0
13	64-QAM	2/3	6	108	6	1296	864	216.0	240.0
14	64-QAM	3/4	6	108	6	1296	972	243.0	270.0
15	64-QAM	5/6	6	108	6	1296	1080	270.0	300.0

Tabla 1.5.- MCS para canal de 40 Mhz con 2 flujos espaciales

MCS Index	Modulation	R	$N_{BPSCS(i_{SS})}$	$N_{SD}$	$N_{SP}$	$N_{CBPS}$	$N_{DBPS}$	$N_{ES}$	Data rate (Mb/s)	
									800 ns GI	400 ns GI
24	BPSK	1/2	1	108	6	432	216	1	54.0	60.0
25	QPSK	1/2	2	108	6	864	432	1	108.0	120.0
26	QPSK	3/4	2	108	6	864	648	1	162.0	180.0
27	16-QAM	1/2	4	108	6	1728	864	1	216.0	240.0
28	16-QAM	3/4	4	108	6	1728	1296	2	324.0	360.0
29	64-QAM	2/3	6	108	6	2592	1728	2	432.0	480.0
30	64-QAM	3/4	6	108	6	2592	1944	2	486.0	540.0
31	64-QAM	5/6	6	108	6	2592	2160	2	540.0	600.0

Tabla 1.6.- MCS para canal de 40 Mhz con 4 flujos espaciales

Tal como se aprecia en las tablas precedentes, en terminales con capacidad HT se reduce el tiempo de guardia de 800ns a 400ns entre tramas de datos OFDM con lo cual se incrementa un poco más la velocidad de transferencia de 65 Mbps a 72,2 Mbps en canal de 20 Mhz y de 135 Mbps a 150 Mbps en canal de 40 Mhz utilizando 1 solo flujo de transmisión. Si se aumenta a 4 flujos espaciales, el estándar 802.11n tiene una capacidad total máxima de hasta 600 Mbps.

### 1.2 MIMO – Multiple Input Multiple Output

La facilidad MIMO hace uso de múltiples canales de transmisión espacial, 802.11 especifica que puede usar hasta 4 módulos transmisores tanto para la recepción como para la transmisión de forma independiente. Los transmisores y los receptores no están ligados entre sí de forma obligada por lo que es factible combinaciones de 2 transmisores con 3 receptores por ejemplo, hasta un máximo de 4 transmisores y 4 receptores. A cada antena transmisora / receptora le corresponde un flujo espacial de datos dependiendo de la forma como MIMO está actuando.

En un enlace microonda no siempre se tiene línea de vista LOS (Line of Sight) y en ocasiones el fenómeno de difracción o reflexión provoca lo que se conoce como efecto multitrayecto. Este efecto se debe a que el transmisor envía el flujo electromagnético hacia todas las direcciones con mayor o menor intensidad dependiendo del patrón de radiación de la antena transmisora.

Puede darse el caso que una señal haya sido reflejada por un obstáculo y haya llegado al receptor con pérdidas ocasionadas por el efecto de reflexión / difracción adicional a las pérdidas de espacio libre, pero con suficiente potencia para ser detectada por el receptor. Esta segunda señal que contiene la misma información que aquella que llegó de forma directa, al llegar con retardo o desfasada, puede ser interpretada como ruido en el receptor o aportar negativamente a las señales que contienen información degradando la calidad de la información.

MIMO utiliza el efecto multitrayecto de forma controlada a su beneficio, usando multiplexación por división espacial SDM (Space Division Multiplexing). Con este mecanismo, el transmisor divide el flujo de datos en múltiples partes o flujos (spacial streams) [4] y los transmite por separado hacia múltiples antenas, estos flujos son recibidos por sus correspondientes antenas en el receptor, con lo cual se podría hasta cuadruplicar el throughput al utilizar la máxima cantidad de transmisores/receptores espaciales (4x4) detallados en el estándar.

Con SDM los flujos son transmitidos de forma independiente por múltiples antenas, estos flujos son recuperados por el receptor también de forma individual por lo que al usar múltiples antenas todos los flujos son recibidos por cada una de las antenas en el receptor. El bloque de detección MIMO en el receptor se encargará de determinar cuál de los flujos recibidos es el más apropiado para detectar una información confiable y con menos errores, esto es debido a que el receptor recibe múltiples flujos ocasionados por el efecto

multitrayecto; ocurre también un efecto de desvanecimiento del flujo (pérdidas) ocasionadas por difracción, refracción o pérdidas en espacio libre ocasionadas por el mismo efecto.

Un diagrama simplificado del funcionamiento de MIMO usando multiplexación por división espacial, se muestra en la figura 1.3

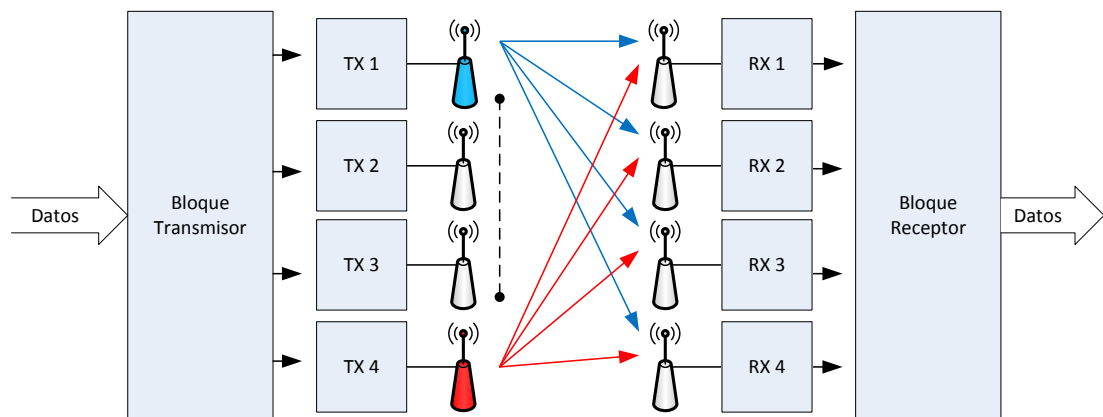


Figura 1.3.- Diagrama de bloques MIMO / SDM

Dentro de la especificación MIMO también se describe 2 facilidades de uso de múltiples antenas: Beam-forming y Diversidad de espacio. Beam-forming permite que una antena enfoque la señal de radio directamente sobre la antena de destino mejorando el desempeño al limitar la interferencia.

Beamforming es una técnica en la cual el receptor hace énfasis en las señales dominantes sobre el canal usado, aumentando la fuerza de esas señales solamente, con lo cual se simplifica y mejora el rendimiento del bloque de detección MIMO [7].

La Diversidad de espacio se beneficia del uso de múltiples antenas para enviar el flujo de información por igual sobre el grupo de antenas transmisoras y en el receptor se recoge solo el flujo de las antenas que tienen mejor confiabilidad o menor retardo.

La desventaja de usar Diversidad es que al transmitir por igual la misma información sobre los flujos espaciales (antenas) no se aprovecha toda la capacidad MIMO reduciendo el throughput del canal a la mitad, ya que se reduce a la mitad las oportunidades de envío de información por los medios compartidos.

En las figuras 1.4 a y 1.4 b, se muestran los bloques funcionales principales de un Transmisor / Receptor 802.11n.

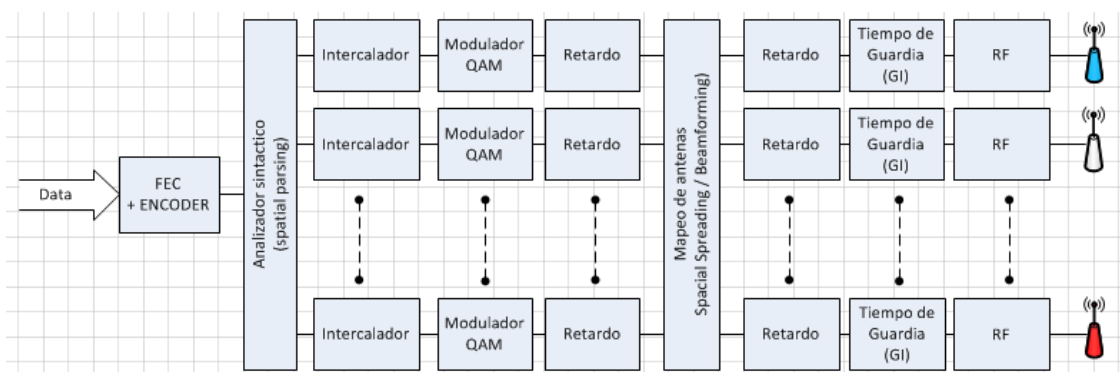


Figura 1.4a Bloque funcional de un transmisor MIMO

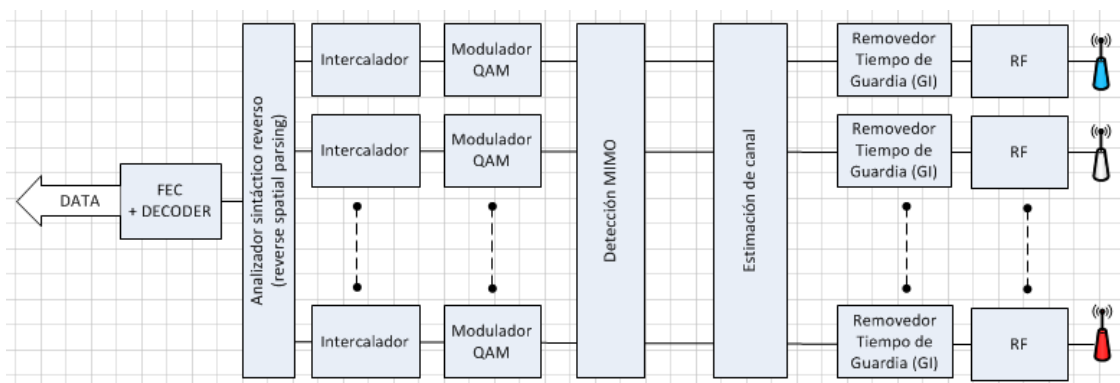


Figura 1.4b Bloque funcionales de un receptor MIMO

### **1.3 OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplex**

La técnica de OFDM se basa en un proceso de intercalar la información a ser transmitida, en este caso los bits de datos; posterior a la codificación, la información es intercalada en diferentes flujos espaciales sobre diferentes sub portadoras que componen un canal físico de transmisión (el canal de frecuencia seleccionado para la transmisión).

Posteriormente se modulan los datos con cualquiera de las técnicas de modulación disponibles (BPSK, QPSK o QAM) para formar las tramas OFDM, los símbolos son sometidos a un proceso de retardo para que el receptor pueda diferenciar entre tramas que llegan de forma directa y tramas que llegan por efecto de multi-trayecto.

Este proceso de retardo es hecho antes y después del bloque de mapeo de antenas, el cual realiza tanto la función de beamforming como de discriminación del conjunto transmisor / antena a ser usado. Antes de ser enviados al conjunto transmisor / antena para su emisión, se agrega el tiempo de guarda (GI) entre tramas OFDM que están siendo enviadas por ese trayecto.

El bloque de mapeo espacial también envía las tramas iniciales de sincronización que le sirven al receptor para determinar si la conexión se hará con una estación legada (802.11a) o con una estación HT (802.11n), en función de la información y de la longitud del bloque inicial de negociación llamado Preamble.

Hacer el intercalado de bits a través de los flujos espaciales y sub portadores permite que el enlace se beneficie tanto de la diversidad espacial y de la diversidad en frecuencia [8] para aumentar el throughput de la información enviada y recibida.

El uso de múltiples sub portadoras que componen un canal físico de transmisión, se puede considerar como una técnica de multiplexación por división de frecuencia FDM (Frequency Division Multiplexing) pero separadas ortogonalmente entre sí para hacer más eficiente el uso del espectro y sin que ocurra interferencia entre ellas ocasionada por la superposición de señales.

#### **1.4 Aplicación del estándar 802.11 en los equipos propuestos**

Los equipos objeto de estudio pueden operar en bandas multi frecuencias desde 2.3 a 6.4 GHz, cumpliendo con gran variedad de regulaciones: ETSI, FCC, IC (Canada), WPC (India) y MII (China). Las bandas multi frecuencias son habilitadas en los equipos según el mercado donde van a funcionar pero sujetos a la regulación del estándar 802.11 para las enmiendas 802.11a y 802.11n en la banda de 5 Ghz y para las enmiendas 802.11g en la banda de 2,4 Ghz.

El sistema analizado tiene solo 2 opciones de operación en el bloque de mapeo de antena: en modo MIMO y en modo DIVERSIDAD. El modo BEAMFORMING no está habilitado para la versión de Hardware de los equipos analizados.

Para el modo MIMO, tal como se muestra en la figura 1.5 [9], al ser un sistema MIMO 2x2 se tienen 2 antenas transmisoras / receptoras que envían 2 flujos espaciales independientes (Stream 1a y 1b) a través de 2 sistemas RF transmisores / receptores independientes en la radio base o HBS (High Capacity Base Station), el cual cumple las funciones de Access Point en el sentido estricto de su función para un enlace sujeto al estándar 802.11.

Los 2 flujos espaciales son recibidos y reconstruidos por 2 sistemas receptores / transmisores independientes dentro de la unidad de suscriptor o HSU (High Capacity Subscriber Unit), que cumple la función de estación STA, en el sentido estricto de su función para un enlace sujeto al estándar 802.11.

Máxima capacidad MIMO 2x2  
Antena de polarización Dual en cada lado (integrada o externa)

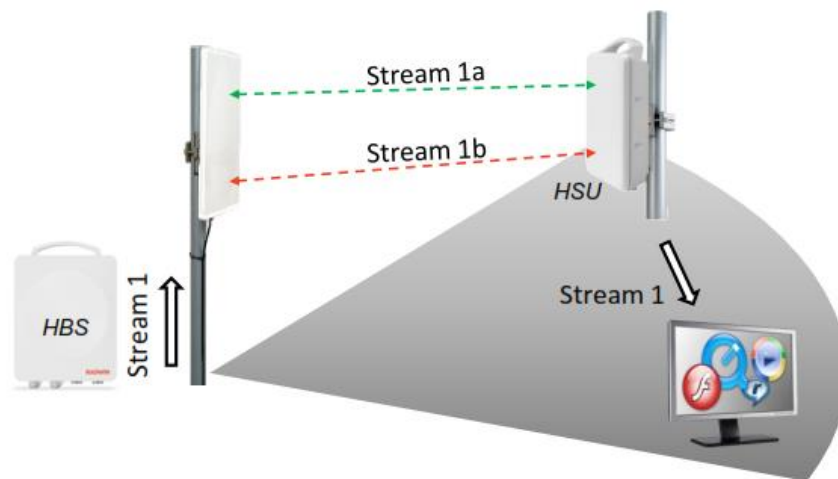


Figura 1.5 Operación en modo MIMO

Para el funcionamiento en modo DIVERSIDAD, como se muestra en la figura 1.6, el arreglo de antenas 2x2 también se usa independientemente pero enviando y recibiendo el mismo flujo de información por ambos arreglos de antena, con lo cual se reduce la capacidad del enlace a la mitad. Este modo es usado para ofrecer mayor seguridad al enlace ante pérdidas ocasionadas por el efecto multitrayecto.



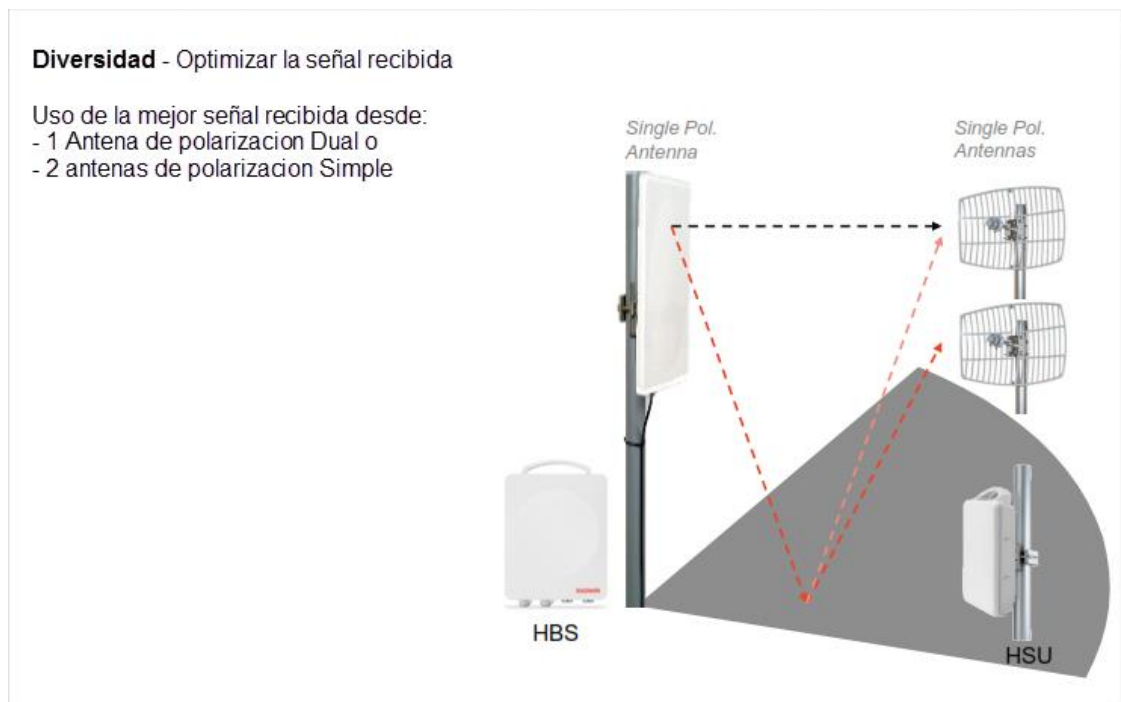


Figura 1.6 Operación en modo DIVERSIDAD

Cuando se usa la capacidad MIMO, al utilizar los 2 flujos de manera independiente, se incrementa la velocidad del canal, originándose el concepto de “Capacidad Agregada” para hacer referencia a la capacidad MIMO del equipo. La máxima “Capacidad Agregada” para la versión de hardware probado es de 250 Mbps, capacidad que es compartida por las estaciones HSU autenticadas y registradas sobre el HBS, a través de un sistema de encriptación y autenticación.

Los HSU (STA's) se registran en las HBS (AP's) por medio del reconocimiento del SSID declarado en el HBS, cumpliendo con el estándar 802.11 en lo indicado para un Basic Service Set BSS y autenticación en la capa de datos LLC, la cual se realiza por medio de un password asignado al enlace y que usa encriptación AES128, el cual puede ser modificado por el usuario.

La figura 1.7 muestra la ventana de configuración de la HBS, en la cual el parámetro Sector ID define el nombre del SSID y el link password; para este HBS en particular se está trabajando con la frecuencia no licenciada de 5 Ghz y con canales de 20 Mhz, como se muestra en la figura 1.8.



Figura 1.7 ventana de activación de una HBS

Se observa también la posibilidad de trabajo usando ACS (Automatic Channel Selection) en referencia al concepto de DFS (Dynamic Frequency Selection) especificado en el 802.11. Esta opción le permite al equipo la selección del mejor canal de operación de todos los habilitados, para la conexión con los HSU (STA remotos). La frecuencia de operación seleccionada del banco de frecuencias disponibles será la frecuencia de operación del sector del Multipunto.

El ancho de banda de canal seleccionado (20 Mhz) se aplica a todo el sector y así operaran todos los remotos conectados a este HBS.

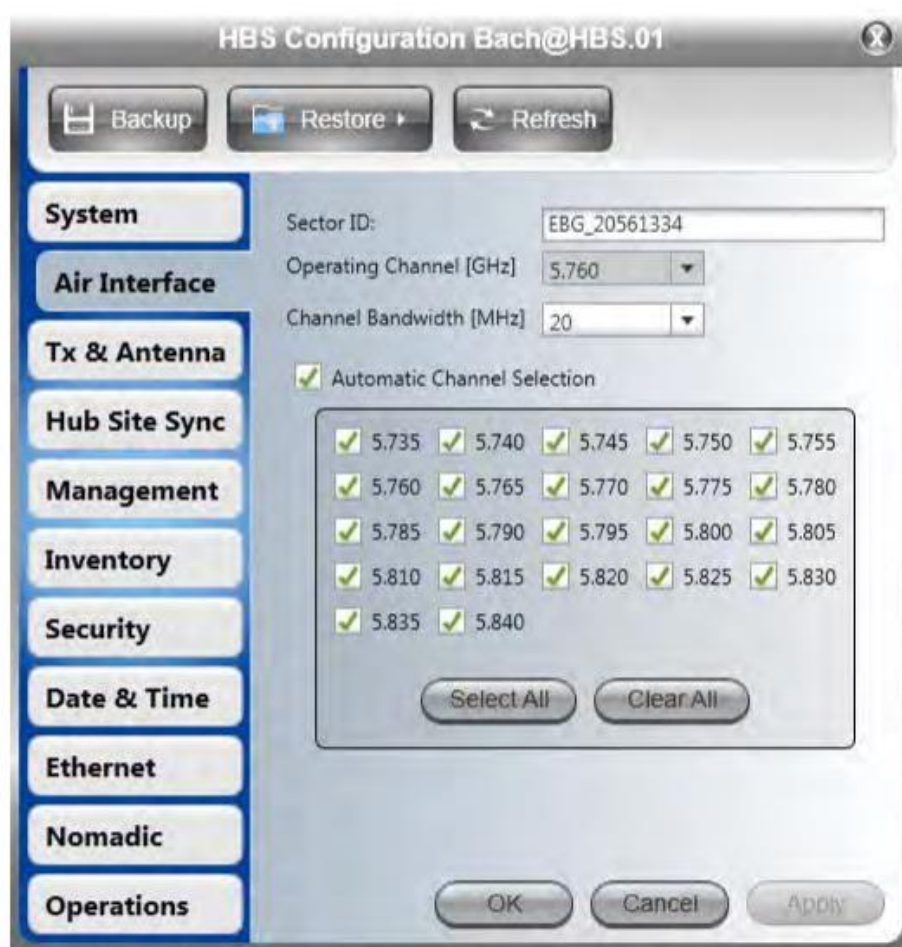


Figura 1.8.- ventana de configuración de frecuencias de la HBS

Este sistema Mutipunto es capaz de trabajar en 802.11n con canales de 20Mhz y 40 Mhz así como con los canales fraccionales a 5 Mhz y 10 Mhz de acuerdo a la banda de trabajo y sistema transmisor instalado en el equipo, como se indica en la tabla 1.9

Band	5 MHz	10 MHz	20 MHz	40 MHz
Universal 6.0 GHz	✓	✓	✓	✓
Universal 5.9 GHz	✓	✓	✓	✓
Universal 5.4 GHz	✓	✓	✓	✓
Universal 5.3 GHz	✓	✓	✓	✓
Universal 5.0 GHz	✓	✓	✓	✓
Universal 4.9 GHz	✓	✓	✓	✓
FCC/IC 5.8 GHz	✓	✓	✓	✓
FCC/IC 5.3 GHz	✓	✓	✓	✓
FCC/IC 4.9 GHz	✓	✓	✓	
FCC 5.4 GHz	✓	✓	✓	✓
IC 5.4 GHz	✓	✓	✓	✓
FCC/IC 3.5 GHz	✓	✓	✓	
IC 3.X GHz	✓	✓	✓	
FCC/BRS 2.5 GHz	✓	✓	✓	
MII 5.8 GHz	✓	✓	✓	✓
WPC 5.8 GHz	✓	✓	✓	✓
ETSI 5.8 GHz		✓	✓	
ETSI 5.4 GHz		✓	✓	✓
ETSI 5.3 GHz		✓	✓	
ETSI 3.X GHz	✓	✓	✓	

Figura 1.9 Bandas de trabajo y canales de operación de las HBS

Un multipunto que sigue el estándar 802.11 usa la interface aire (canal de frecuencia) de forma compartida. Las tramas provenientes de una estación remota STA específica es identificada por medio de la información contenida en la capa de datos MAC; el AP que controla el sector aplica el criterio de igualdad para el manejo de paquetes recibidos y el ancho de banda en el aire es dividido en igual proporción para todas las estaciones concurrentes.

Bajo condiciones ideales siguiendo este criterio, la capacidad del canal aire para cada estación se mantendría igual si todos los STA estuvieran a la misma distancia y operaran bajo las mismas condiciones de línea de vista LOS (Line of Sight); bajo estas condiciones los STA operarían con los mismos MCS y por lo tanto el throughput sería igual para todas las STA, lo cual no es

verdad en un ambiente real. Bajo condiciones reales, es posible que un STA sufra degradación del enlace hacia la HBS que maneja su sector de cobertura, porque no todos los remotos STA están a una misma distancia ni tienen un mismo desempeño debido a las pérdidas por multitrayecto, saturación del espectro (ruido) o interferencia del canal de aire (de otra fuente radiante cercana).

Bajo condiciones reales, los STAs operan con diferentes MCS de manera dinámica, siguiendo el estándar 802.11 de acuerdo a los niveles de recepción que varían dinámicamente según las condiciones de operación del enlace; por este motivo la tasa de información enviada por un STA difiere de las demás, afectando el ancho de banda del AP asignado para cada STA.

En otras palabras, si un AP usa la capacidad del canal de aire de forma compartida, el aumento o disminución del throughput de un STA ocasionado por el cambio dinámico de los MCS, debido a la degradación o mejoramiento del enlace, provoca que se disminuya o aumente el ancho de banda de los demás STAs; es decir se degrada o mejora el throughput de los STAs, con lo cual no se puede garantizar un throughput fijo. Las figuras 1.10a (ideal) y 1.10b (ejemplo de condición real) muestran la relación del uso del ancho de banda del canal de aire en modo compartido.

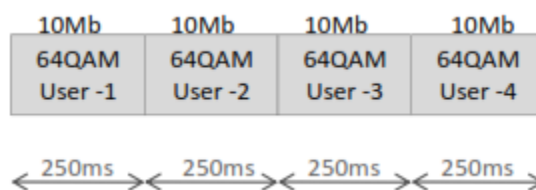


Figura 1.10a Condiciones ideales de operación de STA ubicados a igual distancia

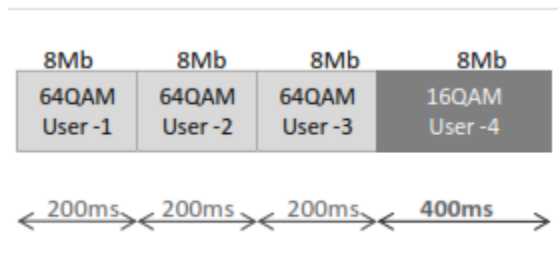


Figura 1.10b Operación de STA ubicados diferente distancia en condiciones reales

En la figura 1.10a se asume que cada suscriptor se encuentra a una misma distancia y con igual MCS, en este caso 64QAM FEC 3/4 que permite la transmisión de 10 Mbps. En la figura 1.10b se asume que la degradación del User-4 provoca el uso de un MCS 16QAM FEC 1/2 que es más estricto, lo que causa que disminuya el throughput general para todas las estaciones del sector.

Para evitar este problema, el HBS usa Multiplexación por división de Tiempo TDMA (Time Division Multiplex Access) ofreciendo la facilidad de asignar intervalos de tiempo para la ocupación del canal de frecuencia para transmitir y recibir hacia un HSU (downlink y uplink). Con esta facilidad se incrementa la tasa de información recibida y enviada desde y hacia un suscriptor específico independientemente de la condición del canal interface aire.

Es decir, independientemente del throughput que ofrezca el canal de transmisión 802.11 (OFDM/MIMO) a un suscriptor particular, su capacidad es mejorada aumentando el tiempo de transmisión y recepción desde y hacia el remoto permitiéndole aumentar su throughput. Adicionalmente no perjudica al resto de STAs que operan sobre la misma HBS debido a que cada HSU tiene asignado determinados intervalos de tiempo para transmitir y recibir. La figura 1.11 muestra una representación de la forma como el sistema hace el

tratamiento de asignación de tiempo sobre el canal de aire para estaciones con igual o diferente calidad de enlace.

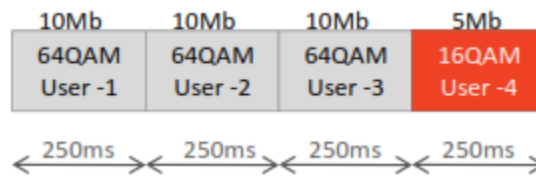


Figura 1.11.- igual tiempo de asignación permite mantener conservar el throughput

Cada uno de los bloques representados en la figura 1.11 representa un intervalo de tiempo de uso de canal (interface aire), para este caso y bajo las condiciones de operación del enlace del User-4, con un solo intervalo de tiempo asignado se puede garantizar solo 5 Mbps sin degradar el throughput de los otros remotos; para igualar la capacidad a 10 Mbps se le tendría que asignar otro intervalo de tiempo, para que la suma total del throughput de cada canal sea equivalente o superior a lo solicitado para un remoto en particular.

Esta asignación se define al momento de registrar el HSU a la HBS mediante una ventana de registro de usuario en la HBS. Los HSU que se programan con el SSID de una HBS no se registran de manera automática; el sistema está diseñado de esta manera para tener un control de la cantidad de usuarios registrados y evitar fraude. La figura 1.12 muestra una ventana de registro y asignación de intervalos de tiempo para un HSU con nombre HSU-1 al cual se le han asignado 2 intervalos de tiempo para lograr un throughput de 3,6 Mbps usando capacidad MIMO [10].



Figura 1.12.- Ventana de registro y asignación de TS para un HSU

Nótese que la capacidad máxima de 50 Mbps indicada, está en función del tipo de equipo HSU, es decir que este equipo solo es capaz de ofrecer hasta 50 Mbps. La configuración de uso de intervalos de tiempo de la HBS es independiente del suscriptor, por lo que se indican los intervalos de tiempo remanentes en la HBS disponibles para asignar a nuevos remotos o aumentar la capacidad de alguno de ellos. Por ejemplo, asignando a este mismo HSU 8



intervalos de tiempo en total, se logra una capacidad de 14,4 Mbps, quedando remanentes 54 intervalos para ser asignados a otros HSU.

