



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE SOLUCION DE RED DE AREA METROPOLITANA CON
ENLACES PUNTO MULTIPUNTO MIMO OFDM PARA LA TRANSMISION DE
DATOS EN LA BANDA DE 5GHZ

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título Ingeniera en Redes y Telecomunicaciones

Profesor guía

Ingeniero Diego Paredes

Autora

Paulina Burbano

Año

2013

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la Estudiante Paulina Elizabeth Burbano Chiluisa, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Diego Paredes

Ingeniero

0603014143

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

Paulina Elizabeth Burbano Chiluisa

1715906747

Resumen

La presente investigación propone el diseño de una red de área metropolitana con enlaces punto- multipunto, partiendo desde los conceptos fundamentales teóricos de sistemas de telecomunicaciones y enlaces de última milla inalámbricos. Se realiza un detalle de la forma de seleccionar los sitios de instalación ingresando las coordenadas georeferenciales en las herramientas propuestas para el análisis de cada uno de los perfiles, luego se realizaron inspecciones físicas en cada uno de los lugares determinando el sitio exacto de instalación de los equipos y las antenas, la cantidad de material necesario y las herramientas a utilizarse que luego fueron implementados. Y por último se concluye verificando la correcta operabilidad del sistema realizando el protocolo de pruebas propuesto por el fabricante.

Abstract

This investigation proposes the design of a metropolitan area network with point-to-multipoint, starting from the theoretical fundamentals of telecommunications systems and last-mile wireless links. It makes a detail of how to select the installation site georeferenced coordinates entering into the proposed tools for the analysis of each of the profiles, then physical inspections were conducted in each of the places determining the exact site of installation equipment and the antennas, the amount of material required and tools to be used which were then implemented. And finally concluded verifying the correct operability of the system performing the test protocol proposed by the manufacturer.

Indice

Capítulo I. Fundamento Teórico	2
1.1 Sistemas de comunicaciones electrónicas	2
1.2 Modos de transmisión de datos	3
1.2.1 Simplex (SX)	3
1.2.2 Half duplex (HDX)	3
1.2.3 Full duplex (FDX)	3
1.2.4 Full duplex total (F/FDX)	4
1.2.5 Emulación de canales simplex en duplex	4
1.3 Modulación	5
1.3.1 Modulación analógica de datos	5
1.3.2 Modulación Digital	6
1.3.3 Modulación de espectro ensanchado	17
1.4 Multiplexación	19
1.4.1 Multiplexación por división de tiempo	20
1.4.2 Multiplexación por división de frecuencias	21
1.5 El espectro electromagnético	24
1.6 Tecnologías de Acceso	27
1.6.1 Wi-fi	28
1.6.2 Tecnología Wi-max	34
1.6.3 Redes de radio P-P	36
1.6.4 Redes de radio P-MP	37
1.7 RADWIN 5000 HPMP punto a multipunto de alta capacidad	38
1.7.1 Componentes de RADWIN 5000	39
1.7.2 Ventajas	41
Capítulo II. Parámetros de diseño	43
2.1 Introducción	43
2.1.1 Pérdidas en el espacio libre	43
2.1.2 LA ZONA DE FRESNEL	43
2.1.3 Línea de Vista	45
2.1.4 Multitrayectoria	45
2.1.5 Presupuesto de Potencia del enlace	45
2.1.6 Sensibilidad del receptor RSL	47
2.2 Planificación del sitio	47

2.2.1	Etapa 1: Estudio preliminar	47
2.2.2	Etapa 2: Encuesta Física	55
2.2.3	Análisis de Resultados	61
	Capítulo III. Diseño e Implementación	65
3.1	Calculo del enlace	65
3.1.1	Link Budget Calculator	65
3.1.2	Uso del Link Budget Calculator	69
3.2	Esquema del diseño	71
3.3	Instalación física	72
3.3.1	Consideraciones generales	72
3.3.2	Toma de tierra	73
3.3.3	Instalación del Hardware	74
3.4	Software de gestión	78
		83
	Capítulo IV. Protocolo de Pruebas	
4.1	Introducción	83
4.1.1	Test de conectividad	83
4.1.2	Link de instalación	83
4.1.3	Pruebas de Iperf	83
4.1.4	Pruebas de encendido y apagado	84
4.1.5	Conexión de unidades suscriptoras	84
4.1.6	Gestión remota de unidad base	84
4.1.7	Tráfico entre base y suscriptora	84
4.2	Pruebas y análisis de resultados	95
		98
	Capítulo V. Conclusiones Y Recomendaciones	
5.1	Conclusiones	98
5.2	Recomendaciones	100
	Referencias	102
	Anexos	104

Indice de figura

Figura 1. Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas	2
Figura 2. Modo de transmisión simplex	3
Figura 3. Modo de transmisión half duplex.	3
Figura 4. Modo de transmisión full duplex.	4
Figura 5. Modo de transmisión full dúplex total	4
Figura 6. Representación de la Modulación analógica	6
Figura 7. Modulación de señales digitales	7
Figura 8. Diagrama de bloques de un modulador ASK	8
Figura 9. Representación de Modulación ASK	9
Figura 10. Sistema FSK	10
Figura 11. Sistema PSK	12
Figura 12. Sistema de transmisión digital multinivel	12
Figura 13. Constelaciones	13
Figura 14. Modulación QPSK	13
Figura 15. Diagrama de Constelación	14
Figura 16. Circuito modulador QAM	14
Figura 17. Modulación 8QAM	15
Figura 18. Diagrama de Constelación	15
Figura 19. Diagrama de Constelación	16
Figura 20. Representación de canales de transmisión en FHSS	18
Figura 21. Bloque básico de construcción del transmisor de espectro ensanchado en Secuencia Directa.	19
Figura 22. Bloque básico de construcción del receptor de espectro ensanchado en Secuencia Directa.	19
Figura 23. Diagrama esquemático de multiplexación	20
Figura 24. Representación gráfica de TDM	20
Figura 25. Sistema TDM	21
Figura 26. Representación gráfica de FDM	22
Figura 27. Sistema FDM	22
Figura 28. Multiplexación OFDM	24
Figura 29. Distribución de frecuencias en el espectro electromagnético	25
Figura 30. Red de Acceso	27
Figura 31. Sistema MIMO	32
Figura 32. Arquitectura 802.11	33
Figura 33. Esquema básico de red wimax	36
Figura 34. Enlace Punto a Punto	37
Figura 35. Enlace Punto a Multipunto	38
Figura 36. Componentes de la Estacion Base	40
Figura 37. Componentes de la unidad suscriptor	40
Figura 38. Representacion de la Zona de Fresnel	44

Figura 39. Presupuesto de potencia de enlace	46
Figura 40. Ubicación de los puntos propuestos	48
Figura 41. Nodo-Punto A	49
Figura 42. Nodo -Punto C	49
Figura 43. Nodo -Punto D	50
Figura 44. Nodo -Punto E	50
Figura 45. Calculo de Radio enlace Nodo-Pto A	51
Figura 46. Calculo de Radio enlace Nodo-Pto B	52
Figura 47. Calculo de Radio enlace Nodo-Pto C	52
Figura 48 Cálculo de Radio enlace Nodo-Pto D	53
Figura 49. Calculo de Radio enlace Nodo-Pto B	54
Figura 50. Línea de Vista desde en nodo hacia el punto A	56
Figura 51. Línea de Vista hacia el nodo	56
Figura 52. Ubicación de la antena y recorrido del externo del cable	57
Figura 53. Ubicación de la antena y recorrido del externo del cable	58
Figura 54. Cableado interno y ubicación de los equipos en el nodo	59
Figura 55. Recorrido interno del cable en el punto A	59
Figura 56. Sistema de eléctrico en el nodo	60
Figura 57. Distribución climática de RADWIN	66
Figura 58. Pantalla inicial del Link Budget Calculator	69
Figura 59. Ingreso de Banda	69
Figura 60. Ingreso de coordenadas	70
Figura 61. Muestra de Cálculo utilizando Budget Calculator	71
Figura 62. Diseño de la red	72
Figura 63. Conexión a tierra con antena externa	73
Figura 64. Instalación de la Odu en el nodo	75
Figura 65. Antena y ODU del punto B	75
Figura 66. Diagrama de conexión de los equipos terminales	76
Figura 67. Equipos colocados en el rack de la base	77
Figura 68. Equipo instalado en el punto B	77
Figura 69. Prueba inicial de conectividad	79
Figura 70. Pantalla inicial del RADWIN	79
Figura 71. Opciones de acceso	79
Figura 72. Pantalla inicial de RADWIN Manager en la estación base	80
Figura 73. Configuración de los parámetros de la ingeniería	81
Figura 74. Configuración de las direcciones IP	81
Figura 75. Pantalla de gestión de los equipos	82
Figura 76. Pasos del Test de conectividad	85
Figura 77. Pasos del link de instalación	86
Figura 78. Flujo de Pruebas de Iperf	87
Figura 79. Flujo de Pruebas de encendido y apagado	88
Figura 80. Flujo de Conexión entre unidades suscriptoras	89
Figura 81. Continuación de Flujo de Conexión entre unidades suscriptoras	90

Figura 82. Flujo de la base desde la unidad suscriptora	91
Figura 83. Continuación del Flujo de la base desde la unidad suscriptora	92
Figura 84. Flujo de deshabilitar tráfico de una estación suscriptora	93
Figura 85. Continuación de Flujo de deshabilitar tráfico de una estación suscriptora	94

Indice de tablas

Tabla 1. Resumen de modulación digital	17
Tabla 2. Designaciones de banda de UIT-T	26
Tabla 3. Estándares para Wi-fi	29
Tabla 4. Estándar 802.11 a	30
Tabla 5. Estándar 802.11 b	31
Tabla 6. Tabla de características del estándar 802.16	35
Tabla 7. Puntos geo referenciales iniciales	47
Tabla 8. Tabulación de resultados del Estudio Preliminar	54
Tabla 9. Tabulación de datos de survey físico	61
Tabla 10. Análisis de resultados	64
Tabla 11. Descripción de parámetros requeridos en Link Budget Calculator	65
Tabla 12. Valor de la constante C de acuerdo a la distribución climática	66
Tabla 13. Diseño propuesto de red Punto-Multipunto	72
Tabla 14. Tipos de usuarios	80
Tabla 15. Pruebas y análisis de resultados	95

Introducción

Las telecomunicaciones hoy en día se constituyen el aliado estratégico para el desarrollo económico de la sociedad, todos los componentes empresariales ahora estén interconectados entre sí, ya sea por canales dedicados, soluciones a través de un ISP o portadores de transmisión de datos, como parte de sus plataformas tecnológicas.