El throughput asignado al HSU es consumido de la capacidad total que maneja la HBS de forma independiente para el Downlink (hacia el remoto) y el Uplink (desde el remoto).

Esta característica le permite tanto a la base multipunto HBS como a los remotos HSU, trabajar en un ambiente ruidoso (banda de frecuencia ocupada en la periferia del transmisor o receptor) pudiendo asegurar un valor de throughput en condiciones de frecuencia interferida o banda de trabajo ruidosa; sin embargo como penalidad a esta facilidad, la HBS ve degradada su capacidad en el número de suscriptores a manejar debido a que dispone de un número limitado de intervalos de tiempo a asignar a cada suscriptor.

La figura 1.13 muestra la representación de la asignación de los HSU a 16 intervalos de tiempo disponibles en un sector atendido con una HBS con una versión de software 3.2.

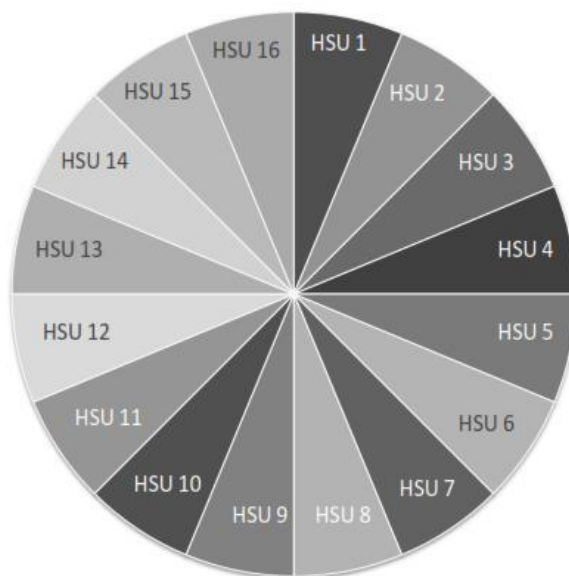


Figura 1.13 capacidad de intervalos de tiempo en una HBS v3.2

La figura 1.13 asume que a cada intervalo de tiempo se le ha asignado un HSU solo para indicar la capacidad máxima de remotos que pueden ser atendidos por esta HBS con esta versión de software. Según lo indicado con anterioridad, se pueden asignar más intervalos de tiempo a un suscriptor particular para aumentarle su throughput pero se ve disminuida la capacidad de suscriptores en el sector atendido por esta HBS.

Desde la introducción del software versión 3.3 en adelante, la capacidad de los HBS se ha cuadruplicado llegando hasta una capacidad de 64 intervalos de tiempo por HBS, con lo cual se puede atender hasta 64 remotos por sector, como se muestra en la figura 1.14.

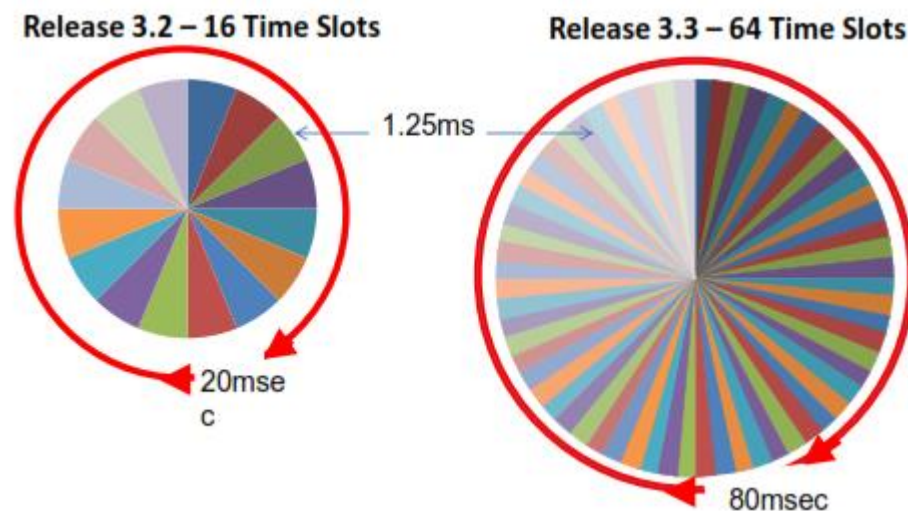


Figura 1.14.- capacidad de intervalos de tiempo en la versión 3.3 en adelante

El diseño del sistema en la actualidad para la versión 3.3 y superior, considera un total de 64 intervalos de tiempo de una duración de 1,25 milisegundos, disponibles para la asignación a los HSU, en un formato de trama aire propietario que tiene una duración de propagación de 80 milisegundos para completar un ciclo TDM.

El sistema está diseñado para que en cada intervalo de tiempo de 1,25 ms, se transmita una portadora de 20 Mhz con un máximo throughput de 1,56 Mbps; esto representa la granularidad o pasos de incremento de ancho de banda aproximados por intervalo de tiempo asignado a un HSU, del total de ancho de banda disponible en la HBS, hasta llegar a la capacidad de ancho de banda del HSU.

La figura 1.15 muestra la ventana de estado de una HBS con nombre *MP H5000 prueba*, donde se muestra una barra indicadora la capacidad usada de intervalos de tiempo (acompañado del porcentaje de ocupación de intervalos de tiempo en el HBS). También se muestra la frecuencia de operación del HBS dentro del rango de banda de trabajo programada (Band), el ancho de banda programado para el canal (Channel BW) y el SSID de la HBS (Sector ID)

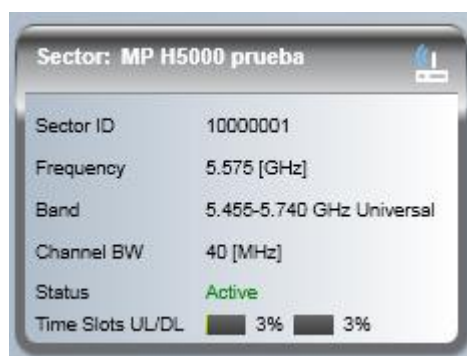


Figura 1.15.- Detalle de la programación de un HBS

Cuando se aplica la configuración máxima 802.11 con 40 Mhz de asignación de ancho de banda del canal (interface aire), una HBS puede suministrar hasta 250 Mbps en distancias aproximadas de entre 1 a 2 Km disminuyendo su capacidad en relación a la distancia donde se ubiquen los remotos HSU. La figura 1.16 muestra la relación capacidad HBS en relación a la distancia de un HSU [11].

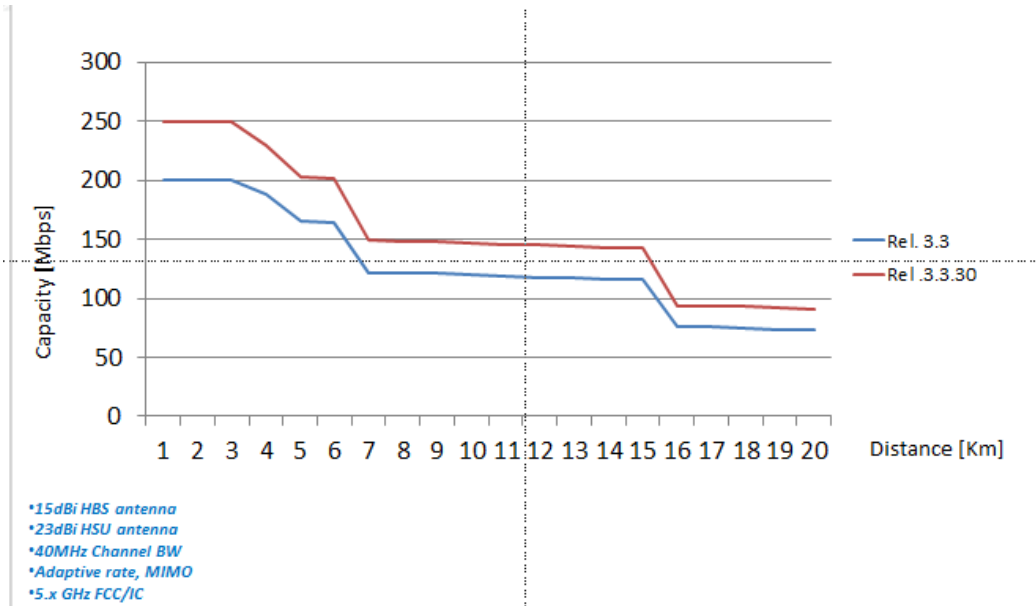


Figura 1.16.- Capacidad HBS vs distancia HSU

Tómese en cuenta que estos valores son el resultado de pruebas hechas considerando que el equipo HSU tiene una antena de 23dBi y la HBS una antena de 15dBi, operando en la banda de 5 Ghz FCC/IC (ver figura 1.9) y programado el suscriptor con MIMO y selección automática de MCS que en el sistema se lo conoce como Adaptive Rate.

El Anexo 1 indica las características técnicas de los equipos así como las capacidades de la interface aire de acuerdo con la modulación y FEC seleccionado de forma automática.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. METODOLOGÍA, INVESTIGACION DE DATOS, OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

#### **2.1. Enfoque metodológico**

Para el desarrollo del proyecto se hizo la instalación de una estación base y un remoto de prueba para cada operador. Se hizo un análisis de la cobertura y de equipamiento a instalarse en cada sitio piloto de acuerdo con los requerimientos del cliente.

Para el análisis gráfico de la cobertura de un nodo específico, se usa la herramienta Radio Mobile V15.5.9 de distribución gratuita por Internet [12], donde se especifican condiciones y parámetros básicos de operación de los equipos involucrados. Como ayuda se ha usado el MANUAL DE CALCULOS DE COBERTURA CON RADIO MOBILE [13] y del MANUAL DE AYUDA PARA LA CONFIGURACIÓN Y USO [14]

Para el análisis de cobertura y cálculo de enlace por sitio piloto, se usó una herramienta de software propia del proveedor de equipos RADWIN, llamada R-PLANNER, que usa métodos de cálculos a través de una base de datos propia donde constan los parámetros de funcionamiento de los equipos que distribuye dicho fabricante.

La herramienta no permite la inserción de otros equipos o elementos del sistema que no sean del fabricante para la realización de los cálculos, por lo que para las antenas que no son del proveedor de equipos, los cálculos son hechos usando elementos con valores aproximados a aquellos que fueron escogidos para construir la solución; esto nos permite tener una buena aproximación de resultados teóricos de la cobertura deseada.

Para la verificación del funcionamiento de los sitios pilotos y la verificación del desempeño se usa una medición de tráfico por medio de la herramienta JPERF2 [15] de distribución gratuita por Internet.

## **2.2. Requerimientos de los operadores**

Para los operadores Claro y Telconet las condiciones de concurrencia en el mercado son similares pero diferenciadas por el producto final y el tipo de licencia de explotación del servicio que poseen.

### **2.2.1. Requerimientos operador CLARO**

- El sistema debe permitir usar la licencia de uso de frecuencia en la banda de 3,5 Ghz para servicios de acceso fijo inalámbrico.
- El sistema debe tener capacidad de operar en toda la banda de 3,5 Ghz y no limitada al segmento concesionado por el Estado a Claro para su operación
- El sistema debe operar en bandas no licenciadas definidas en el Ecuador de acuerdo a las características de producción de equipos
- El sistema debe ofrecer un throughput mínimo de 2 Mbps asegurado por cliente conectado al multipunto sin que esto reduzca de alguna manera el desempeño o servicio de los otros clientes conectados al mismo multipunto
- El sistema debe ofrecer capacidad de crecimiento y de configuración tipo celda.
- El sistema debe ofrecer capacidad de conectividad Ethernet para transporte de protocolo IP, tanto del lado del cliente como del lado del nodo multipunto.
- Proyección de cobertura por sector de entre 3 a 5 Km
- Coordenadas del sitio piloto RBS Claro Latitud:02°09'45.65"S, Longitud: 79°55'1.05"O

- Coordenadas del sitio piloto Remoto Claro Latitud:02°09'39.30"S, Longitud: 79°54'43.00"O

### **2.2.2. Requerimientos operador TELCONET**

- El sistema debe operar en bandas no licenciadas definidas en el Ecuador de acuerdo a las características de producción de equipos
- El sistema debe ofrecer un throughput mínimo de 2 Mbps asegurado por cliente conectado al multipunto sin que esto reduzca de alguna manera el desempeño o servicio de los otros clientes conectados al mismo multipunto
- El sistema debe ofrecer una capacidad de crecimiento y de configuración tipo celda.
- El sistema debe ofrecer capacidad de conectividad Ethernet para transporte de protocolo IP, tanto del lado del cliente como del lado del nodo multipunto.
- Proyección de cobertura por sector de entre 3 a 5 Km
- Coordenadas del sitio RBS piloto TELCONET Latitud:02°10'28.25"S, Longitud: 79°55'6.91"O
- Coordenadas del sitio Remoto piloto TELCONET Latitud:02°10'4.79"S, Longitud: 79°53'50.66"O

## **2.3. Análisis de requerimientos y resultados estimados**

### **2.3.1. Uso de frecuencias en el Ecuador**

Para el caso de Claro, su condición de ISP, operador de voz y datos y su sinergia con Ecuador Telecom (ECUTEL) para el suministro de servicios de valor agregado le permiten la explotación de sistemas de acceso fijo

inalámbrico en la banda licenciada de 3,5 Ghz, sobre la cual tiene adjudicado un segmento; también puede operar en la banda no licenciada de 5 Ghz con accesos de última milla inalámbricos.

Para el caso de TELCONET, su condición de operador de datos con licencia ISP le permite instalar solamente accesos de última milla inalámbricos en 5 Ghz

Los sistemas de acceso fijo inalámbrico están indicados dentro del Plan Nacional de Frecuencias publicado por el CONATEL – CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES en el año 2012 como servicios FWA (FIXED WIRELESS ACCESS), dentro de las Notas Nacionales relacionadas al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias del Ecuador [16].

Para el servicio FWA se tiene asignado un segmento de frecuencia en la banda de 3 Ghz según describe dicho documento en la nota EQA.60. Para el caso de la banda de 5 Ghz, el Plan Nacional de Frecuencias la subdivide en varios segmentos según indica la nota EQA.90 de dicho documento. Ver Tabla 2.1.

El CONATEL asignó las bandas de frecuencias a los sistemas MDBA – MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA reglamentados según la RESOLUCION-TEL-560-18-CONATEL-2010, siguiendo la resolución 229 de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2003, que establece la utilización de parte de la banda de 5Ghz para la implementación de Sistemas de Acceso Inalámbrico (WAS – Wireless Access System) [17].

<b>Banda MHZ</b>	<b>Rango MHz</b>
	<b>Nota EQA (resumen): Servicio (Sistema/Uso)</b>
<b>3400 – 3500</b>	3400- 3500 EQA.60: FIJO (FWA)



<b>Banda MHZ</b>	<b>Rango MHz Nota EQA (resumen): Servicio (Sistema/Uso)</b>
<b>3500 – 3700</b>	3500 – 3700 EQA.60: FIJO (FWA)
<b>5150 – 5250</b>	5150 – 5250 EQA.90: (MDBA y Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)
<b>5250 – 5350</b>	5250 – 5350 EQA.90: (MDBA y Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)
<b>5470 – 5750</b>	5470 – 5750 EQA.90: (MDBA y Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)
<b>5725 – 5850</b>	5725 – 5850 EQA.90: (MDBA y Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)

Tabla 2.1.- segmentación de frecuencia para enlaces FWA y MDBA

### **2.3.2. Equipos usados para el piloto**

Se usaran para esta propuesta equipos del fabricante RADWIN que tiene una línea de productos punto – multipunto conocida como RADWIN5000 HPMP – POINT TO MULTIPOINT BROADBAND WIRELESS y que cumplen con los requerimientos de ambos operadores de servicio.

Los equipos de radio tipo Multipunto tienen capacidad de hasta 250 Mbps agregados y equipos suscriptores con capacidades de 10, 20 y 50 Mbps

agregados; ambos con capacidad de conexión Ethernet hacia la red del operador y cliente respectivamente.

Para el estudio de campo (instalación de pilotos de prueba) realizado en la ciudad de Guayaquil, se usará un multipunto con capacidad de 250 Mbps con antena sectorial de 90° y un remoto de 10 Mbps con antena integrada de 3° de apertura. El tipo de equipo escogido está en función de la distancia solicitada de 3 a 5 Km de cobertura y confirmada por los cálculos presentados en el punto 2.5.

Como uno de los operadores tiene licencia para banda regulada (3 Ghz) sobre la cual no habría problemas de interferencia y ambos operadores desean instalar equipos en banda no regulada (5 Ghz), el piloto de prueba para ambos operadores se escogió en la banda de 5Ghz para probar su desempeño en este medio. Ver Tabla 2.2

<b>Equipo / Ubicación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Modelo</b>
<b>RBS Multipunto</b>	Antena sectorial 5Ghz 2x2 MIMO	AM-5G20-90
	Radio Base con conector de antena externa (2 x N Type), banda multi frecuencia a 5.x Ghz, Default 5,4Ghz ETSI	RADWIN 5000 HBS5200 200M 5.4 Con
	Power over Ethernet	0334B5555
	Versión Software	3.5.70_b3574_jan_8_2015
<b>Remoto</b>	Antena direccional	Integrada al equipo
	Radio Suscriptor con antena integrada y conector de antena externa (2 x N Type)	RADWIN 5000 HSU510 10M 5.4 Emb

	banda multi frecuencia a 5.x Ghz, Default 5,4Ghz ETSI	
	Power over Ethernet	0334B5555
	Versión Software	3.5.70_b3574_jan_8_2015

Tabla 2.2.- Asignación de equipos para el piloto de demostración

Los detalles de las capacidades de funcionamiento de los equipos mencionados pueden verse en el Anexo 1.

### 2.3.3. Cálculo de enlace con Radio Mobile

Usamos el programa Radio Mobile para calcular teóricamente los niveles de recepción aproximados en el sector creado por la radiobase, que incluye las coordenadas del remoto. Para la instalación de los equipos, se montó la antena sectorial de tal forma que el remoto quedó ubicado en las inmediaciones del centro del sector creado.

A continuación se muestran los cálculos aproximados hechos con el programa Radio Mobile, usando los datos de funcionamiento de los equipos HBS y HSU usados en los enlaces pilotos de ambos operadores (Ver tabla 2.3) y las coordenadas indicadas en el punto 2.2 (ver tabla 2.4).

Descripción	Modelo	Características
Antena sectorial	AM-5G20-90	Ganancia: 20dBi – 90°
Radio HBS	RADWIN 5000 HBS5200 200M 5.4 Con	Potencia Tx: 25dBm Sensibilidad Rx:-85 dBm
Antena direccional		Ganancia: 15 dBi – 3°
Radio HSU	RADWIN 5000 HSU510 10M 5.4 Emb.	Potencia Tx: 25dBm Sensibilidad Rx:-85dBm

Tabla 2.3.- Datos de funcionamiento de equipos HBS y HSU

Descripción	Radio Base	Remoto	Distancia
<b>Piloto Claro</b>	Latitud:02°09'45.65"S (-2,162681 °)	Latitud:02°09'39.30"S (-2,160917 °)	0,6 Km
	Longitud: 79°55'1.05"O (-79,91695 °)	Longitud: 79°54'43.00"O (-79,91195 °)	
<b>Piloto Telconet</b>	Latitud:02°10'28.25"S (-2,174514 °)	Latitud:02°10'4.79"S (-2,167997 °)	2,5 Km
	Longitud: 79°55'6.91"O (-79,91859 °)	Longitud: 79°53'50.66"O (-79,8974 °)	

Tabla 2.4.- Coordenadas de Radio base y remoto para los operadores

Para el uso del programa Radio Mobile, generamos una red llamada piloto y programamos los parámetros generales con las Frecuencias mínima y máxima dentro del rango de 5Ghz indicados en la tabla 2.1, esto es de los 5150 Mhz hasta los 5850 Mhz.

Según los parámetros de antena, tomamos como referencia la Polarización Vertical y elegimos como clima de trabajo Continental Sub-tropical por estar los pilotos ubicados en el continente ecuatorial. Ver figura 2.1.

Los demás parámetros los dejamos por defecto. La descripción del programa Radio Mobile y los parámetros de funcionamiento del mismo están descritos en el Anexo 2; los datos de equipos son ingresados según los valores de la tabla 2.3 y los patrones de radiación de antena según el anexo 1. Ver figura 2.2 y 2.3.

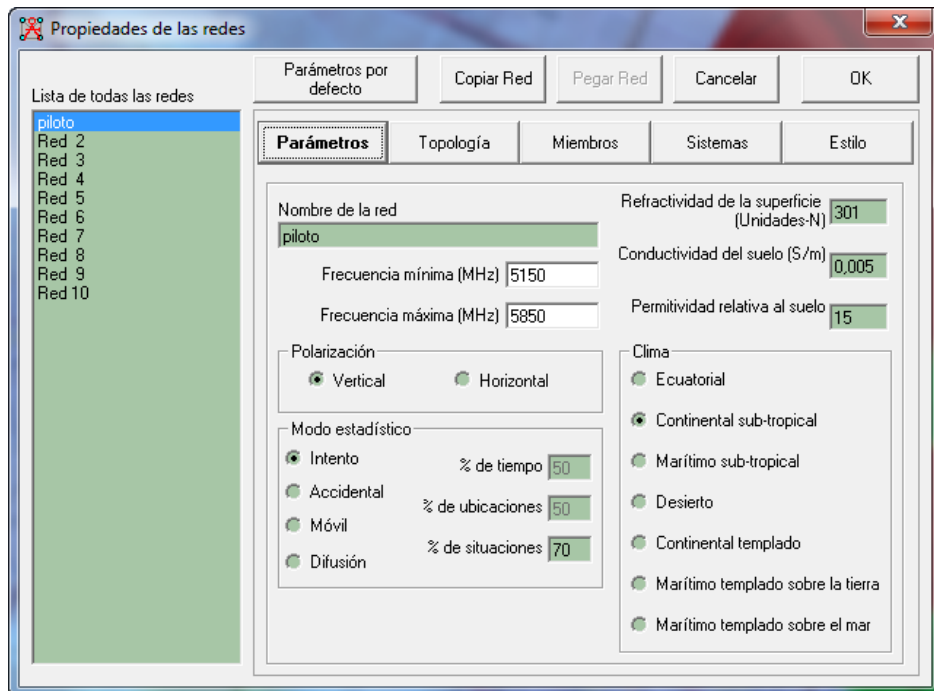


Figura 2.1.- Configuración de parámetros generales

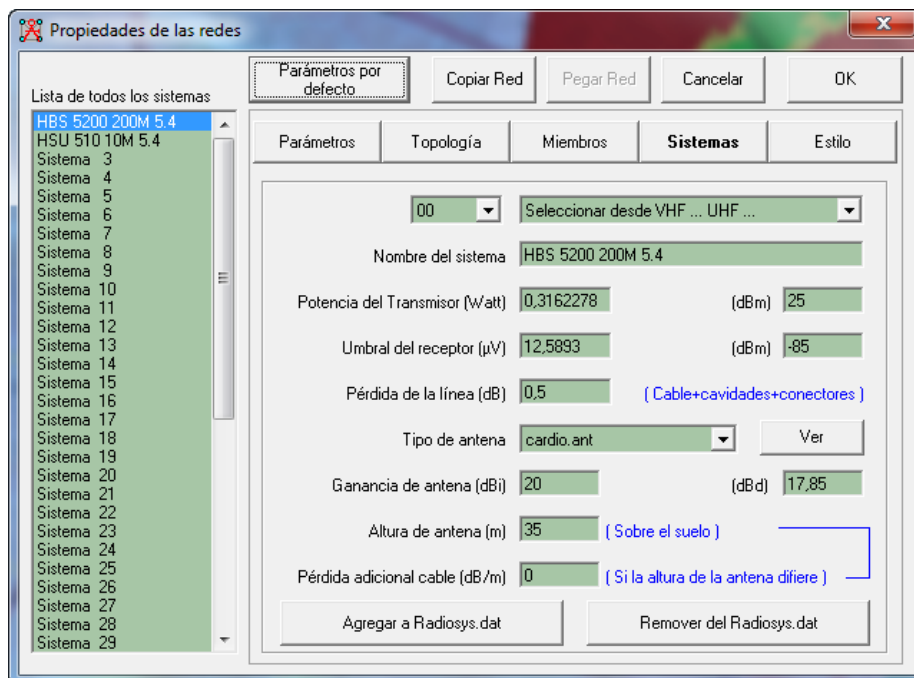
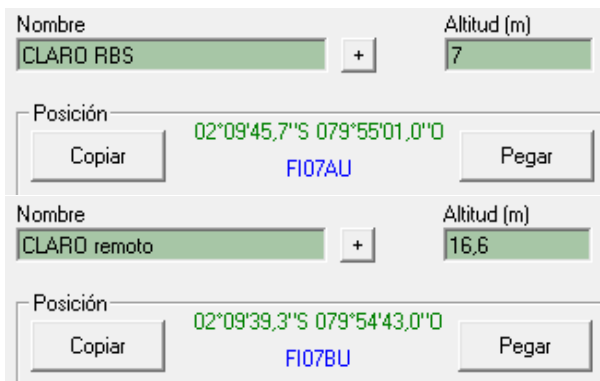


Figura 2.2.- Parámetros de equipo remoto HBS



Figura 2.3.- Parámetros de equipo remoto HSU

Ingresamos los datos de la tabla 2.4 en el programa Radio Mobile para la creación de los sitios de interés. (Ver Figura 2.4)



Nombre	telco RBS	Altitud (m)	139
Posición			
Copiar	02°10'28,3"S 079°55'06,9"O		Pegar
	FI07AT		
Nombre	telco remoto	Altitud (m)	9
Posición			
Copiar	02°10'04,8"S 079°53'50,6"O		Pegar
	FI07BT		

Figura 2.4.- Ingreso de coordenadas en Radio Mobile

Para ambos pilotos se tiene línea de vista desde sus correspondientes radiobases, teniendo como resultado los valores de enlace mostrados en las figuras 2.5 y 2.6 para ambos operadores.

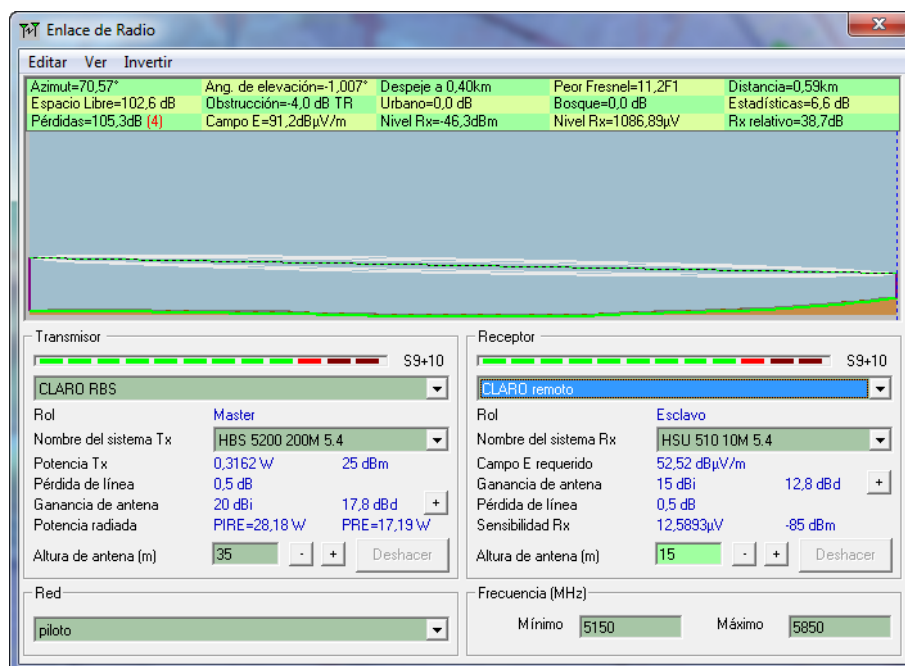


Figura 2.5 Resultados del cálculo de enlace Piloto Claro

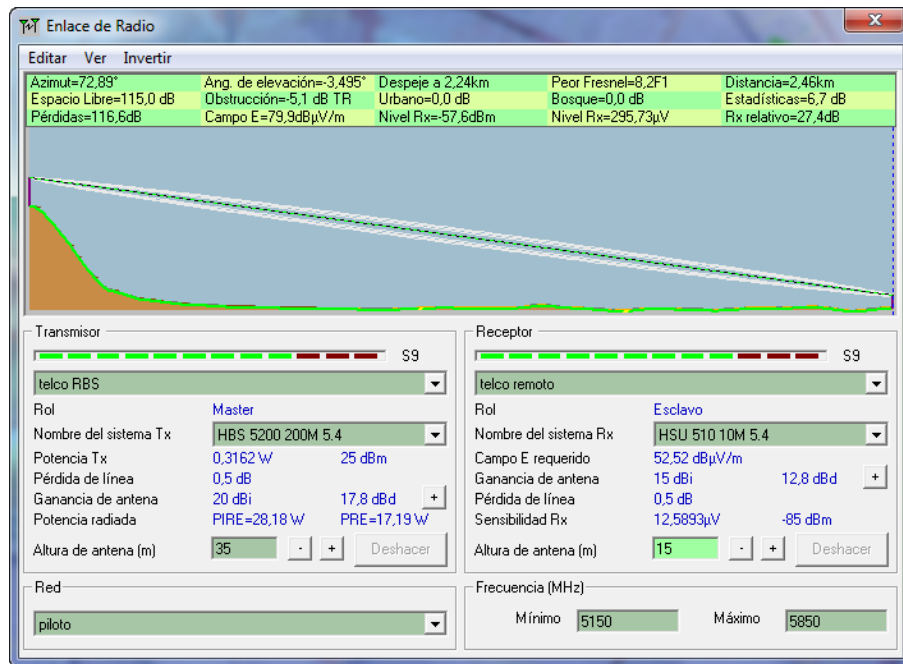


Figura 2.6 Resultados del cálculo de enlace Piloto Telconet

### 2.3.4. Estimación de coberturas

Se determinó un patrón de cobertura aproximado de 4km para un sector de 90°, con un remoto dentro de la zona de cobertura para cada operador, como se muestra en la figura 2.7 y 2.8.



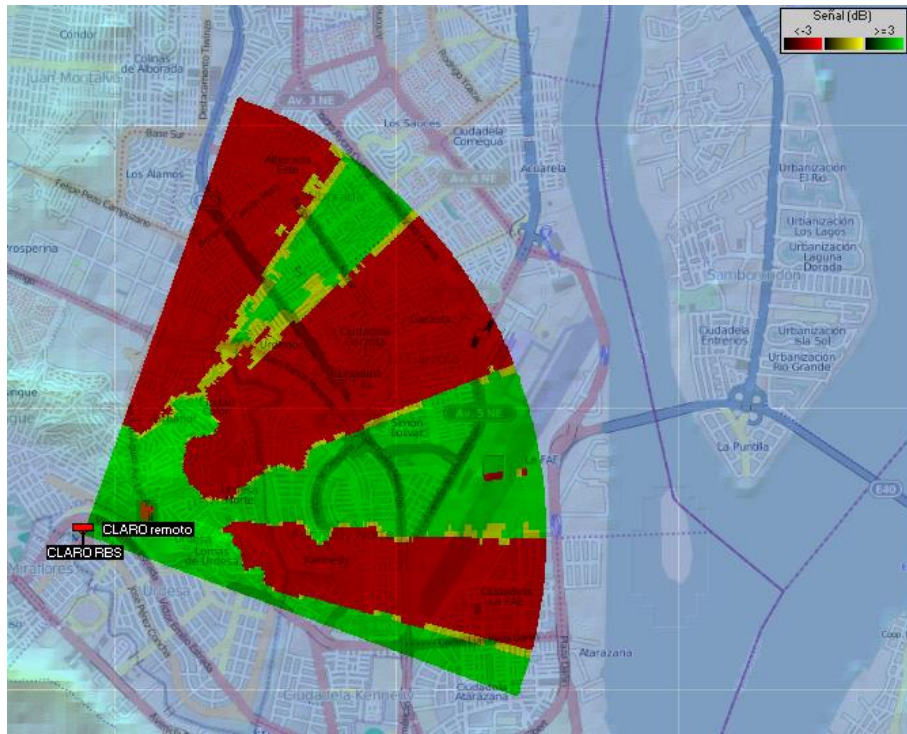


Figura 2.7.- Cobertura aproximada Piloto Claro

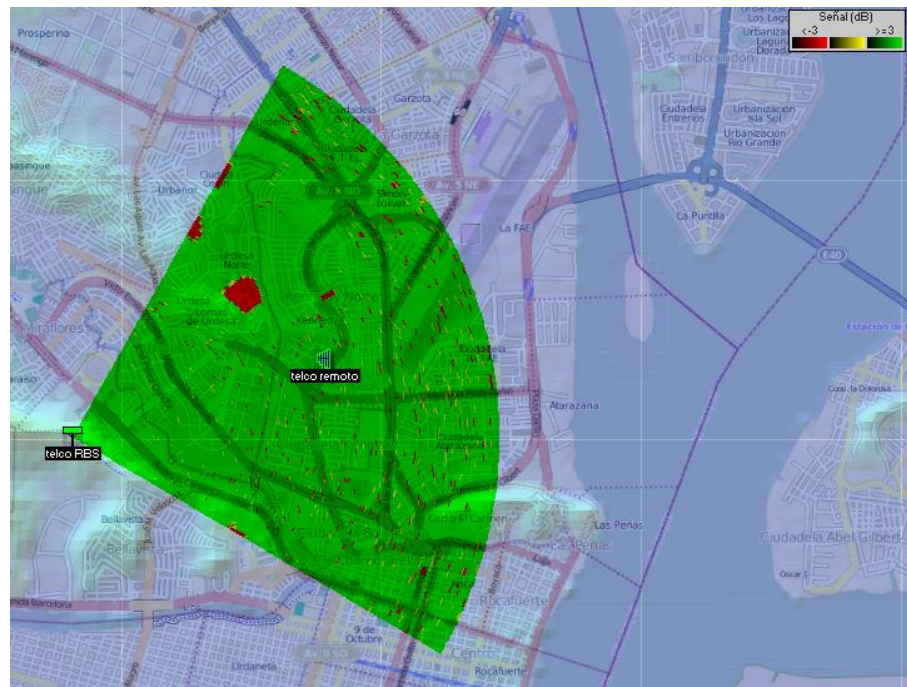


Figura 2.8.- Cobertura aproximada Piloto Telcelnet

### 2.3.5. Cálculo de enlace con R-PLANNER

Ingresamos los sitios Radiobases y hacemos las asociaciones correspondientes para cada remoto por operador, usando las coordenadas en grados de la tabla 2.4 y siguiendo el procedimiento de uso de la herramienta R-Planner indicado en el anexo 3.

El programa de cálculo se ha configurado para establecer como requisito un mínimo de Throughput de 2 Mbps y una disponibilidad de enlace del 99,9%. Ver figura 2.9.

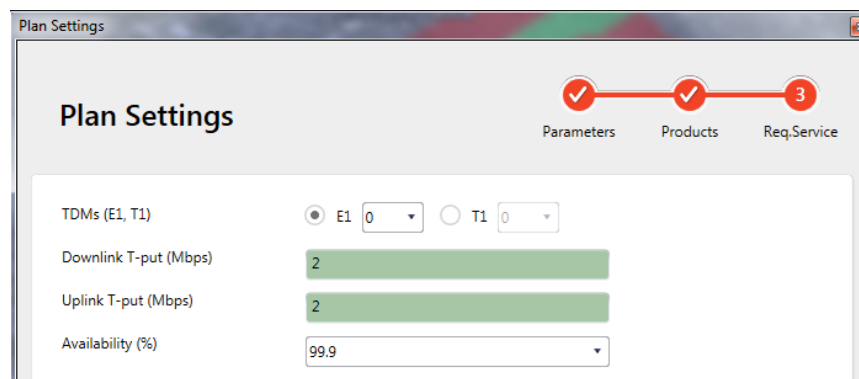


Figura 2.9 Requisitos de desempeño mínimo de enlace

Los resultados estimados de cálculo de enlace para el piloto Claro, se detallan en las figuras 2.10, 2.11 y 2.12.

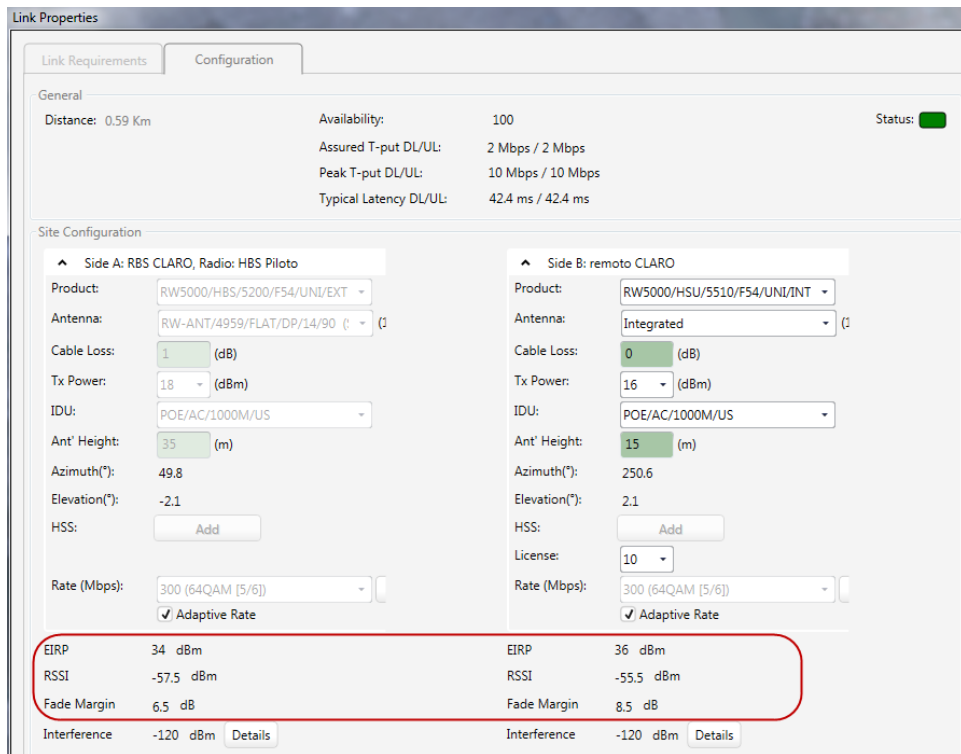


Figura 2.10 Resultados del cálculo de enlace Piloto Claro

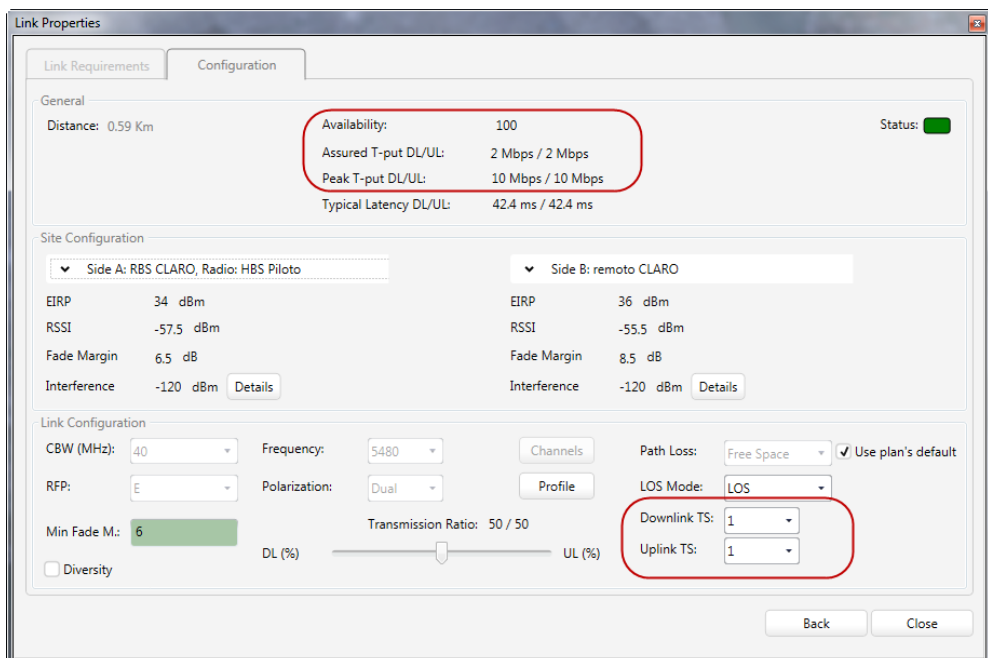


Figura 2.11 Throughput estimado Piloto Claro con 1 TS asignado

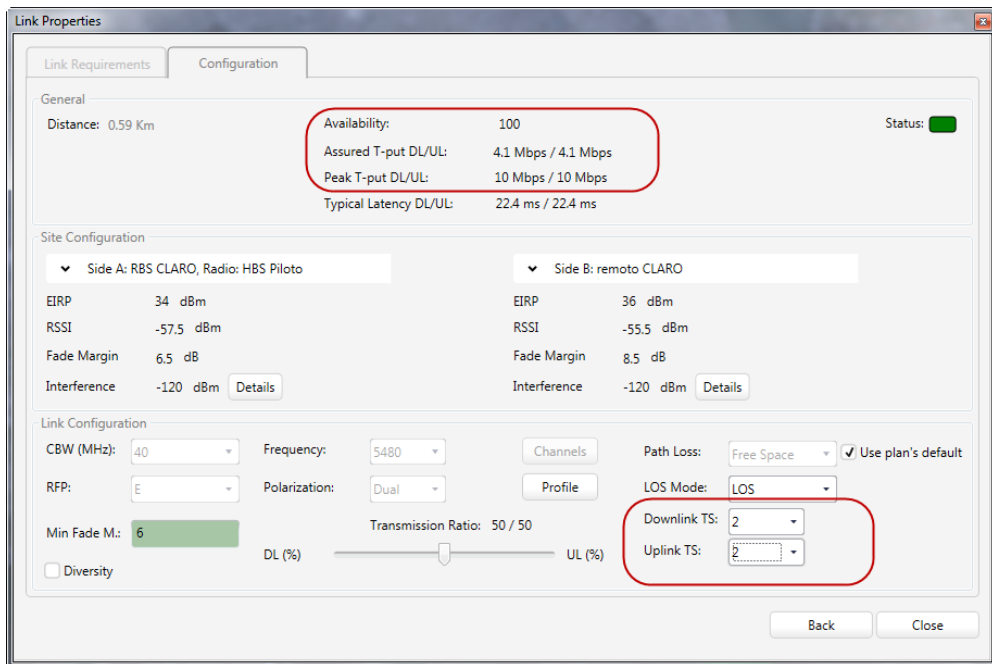


Figura 2.12 Throughput estimado Piloto Claro con 2 TS asignados

Para el piloto Telconet se configuró un throughput de 4 Mbps por lo que se tuvo que asignar más intervalos de tiempo TS al Uplink / Downlink del enlace para compensar el factor de interferencia. Ver figura 2.13. Los resultados estimados de cálculo de enlace las figuras 2.14, 2.16 y 2.17.

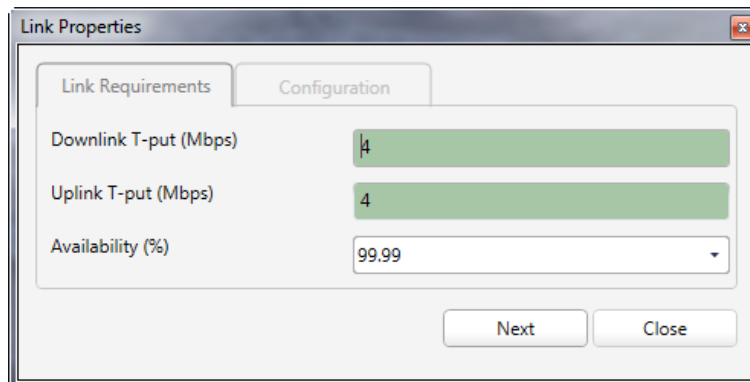


Figura 2.13 Asignación de throughput del enlace

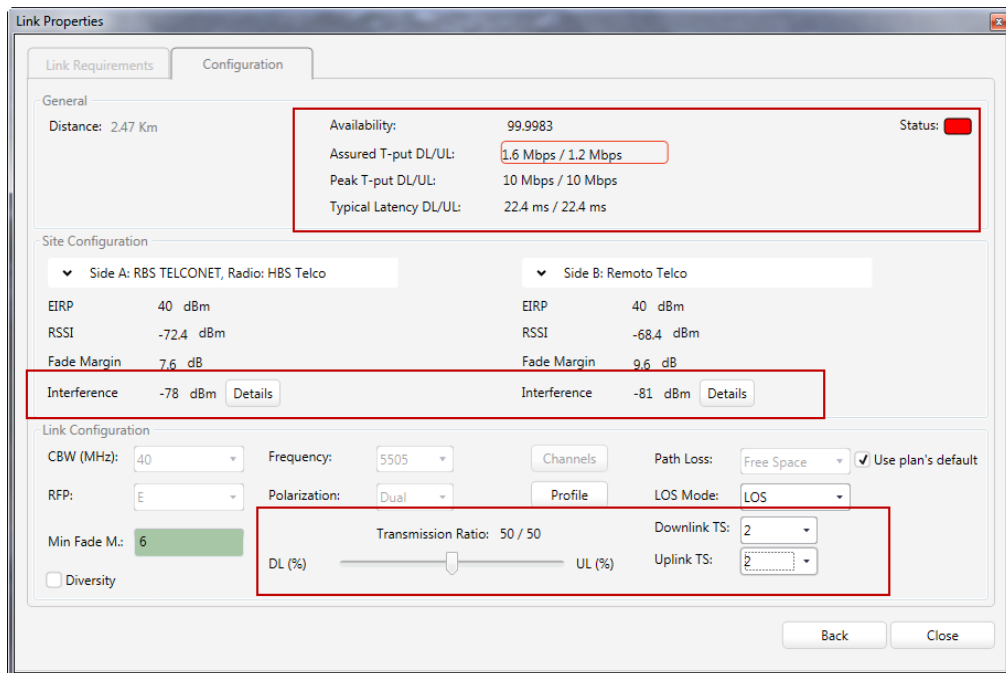


Figura 2.14 Throughput estimado con 2 TS

En el detalle INTERFERENCE de la figura 2.14, podemos ver los generadores de interferencia, en este caso el sistema los reconoce por ser parte del mismo plan. En estas tablas aparecen los valores calculados de interferencia tanto para el lado radiobase HBS Telco como remoto HSU Telco. Ver figura 2.15

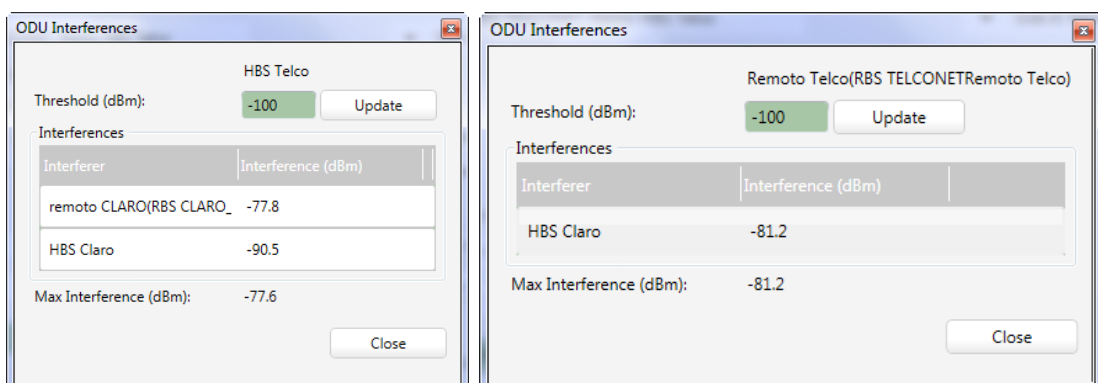


Figura 2.15 Estimaciones de interferencia sobre enlace HBS – HSU Telconet

Para compensar esta reducción del nivel de recepción, y por consecuencia también del throughput, producida por las fuentes de interferencia, se asignan más intervalos de tiempo TS, al enlace de subida Uplink y de baja Downlink. Ver figura 2.17

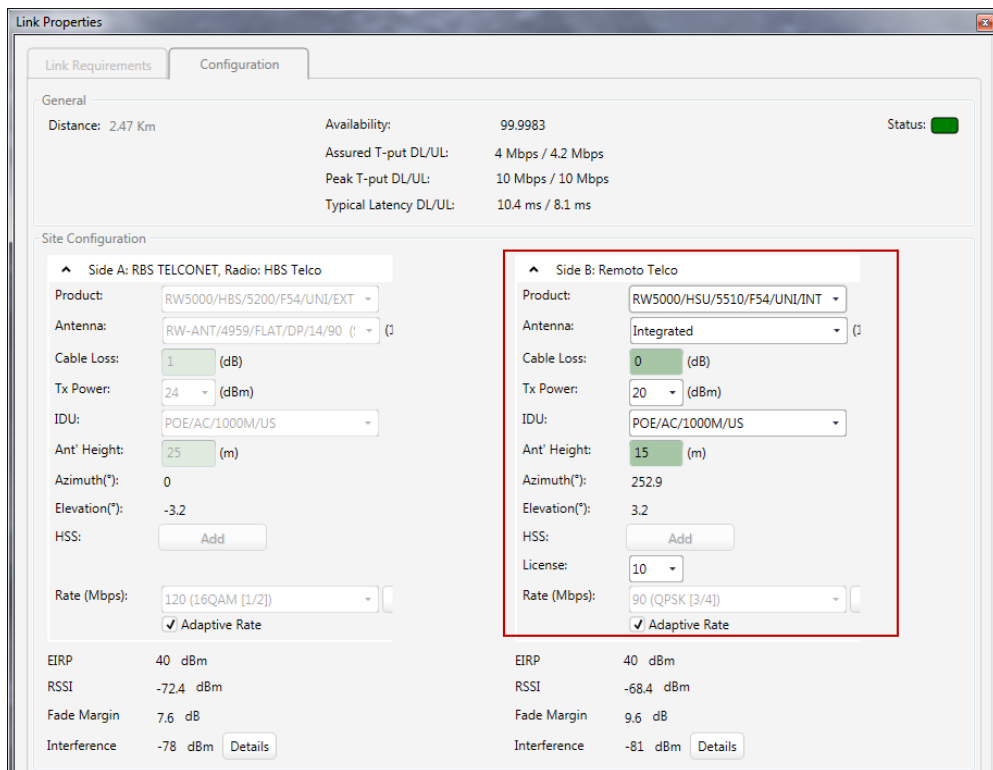


Figura 2.16 resultados de enlace considerando un HSU de 10 Mbps

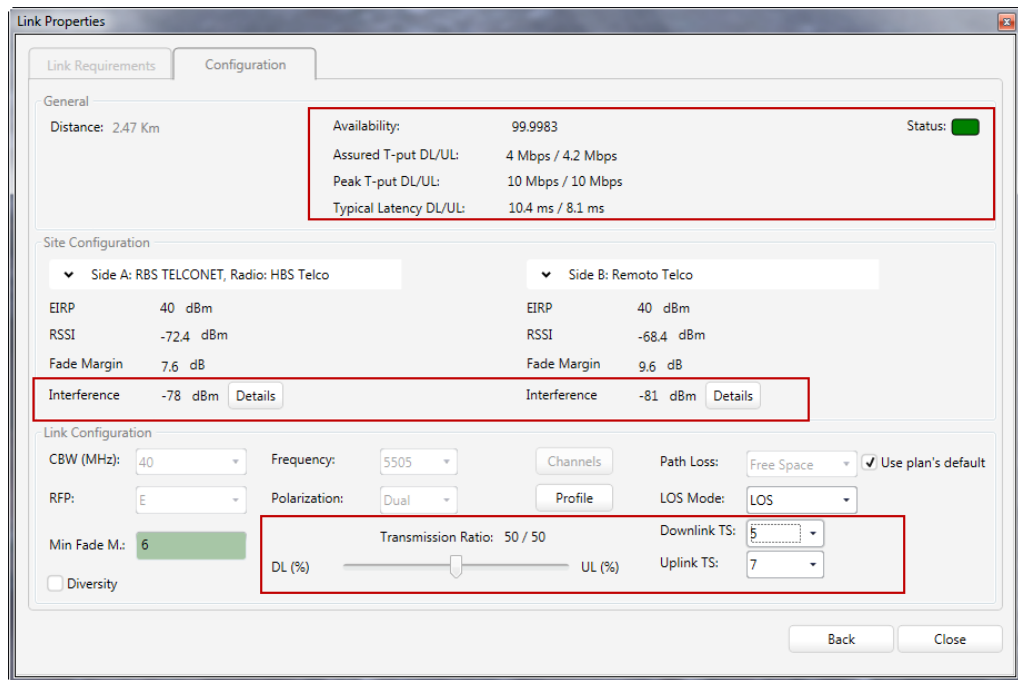


Figura 2.17 Throughput estimado con 5 TS DL / 7 TS UL

También se realizó una proyección con un HSU de mayor ancho de banda (50 Mbps), mejorando notablemente la estimación de throughput con menos intervalos de tiempo. Esto se debe a la propiedad que tiene el sistema de utilizar la máxima capacidad del HSU por ráfagas hacia los remotos, cuando el canal no está siendo ocupado con lo cual se eleva el throughput promedio, Ver figura 2.18.

Estos resultados servirán para evaluar la solución en el capítulo 3.

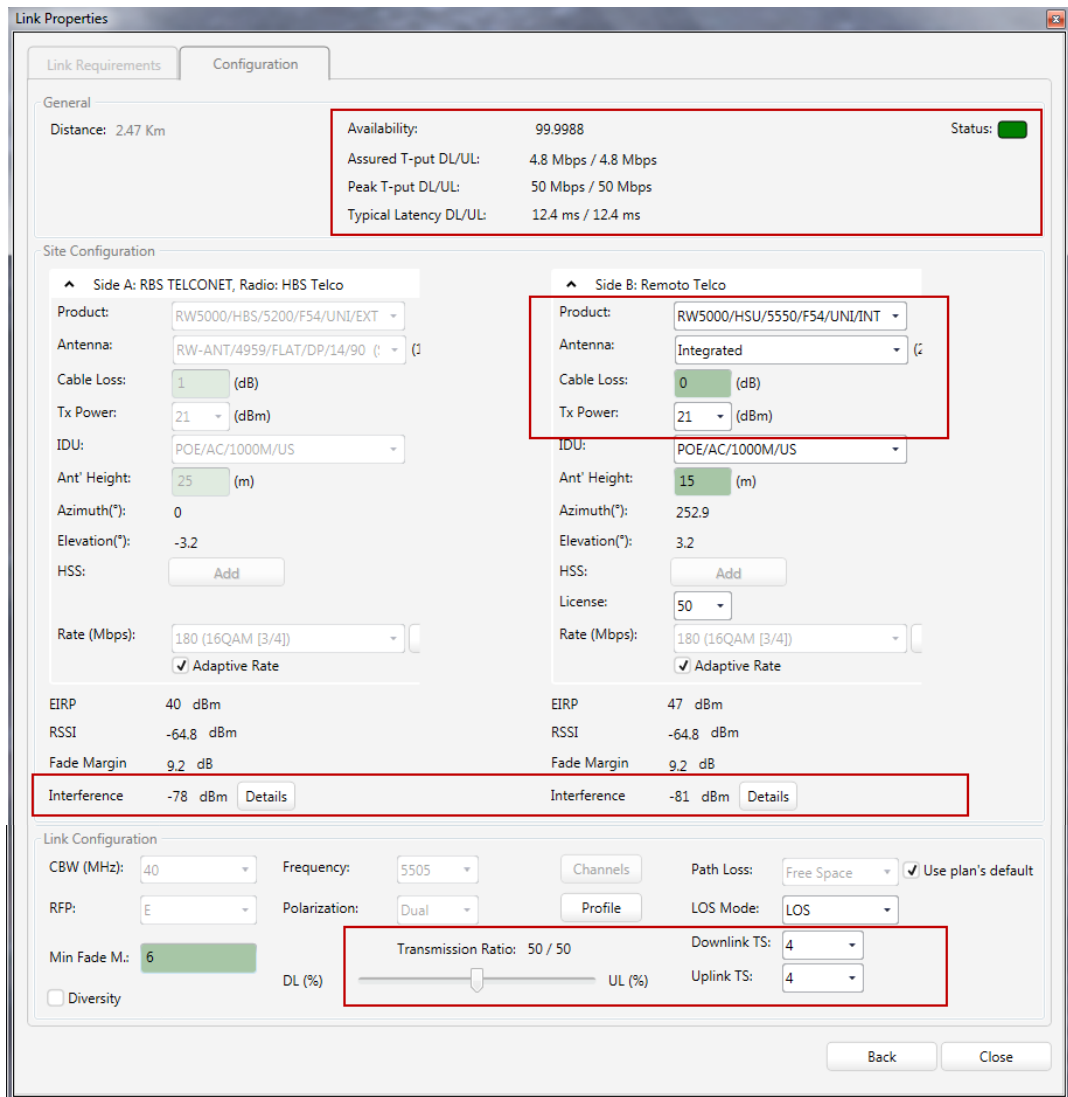


Figura 2.18 cálculo con HSU 50 Mbps y 4 TS

### 2.3.6. Estimación de coberturas

Los resultados aproximados de cobertura se muestran en la figura 2.19 y 2.20 para cada operador.