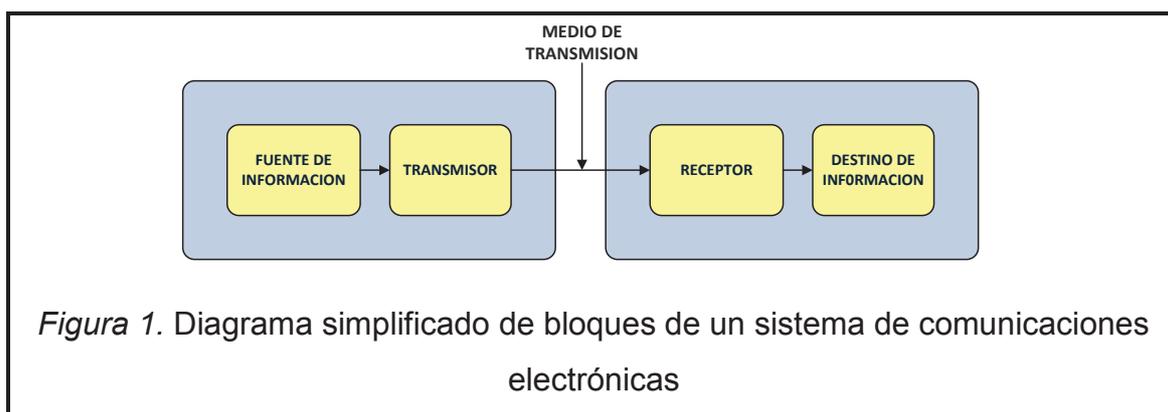
Las tecnologías más utilizadas en las instalaciones corresponden a las inalámbricas, ya sea por la facilidad de instalación, el bajo costo de instalación o por la gran cobertura que se puede lograr. Los proveedores de servicio de telecomunicaciones opta por proporcionar soluciones de última milla para inalámbricas en la banda de 5 GHz por que corresponden a bandas de uso libre, en el presente trabajo se muestra como un diseño de una red de área metropolitana en con enlaces punto multipunto en esa banda.

1 Capítulo I. Fundamento Teórico

1.1 Sistemas de comunicaciones electrónicas

Son todos los medios que permiten enlazar dos o más puntos por un medio físico el cual sirve para enviar o recibir un determinado flujo de información. La transmisión de datos de un lugar a otro permite tener acceso a la información en varios sitios simultáneamente, los sistemas pueden ser de cable metálico, microondas, satélites, fibra óptica o mixta. En la figura 1 se muestra un sistema electrónico de comunicaciones que comprenden:

- Transmisor
- Medio de transmisión.
- Receptor



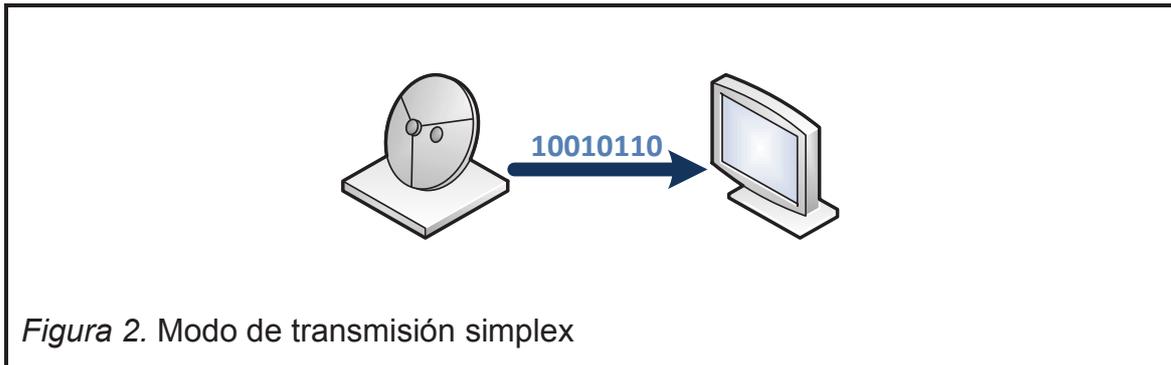
El transmisor es un conjunto de dispositivos electrónicos que convierten la información en señales electromagnéticas que viajan por un medio de transmisión. El medio de transmisión es el encargado de llevar la señal desde el transmisor hasta el receptor, y pueden ser cables de cobre que transportan flujos de corriente eléctrica, fibra óptica que transporta señales electromagnéticas luminosas, o el espacio libre donde se propagan ondas electromagnéticas de radio. El receptor que es un conjunto de dispositivos y circuitos electrónicos que aceptan las ondas y las reconvierten a su forma original (Tomasí, 2003, pág. 2).

1.2 Modos de transmisión de datos

Existen cuatro modos de transmisión posibles:

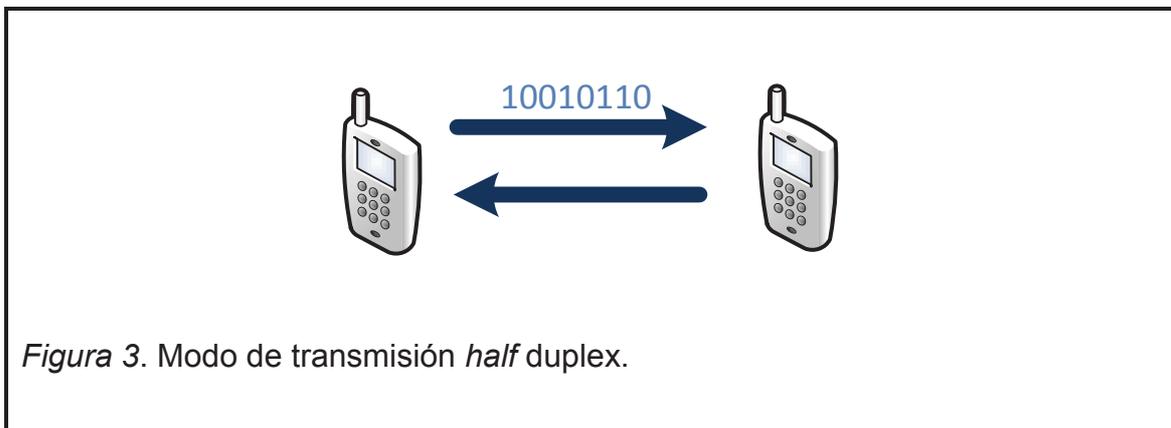
1.2.1 Simplex (SX)

La transmisión se realiza en una sola dirección, una estación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambos a la vez.



1.2.2 Half duplex (HDX)

La transmisión puede realizarse en dos direcciones, no simultáneas, una estación puede ser transmisora o receptora, pero no las dos al mismo tiempo.



1.2.3 Full duplex (FDX)

Se puede transmitir en ambas direcciones al mismo tiempo. Una estación puede transmitir y recibir en forma simultánea, la estación que transmite también puede ser la que recibe.

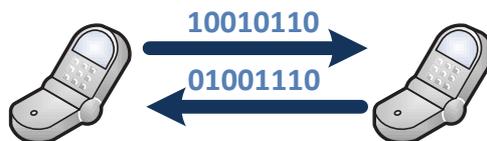


Figura 4. Modo de transmisión full duplex.

1.2.4 Full duplex total (F/FDX)

Se puede transmitir y recibir simultáneamente entre más de dos estaciones, una estación puede transmitir a una segunda estación y recibir al mismo tiempo de una tercera (Tomasí, 2003, pág. 10).

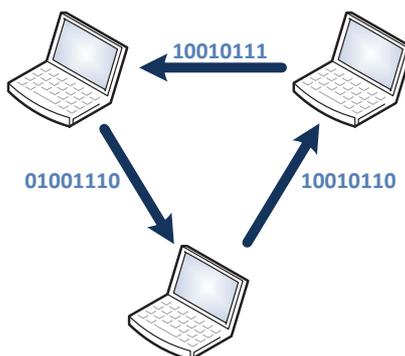


Figura 5. Modo de transmisión full dúplex total

1.2.5 Emulación de canales simplex en duplex

1.2.5.1 Sistemas TDD *Time Division Duplex*

Sistemas TDD son más flexibles desde el punto de vista de la utilización del espectro, utilizan una técnica para convertir un canal simplex en un canal duplex, separando las señales enviadas y recibidas en intervalos de tiempos diferentes usando un acceso múltiple por división de tiempo, se requiere un canal de frecuencia única para los enlaces de arriba abajo, se consideran más flexibles en el manejo de tráfico asimétrico.

1.2.5.2 Sistemas FDD *Frequency Division Duplex*

Es muy similar al TDD a diferencia que el transmisor y el receptor operan a diferentes frecuencias. Un ejemplo práctico es el uso para radio aficionado, donde un operador está tratando de contactar un repetidor. La estación debe ser capaz de enviar y recibir al mismo tiempo, y hace esto alterando levemente la frecuencia de transmisión y recepción.

1.3 Modulación

Transmitir datos consiste en la forma de propagar la señal de información a través de cables metálicos, fibra óptica, o a través de la atmósfera terrestre. Los tipos básicos de transmisión son analógico y digital. En un sistema analógico tanto la señal como la portadora se transmiten en forma de una variación continua, por ejemplo la onda senoidal. En la comunicación digital existe pulsos digitales

La modulación es el proceso de cambiar una o más propiedades de la portadora en porción con la señal de la información. Los tipos de modulación son:

- Modulación analógica
- Modulación digital
- Modulación de espectro ensanchado.

1.3.1 Modulación analógica de datos

Consiste en el envío de información en forma de ondas que viajan a través de un medio físico. Los datos son transportados a través de una onda portadora, que modifica una de sus características para trasladarla.

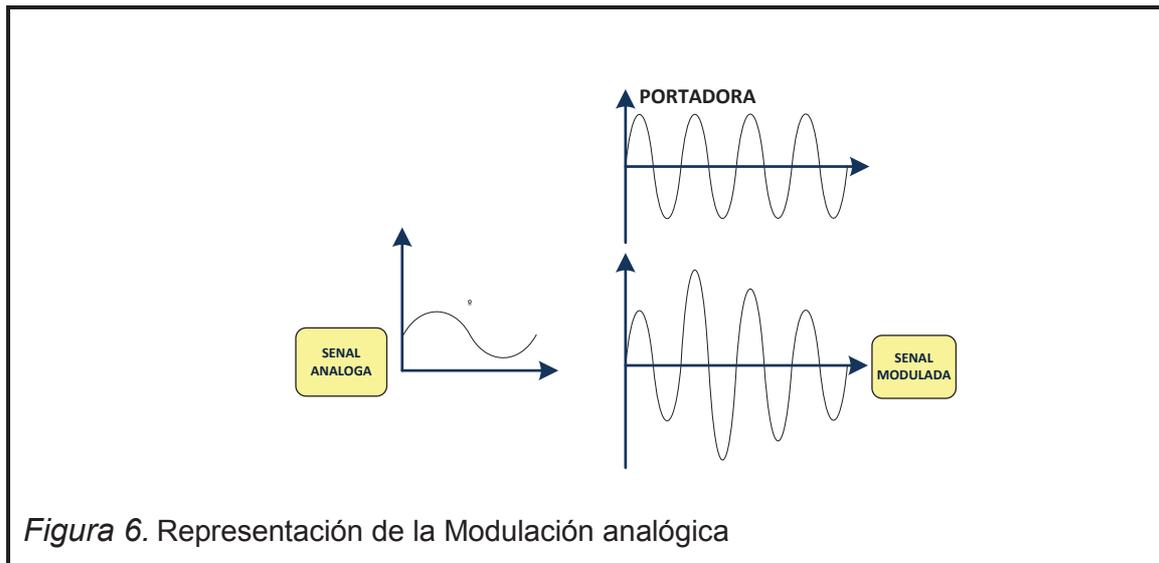


Figura 6. Representación de la Modulación analógica

Se definen tres tipos de modulación analógica según el parámetro de la onda portadora que varía:

- Modulación por amplitud de onda portadora.
- Modulación por frecuencia de onda portadora.
- Modulación por fase de onda portadora.