Figura 2.19 Cobertura aproximada Piloto Claro

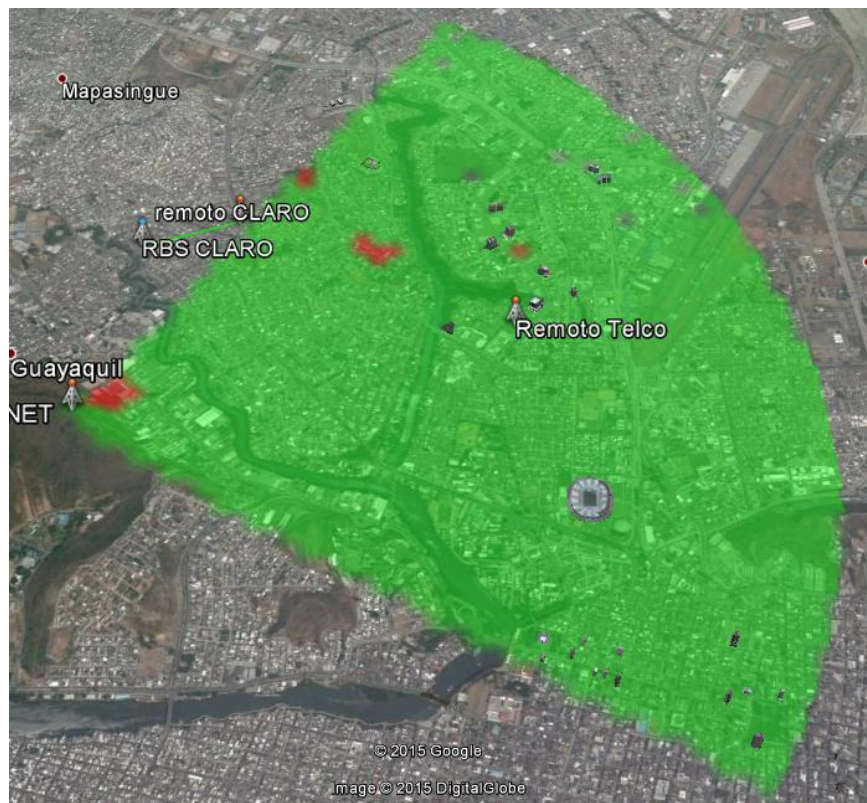


Figura 2.20 Cobertura aproximada Piloto Telconet

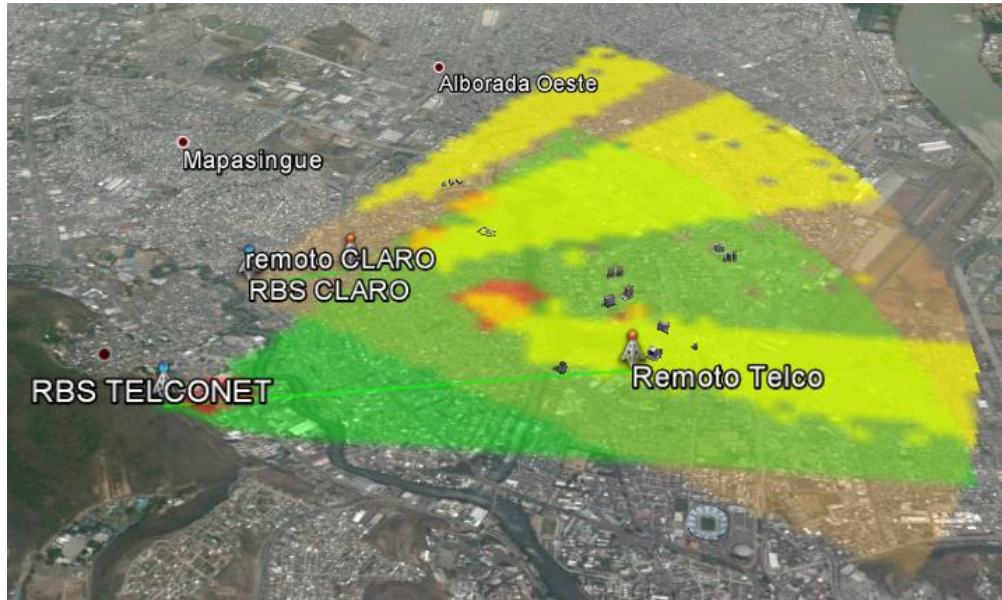


Figura 2.21 Sobre posición de zonas de cobertura entre operadores

## CAPÍTULO 3

### 3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PILOTO

#### 3.1. Resultados piloto Claro

##### 3.1.1. Selección de banda de frecuencia

Se realiza un barrido de frecuencias en la radio base CLARO observando que el espectro se encuentra en parte ocupado y con un nivel medio de piso de ruido aproximado a los -85 dBm como muestra la línea roja de las figuras 3.1, 3.2 y 3.3

Una vez determinada la frecuencia más adecuada de operación, se deja operativo el multipunto en la frecuencia 5920 MHz y trabajando con canal de 20 Mhz. Los niveles de recepción son para la HBS de -54 dBm y para la HSU de -53 dBm.

No se utilizaron canales de 40 Mhz debido a que los niveles de recepción en ambos extremos del enlace eran muy bajos y por lo tanto el throughput bajaba considerablemente.

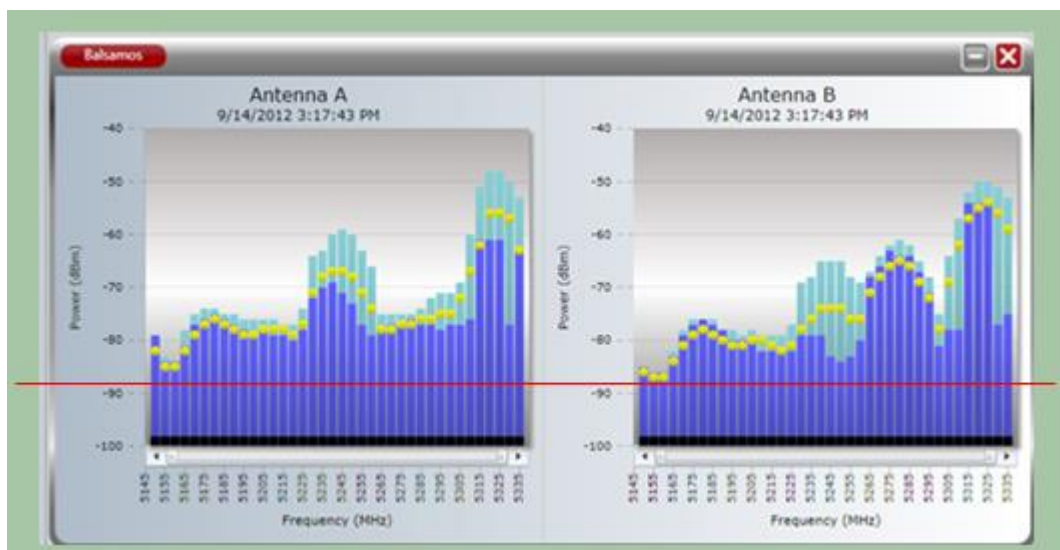


Figura 3.1 Barrido de frecuencias Radio base Claro desde 5150 a 5335 MHz

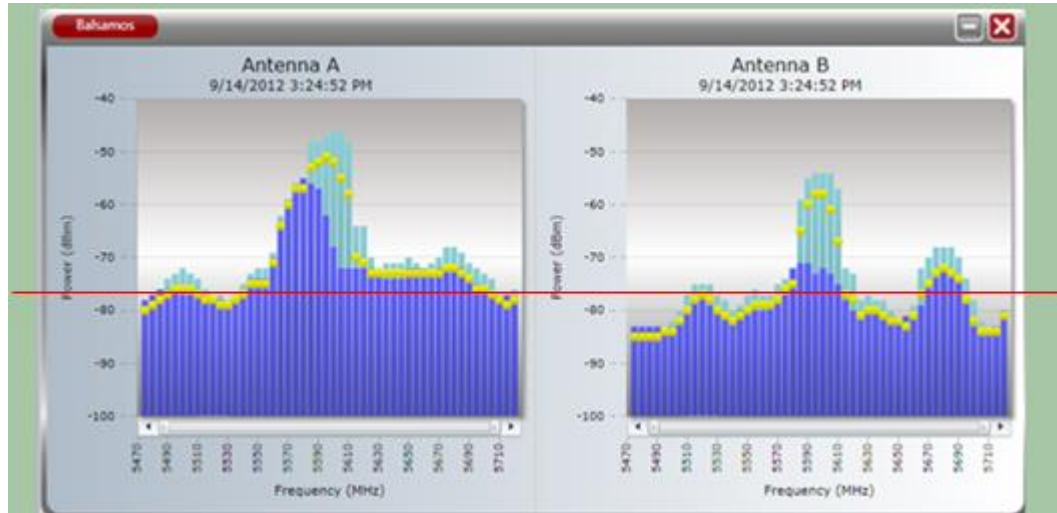


Figura 3.2 Barrido de frecuencias Radio base Claro desde 5475 a 5720 MHz

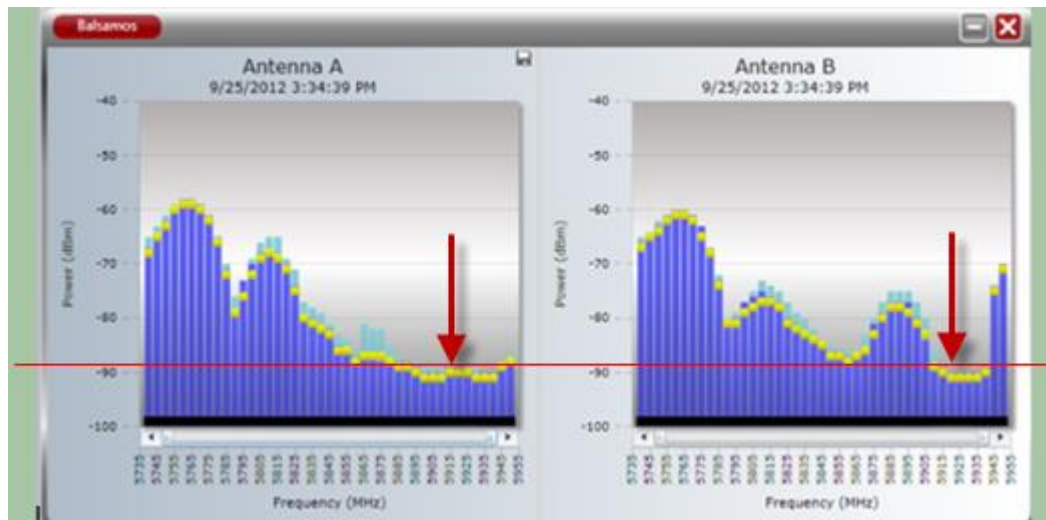


Figura 3.3 Barrido de frecuencias Radio base Claro desde 5725 a 5950 MHz

Realizamos pruebas de ancho de banda con el programa JPERF, colocando una computadora en cada extremo, es decir en la banda base del Multipunto (radio base) y banda base del Remoto cuyas interfaces son Ethernet. La computadora del lado radio base actuaba como servidor Jperf y la del remoto como cliente Jperf.

Las pruebas fueron hechas solo en modo MIMO para tener la máxima capacidad del enlace en ambiente interferido.

En el programa JPERF configuramos como máximo throughput 1, 3, 5 y 7 Mbps la velocidad de envío de información (data rate) considerando que el mínimo solicitado es de 2 Mbps por remoto. El throughput estimado se aumentó asignando más intervalos de tiempo en la HBS, y tener una capacidad aproximada de 1,5 Mbps (2 IT), 3 Mbps (4 IT) y 5,4 Mbps (7 IT) en la HSU, según se muestra en la Figura 3.4.





Figura 3.4.- asignación de intervalos de tiempo a HSU

### 3.1.2. Pruebas en modo Mimo 1 Mbps

Throughput remoto TX= 1,1 Mbps RX= 1,1 Mbps (figura 3.5)

	HSU	HBS
Ip Address	172.16.250.5	172.16.250.254
Location	Guayaquil	Guayaquil
Subnet Mask	255.255.255.0	255.255.255.0
RSS	-55	-56
T-put	10	10
Rx Rate	1.1 [Mbps]	1.1 [Mbps]
Tx Rate	1.1 [Mbps]	1.1 [Mbps]

Figura 3.5 capacidad HSU para 1 Mbps

Resultados JPERF lado cliente 1 Mbps / lado radio base 1 Mbps (figuras 3.6 y 3.7)

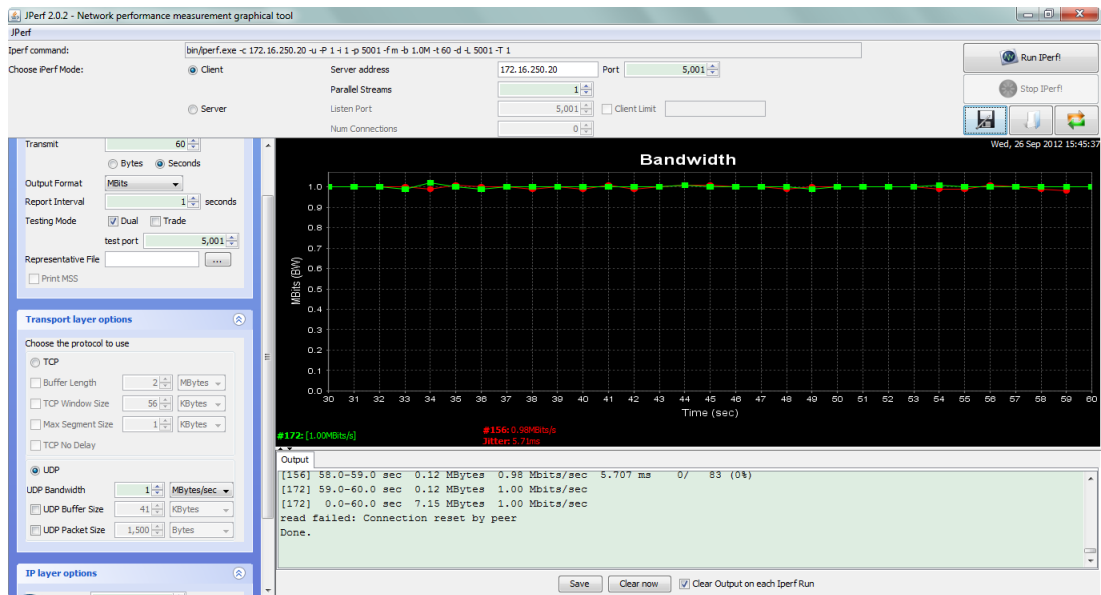


Figura 3.6 Resultados Jperf lado cliente 1 Mbps



Figura 3.7 Resultados Jperf lado radio base 1 Mbps

### 3.1.3. Pruebas en modo MIMO 3 Mbps

Throughput remoto TX= 3,2 Mbps RX= 3,2 Mbps (figura 3.8)

FEF		
	HSU	HBS
Ip Address	172.16.250.5	172.16.250.254
Location	Guayaquil	Guayaquil
Subnet Mask	255.255.255.0	255.255.255.0
RSS	-56	-56
T-put	10	10
Rx Rate	3.2 [Mbps]	3.2 [Mbps]
Tx Rate	3.2 [Mbps]	3.2 [Mbps]

Figura 3.8 capacidad HSU para 3 Mbps

Resultado JPERF lado cliente 3 Mbps / lado radio base 2,98 Mbps (figuras 3.9 y 3.10)

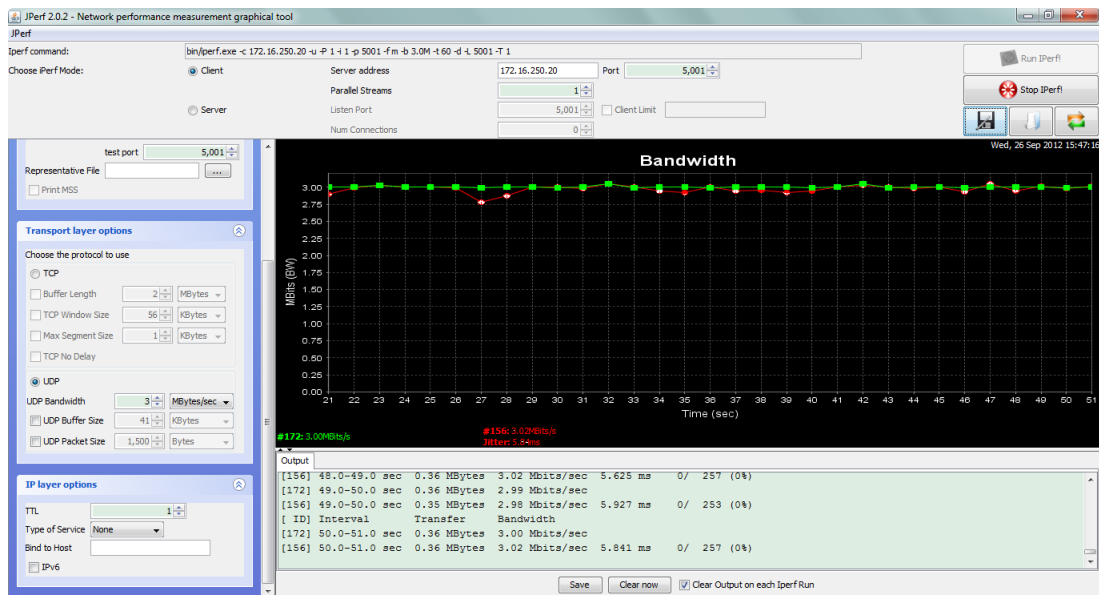


Figura 3.9 Resultados Jperf lado cliente 3 Mbps



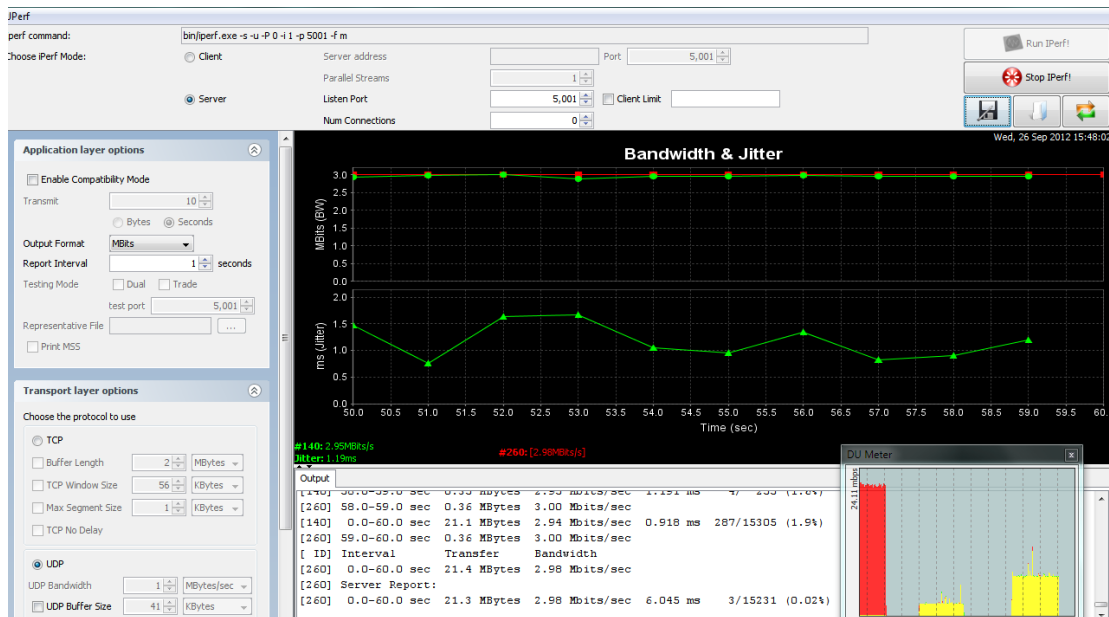


Figura 3.10 Resultados Jperft lado radio base 3 Mbps

### 3.1.4. Pruebas en modo MIMO 5 Mbps

Throughput remoto TX= 5 Mbps RX= 5,3 Mbps (figura 3.11)

	HSU	HBS
Ip Address	172.16.250.5	172.16.250.254
Location	Guayaquil	Guayaquil
Subnet Mask	255.255.255.0	255.255.255.0
RSS	-56	-57
T-put	10	9.2
Rx Rate	5.3 [Mbps]	5.3 [Mbps]
Tx Rate	5 [Mbps]	5 [Mbps]

Figura 3.11 capacidad HSU para 5 Mbps

Resultados JPERF lado cliente 4,7 Mbps / lado radio base 4,8 Mbps (figura 3.12 y 3.13)

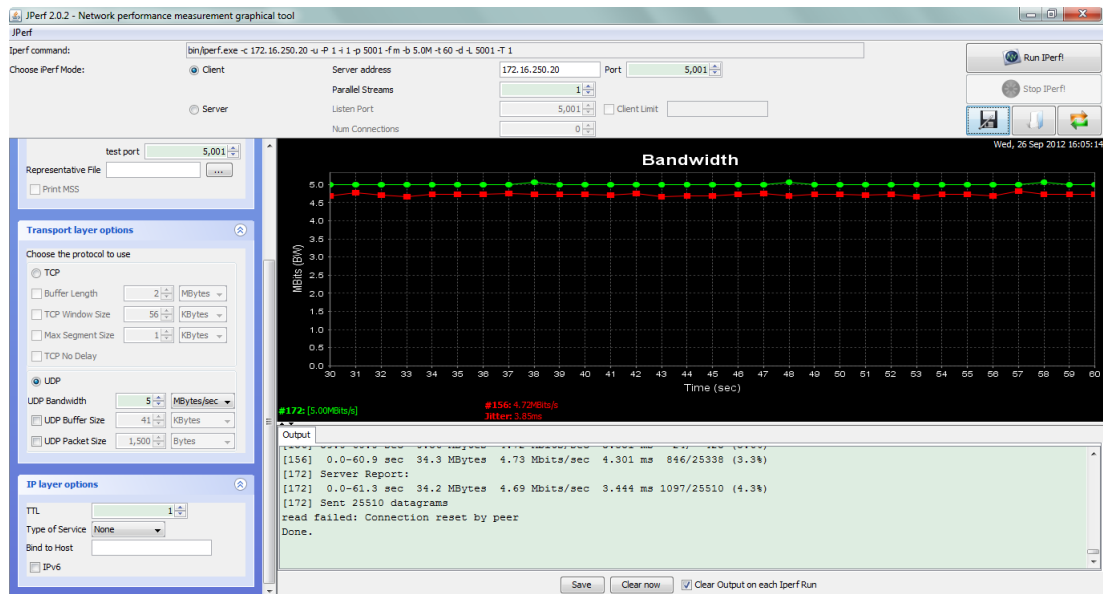


Figura 3.12 Resultados Jperf lado cliente 4,7 Mbps

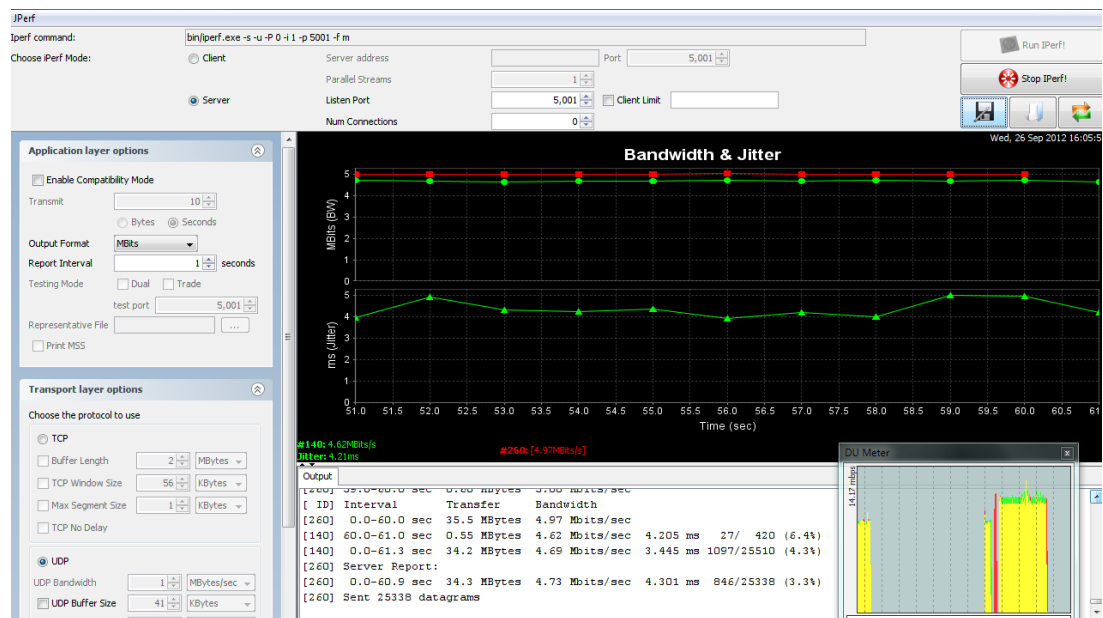


Figura 3.13 Resultados Jperf lado radio base 4,8 Mbps

## 3.2. Resultados piloto Telconet

### 3.2.1. Selección de banda de frecuencia

Se realiza un barrido de frecuencias en la radio base Telconet observando que el espectro se encuentra en parte ocupado y con un nivel medio de piso de ruido por encima de los -85 dBm como muestra la línea roja en las Figuras 3.14 y 3.15. Una vez determinada la frecuencia más adecuada de operación, se deja operativo el multipunto en la frecuencia 5895 MHz.

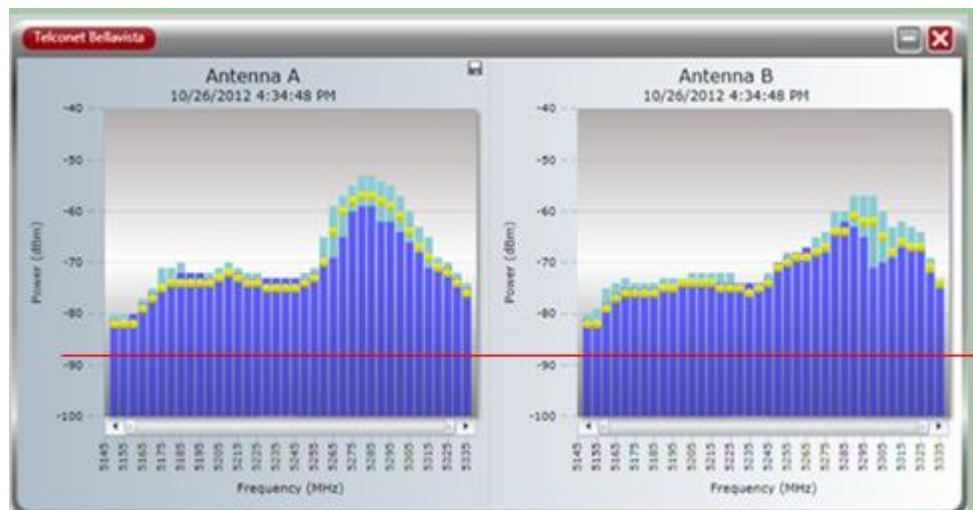


Figura 3.14 Barrido de frecuencias Radio base Telco desde 5150 a 5335 MHz

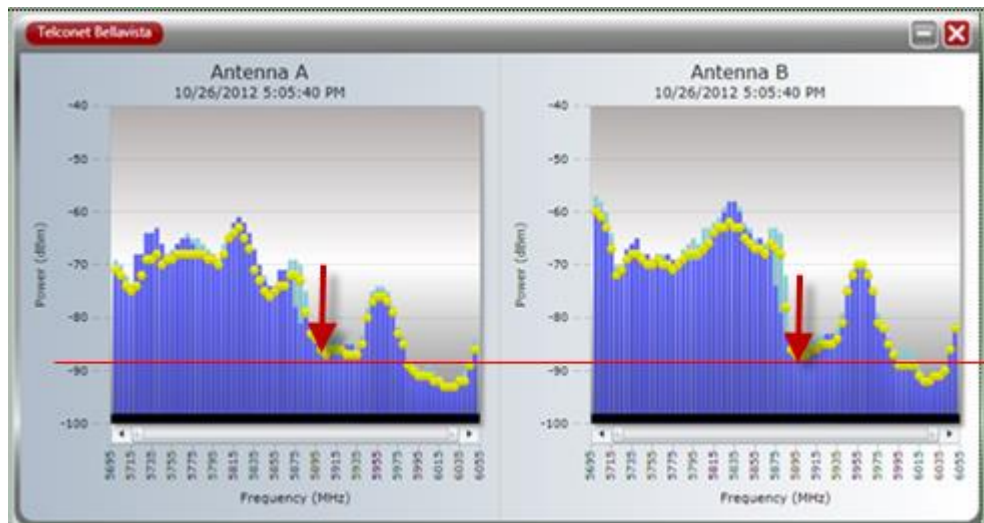


Figura 3.15 Barrido de frecuencias Radio base Telco desde 5700 a 6050 MHz


Se realizaron pruebas para medir el throughput de los equipos con distinta carga del lado del usuario (1, 3, y 5 Mbps) con el programa JPERF colocando una computadora en cada extremo (banda base del MP y banda base usuario) cuyas interfaces son Ethernet. El throughput del remoto se aumentó asignándole más intervalos de tiempo.

Para este caso las pruebas fueron hechas en la configuración de antenas en modo MIMO solamente. Todas las pruebas fueron hechas con los niveles de recepción mostrados en la figura 3.16, HBS -67 dBm y HSU -72 dBm y trabajando con canal de 20 Mhz.

No se utilizaron canales de 40 Mhz debido a que los niveles de recepción en ambos extremos del enlace eran muy bajos y por lo tanto el throughput bajaba considerablemente.

Para este caso la HSU está trabajando con 10 dBm menos en su nivel de recepción comparando a la HBS debido a la frecuencia usada en ambiente de interferencia, se decidió continuar trabajando en esa banda por ser la que

menos ruido tenia visto del lado radiobase y para probarle al cliente la eficiencia del equipo bajo condiciones adversas de interferencia.



The screenshot shows a network monitoring interface for 'Eco Logistics'. It displays the IP address 172.16.118.253 and the location Guayaquil. Below this is a table comparing metrics for HBS and HSU. The RSS (Received Signal Strength) values are -87 for HBS and -72 for HSU. The Tput (Throughput) values are 10 for both. At the bottom, it shows Rx: 1 [Mbps] and Tx: 0 [Mbps].

	HBS	HSU
RSS	-87	-72
Tput	10	10

Rx: 1 [Mbps]  
Tx: 0 [Mbps]

Figura 3.16 niveles de recepción de radiobase y cliente Telconet

Se hizo la asignación de intervalos de tiempo para correr las pruebas en los distintos escenarios y tener una capacidad aproximada de 1,7 Mbps (2 IT), 3,2 Mbps (4 IT) y 5,1 Mbps (6 IT) en la HSU según se muestra en la Figura 3.17.