1.3.2 Modulación Digital

En la modulación digital la señal de datos analógicos es transformada a digital y es modulada por un flujo de bits digitales. Los cambios en la señal digital se eligen de acuerdo al tipo de modulación. En la figura 7 a continuación se puede observar un diagrama de bloques de la modulación digital.

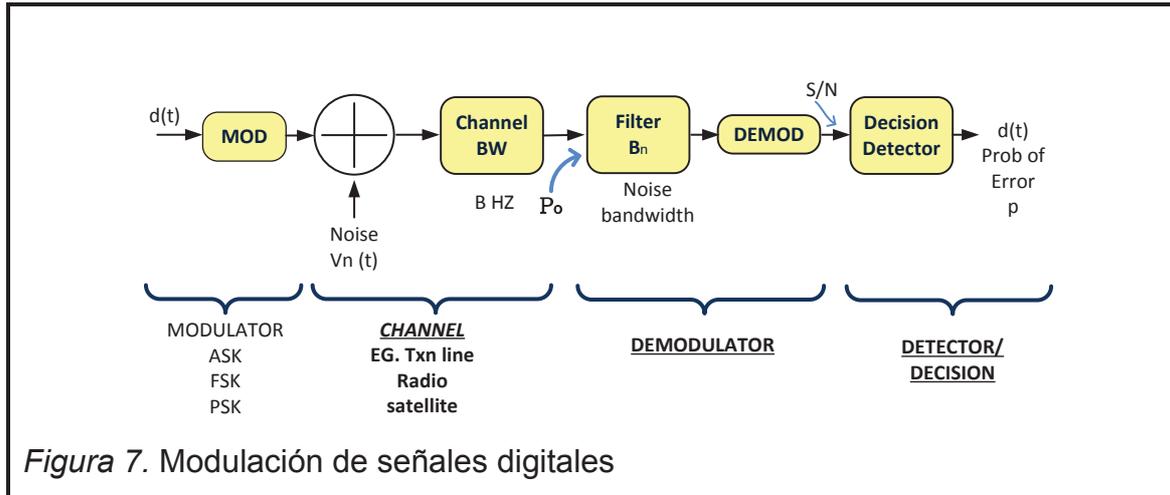


Figura 7. Modulación de señales digitales

1.3.2.1 Modulación ASK

Corresponde a la modulación por desplazamiento de amplitud, en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de onda portadora. Los dos valores binarios se representan con dos amplitudes diferentes y fases constantes.

Una ecuación que define la modulación ASK es:

$$v_{ask}(t) = [1 + v_m(t)] \left[\frac{A}{2} \cos(w_c t) \right]$$

Donde:

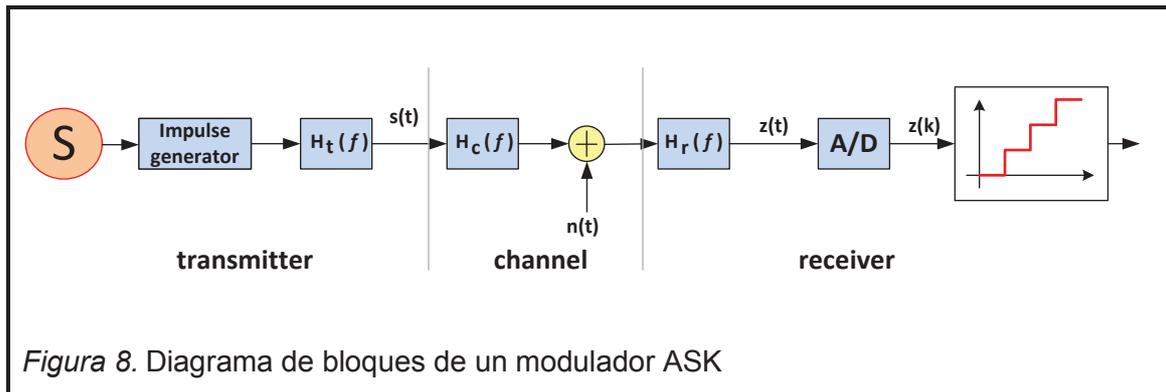
$v_{ask}(t)$ = Señal modulada.

$v_m(t)$ = Señal binaria moduladora (volts). Puede tomar dos valores.

$\frac{A}{2}$ = Amplitud de la señal portadora (volts)

w_c = Frecuencia de la señal portadora (radianes por segundo)

En el diagrama de bloques que consta a continuación se observan los pasos de la modulación ASK.



Dónde:

$H_t(f)$ = señal portadora para la transmisión

$H_c(f)$ = respuesta de impulso del canal

n_t = ruido introducido por el canal

$H_r(f)$ = filtro en el receptor

T_s = tiempo entre la generación de dos símbolos

$s(t)$ = Señal de transmisión

$z(t)$ = Señal de recepción después del filtro H_r

$z(k)$ = Señal de recepción final

La onda tiene la siguiente forma indicada en la figura 9

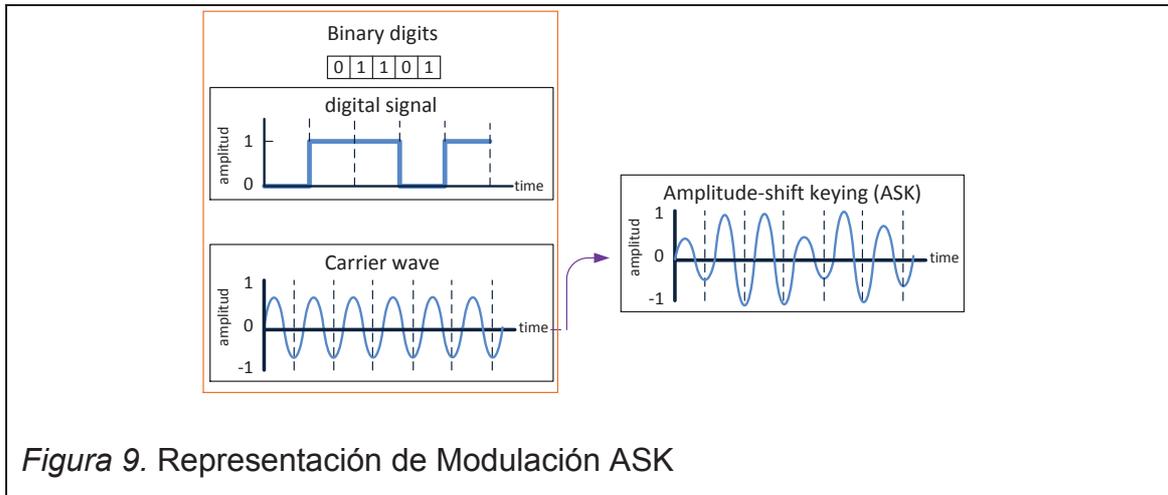


Figura 9. Representación de Modulación ASK

1.3.2.2 Modulación FSK

La modulación por desplazamiento de frecuencias es otro tipo de modulación sencilla y de baja eficiencia. La señal moduladora es una señal binaria que varía entre dos valores discretos de voltaje. La ecuación general de la FSK es:

$$v_{fsk} = v_c \cos\{2\pi[f_c + v_m(t)\Delta f]t\}$$

En donde:

v_{fsk} = forma de onda FSK(t)

v_c = amplitud de la portadora(v)

f_c = frecuencia central de la portadora (hertz)

Δf = desviación máxima de frecuencia (hertz)

$v_m(t)$ = señal moduladora de entrada binaria (+-1)

En el gráfico mostrado a continuación se observa como se realiza la transmisión y recepción de una onda FSK

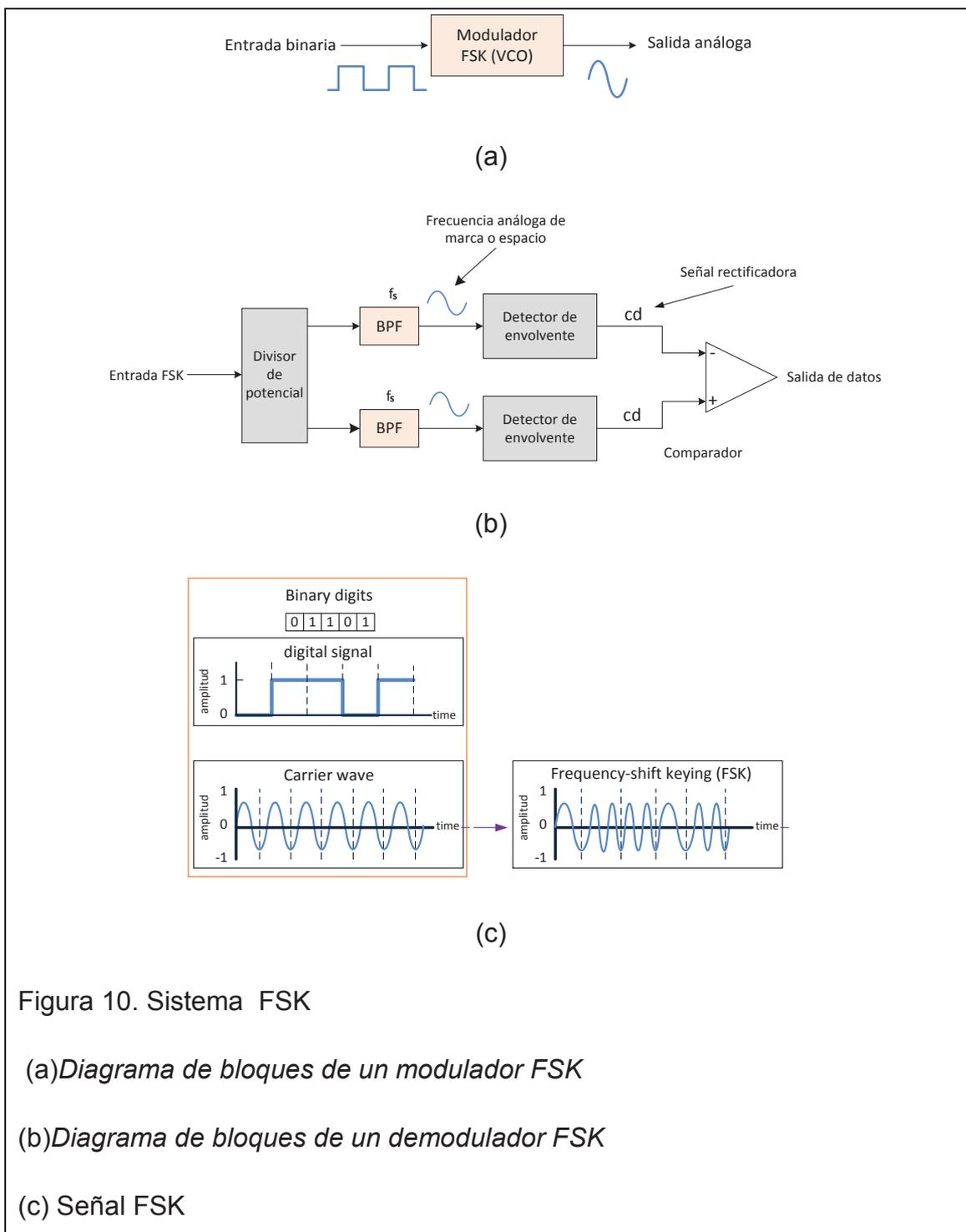


Figura 10. Sistema FSK

(a) Diagrama de bloques de un modulador FSK

(b) Diagrama de bloques de un demodulador FSK

(c) Señal FSK

1.3.2.3 Modulación PSK

Se caracteriza porque la fase de la portadora representa cada símbolo de información de la moduladora, con un valor de fase portadora angular que el modulador elige entre un conjunto discreto de "n" valores posibles, denominada "modulación por desplazamiento" debido a los saltos que la

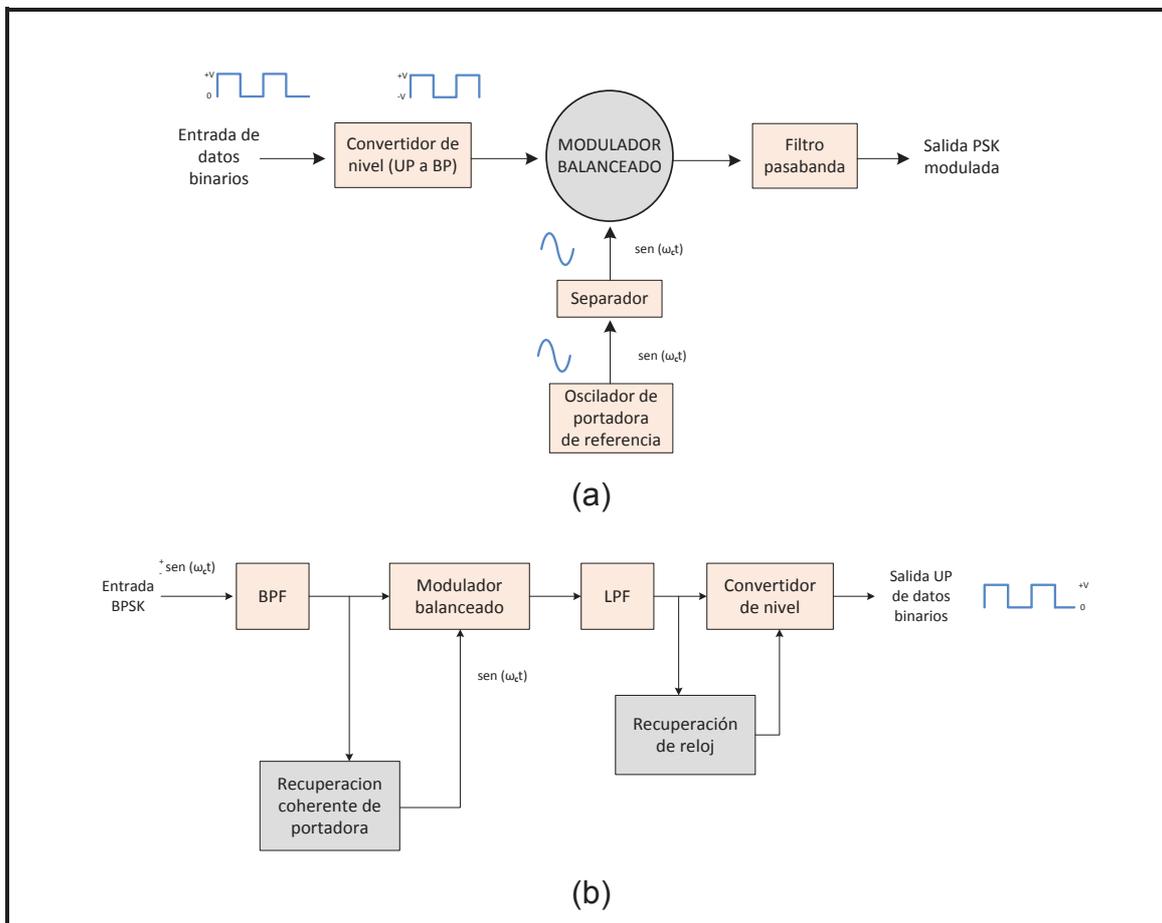
moduladora digital provoca en los parámetros de la portadora. Un modulador PSK representa directamente la información mediante el valor absoluto de la fase de la señal modulada, valor que el demodulador obtiene al comparar la fase de esta con la fase de la portadora sin modular. La ecuación de salida de un modulador BPSK es :

$$\text{Salida BPSK} = [\sin(2\pi f_a t)]. [\sin(2\pi f_c t)]$$

En donde: f_a = frecuencia fundamental máxima de la entrada binaria(hertz)

f_c = frecuencia de portadora de referencia(hertz)

Un sistema PSK se rigue de acuerdo a la figura 11 mostrados a continuacion:



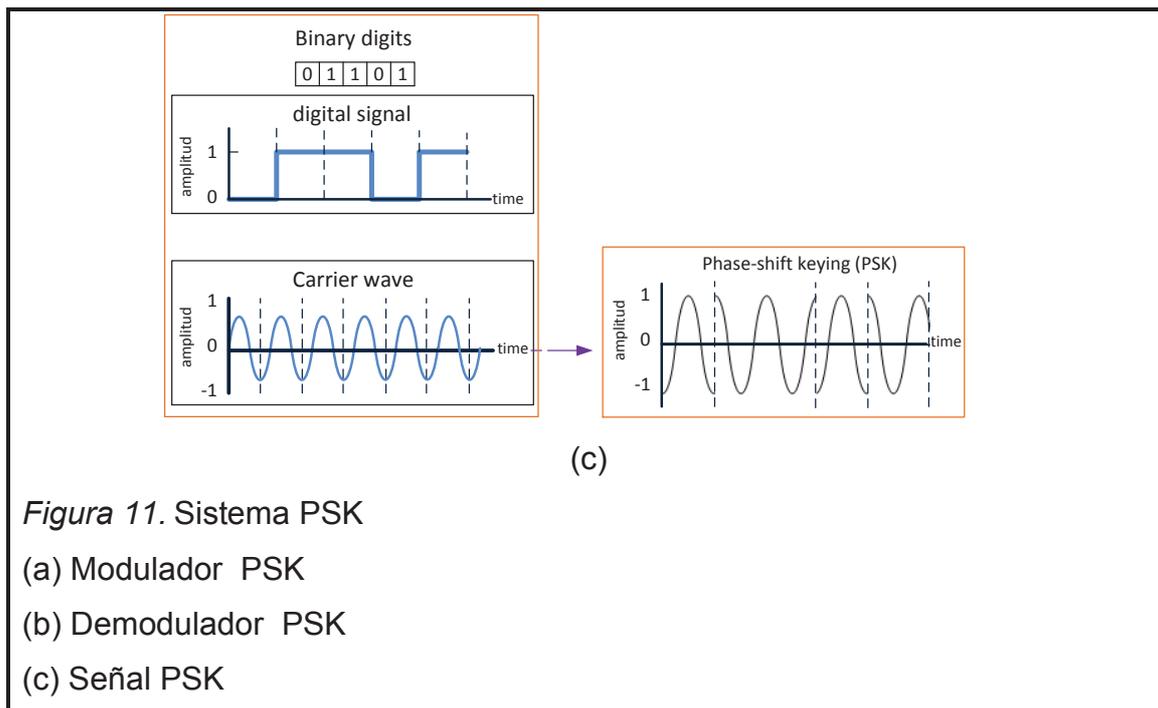


Figura 11. Sistema PSK

(a) Modulador PSK

(b) Demodulador PSK

(c) Señal PSK

1.3.2.4 PSK de cuatro fases QPSK

Es una técnica de codificación PSK M-ario, donde $M=4$, por lo que es posible cuatro fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora, con cuatro condiciones de entrada diferentes, la entrada digital de un modulador de QPSK es una señal binaria, para producir cuatro condiciones diferentes de entrada se necesita dos bits, obteniendo las opciones : 00, 01, 10, 11. Lo que quiere decir que para cada 2 bits introducidos al modulador, ocurre un solo cambio a la salida.

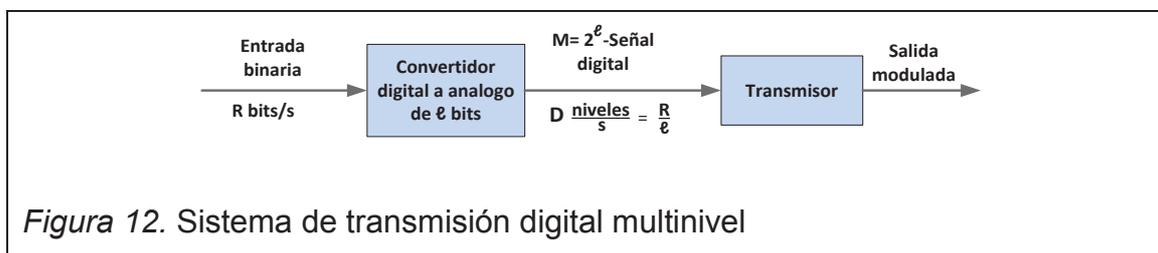
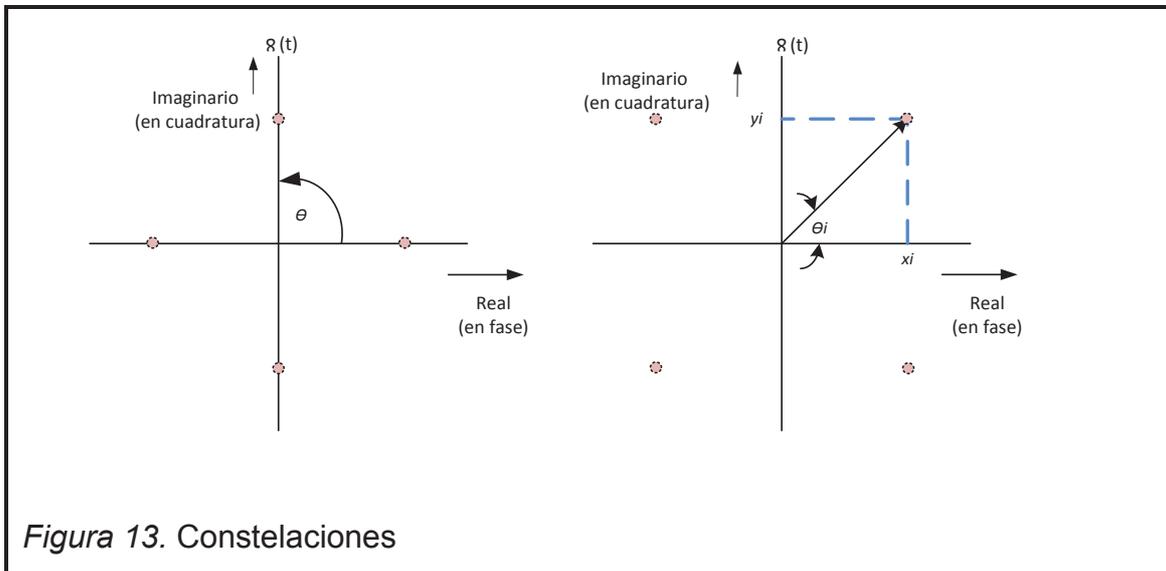