Figura 3.17 asignación de intervalos de tiempo a HSU

### 3.2.1. Pruebas en modo MIMO 1 Mbps

Resultados JPERF lado cliente 1 Mbps / lado radio base 0,99 Mbps (figura 3.18 y 3.19)

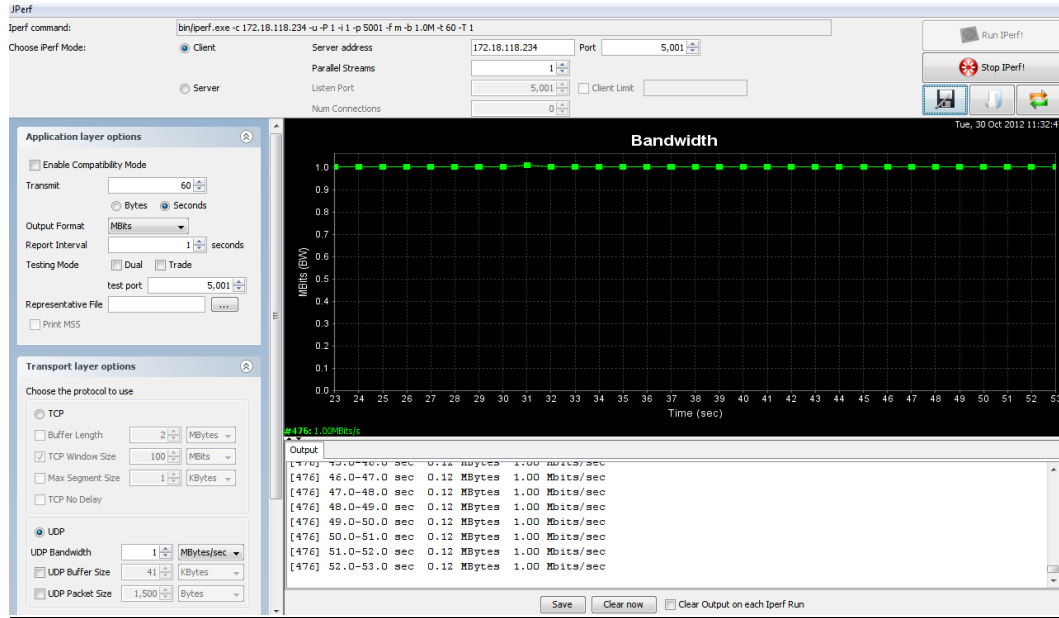


Figura 3.18 Resultados Jperf lado remoto 1 Mbps

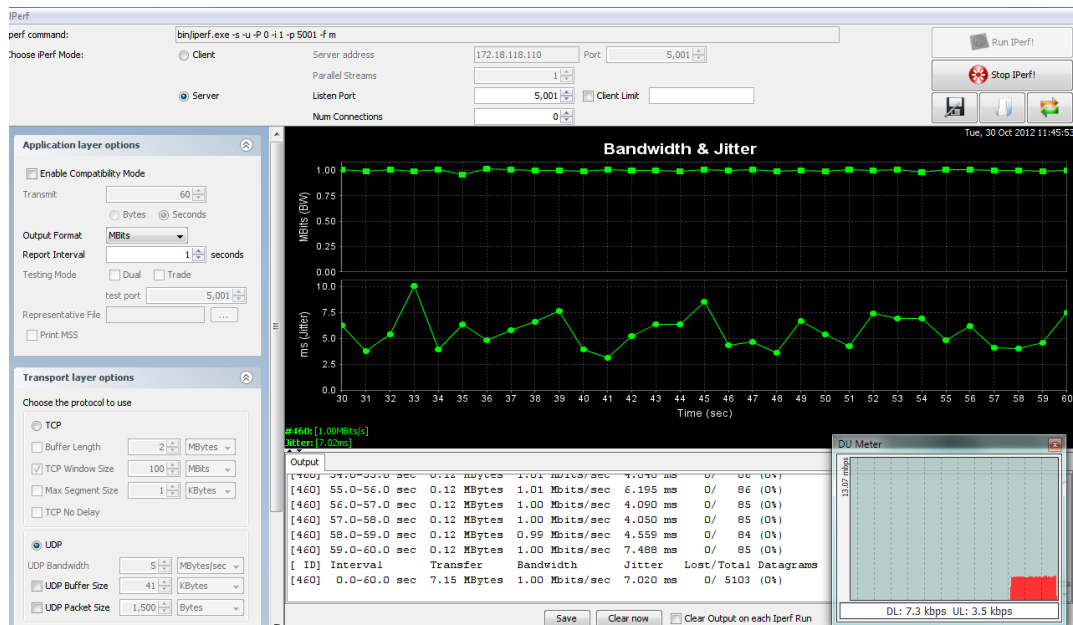


Figura 3.19 Resultados Jperf lado radio base 0,99 Mbps

### 3.2.2. Pruebas en modo MIMO 3 Mbps

Resultados JPERF lado cliente 2,98 Mbps / lado radio base 2,95 Mbps (figura 3.20 y 3.21)

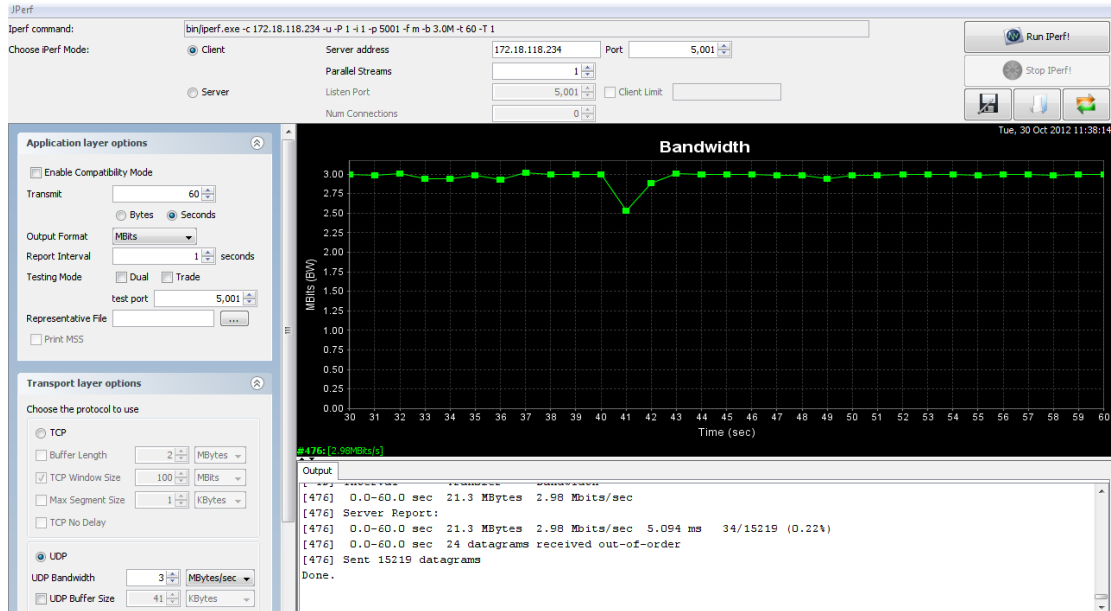


Figura 3.20 Resultados Jperff lado remoto 2,98 Mbps

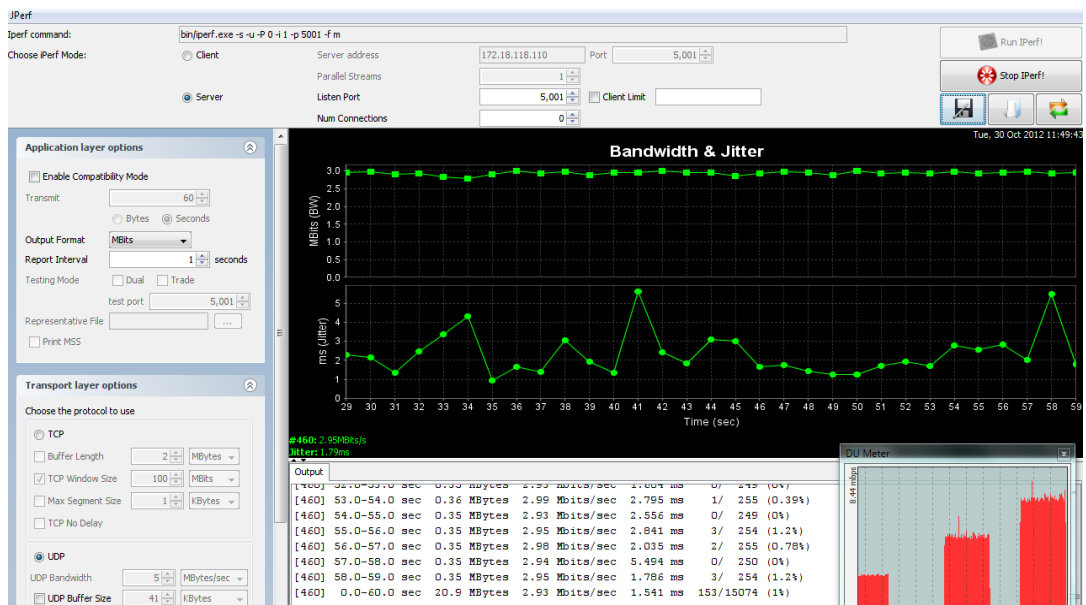


Figura 3.21 Resultados Jperff lado radio base 2,95 Mbps

### 3.2.3. Pruebas en modo MIMO 5 Mbps



Resultados JPERF lado cliente 4,95 Mbps / lado radio base 4,78 Mbps (figura 3.22 y 3.23)

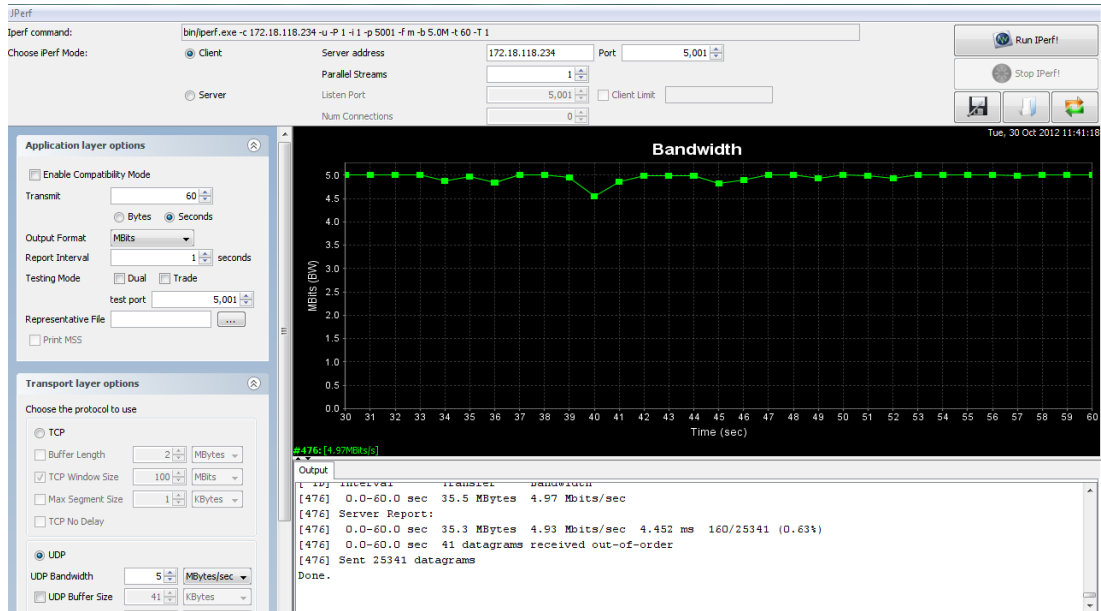


Figura 3.22 Resultados Jperf lado remoto 4,95 Mbps

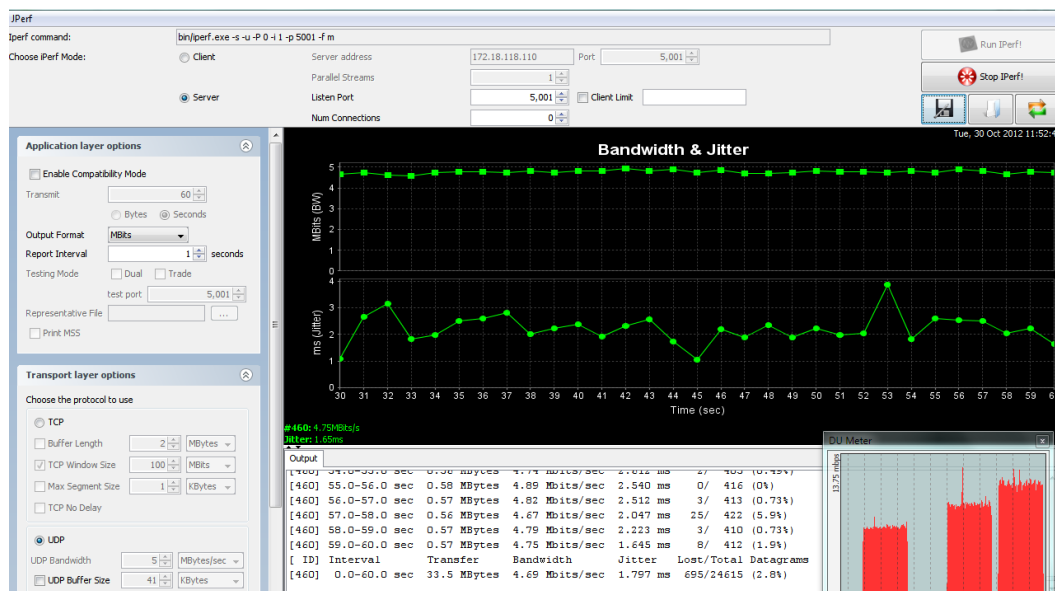


Figura 3.23 Resultados Jperf lado radio base 4,78 Mbps

### 3.3. Resultados globales

La tabla 3.1 muestra los resultados obtenidos en las pruebas de los pilotos instalados en clientes de ambos operadores ubicados en distintas localidades.

Piloto	Prueba JPERF	TS asignado HBS	Throughput Estimado		Throughput medido JPERF	
	Data Rate (Mbps)		HSU (Mbps)		HSU (Mbps)	
			TX	RX	TX	RX
CLARO	1	2	1,1	1,1	1	1
	3	4	3,2	3,2	2,98	3
	5	7	5	5,3	4,8	4,7
TELCONET	1	2	1,7	1,8	0,99	1
	3	4	3,2	3,4	2,95	2,98
	5	6	5,1	5,1	4,78	4,95

Tabla 3.1.- Ancho de banda obtenidos incrementando de TS

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el uso de la tecnología OFDM/MIMO incrementa la calidad de un enlace de radio y mejora su desempeño en condiciones adversas de propagación, interferencia o refracción de señal mediante el uso controlado y selectivo de señales con efecto multitrayecto, en conjunto con la discriminación y selección de señales sub portadoras que poseen un nivel de señal adecuado para la recepción e interpretación de la señal recibida.

La inserción de un método TDMA para la asignación de intervalos de tiempo aire permite aumentar de forma controlada el throughput de una estación remota cuando se usa en conjunto con el estándar 802.11, permitiendo asegurar un ancho de banda a una estación remota sin afectar el desempeño de otras estaciones ubicadas en un mismo multipunto

Para las empresas donde se probó el piloto, se demostró su efectividad bajo un ambiente de trabajo con frecuencia interferido teniendo como penalidad la disminución del número de suscriptores por radio base, debido a la asignación de ITs para llegar al throughput solicitado en el cliente.

Es posible mejorar el desempeño global del sistema con el uso de remotos con mayor capacidad a 10 Mbps usando conjuntamente la opción de transmisión en ráfagas para aumentar el throughput promedio.

En las ubicaciones probadas con el sistema RADWIN, el cual usa TDMA junto con el estándar 802.11, se pueden lograr velocidades de hasta 5 Mbps con pocos canales asignados a los remotos, sin que esto impida dar servicios de mayor velocidad a otros clientes ubicados más cerca del multipunto o con menor grado de interferencia.

Las zonas donde se probaron los multipuntos, en la banda de 5 Ghz, están congestionadas y presentan mucho ruido, sin embargo con las facilidades de escoger bandas de trabajo es posible encontrar frecuencias de operación dentro de los parámetros óptimos de funcionamiento del sistema Multipunto Radwin usando canales con ancho de banda de 20 Mhz en vez de 40 Mhz.

Las colas QoS por tipo de tráfico o priorización por VLAN no fueron usadas en las pruebas debido a que no aplicaban a la solución que vende el operador para el cliente asignado para pruebas piloto.

## **RECOMENDACIONES**

Se puede acortar la zona de cobertura para aplicaciones específicas como video vigilancia o control de tráfico para poder trabajar con canales de 40 Mhz y aumentar el throughput por remoto.

Para servicios de acceso a datos o internet se puede trabajar con canales de 40 Mhz siempre y cuando la ganancia de antenas tanto de los remotos como de las radio bases se aumente para compensar las pérdidas por trayecto e interferencia de la zona.

Con canales de 20 Mhz se puede usar el equipamiento instalado en el piloto pero definiendo la demanda (ancho de banda requerido) de los usuarios finales. Para definir aproximadamente el número de usuarios por sector se debe hacer un cálculo teórico con las herramientas mostradas en este documento y establecer el tipo de equipo y el tamaño de antenas a utilizar.

Existen otras facilidades en el equipamiento que se pueden explotar para mejorar el desempeño del enlace como la limitación del throughput de entrada salida en banda base (Interface Ethernet) usando MIR (Maximum Information Rate), el uso de colas para establecer QoS por medio del

reconocimiento de puertos de aplicaciones Real Time o Best Effort, uso de VLANs con prioridad por remoto.

Para clientes con bajo throughput pero con servicio Internet, se mejora el servicio de descarga de aplicaciones Real Time (videos y voz) aplicando QoS en el tipo de tráfico.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE Std 802®-2014 (Revision to IEEE Std 802-2001) IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture
- [2] IEEE Std 802.11™-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007) Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
- [3] CISCO Wireless Certification 2010, Chapter 2 Wireless LAN Standards and Topologies
- [4] 802.11n: Next-Generation Wireless LAN Technology, White Paper, BROADCOM CORPORATION, 2006
- [5] IEEE Std 802.11n™-2009: Enhancements for Higher Throughput (Amendment 5)
- [6] INSIDE 802.11n Technical details about the new WLAN standard presentation, ROLF LEUTERT, LEUTERT NETSERVICES, 2009
- [7] IEEE Circuits and Systems Magazine, First Quarter, 2008, Wireless LAN Comes of Age: Understanding the IEEE 802.11n Amendment, Thomas Paul and Tokunbo Ogunfunmi, pp 28 – 54
- [8] The 802.11n MIMO-OFDM Standard for Wireless LAN and Beyond, Wireless Personal Communications (2006), RICHARD VAN NEE, V.K. JONES, GEERT AWATER, ALLERT VAN ZELST, JAMES GARDNER and GREG STEELE, AIRGO NETWORKS, 2006
- [9] RADWIN 5000 PtMP The complete training Course Release 3.2.50, Leonardo Ardila, 2012
- [10] RADWIN 5000 HPMP POINT TO MULTIPOINT BROADBAND WIRELESS, USER MANUAL version 3.3.0.0, UM 5000-3300/05.12 RADWIN
- [11] RADWIN 5000 HPMP 3.3.30 LA Releases Sales Training Power Point Presentation 2013 RADWIN
- [12] RADIO MOBILE <http://www.cplus.org/rmw/english1.html> , fecha de consulta Agosto 2015
- [13] MANUAL DE CALCULOS DE COBERTURA CON RADIO MOBILE <http://www.ipellejero.es/radiomobile/index.php> , fecha de consulta Agosto 2015
- [14] DANIEL MAGNOLI, MANUAL DE AYUDA PARA LA CONFIGURACION Y USO RADIO MOBILE, ARM BBS, Septiembre 2006 <http://www.lw1drj.com.ar/users/docs/RADIO%20MOBILE.pdf> , fecha de consulta Agosto 2015

[15] JPERF v2.0.2 distribuido con licencia APACHE, sitio de descarga <http://sourceforge.net/projects/jperf/?source=navbar> , fecha de consulta Agosto 2015

[16] CONATEL CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Plan Nacional de Frecuencias, 2012

[17] CONATEL CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, RESOLUCION-TEL-560-18-CONATEL-2010

## ANEXO 1

### ESPECIFICACIONES TECNICAS EQUIPOS

#### **Características técnicas de equipos HBS y HSU**

Las radio bases y unidades subscritoras RADWIN 5000 HPMP cumplen con las especificaciones IP67 para ser instaladas bajo condiciones extremas. Todas las unidades consumen baja potencia y son alimentadas a través de dispositivos POE.

#### **1.1 HBS – High Capacity Base Stations**

HBS es una unidad estación base de alta capacidad OFDM / MIMO 2x2 tipo outdoor para cubrir un sector en modo MIMO, usando una antena de polarización dual, o sectores duales cuando trabajan con dos antenas de polarización sencilla. Provee una variedad de capacidades hasta llegar a 250 Mbps agregados, los cuales son distribuidos entre los clientes que operan conectados a la HBS para una zona de cobertura.

#### **1.2 HSU – High Capacity Subscriber Units**

RADWIN 5000 HPMP provee una variedad de unidades subscritoras de alta capacidad (HSUs) y permiten entregar 10, 25, 50 Mbps agregados. La capacidad de las unidades puede ser fácilmente actualizada hasta 100Mbps, por medio de licencias de software. Esto permite tener una menor inversión inicial con la seguridad del crecimiento de capacidad futura.

Los HSU están disponibles con 2 configuración de antenas: con antena integrada MIMO 2x2 o como una unidad conectorizada para una antena externa.

Las especificaciones para ambos equipos se muestran en las tablas A.1 a la A.5



**Capacity**

	Base Station				Subscriber units					
	HBS 5025	HBS 5050	HBS 5100	HBS 5200	HSU 505	HSU 510	HSU 610	HSU 520	HSU 525	HSU 550
Maximum Net Aggregate Capacity	25 Mbps	50 Mbps	100Mbps	250 Mbps	5 Mbps	10 Mbps	10 Mbps	25 Mbps	25 Mbps	50 Mbps

**Frequency Bands & Antenna Configurations**

2.3 - 2.4 GHz		Con.		Con.	Int. 13dbi, Con.					Int. 19dbi, Con.
2.5 - 2.7 GHz			Con.					Int. 19dbi, Con.		
3.3 - 3.8GHz, 3.65GHz				Con.		Int. 13, 20 dbi, Con.			Int. 13, 20 dbi, Con.	Int. 20dbi, Con.
4.9 - 6.0 GHz	Int. 90°	Int. 90°, Con.		Int. 90°, Con.		Int. 17, 23 dbi, Con.	Int. 15dbi	Int. 23dbi	Int. 17, 23 dbi, Con.	Int. 23dbi, Con.
5.7 - 6.4 GHz		Con.		Con.		Int. 24, 15dbi, Con.				Int. 24 dbi, Con.
PoE Out	IEEE 802.3af						✓			

Con. - Connectorized unit; Int. - Integrated Antenna

Tabla A.1 rangos de operación de frecuencia de equipos HBS y HSU

**Interfaces**

Ethernet Interface	HBS: 10/100/1000BaseT HSU / HMU: 10/100BaseT
--------------------	---

**Networking**

Sub convergence layer	Layer 2
QoS	Packet classification to 4 queues according to 802.1p and Diffserv, Strict Priority, TTL
VLAN	802.1Q, QinQ, 4094 VLANs

**Management**

HBS & HSU/HMU Management Application	RADWIN Manager or Web based management
Protocol	SNMPv1, SNMPv3, Telnet, HTTP, IPv4 & IPv6
NMS Application	RADWIN NMS (RNMS)

Tabla A.2 características de las interfaces y tipos de QoS ofertados

Error Correction	FEC k = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6							
Rate – Dual Antenna [Mbps] at 20 MHz CBW	13	26	39	52	78	104	117	130
Rate – Single Antenna [Mbps] at 10 MHz CBW	6.5	13	19.5	26	39	52	58.5	65
Modulation	BPSK	QPSK		16QAM		64QAM		
FEC [k=]	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4	5/6
Max Tx Power [dBm] for 4.8 – 6 GHz	25			24	21	19	18	
Sensitivity (dBm) @BER <10e-11 at 20 MHz CBW For 10 MHz CBW, deduct 3 dBm	-88	-86	-83	-81	-77	-72	-70	-67

Tabla A.3 MCS disponibles en los equipos HBS y HSU

<b>Radio</b>	
Number of HSUs per HBS	Up to 32 HSUs or HMUs simultaneously
Range	Up to 40 Km / 25 miles
Frequency Bands	Multiband radio supporting 5.7-6.4 GHz or 4.9-6 GHz or 3.3-3.8 GHz or 2.5-2.7 GHz or 2.3-2.4 GHz
Channel Bandwidth	Configurable: 5, 10, 20 , 40 MHz
Modulation	2x2 MIMO-OFDM (BPSK/QPSK/16QAM/64QAM)
Adaptive Modulation & Coding	Supported
Sector Bandwidth Allocation	Configurable: Symmetric or Asymmetric
DFS (FCC & ETSI)	Supported
End to End Latency	Typical: 4msec to 12msec
Diversity	Supported at HBS & HSU
Spectrum Viewer	Supported at HBS & HSU
Max Tx Power	25 dBm at HBS & HSU
Duplex Technology	TDD
TDD Synchronization	Inter & Intra site synchronization (co-existence with RADWIN PtP)
Encryption, US Security	AES 128/256, FIPS-197
<b>Interfaces</b>	
Ethernet Interface	HBS: 10/100/1000BaseT HSU / HMU: 10/100BaseT

Tabla A.4 Resumen de características técnicas de HBS y HSU

<b>Power</b>	
Power Feeding	Power provided over PoE interface
Power Consumption	HBS < 25 W HSU < 12 W
<b>Environmental</b>	
Operating Temperatures	-35°C to 60°C / -31°F to 140°F For -55°C / -67°F advise local RADWIN REP
Humidity	100% condensing, IP67
<b>Radio Regulations</b>	
FCC	FCC 47CFR, Part 15, Subpart C and Subpart E , FCC 47CFR, Part 90, Subpart Y, FCC 47CFR, Part 90 Subpart Z – Restricted & Unrestricted modes, FCC 47CFR, Part 27, Subpart M
IC	IC RSS-210 issue 7, IC RSS-111 issue 3, IC RSS-192 issue 3, IC RSS-197 issue 1-Restricted Mode
ETSI	ETSI EN 302 502, ETSI EN 301 893, EN 302 326-2 V1.2.2
WPC	WPC GSR-38
MII	MII for 5.8 GHz
<b>Safety</b>	
FCC/IC (cTUVus)	UL 60950-1, UL 60950-22, CAN/CSA C22.2 60950-1, CAN/CSA C22.2 60950-22
ETSI	EN/IEC 60950-1, EN/IEC 60950-22
<b>EMC</b>	
FCC	47 CFR Class B, Part15, Subpart B
ETSI	EN 300 386, EN 301 489-1, EN 301 489-4
CAN/CSA-CEI/IEC	CISPR 22-04 Class B
AS/NZS	CISPR 22-2004 Class B

Tabla A.5 Características de energía y cumplimiento de normas radioeléctricas

## Características técnicas de antena sectorial

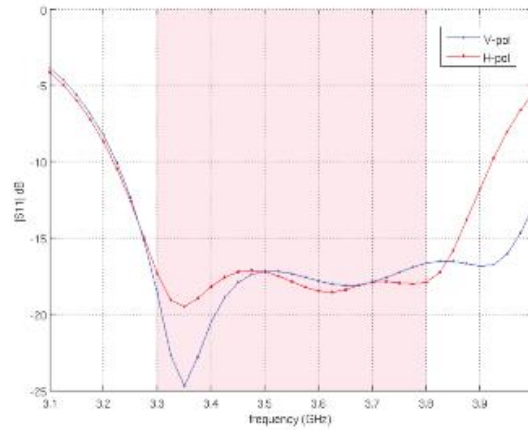
	Antenna Characteristics			
Model	AM-9M13	AM-2G15-120	AM-2G16-90	AM-3G18-120
Dimensions* (mm)	1290 x 290 x 134	700 x 145 x 93	700 x 145 x 79	735 x 144 x 78
Weight**	12.5 kg	4.0 kg	3.9 kg	5.9 kg
Frequency Range	902 - 928 MHz	2.3 - 2.7 GHz	2.3 - 2.7 GHz	3.3 - 3.8 GHz
Gain	13.2 - 13.8 dBi	15.0 - 16.0 dBi	16.0 - 17.0 dBi	17.3 - 18.2 dBi
HPOL Beamwidth	109° (6 dB)	123° (6 dB)	91° (6 dB)	118° (6 dB)
VPOL Beamwidth	120° (6 dB)	118° (6 dB)	90° (6 dB)	121° (6 dB)
Electrical Beamwidth	15°	9°	9°	6°
Electrical Downtilt	N/A	4°	4°	3°
Max. VSWR	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
Wind Survivability	125 mph	125 mph	125 mph	125 mph
Wind Loading	95 lbf @ 100 mph	24 lbf @ 100 mph	19 lbf @ 100 mph	21 lbf @ 100 mph
Polarization	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear
Cross-pol Isolation	30 dB Min.	28 dB Min.	28 dB Min.	28 dB Min.
ETSI Specification	N/A	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, RocketM Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included			

	Antenna Characteristics			
Model	AM-5G16-120	AM-5G17-90	AM-5G19-120	AM-5G20-90
Dimensions* (mm)	367 x 63 x 41	367 x 63 x 41	700 x 135 x 73	700 x 135 x 70
Weight**	1.1 kg	1.1 kg	5.9 kg	5.9 kg
Frequency Range	5.10 - 5.85 GHz	4.90 - 5.85 GHz	5.15 - 5.85 GHz	5.15 - 5.85 GHz
Gain	15.0 - 16.0 dBi	16.1 - 17.1 dBi	18.6 - 19.1 dBi	19.4 - 20.3 dBi
HPOL Beamwidth	137° (6 dB)	72° (6 dB)	123° (6 dB)	91° (6 dB)
VPOL Beamwidth	118° (6 dB)	93° (6 dB)	123° (6 dB)	85° (6 dB)
Electrical Beamwidth	8°	8°	4°	4°
Electrical Downtilt	4°	4°	2°	2°
Max. VSWR	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
Wind Survivability	125 mph	125 mph	125 mph	125 mph
Wind Loading	6 lbf @ 100 mph	6 lbf @ 100 mph	20 lbf @ 100 mph	26 lbf @ 100 mph
Polarization	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear
Cross-pol Isolation	22 dB Min.	22 dB Min.	28 dB Min.	28 dB Min.
ETSI Specification	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, RocketM Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included			

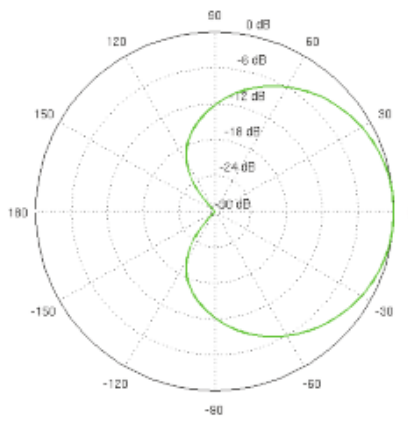
## Patron de antenna a 3 Ghz

### AM-3G18-120 Antenna Information

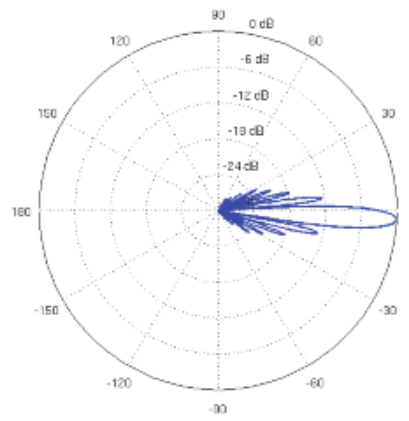
Return Loss



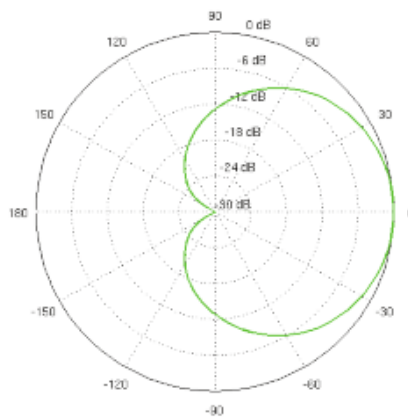
Vertical Azimuth



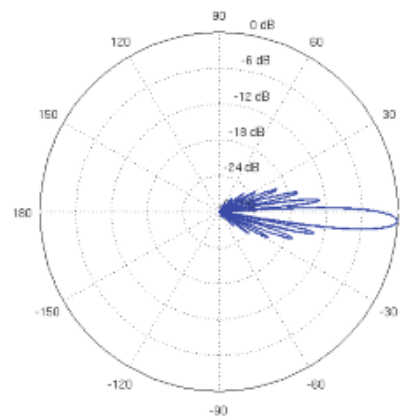
Vertical Elevation



Horizontal Azimuth



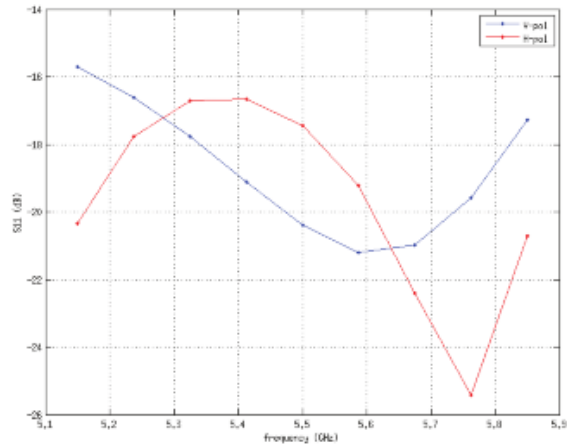
Horizontal Elevation



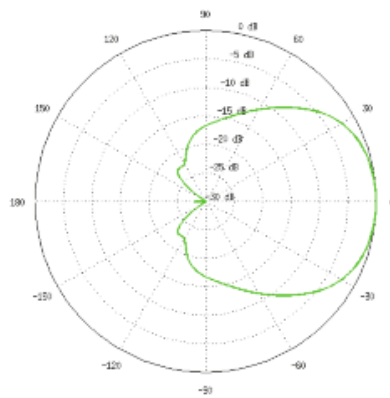
## Patron de antena a 5 Ghz

### AM-5G20-90 Antenna Information

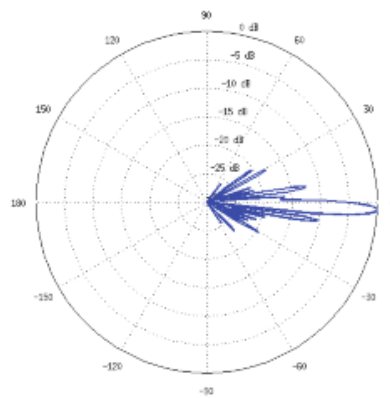
Return Loss



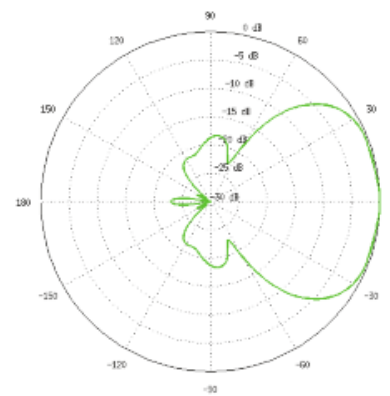
Vertical Azimuth



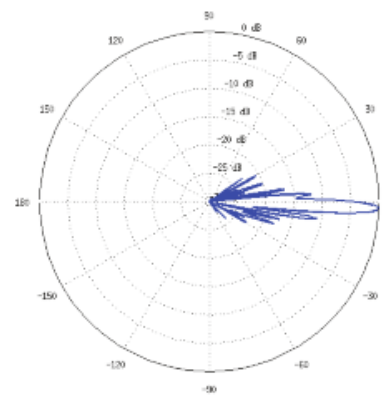
Vertical Elevation



Horizontal Azimuth



Horizontal Elevation



## Características técnicas POE

### Main Specifications

#### Input

- 90 to 265VAC (wide range)
- Input frequency 47 – 63Hz
- Input inrush current 50A@ cold start
- Input reflected ripple per FCC part 15 & EN55022 class B
- Input cable 3 poles , IEC320C14

#### Output

- Output voltage: 0334B4848 is 48VDC, 034B5555 is 55VDC
- Output current: 0 – 1 A
- Efficiency: 85% minimum
- Voltage regulation -  $\pm 2\%$  Max. For load and line variation
- Temperature coefficient – 0.05% / C max
- Voltage set point – Internal trim-pot  $\pm 5\%$
- Hold-up time – 10 m Sec minimum at full load including 100V input
- Isolation – input/output, input/case >3000VAC
- Protection – output protected against overload, short-circuit and over voltage
- Surge protection – on DC and data lines

### Outputs Connection

#### RADIO-RJ-45

Pin 1, Data  
Pin 2, Data  
Pin 3, Data  
Pin 4, +55V  
Pin 5, +55V  
Pin 6, Data  
Pin 7, -55  
Pin 8, -55V

#### Ethernet RJ-45

Pin 1, Data  
Pin 2, Data  
Pin 3, Data  
Pin 4, N.C  
Pin 5, N.C  
Pin 6, Data  
Pin 7, N.C  
Pin 8, N.C

Ethernet data lines are connected through a 10/100 Base-T internal transformer

### Mechanical

- Size – 160 L x 63 W x 32 H mm
- Weight – 200gr. Max
- Cooling – free convection
- Input AC – 3 pin AC inlet IEC320C14 (cable not included)

### Environmental

- Operation temperature range -5°C to +45°C
- Storage temperature range -40°C to +80°C
- EMI / RFI – Meets EN55022 class B requirements & IEC-1000 requirements.
- MTBF – Higher than 200,000 hour

## ANEXO 2

### PROGRAMA RADIOMOBILE

Radio Mobile software es un programa FREEWARE y marca registrada de Roger Coudé VE2DBE. El autor en su página WEB indica que Radio Mobile está dedicado al usuario de radio amateur y para uso humanitario. Su uso comercial no está prohibido sin embargo no se responsabiliza por su uso.

Los resultados del programa son de entera responsabilidad del usuario y debe cumplir con los requerimientos y restricciones sobre el uso de los datos provenientes de fuentes externas.

El programa se instala fácilmente siguiendo las instrucciones de la misma página de descarga. Consta de una pantalla general con múltiples opciones en la barra de herramientas ver figura A2.1

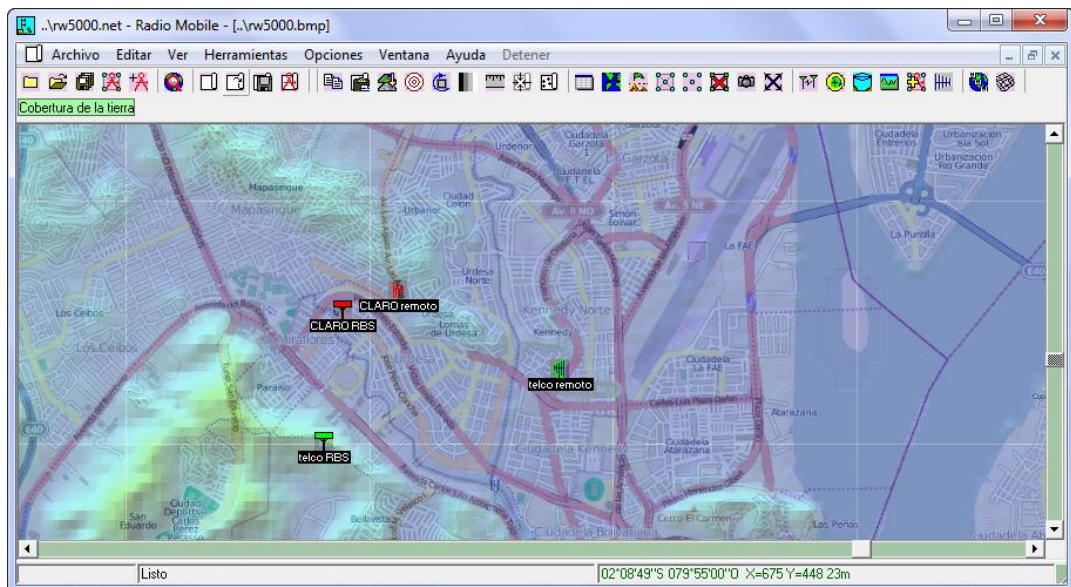


Figura A2.1. Pantalla principal de Radio Mobile

El programa trabaja con una serie de mapas que son descargados desde el internet y pueden ser almacenados en el disco duro de la computadora donde está instalado; la ruta de acceso a dichos mapas deben ser declarados tanto en las Opciones de Internet (ver figura A2.2) como en las propiedades del mapa (ver figura A2.3).

Los 2 conjuntos de mapas mundiales con los que el programa trabaja son los mapas de cobertura de la tierra SRTM y los mapas de ubicación de ciudades y calles OpenStreetMap. Estos 2 mapas son combinados para mostrar los sitios previamente creados. (Ver figura A2.4)

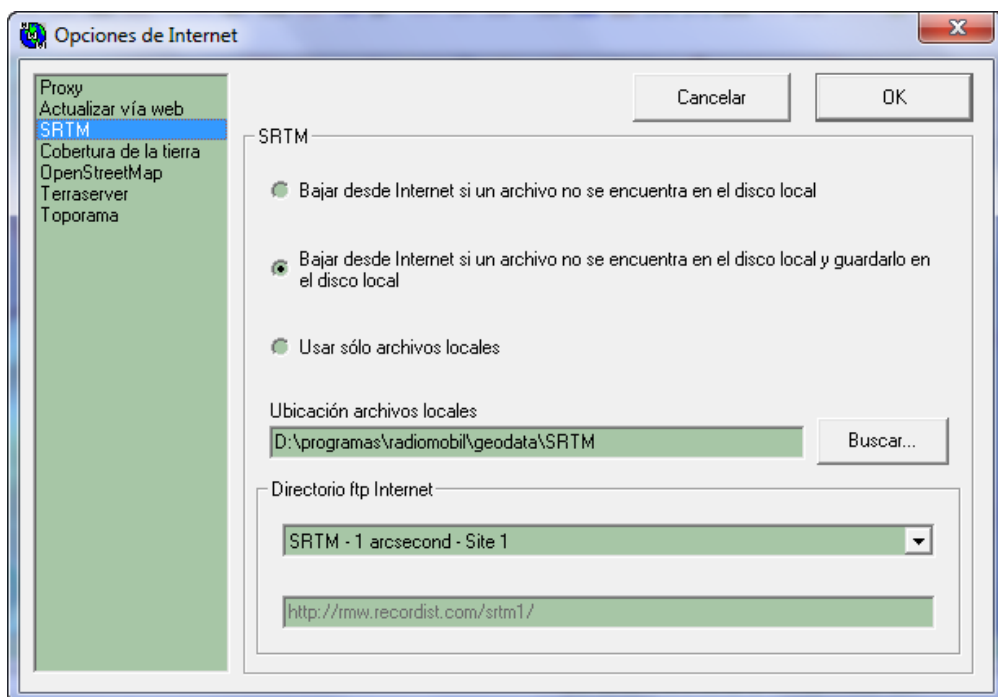


Figura A2.2.- Declaración de ruta de acceso de mapas



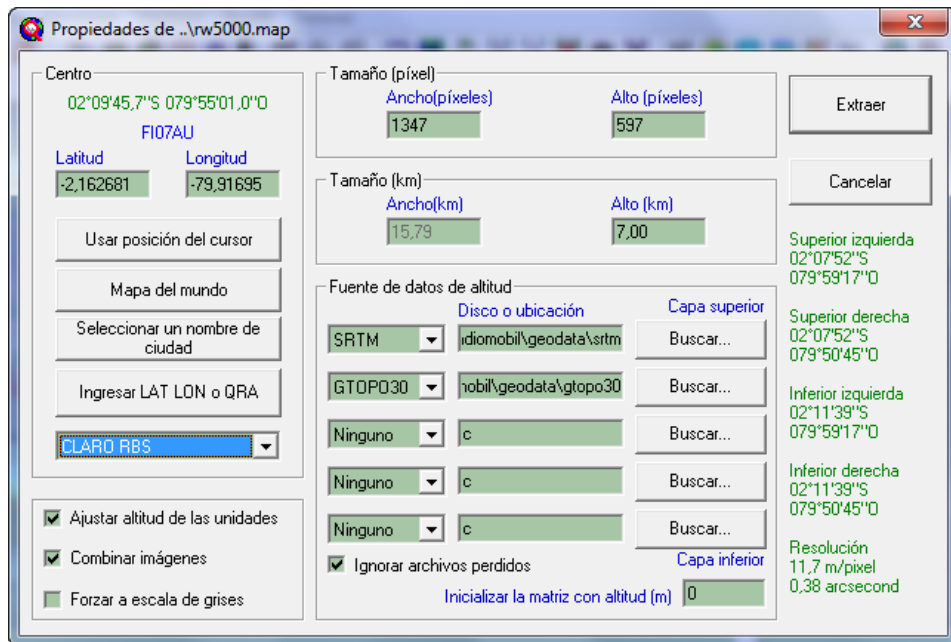


Figura A2.3.- Fuente de datos / ruta de acceso de mapas

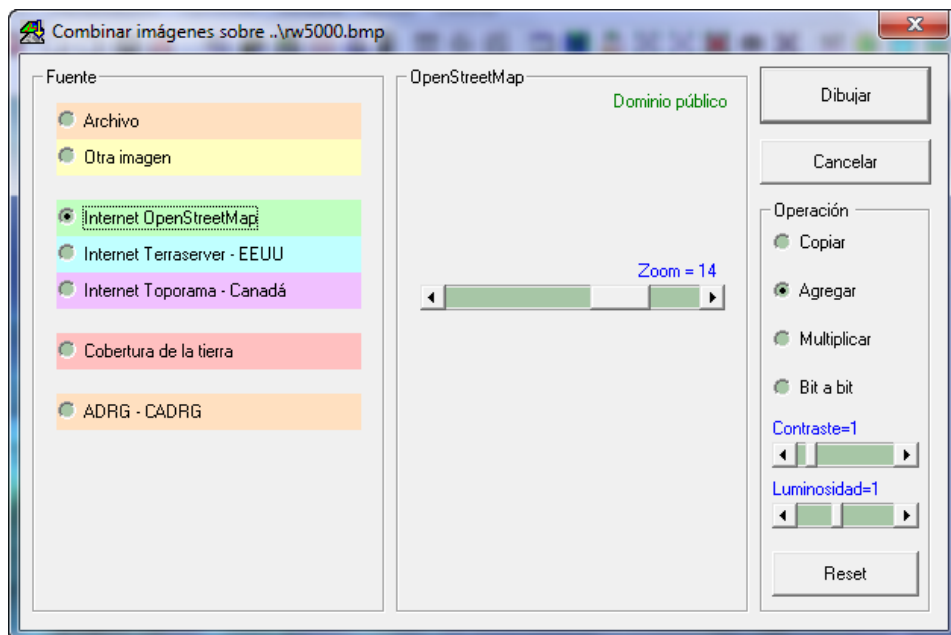


Figura A2.4.- Combinar mapas SRTM con OpenStreetMap

Para hacer los análisis de cobertura, Radio Mobile usa parámetros por defecto que pueden ser modificados por el usuario. Los parámetros globales y frecuencia de operación son definidos en la ventana de Propiedades de las redes. Ver figura A2.5

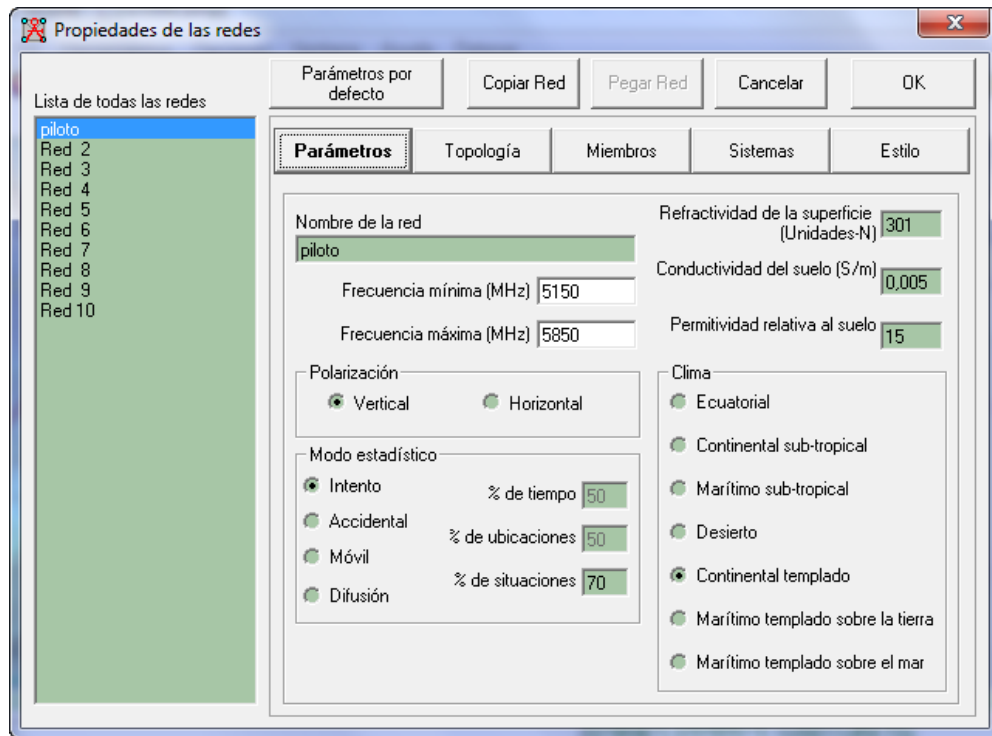


Figura A2.5 Parámetros globales de las redes

Los valores de parámetros globales pueden ser referidos a las tablas A2.1, A2.2, A2.3 tomadas del Manual de Cálculo [4] ajustándolos en concordancia con la ubicación de cada sitio, sea en el área continental, marítima, templada o sub tropical.

Características del terreno	Conductividad del terreno (S/m)	Permitividad relativa
Terreno de calidad media	0.005	15
Terreno pobre	0.001	4
Terreno bueno	0.02	25
Agua dulce	0.01	25
Agua marina	5	25

Tabla A2.1 Parámetros Características del terreno

<b>Modo de variabilidad</b>	<b>Características</b>
Spot	Transmisiones unicast entre estaciones fijas
Accidental	Usado para evaluación de interferencias
Mobile	Propagación en entorno móvil
Broadcast	Transmisiones broadcast entre estaciones fijas

Tabla A2.2 Parámetros de Modo Estadístico

Se elige el tipo de Topología de red que se va a usar, en general para un enlace tipo punto a punto o Punto a multipunto, es del tipo Maestro – Esclavo. Ver figura A2.6. En la ventana Miembros se eligen los sitios que intervienen en los cálculos gráficos, hacia donde están apuntados y los equipos asignados a cada sitio. Ver Figura A2.7.

En la ventana de Sistemas se definen los parámetros de funcionamiento de cada equipo, incluyendo el tipo de patrón de radiación aproximado de las antenas de cada equipo. Ver Figura A2.8, A2.9 y A2.10

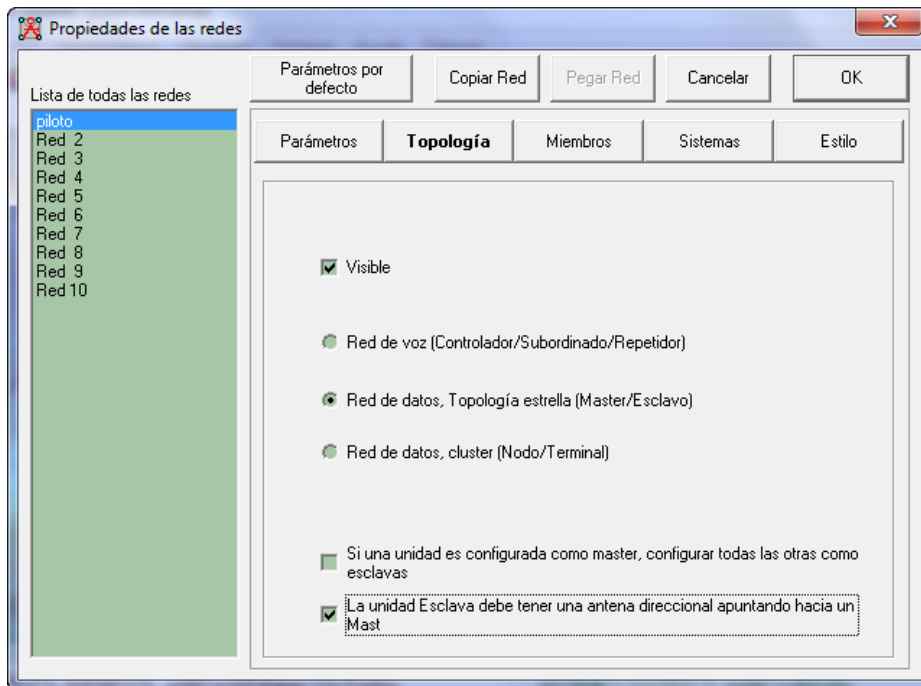


Figura A2.6.- Topología de red Maestro – Esclavo

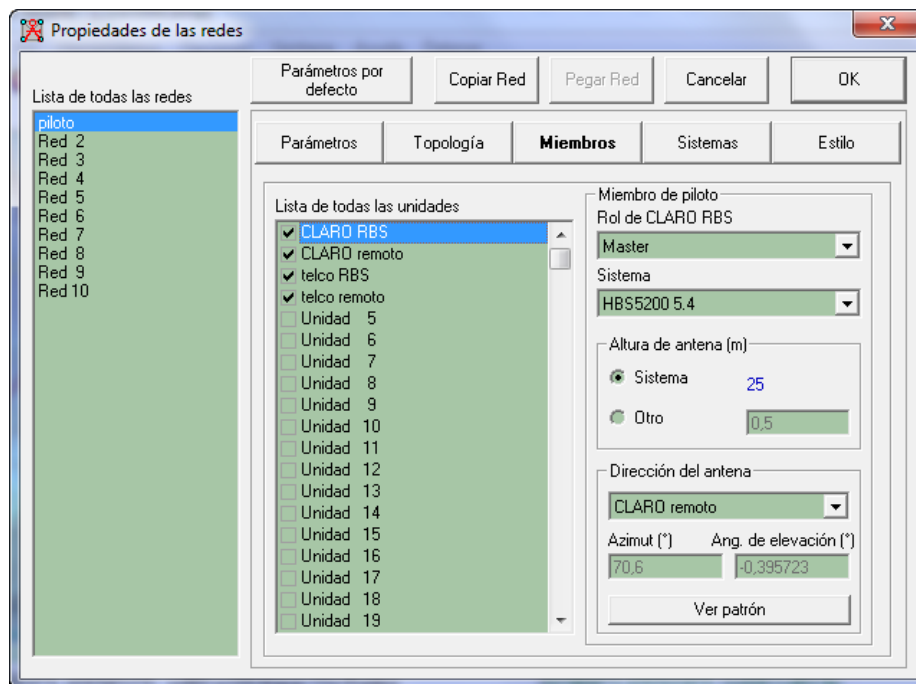


Figura A2.7.- Miembros incluidos en el cálculo

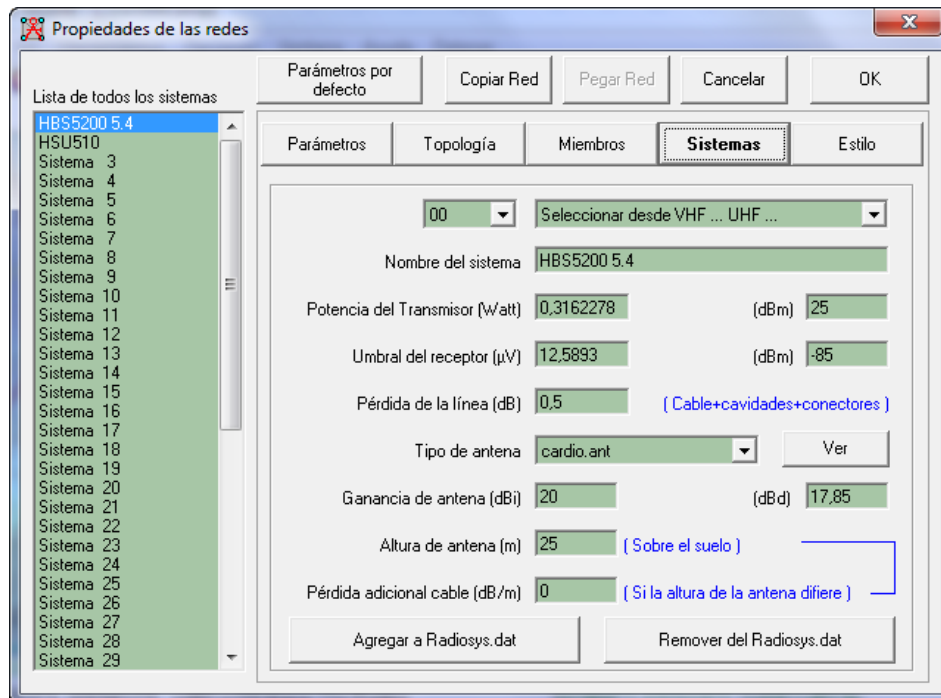
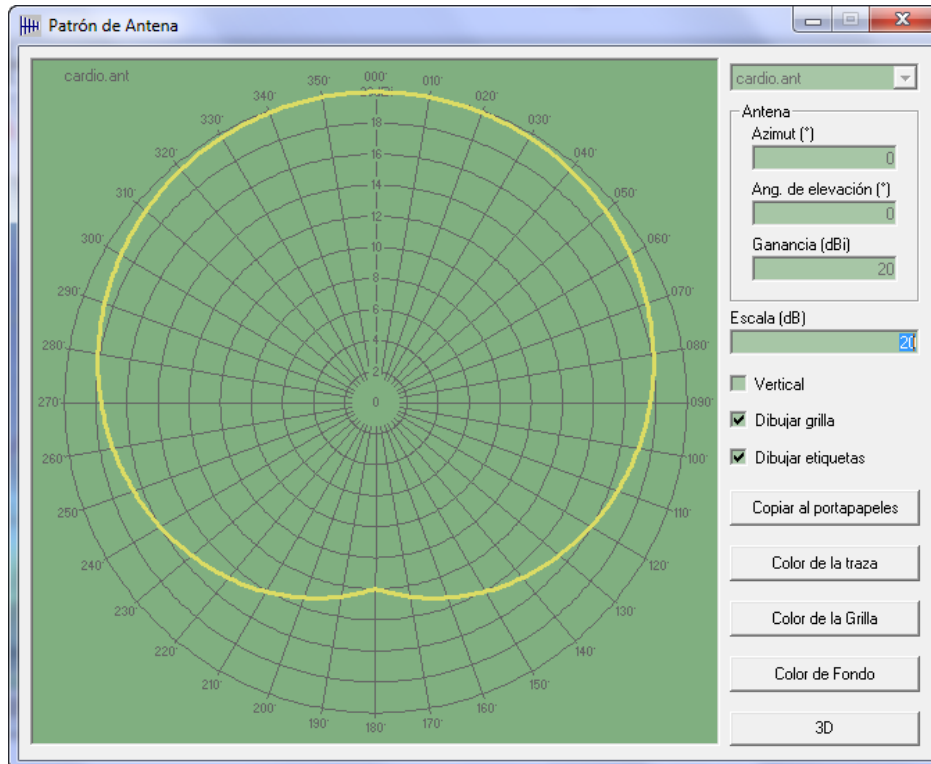