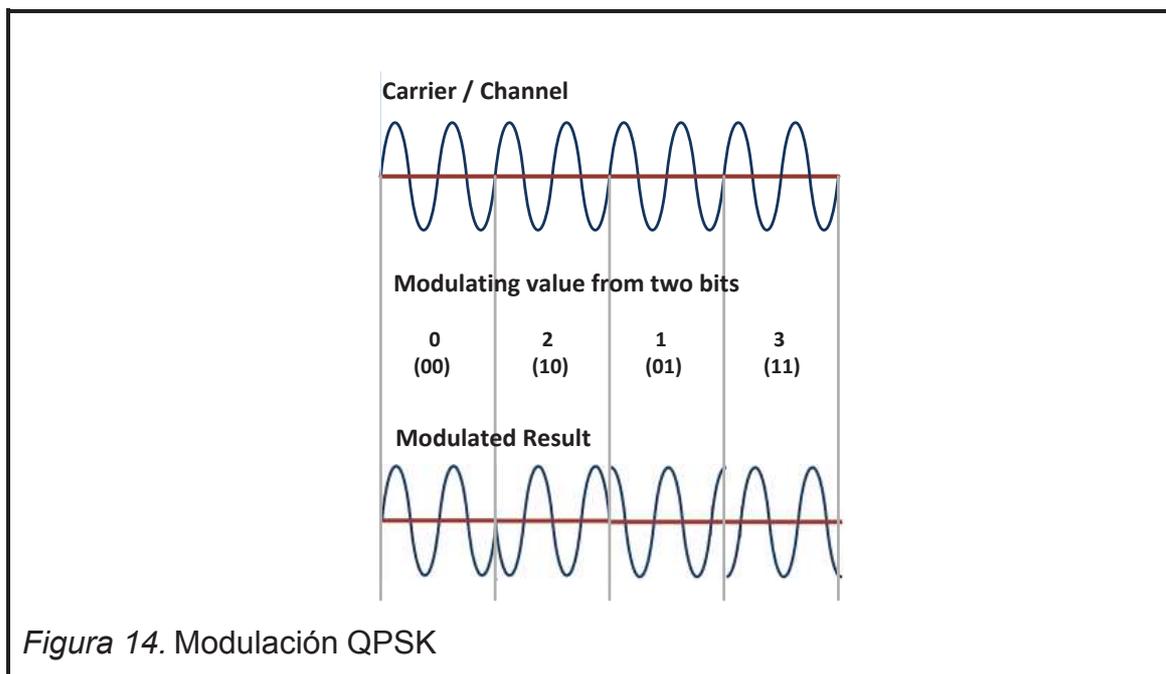
Figura 12. Sistema de transmisión digital multinivel

En la figura 13 izquierda se reflejan los valores correspondientes a las fases de PSK de 0° , 90° , 180° y 270° , respectivamente, mientras que en la figura 13 derecha dichos niveles corresponderían a las fases de portadora de 45° , 135° , 225° y 315° , respectivamente. Las dos constelaciones para la señal son

esencialmente iguales, con excepción de un corrimiento en la referencia de la fase de portadora.

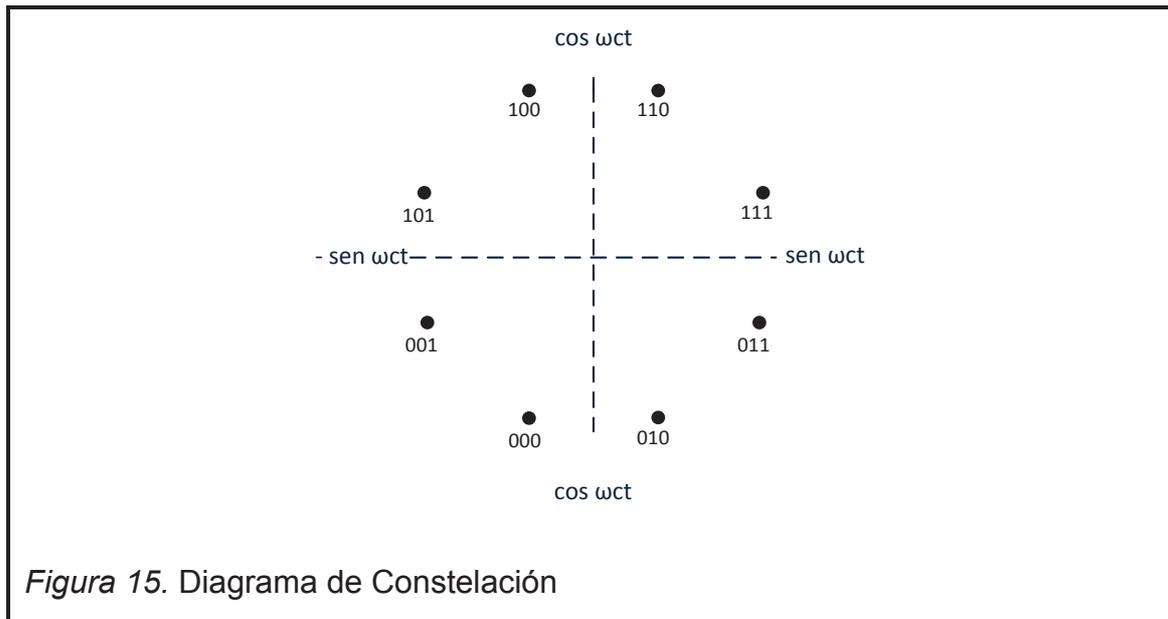


La forma de la onda que se obtiene es



1.3.2.5 PSK de ocho fases

En esta modulación $M=8$, por lo que tenemos ocho posibles fases de salida, para codificarla se utiliza los bits en grupo de 3 estos se llaman tribits, $2^3 = 8$

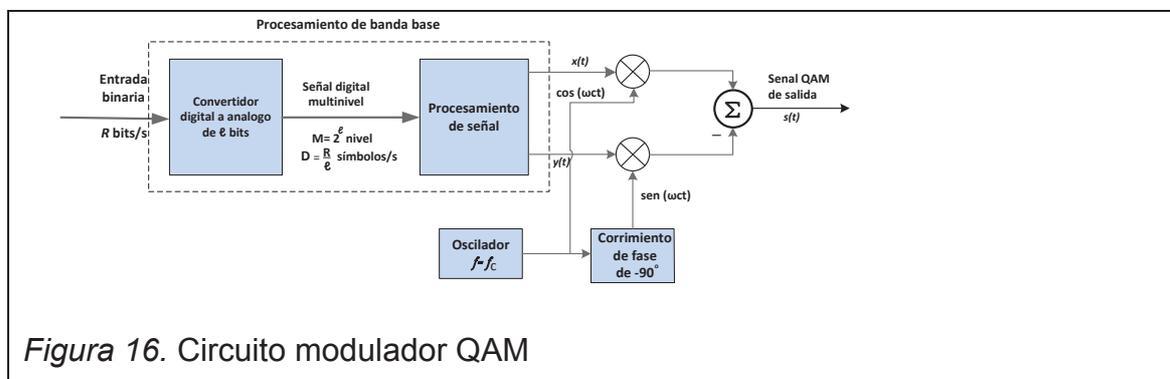


1.3.2.6 Modulación QAM

En la modulación de amplitud de cuadratura, se envían dos ondas sinusoidales desfasadas 90° , onda seno y onda coseno, variando la amplitud de estas señales en función de la información de la entrada. En general, las constelaciones para las señales QAM no se restringen a tener puntos de señalización permitidos sólo en un círculo (Telefonica de España, 2000, pág. 66). La señal QAM general es:

$$v_{Qam} = x(t) \cos(\omega_c t) - y(t) \sin(\omega_c t)$$

donde ω_c = señal de la portadora



1.3.2.7 Modulación 8-QAM

A diferencia del 8-PSK, la señal de salida de un modulador no es una señal de amplitud constante, tres bits de entrada generan ocho estados de modulación con cuatro ángulos de fase de 90 grados y límites de dos amplitudes (fases 4 X 2 amplitudes = 8 estados).