Figura A2.8.- Parámetros de funcionamiento de equipos



A2.9. Patrón de radiación de antena RBS

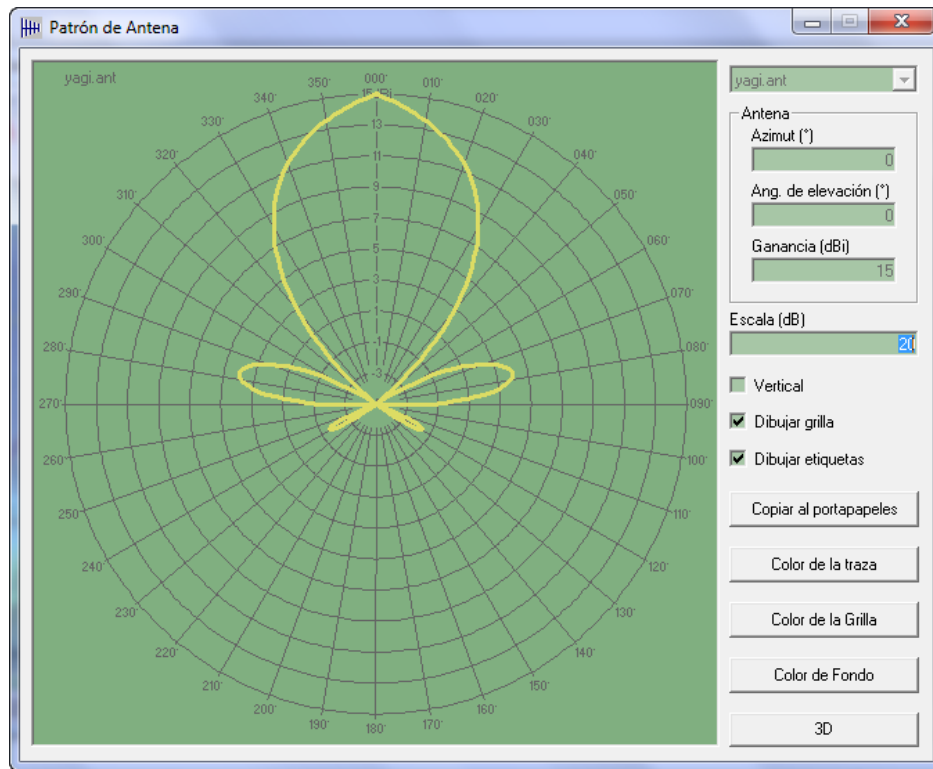


Figura A2.10.- Patrón de radiación de antena HSU

El ingreso de sitios y sus coordenadas se realiza en la ventana propiedades de las unidades, ver figura A2.11 y A2.12

Figura A2.11.- Asignación de coordenadas a un sitio

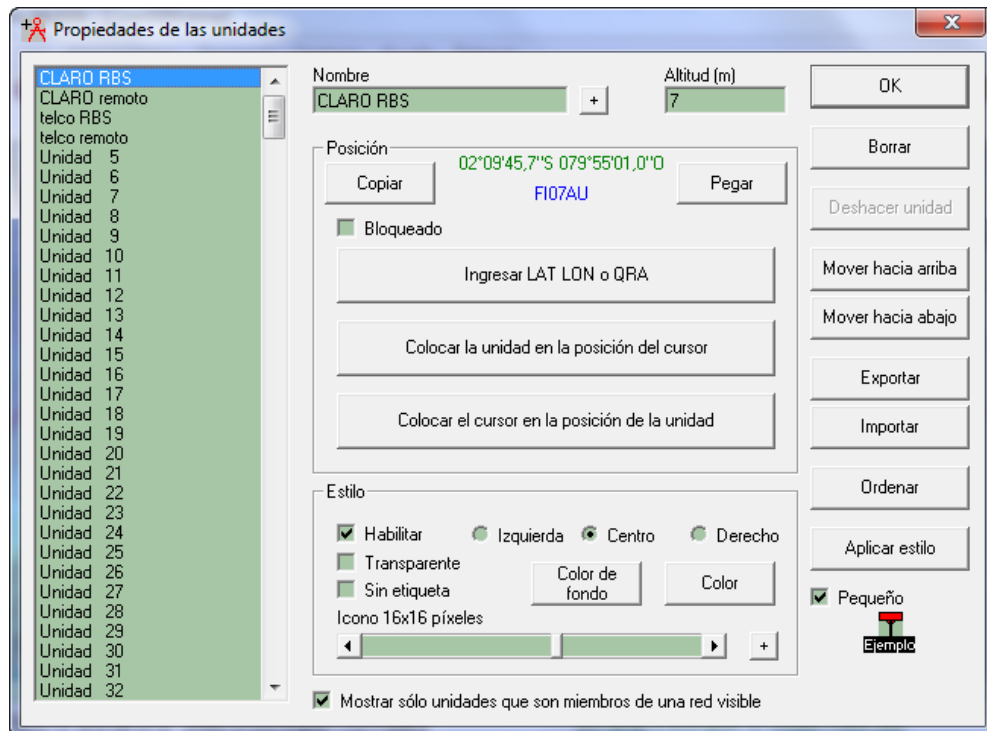


Figura A2.12.- Ventana principal de asignación de coordenadas

Para generar un cálculo de enlace, se seleccionan la ventana **Enlace de Radio** y se seleccionan los nombres de los 2 puntos a enlazar (Rol), si el enlace es factible la trayectoria saldrá de color verde e indicará los parámetros de funcionamiento estimados. Ver figura A2.13.

En dicha ventana también se pueden hacer estimaciones de las alturas mínimas requeridas para la factibilidad del enlace, alterando los valores de altura de las antenas o del tipo de equipo a ser usado.

Los resultados más importantes que muestran son la distancia entre puntos, niveles de recepción, umbral de desvanecimiento y ángulo de apuntamiento.

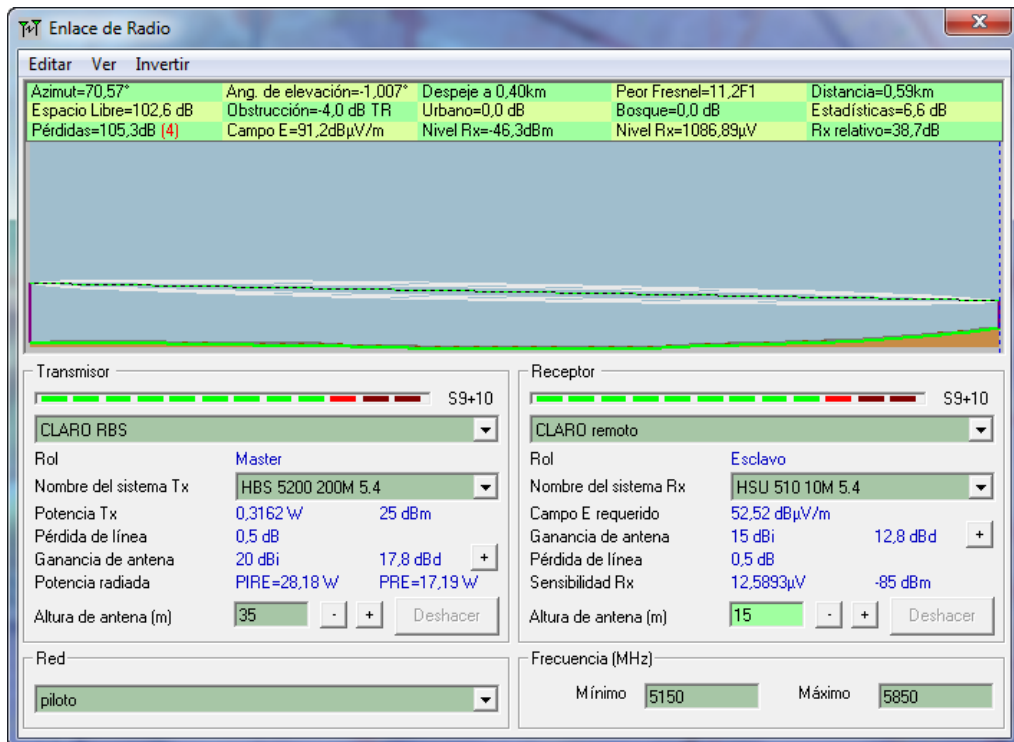


Figura A2.13 ventana de resultados de cálculo de enlace

Para generar un patrón, se elige la ventana Cobertura de Radio Polar simple y se selecciona un punto central y un remoto para hacer un barrido de acuerdo al alcance en Km y cobertura del sector (rango de azimuth) proyectados, en concordancia con las características de la antena sectorial seleccionada para el punto central. Ver Figura A2.14 y A2.15

En la parte superior se encuentra una referencia basada en color, del nivel relativo de recepción RSSI, el cual indica si el enlace está por encima del umbral de Rx (color verde) lo que permite el establecimiento de un enlace. Estos valores se pueden modificar en la ventana de propiedades de red, en la viñeta estilo. Ver figura A2.16



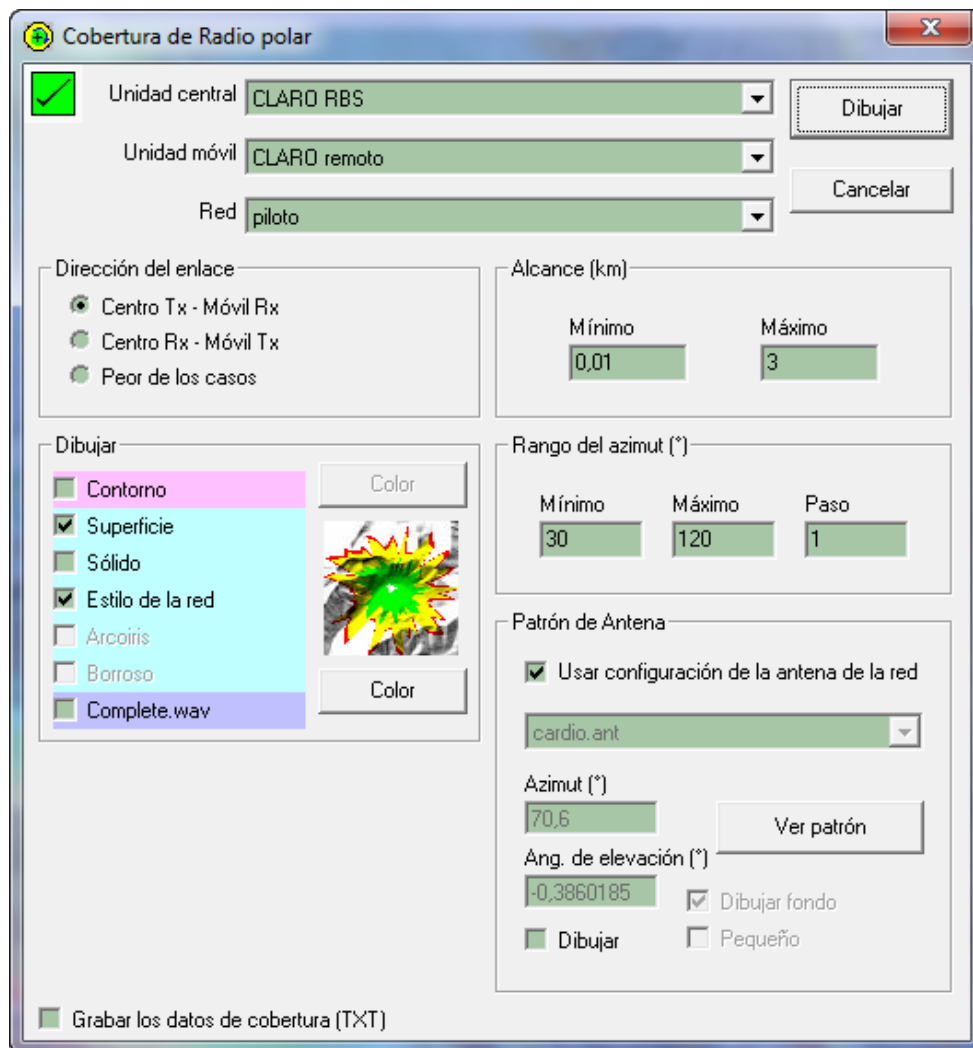


Figura A2.14 Parámetros de zona de cobertura de sector



Figura A2.15.- Patrón de cobertura

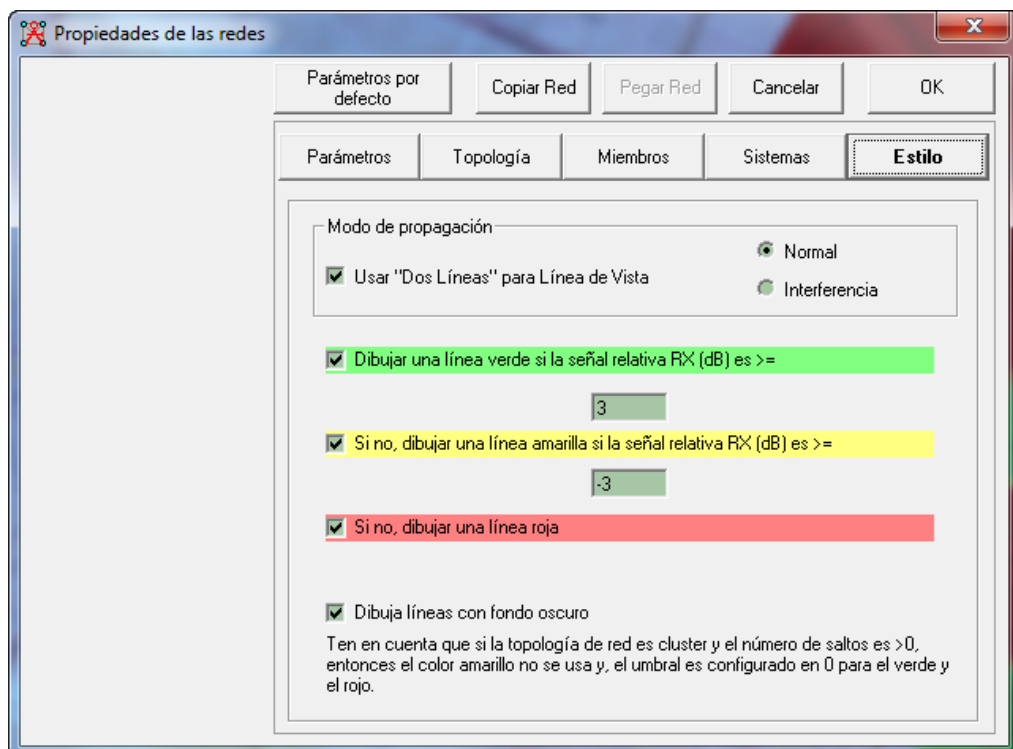


Figura A2.16.- Ajuste gráfico de nivel de señal

## ANEXO 3

### PROGRAMA R-PLANNER

El programa Radio Planner o R-Planner es una herramienta de cálculo con propiedad intelectual de la compañía RADWIN, distribuidora de los equipos usados para la realización de este piloto.

El acceso al programa y su base de datos es “on-line” y se necesita tener un usuario registrado como representante de la marca, es decir no es una herramienta de libre difusión y tiene derechos de propiedad intelectual. El software está concebido como una herramienta de planificación de enlaces de radio frecuencia usando equipos y accesorios marca RADWIN.

Es un programa que se basa en el funcionamiento cliente – servidor, por lo que se instala en la PC solo el software cliente. Ver figura A3.1.

La herramienta da acceso a un catálogo de productos en línea que permite estar actualizado con los equipos existentes o los que ya no se fabrican, permite la generación de un BOM (BILL OF MATERIALS) que ayuda al representante de marca a hacer un listado de equipos así como la emisión de reportes sobre los cálculos estimados obtenidos.

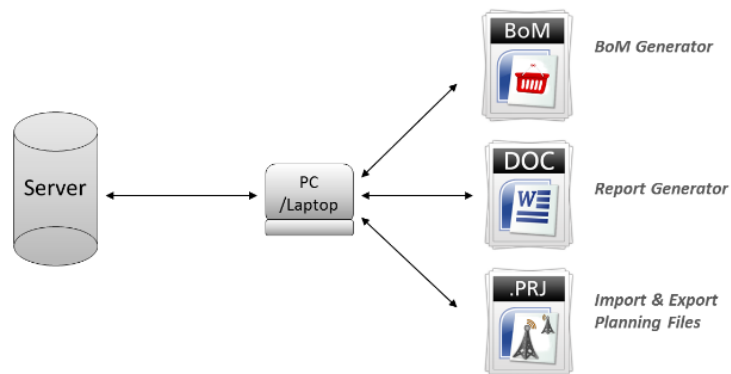


Figura A3.1 Cliente R-Planner instalado en PC

La herramienta de software permite colocar los sitios en coordenadas referenciadas GPS de forma manual o a través del Google Earth, para esto se debe instalar dicho programa de propiedad de Google o un plug-in (google earth plug in – geplugin.exe) que se descarga del internet, posterior a instalar el software R-Planner cliente.

Una vez que el cliente está instalado en la PC, el programa se activa llamando al acceso directo (shortcut) **R-Planner** que aparece en el escritorio. Ver figura A3.2

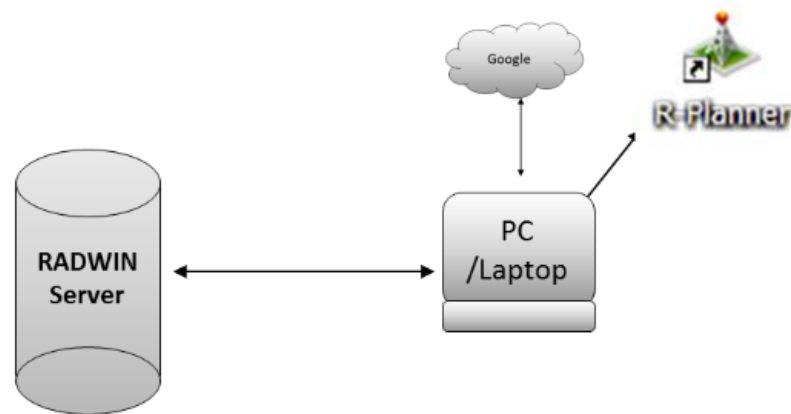


Figura A3.2.- Relación Cliente – Servidor Radwin – Servicio Google Earth

Al acceder al cliente R-Planner nos pregunta el usuario registrado y la contraseña (Ver figura A3.3). Para crear un nuevo plan accedemos a la ventana **Projects** (ver figura A3.4) y damos click en crear un nuevo plan.

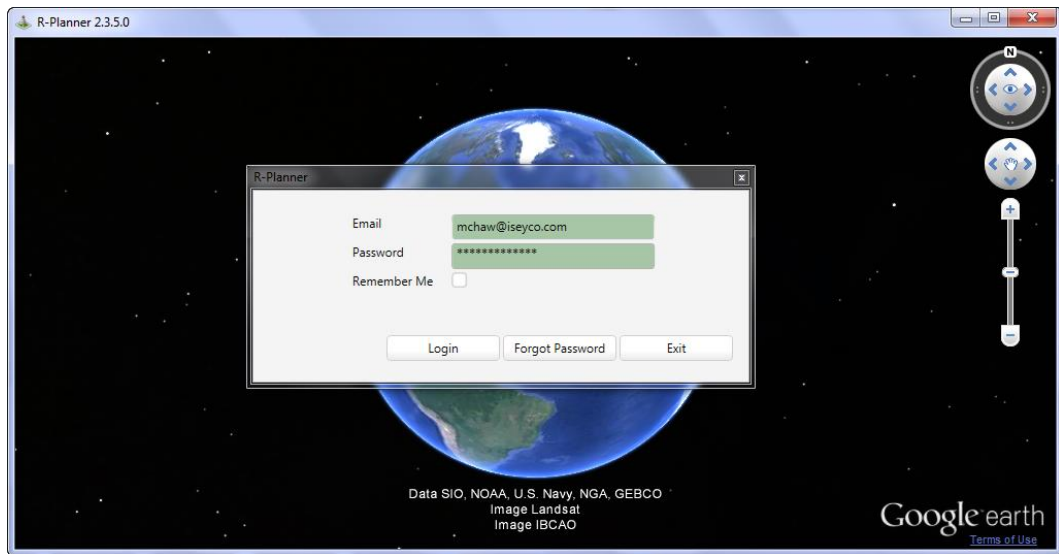


Figura A3.3. Acceso al cliente R-Planner

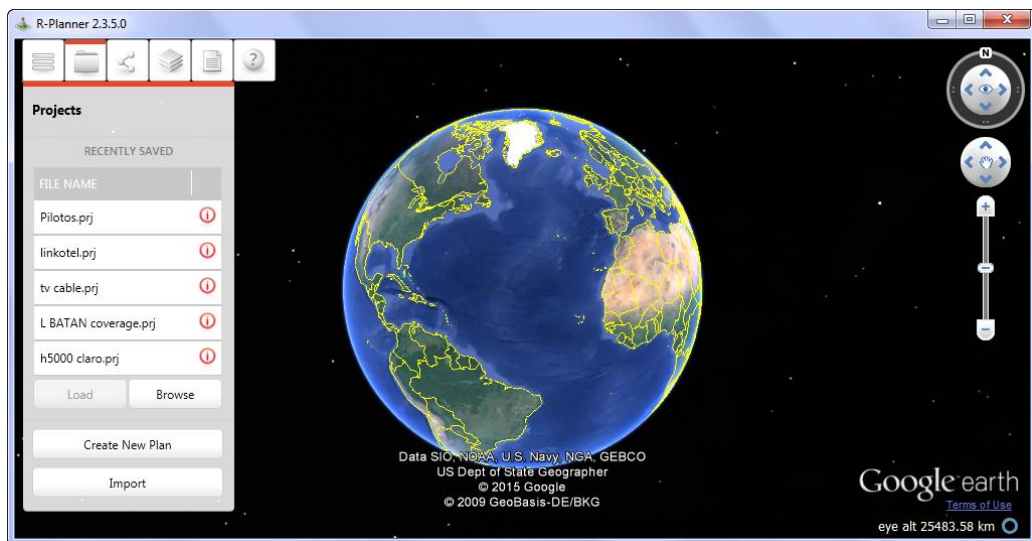


Figura A3.4 Creación de un plan

Sobre la ventana del nuevo plan se indica el factor de clima sobre el cual trabajamos, para Ecuador está determinado como C=2 Moderado Ver figura A3.4.

Se especifica los valores por defecto de frecuencia y altura de radio base para el plan, concordando con el tipo de equipamiento que se usará en el

proyecto. Para este caso se usan equipos en la banda de 5 Ghz en un rango de frecuencias de 5400 Mhz y de promedio las radio bases HBS estarán ubicadas en torres a una altura promedio de 35 m. ver figura A3.4.

Posteriormente se asocia al plan con un catálogo de productos y la banda de trabajo de equipos (Ver figura A3.5). El catalogo permite escoger equipos y grabarlos en varios catálogos para diferentes planes. Los equipos que permite escoger estarán en concordancia con aquellos que fueron seleccionados en el catálogo par ser parte del mismo. Ver figura A3.6.

Finalmente seleccionamos el throughput mínimo requerido por remoto y el porcentaje de disponibilidad de enlace, estos valores serán tomados en cuenta al momento de la realización de una estimación de un enlace desde la radio base HBS hacia un remoto HSU. Ver figura A3.7

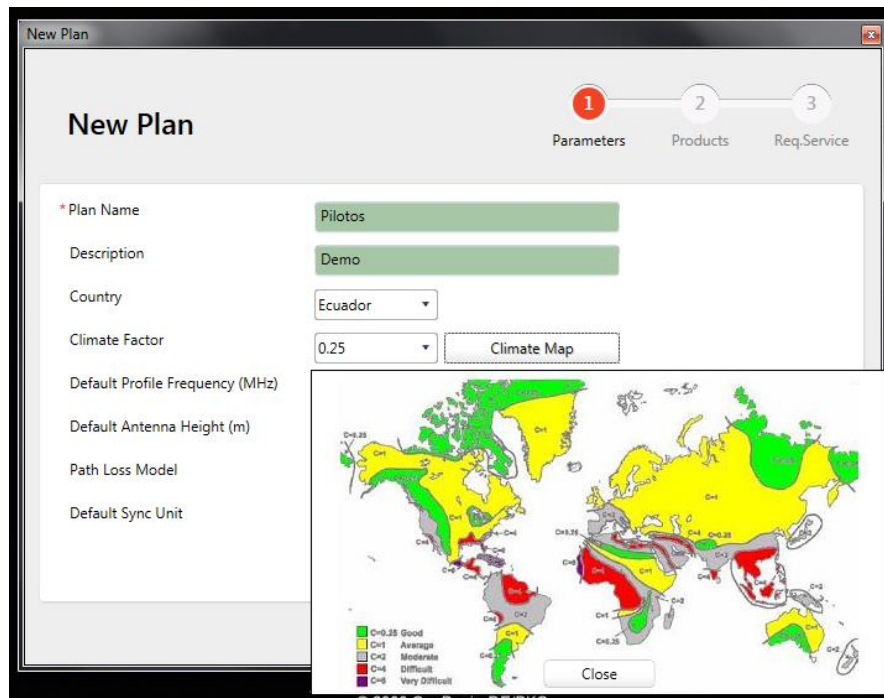


Figura A3.4 selección de factor clima C=2

**New Plan**

1 Parameters 2 Products 3 Req.Service

\* Plan Name: Pilotos

Description: Demo

Country: Ecuador

Climate Factor: 2 Climate Map

Default Profile Frequency (MHz): 5400

Default Antenna Height (m): 25

Path Loss Model: Free Space

Default Sync Unit:  HSS  GSU

< Back Next > Cancel

Figura A3.5 selección de frecuencia de equipos y altura promedio de radio bases

**New Plan**

Parameters 2 Products 3 Req.Service

Brand: RADWIN

Catalog: claro5000 Edit Catalog

Band for P2P: [Empty]

Band for P2MP: 5.4 GHz Universal

Default Product:

P2P ODU: [Empty]

HBS: RW5000/HBS/5200/F54/UNI/EXT ( 5.4 GHz)

HSU: RW5000/HSU/5510/F54/UNI/INT ( 5.4 GHz)

Include Licensed Bands:

< Back Next > Cancel

Figura A3.5 selección de catálogo y banda de trabajo de equipos

**WINPRO CATALOG** Products Edit/Preview Switch To BOM

RADWIN Brand claro5000 Export Save My Catalogs >

ODUs (5) IDUs (1) POEs (1) Antennas (3) Cables (0) Accessories (0) Services (0) SW & Mng. Tools (0) Filter1 My Filters >

Family	Architecture	Throughput (Mbps)	Default Band (GHz)	Default Regulation	Channel BW (MHz)	Form Factor	New Products
RADWIN 2000	P2P	750 Aggregated	2.3 (2) 2.4 (20)	FCC/IC (80)	80 (4)	Embedded (4)	New (6)
RADWIN 5000	P2MP BS	250 Aggregated	2.5 (2) 3.5 (15)	ETSI (7)	40 (96)	Connectorized (62)	End of Life (1)
RADWIN 5000 JET	P2MP SU	200 Aggregated	4.4 (1) 4.9 (6)	WPC (1)	20 (141)	Integrated (75)	
	P2MP BS Mobile	100 Aggregated	5.4 (39) 5.8 (40)	Universal (53)	10 (141)		
	P2MP SU Mobile	50 Aggregated	6.4 (16)		5 (109)		
		25 Aggregated					
		10 Aggregated					
		5 Aggregated					

More Filters Clear Selection

1-10 of 141 entries Data Sheet Mode New EOL Announcement EOL Search

Catalog	Part Number	Product Name	Product Family	Radio Series	Throughput (Mbps)	Form Factor	Default Regulation	More Info
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="#">RW-5200-0230</a>	RW5000/HBS/5200/F36/FCC/EXT	RADWIN 5000	HBS 5200	250 Aggregated	Connectorized	FCC/IC	+
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="#">RW-5200-0250</a>	RW5000/HBS/5200/F58/FCC/EXT	RADWIN 5000	HBS 5200	250 Aggregated	Connectorized	FCC/IC	+
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="#">RW-5200-9254</a>	RW5000/HBS/5200/F54/UNI/EXT	RADWIN 5000	HBS 5200	250 Aggregated	Connectorized	Universal	+
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="#">RW-5510-9A54</a>	RW5000/HSU/5510/F54/UNI/INT	RADWIN 5000	HSU 510	10 Aggregated	Integrated	Universal	+
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="#">RW-5550-0150</a>	RW5000/HSU/5550/F58/FCC/INT	RADWIN 5000	HSU 550L	50 Aggregated	Integrated	FCC/IC	+
<input type="checkbox"/>	<a href="#">RW-2024-0100</a>	RW2000/ODU/C/F24/FCC/INT	RADWIN 2000	2000 C	200 Aggregated	Integrated	FCC/IC	+

Figura A3.6 Selección de equipos para ser parte del catálogo

**Plan Settings**

Parameters Products Req.Service

TDMs (E1, T1)  E1 0  T1 0

Downlink T-put (Mbps) 2

Uplink T-put (Mbps) 2

Availability (%) 99.9

< Back Finish Cancel

Figura A3.7 Selección del throughput mínimo y disponibilidad de enlace



Los sitios se colocan a través de la pestaña **Planning** para añadir sitios, se coloca el nombre y las coordenadas en grados referenciados al Norte y al Este (ver figura A3.8 y A3.9).

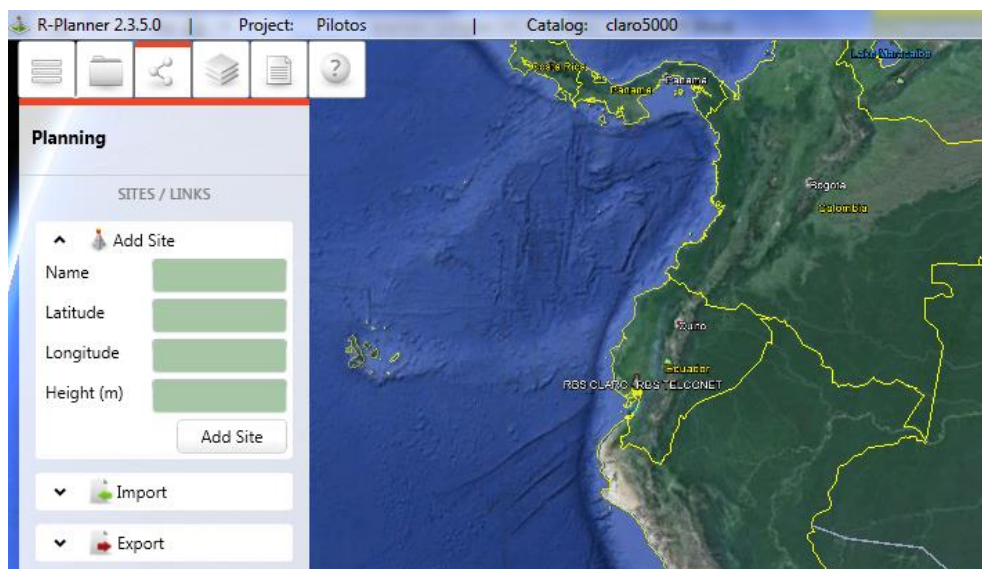


Figura A3.8 Pestaña planning para agregar sitios

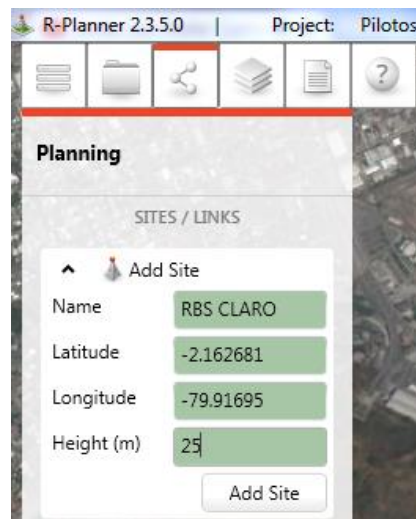


Figura A3.9 ingreso de un sitio con coordenadas en grados

Una vez ingresado los datos, los sitios aparecerán sobre el mapa de Google Earth en el programa (ver figura A3.10).