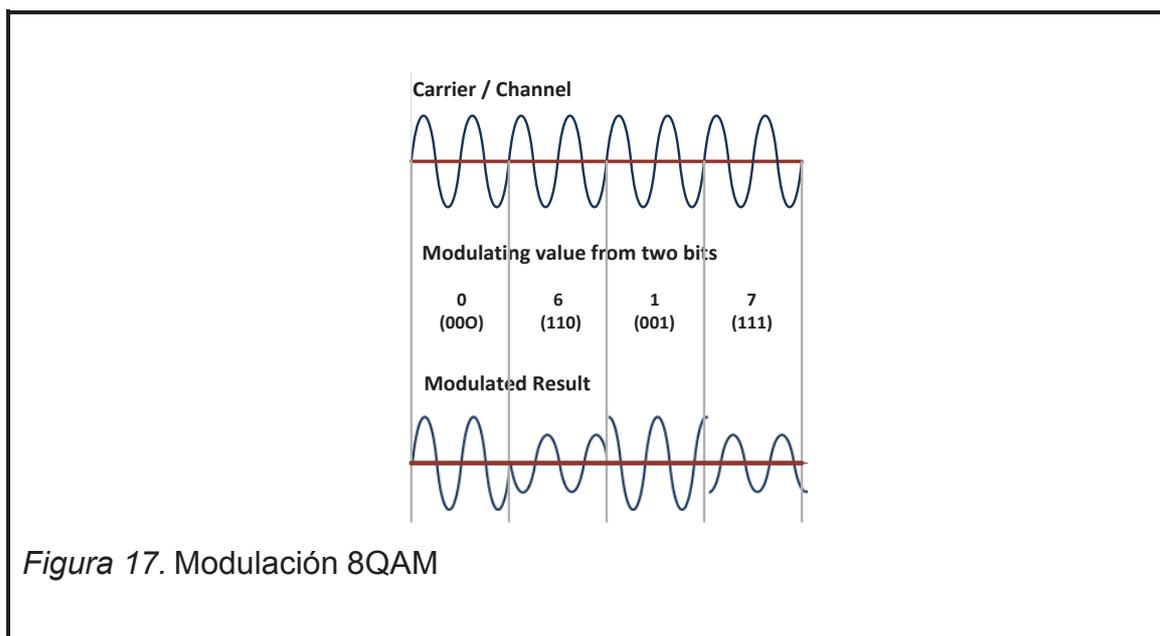


Figura 17. Modulación 8QAM

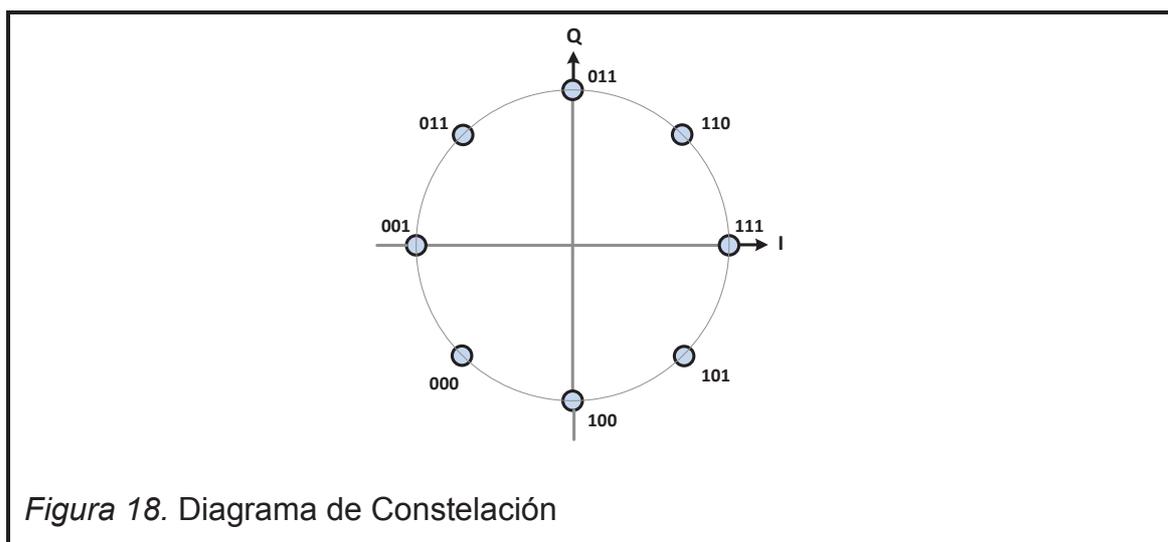
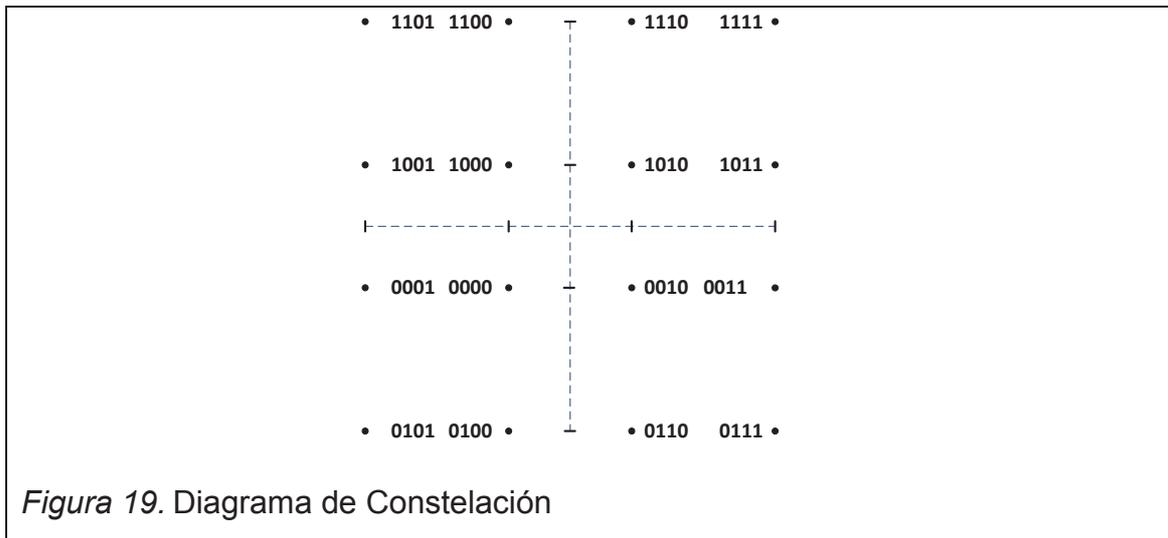


Figura 18. Diagrama de Constelación

1.3.2.8 Modulación 16-QAM

Actúa sobre los datos de entrada en grupos de cuatro $2^4 = 16$, tanto la fase y la amplitud de la portadora transmisora son variados. En cada caso, el primero de este par de bits corresponderá al bit de polaridad, y el segundo, al de nivel.



En resumen podemos concluir que mientras mas bits se utilice para la codificación la modulación es mas eficiente.

Tabla 1. Resumen de modulación digital

Modulación	Codificación	Ancho de banda	Eficiencia de ancho de banda bps/Hz
PSK	Un bit	$\geq f$	≤ 1
BPSK	Un bit	f	1
QPSK	Debit	$f/2$	2
8-PSK	Tribit	$f/3$	3
8-QAM	Tribit	$f/3$	3
16-PSK	Cuatribit	$f/4$	4
16-QAM	Cuatribit	$f/4$	4

1.3.3 Modulación de espectro ensanchado

La tecnología de espectro ensanchado utiliza todo el ancho de banda disponible, y no como ocurre regurlamente de utilizar una portadora para concetrar la energía a su alrededor.

Un atributo importante de la modulación de espectro ensanchado es que ésta puede ofrecer protección contra señales de interferencia jamming con potencia finita generadas externamente. La señal jamming puede consistir en ruido de banda ancha bastante potente, o en una forma de onda multitonos que se dirige al receptor con el fin de interrumpir las comunicaciones. La protección contra formas de onda perturbadoras se obtiene al hacer intencionalmente que la señal ocupe un ancho de banda mayor que el mínimo necesario para ser transmitido. Esto tiene el efecto de provocar que la señal transmitida asuma una apariencia similar al ruido, de manera que se mezcle con el ruido de fondo, (Haykin, 2001).

La modulación de espectro ensanchado se puede definir en dos partes:

- Espectro ensanchado por salto de frecuencias (FHSS)
- Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)

1.3.3.1 Espectro ensanchado por salto de frecuencias (FHSS)

La señal realiza saltos entre las frecuencias disponibles de acuerdo a un algoritmo determinado. El transmisor y el receptor se encuentran sincronizados en el mismo centro de frecuencia. Los datos se transmiten como una ráfaga en banda estrecha.

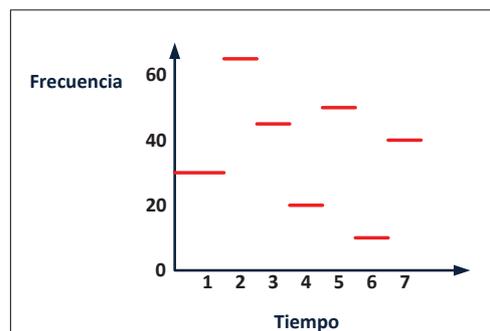
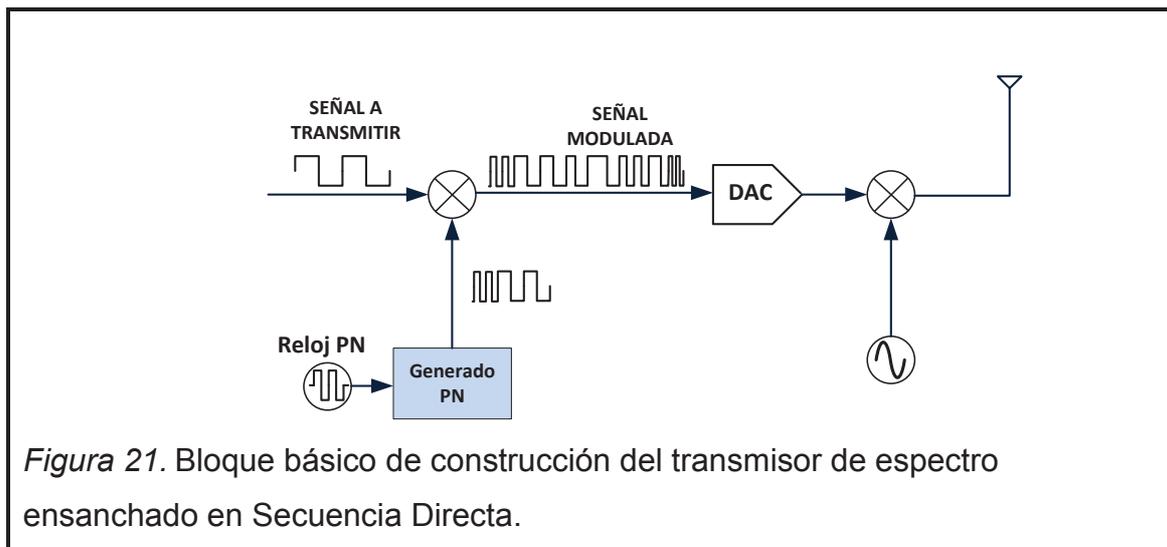


Figura 20. Representación de canales de transmisión en FHSS

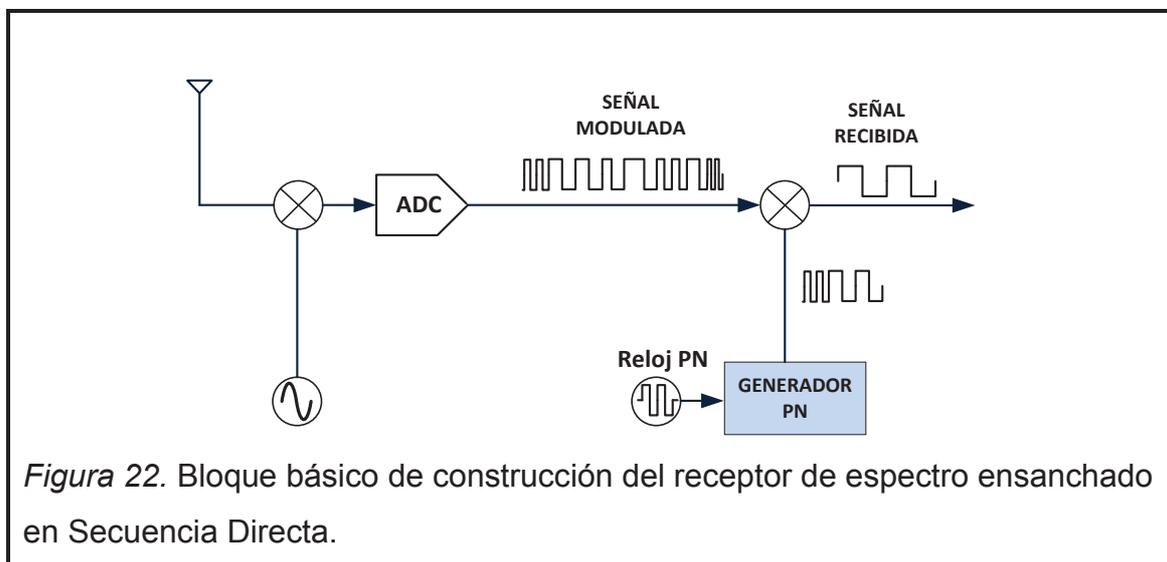
1.3.3.2 Espectro ensanchando por secuencia directa DSSS

La técnica genera un patrón de bits redundante para cada uno de los bits que componen la señal, entre mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. En recepción es necesario realizar la secuencia de bits utilizada para modular cada uno de los bits de información es la llamada secuencia pseudoaleatoria (PN) que quiere decir que es una secuencia que no muestra ningún patrón o regularidad aparente (Colorado, Ramirez, & Quintero, 2012).

El bloque básico de construcción del transmisor de espectro ensanchado en Secuencia Directa (DSSS) se muestra en la figura 16. El dato a transmitir es multiplicado con la secuencia pseudoaleatoria, para generar el dato "ensanchado". Los datos son convertidos a la forma analógica y son transmitidos después de la modulación.



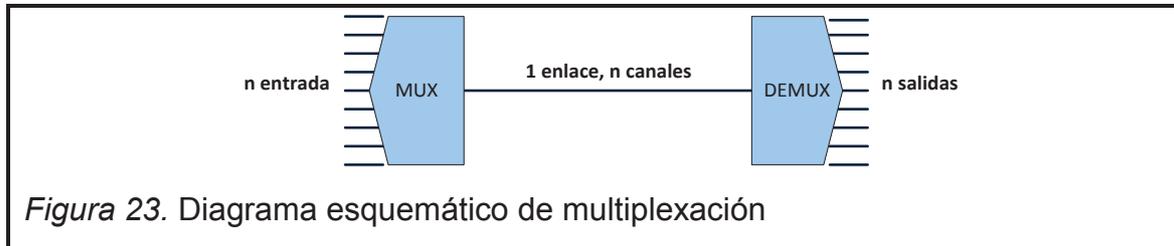
El bloque básico de construcción del receptor se muestra en la figura 22. La señal recibida se multiplica por una réplica local de la secuencia PN del transmisor para "desenganchar" la señal original. El oscilador local en el receptor se supone que está en sincronización con el oscilador en el transmisor.



1.4 Multiplexación

Es la técnica mediante la cual se transmiten varias señales a la vez por un mismo canal. En la figura 23 se muestra n entradas en un multiplexor, que mediante un único enlace de datos se conecta a un demultiplexor. El

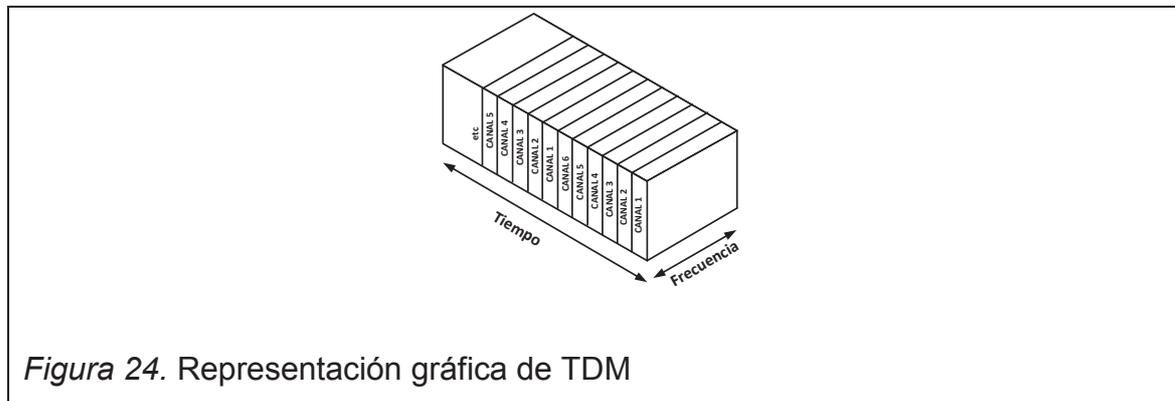
multiplexor combina los datos de las n líneas de entrada y los transmite a través del enlace de datos. El demultiplexor recibe la secuencia de datos y los separa hacia las líneas de salida correspondientes. (Stalling, 2009)



A medida que la velocidad es superior, la transmisión es más efectiva desde el punto de vista del costo, por ejemplo para una aplicación y distancia dadas el costo por Kbps decrece con el incremento en la velocidad de transmisión de datos.

1.4.1 Multiplexación por división de tiempo

La multiplexación por división TDM es el entrelazado en el tiempo de señales de varias fuentes, de tal manera que la información de las fuentes es transmitida en forma serial sobre un solo canal de comunicación.



A continuación se muestra un ejemplo de tres señales que son transportados utilizando multiplexación por división de tiempo.

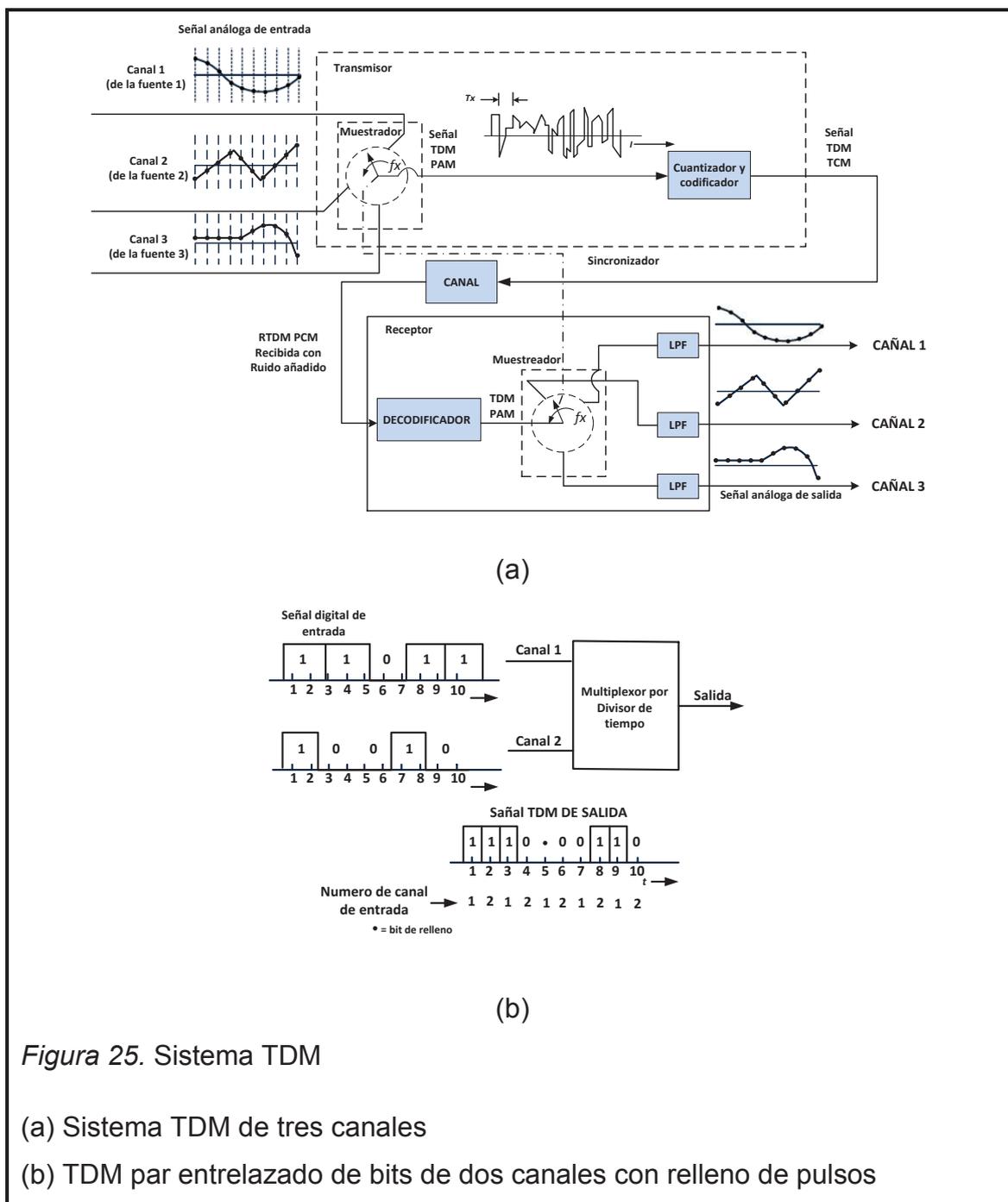


Figura 25. Sistema TDM

(a) Sistema TDM de tres canales

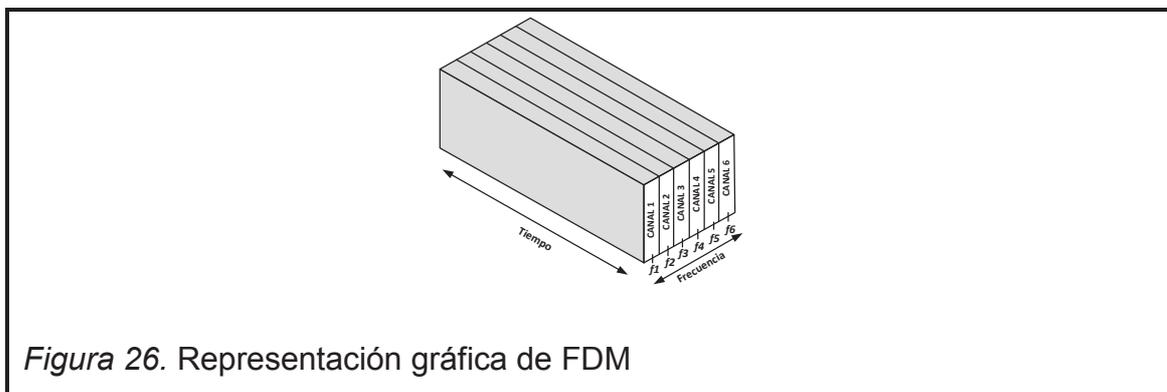
(b) TDM por entrelazado de bits de dos canales con relleno de pulsos