Para estimar una zona de cobertura, damos click derecho sobre un sitio que va a ser radio base y añadimos una cobertura. Colocamos el alcance aproximado, el ángulo de barrido que debe concordar con el ángulo de cobertura de la antena sectorial y hacia la dirección donde queremos apuntar el sector. También colocamos la altura de la radio base y la altura promedio de los sitios a conectar en el sector. (Ver figura A3.11)

Al final nos da una imagen de la zona de cobertura, los colores marcados se relacionan con la línea de vista LOS (Line of Sight) y la No cobertura NLOS (Non – Line of Sight), seleccionados con anterioridad. Ver figura A3.12

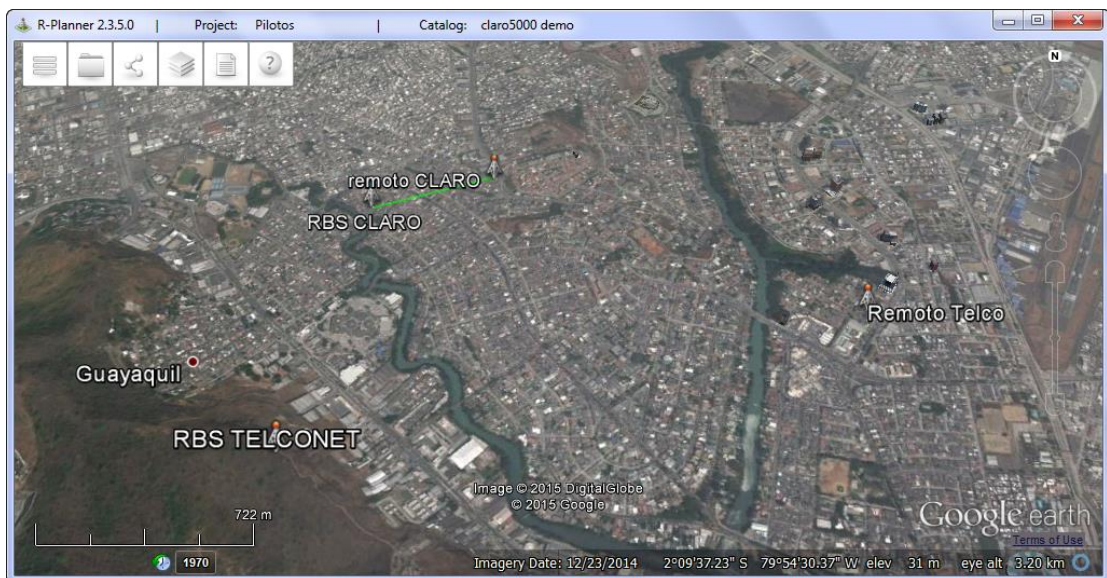


Figura A3.10 Geo ubicación de sitios sobre el plan

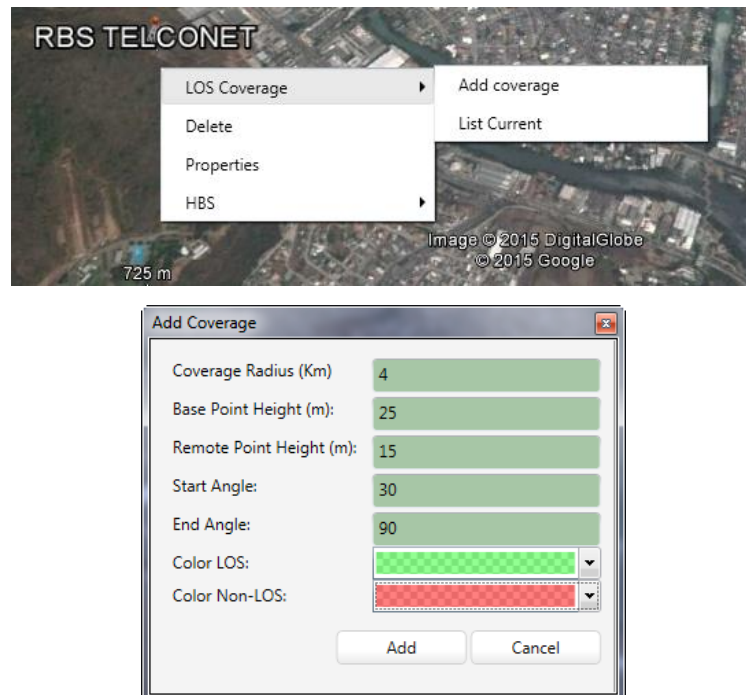


Figura A3.11 Crear cobertura de sitio

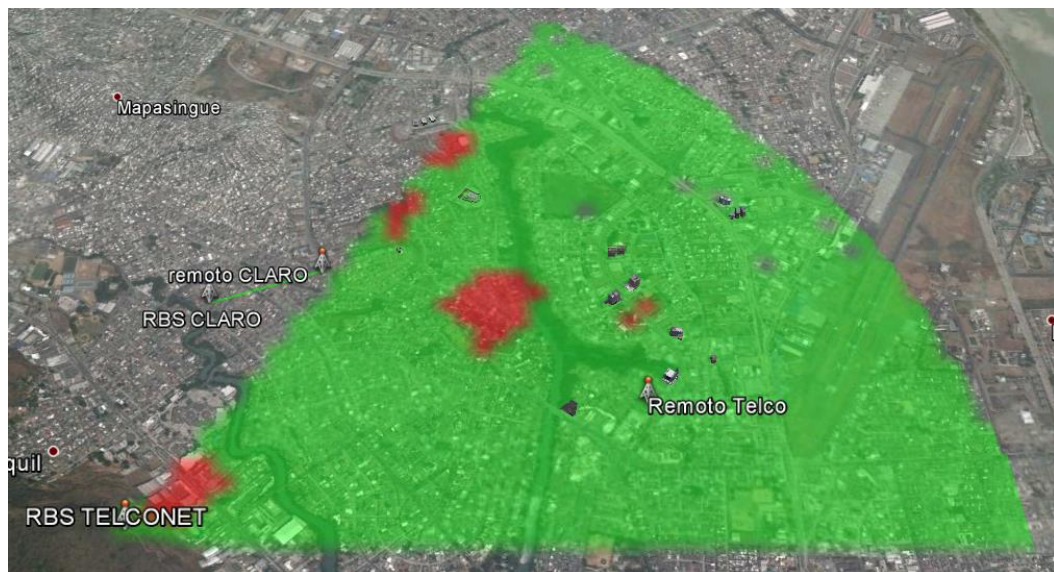


Figura A3.12 Estimado de zona de cobertura

Para la creación de una radiobase en un sitio/sector, damos click derecho sobre un sitio y seleccionamos añadir HBS (Ver figura A3.13); en la ventana de datos de la HBS ponemos nombre y seleccionamos el equipo. Esta lista

tiene relación con los equipos incluidos previamente en el catálogo asociado al plan. Ver figura A3.14.

Se incluye la altura donde estará la antena y la frecuencia con la que trabajará, en esta sección se puede definir el modo de trabajo de la radiobase para el tráfico, para que sea simétrico o asimétrico. Esta parte es útil de acuerdo al tipo de tráfico que se transmita desde y hacia la radio base. Por Ejemplo para el tráfico Internet el Downlink (hacia el HSU) es mayor que el Uplink (desde el HSU) y para video vigilancia es todo lo contrario. En general el tráfico se deja equilibrado.

Es de recordar que el sistema tiene una tasa de transferencia agregada, es decir que de 5 Mbps, 2,5 Mbps son para Downlink y 2,5 Mbps son para Uplink cuando la repartición el **transmission ratio** es 50/50. Conforme se desbalancea esta relación, de igual forma se desbalanceará el throughput del Downlink / Uplink. Este valor afecta el comportamiento de todo el sector.

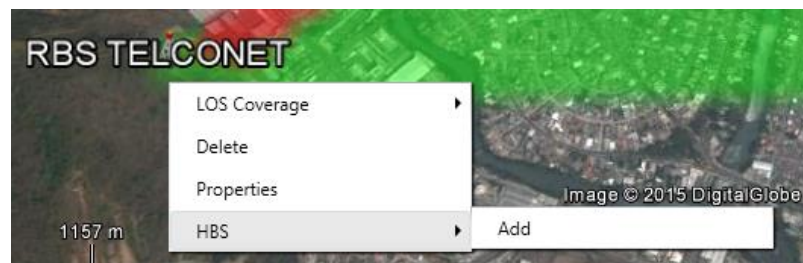


Figura A3.13 adición de una radio base a un sitio/sector

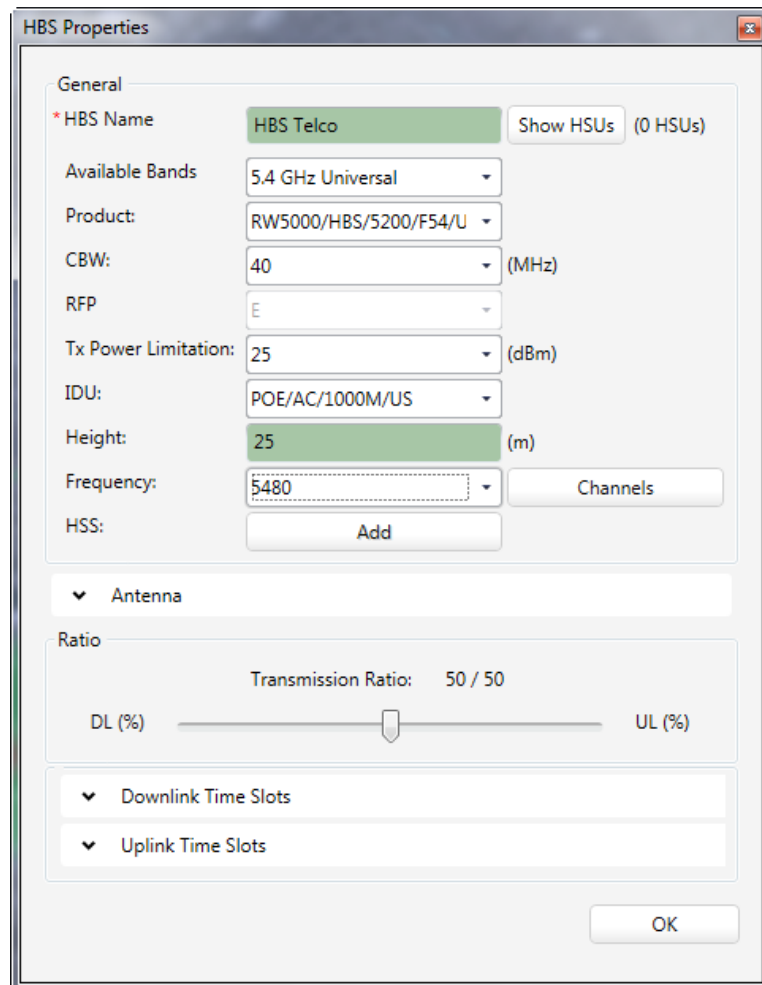


Figura A3.14 definición de la radiobase en el sitio/sector

Para la creación de un remoto, seleccionamos una radio base y manteniendo presionado la tecla CTRL IZQ proyectamos una línea hasta el sitio remoto, dando click aparece una ventana donde definimos el tipo de enlace, para este caso es un enlace Punto – Multipunto (P2MP link). Ver figura A3.15

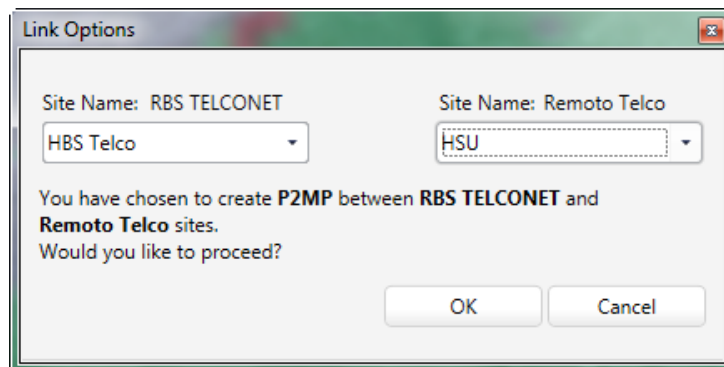


Figura A3.15 creación de un enlace remoto

A continuación el programa procesa la información de geo ubicación y las capacidades de equipos propuestos, preguntando por el throughput del enlace que se desea. Ver figura A3.16

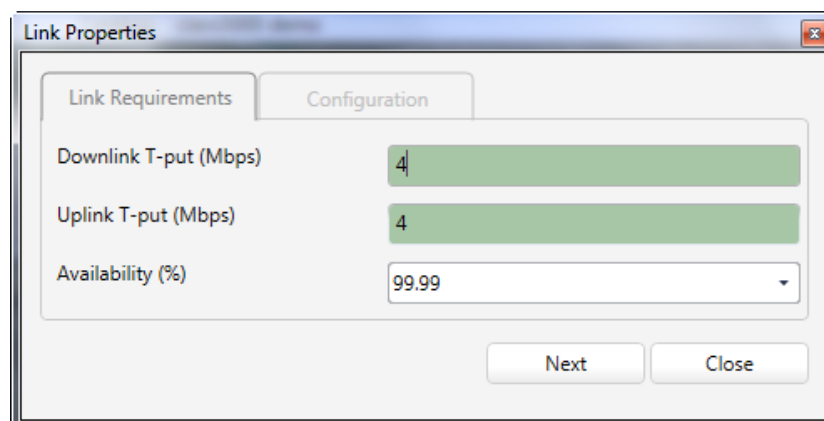


Figura A3.16 definición de capacidad del enlace

A continuación aparece la ventana de resultados del enlace donde aparecen la disponibilidad, así como el throughput asegurado. Dicho valor puede ser aumentado y disminuido asignando más ranuras de tiempo TS al enlace, tanto para el Downlink como para el Uplink. También aparece el **transmission ratio** asignado a la radiobase HBS. El indicar **status** nos permite reconocer si se cumple con los requerimientos de throughput del enlace. Ver figura A3.17.

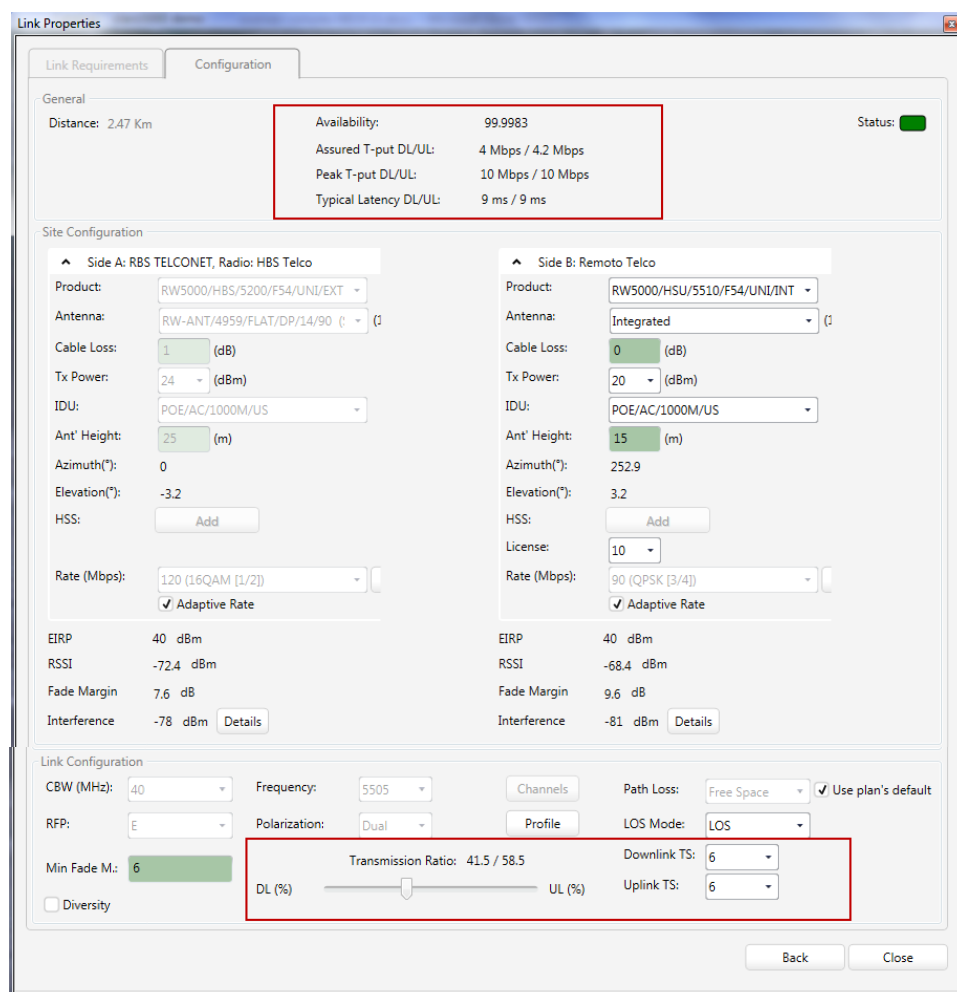


Figura A3.17 resultados finales de la estimación de enlace

## ANEXO 4

### PROGRAMA JPERF

Jperf v2.0.2 es una versión mejorada del programa iperf con una interface gráfica para mejor entendimiento y control de la pruebas. Es una herramienta JAVA para correr sobre ambientes Windows o Unix y su función es de enviar paquetes de datos desde una computadora donde esté instalado y funcionando en modo cliente hacia otra computadora donde esté funcionando en modo servidor.

Se pueden enviar paquetes de diferente longitud desde una dirección IP a otra que pueda ser visualizada a través de las redes que unen a estas 2 computadoras, los contenidos de estos paquetes son datos aleatorios pero con encapsulado tipo UPT o TCP que son propios de la capa de transporte de red.

El programa en ambas computadoras monitorea la interface por donde son enviados y recibidos los paquetes y contabiliza estadísticamente la velocidad de los paquetes recibidos o enviados. Del lado del servidor se mide también la contención de paquetes y en ambos computadores se calcula el tiempo de retardo, similar a lo que se obtiene con la función PING.

La figura A4.1 muestra la ventana general del programa Jperf v2.0.2, donde se aprecian la ventana de resultados gráficos y en texto (A), la cual puede ser guardada como archivo texto; la ventana de configuración de modo de trabajo (B) donde se define el modo de trabajo CLIENT o SERVER y donde se introduce la dirección IP del computador donde el programa corre en modo SERVER, la ventana de manejo de aplicación (C) donde se define el tiempo de la prueba y el formato de salida de la medición en múltiplos de Bytes por segundo o Bits por segundo; y la ventana de opciones de la capa



de transporte (D) donde se define el tipo de encapsulamiento de los datos aleatorios a enviar (sean UDP o TCP)

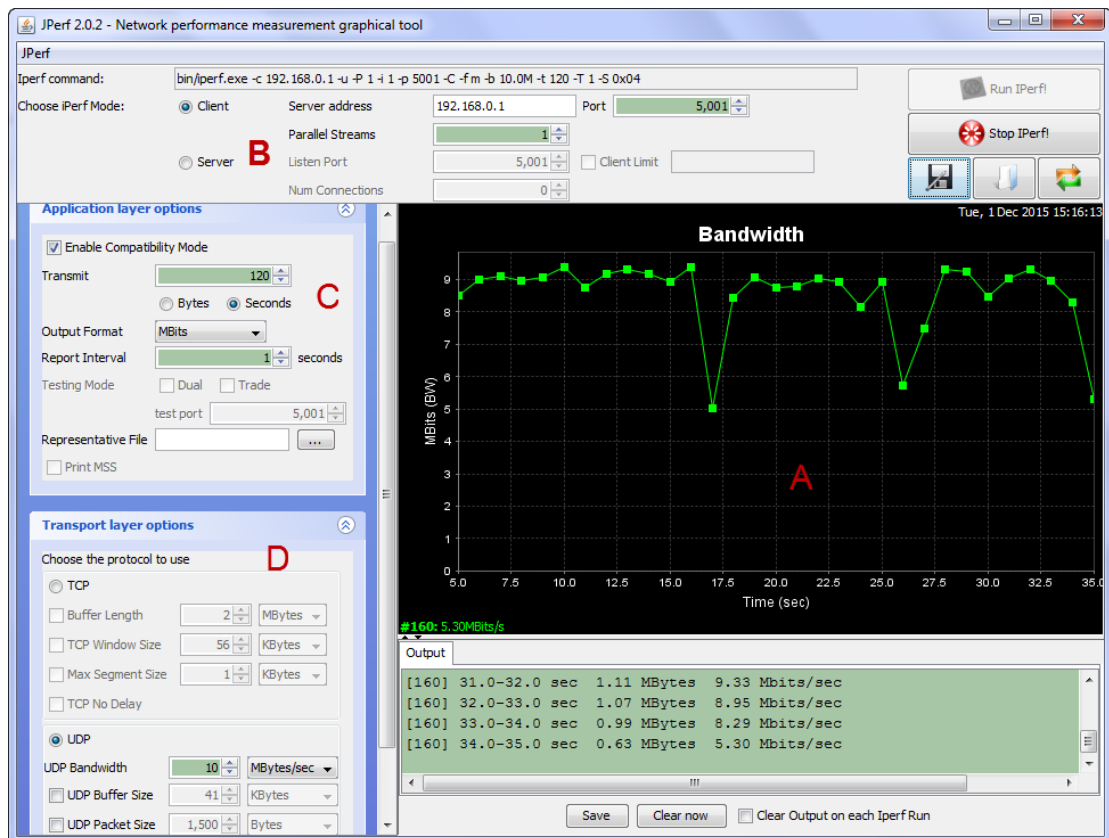


Figura A4.1 programa Jferf V2.0.2

La figura A4.2 muestra el resultado de una medición hecha para envío de tráfico UDP a 5 Mbytes, visto en la ventana de resultados en la computadora que actúa como cliente y la figura A4.3 muestra los resultados en la computadora que actúa como servidor.

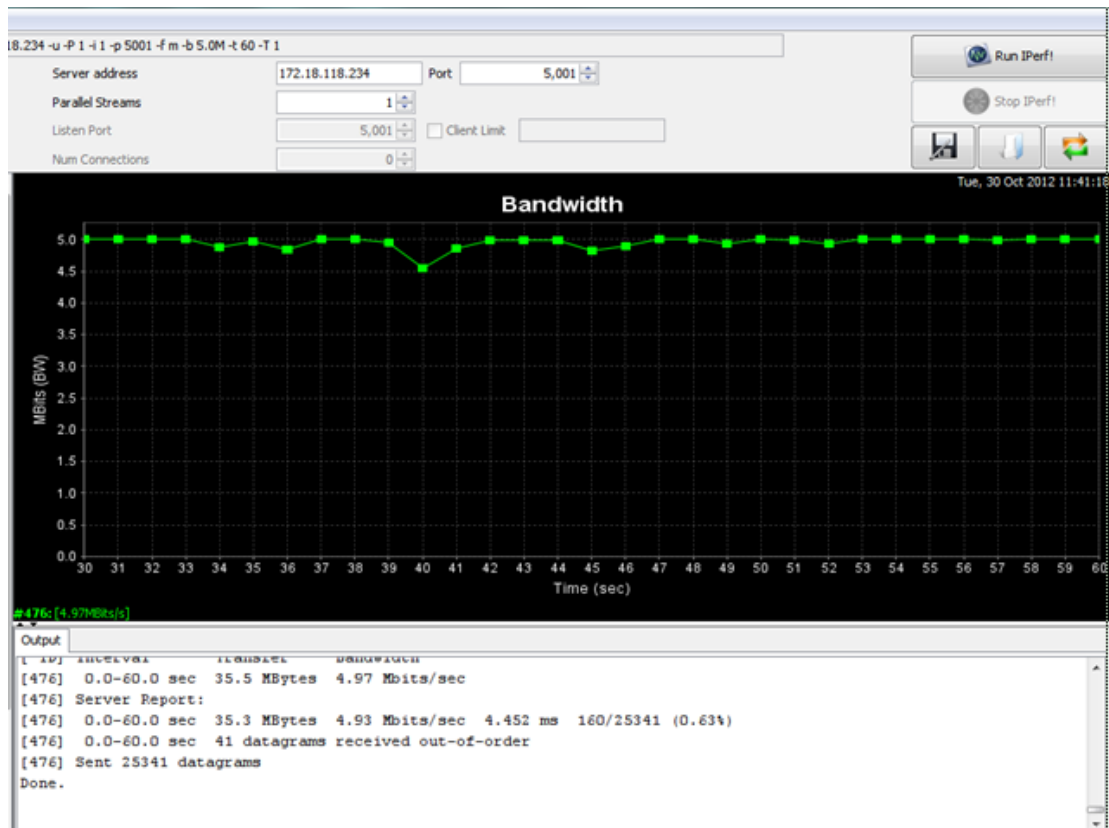


Figura A4.2 resultados de la medición del computador cliente

En la figura A4.2 se observa el tráfico que el computador cliente está tratando de enviar por la interface hacia el servidor, se puede apreciar para este ejemplo, que por breves momentos la tasa de información no llega a 5 Mbps lo que puede ser provocado por congestión en el procesador de la computadora, daño en la tarjeta Ethernet o lo más probable congestión en la red LAN donde está ubicado el computador.

La congestión de la red LAN se manifiesta como pérdida de paquetes o disminución de la velocidad de entrega de paquetes hacia la red.



Figura A4.3 resultados de la medición del computador servidor

En la figura A4.3 se observa el tráfico que el computador actuando como servidor, está recibiendo por la interface que conecta hacia el computador cliente, se puede apreciar para este ejemplo, que la tasa de información se mantiene alrededor de los 4,78 Mbps y que hay una fluctuación en la latencia (Jitter) de alrededor de 1000 ms.

La estabilidad en un valor fijo del flujo de información (data rate) puede ser ocasionado porque se alcanzó el límite del throughput permitido sobre la interface de interconexión (enlace de datos) sin embargo la diferencia en la latencia es indicación de fluctuaciones en el tamaño de los paquetes recibidos o por la retransmisión de paquetes ocasionados por perdidas en el enlace.




## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, JUAN MANUEL CHAW TUTIVEN, con C.C: # 0909238073 autor del trabajo de titulación: **Aplicación de sistemas de radio punto - multipunto basados en acceso TDMA con calidad de servicio para transmitir datos IP en zonas geográficas con saturación del espectro radioeléctrico en bandas no licenciadas** previo a la obtención del título de **MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 2 de febrero de 2016

f.   
Nombre: Juan Manuel Chaw Tutivén  
C.C: 0909238073

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	APLICACIÓN DE SISTEMAS DE RADIO PUNTO - MULTIPUNTO BASADOS EN ACCESO TDMA CON CALIDAD DE SERVICIO PARA TRANSMITIR DATOS IP EN ZONAS GEOGRÁFICAS CON SATURACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN BANDAS NO LICENCIADAS		
<b>AUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	Chaw Tutivén, Juan Manuel		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	Romero Paz, Manuel		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Sistema de Posgrado – Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	2 de Febrero de 2016	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	123
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Sistemas de gestión, sistemas Punto – Multipunto, Redes de Acceso WI-FI		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Acceso inalámbrico, WI-FI, Multipunto, 802.11, IP, TDMA, Wireless Access, Access Point, microwave link		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El uso de tecnologías inalámbricas como método de acceso para el transporte de información es ampliamente usado en diferentes tipos de negocios como el acceso de sucursales hacia oficinas centrales, enlaces privados, control de tráfico, control remoto, accesos de proveedores ISP a clientes finales hacia el internet sean estos particulares o negocios (conocidos como Cybers).</p> <p>Los enlaces de radio en zona urbana se hicieron populares por la facilidad de despliegue pero provocó al poco tiempo una saturación del espectro en las bandas no licenciadas. Como consecuencia se tiene una degradación en la calidad de servicio o disminución del ancho de banda ofrecido, sea por interferencias de otros enlaces o por el aumento del ruido radioeléctrico en la zona; las nuevas tecnologías para sistemas de acceso inalámbrico o multipunto permiten superar este obstáculo y abaratar costos.</p> <p>Los sistemas Punto – Multipunto, con características de calidad de servicio en el transporte, ofrecen una alternativa viable para ofrecer el mismo servicio que un enlace punto – punto, especialmente cuando se hace uso de bandas no licenciadas, asegurando el ancho de banda comprometido con el cliente final.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-95041481	<b>E-mail:</b> manuel.chaw@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:</b>	<b>Nombre:</b> Manuel Romero Paz		
	<b>Teléfono:</b> +593-4-2888888 / 0955555555		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec">manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec</a> / <a href="mailto:mrromeropaz@yahoo.com">mrromeropaz@yahoo.com</a>		

### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	<a href="http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/123456789/3903">http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/123456789/3903</a>