1.4.2 Multiplexación por división de frecuencias

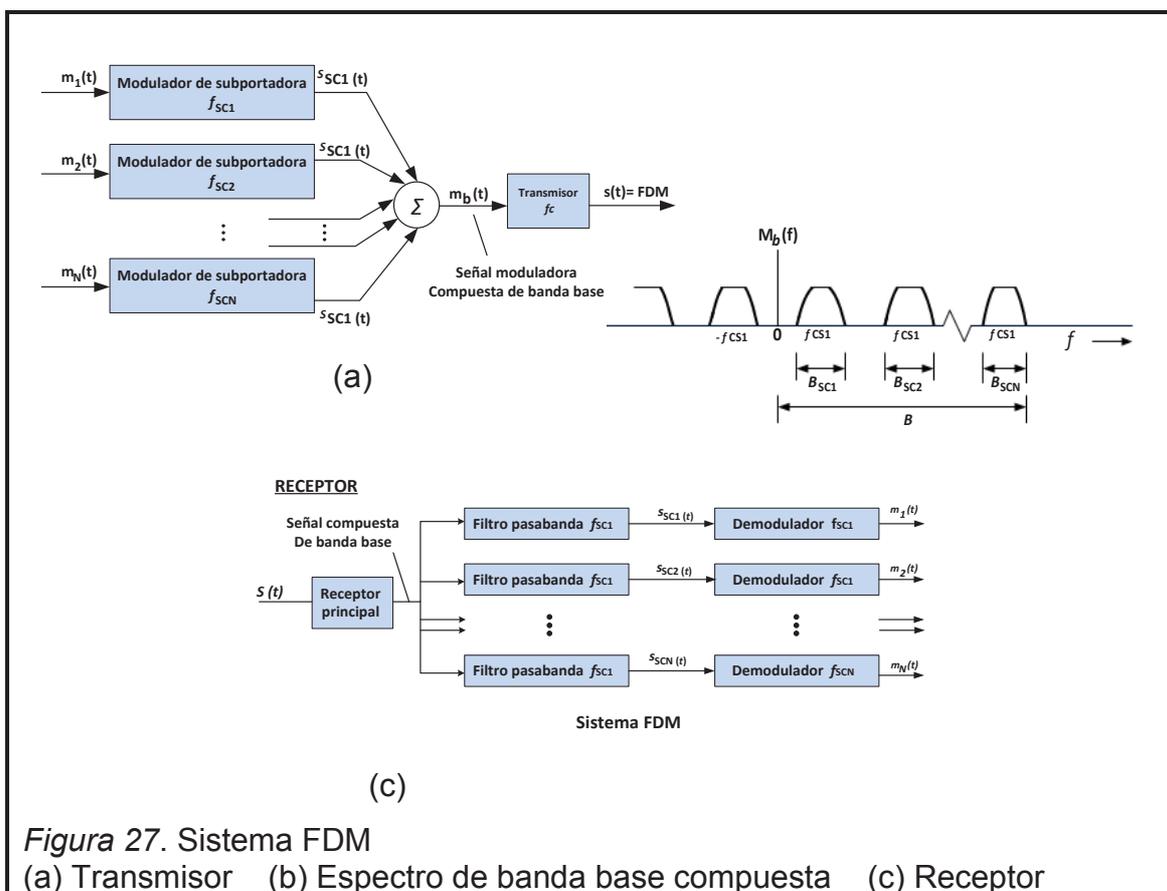
La Multiplexación por división de frecuencias FDM es la técnica útil para transmitir múltiples mensajes simultáneamente sobre un canal de banda ancha donde se modulan las señales de mensaje a varias subportadoras y se forma

una señal compuesta de banda base que es producto de la suma de estas subportadoras moduladas (Couch, 2008, pág. 335).

A continuación se muestra como se asigna frecuencias a cada canal y esta se mantiene constante al pasar del tiempo.



En la figura 27 se observa el esquema de transmisión/recepción de señales usando en método FDM.

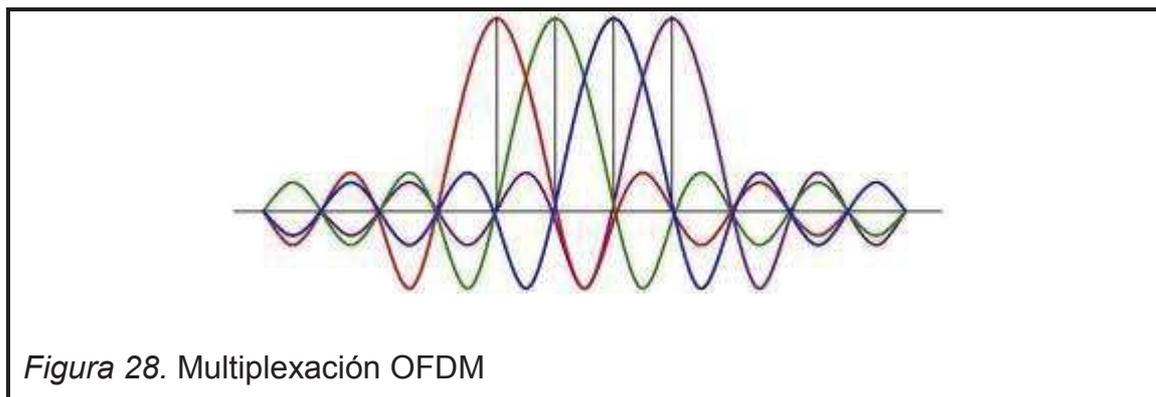


1.4.2.1 Multiplexación por división de frecuencias ortogonales OFDM

Es una tecnología de modulación digital para la transmisión de datos en paralelo utilizando un gran número de portadoras moduladas con suficiente espacio entre sus frecuencias para que sus portadoras sean ortogonales. Ese espaciado evita que los demoduladores sesén frecuencias diferentes a las suyas propias. Las señales viajan simultáneamente sobre un único camino de transmisión, como un cable o sistema inalámbrico. Cada señal se transporta dentro de su propia y única gama de frecuencias lo que origina una alta eficiencia de espectro, resistencia a la interfase de radio frecuencia (RF) y menor distorsión multiruta. OFDM se ha constituida como la base para las redes inalámbricas LAN 802.11a, 802.11g, se usa en comunicaciones de alta velocidad por vía telefónica como las ADSL¹, también se utiliza en la difusión de señales de televisión digital terrestre .

La modulación OFDM es muy robusta frente a la multiruta, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a los desvanecimientos selectivos en frecuencia y frente a las interferencias de RF. Debido a las características de esta modulación, las distintas señales con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor contribuyen positivamente a la recepción, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia. OFDM distribuye el dato sobre un largo número de portadores que son espaciadas en frecuencias específicas. (Thorpe, 1998)

¹ Sigla del inglés *Asymmetric Digital Subscriber Line* que quiere decir Consiste en una transmisión analógica de datos digitales apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional con una distancia máxima de 5.5 km desde la central telefónica.



La modulación OFDM divide el espectro del canal disponible dentro de algunas subportadoras independientes. Esto se logra haciendo todas las portadoras ortogonales entre ellas, es decir existe un desfase de 90° entre señales de la misma frecuencia. Evitándose así interferencia. En OFDM todas las subportadoras son transmitidas simultáneamente. (Moreno, 2009). Para preservar esta ortogonalidad se cumple que:

- El receptor y el transmisor deben estar perfectamente sincronizados, lo que significa que ambos deben asumir exactamente la misma frecuencia y la misma escala de tiempo para la transmisión.
- Los componentes análogos, parte del transmisor y receptor deben ser de muy alta calidad.

1.5 El espectro electromagnético

Es un recurso natural administrado por el gobierno de cada país, corresponde a la radiación electromagnética según la frecuencia o longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas viajan con la misma velocidad en el vacío, viajan a la velocidad de la luz, que es $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$, toda la distribución cubre una gama de frecuencias y longitudes de onda, y que se compone de muchos subintervalos, comúnmente conocida como porciones del espectro electromagnético. Cada parte tienen diferentes nombres según las diferencias en el comportamiento de la emisión, transmisión y absorción de las ondas correspondientes y también en función de sus diferentes aplicaciones prácticas.

El espectro Electromagnético inicia desde frecuencias subsónicas, unos pocos Hertz hasta rayos cósmicos. Cada banda tiene un nombre y sus límites definidos. El espectro total útil de radiofrecuencias se divide en bandas de frecuencias más angostas y cada una de ellas se subdivide en diversos tipos de servicios.

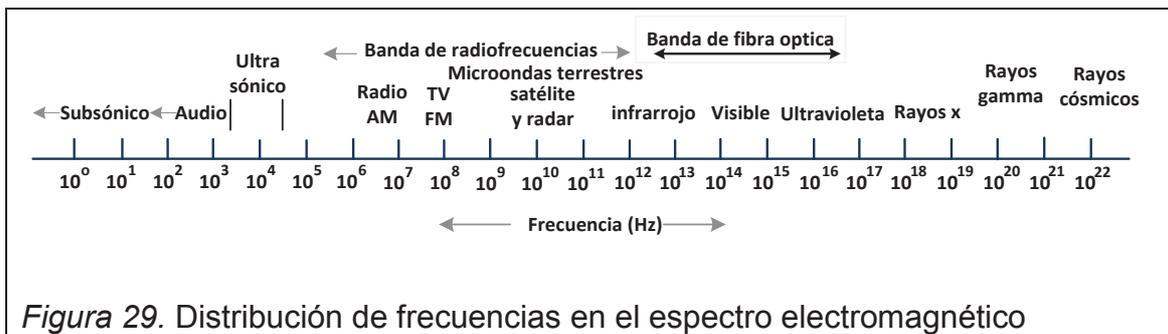


Figura 29. Distribución de frecuencias en el espectro electromagnético

A continuación se detalla el listado de las bandas de frecuencia en las que está dividido el espectro electromagnético, con los nombres oficiales designados por la UIT, derivados de la correspondientes longitudes de ondas que cada una de estas bandas maneja.

Tabla 2. Designaciones de banda de UIT-T

Nombre	Abreviatura inglesa	Banda ITU	Frecuencia	Longitud de onda
			Interior a 3 Hz	> 100.000 Km
Extra baja frecuencia	ELF	1	3-30 Hz	100.000 - 10.000 Km
Súper baja frecuencia	SLF	2	30-300 Hz	10.000 - 1000 Km
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300-3000 Hz	1000 - 100 Km
Muy baja frecuencia	VLF	4	3-30 KHz	100 - 10 Km
Baja frecuencia	LF	5	30-300 KHz	10 - 1 Km
Media frecuencia	MF	6	300-3000 KHz	1 Km - 100 m
Alta frecuencia	HF	7	3-30 MHz	100 - 10 m
Muy alta frecuencia	VHF	8	30-300 MHz	10 - 1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300-3000 MHz	1 m - 100 mm
Súper alta frecuencia	SHF	10	3-30 GHz	100 - 10 mm
Extra alta frecuencia	EHF	11	30-300 GHz	10 - 1 mm
			Por encima de los 300 GHz	< 1 mm

Tomado de (Tomasí, 2003, pág. 6)

1.6 Tecnologías de Acceso

Las redes de acceso o última milla, tienen como propósito enlazar las redes de los operadores con sus usuarios, sean residenciales o corporativos. Permite la conexión entre la red LAN del cliente y la red de transporte del proveedor de servicio. El tráfico de las redes de información que provienen de las redes de acceso se unen para formar las redes de transporte, también denominada red troncal, núcleo de red o backbone con el objeto de llevarlo a mayores distancias.

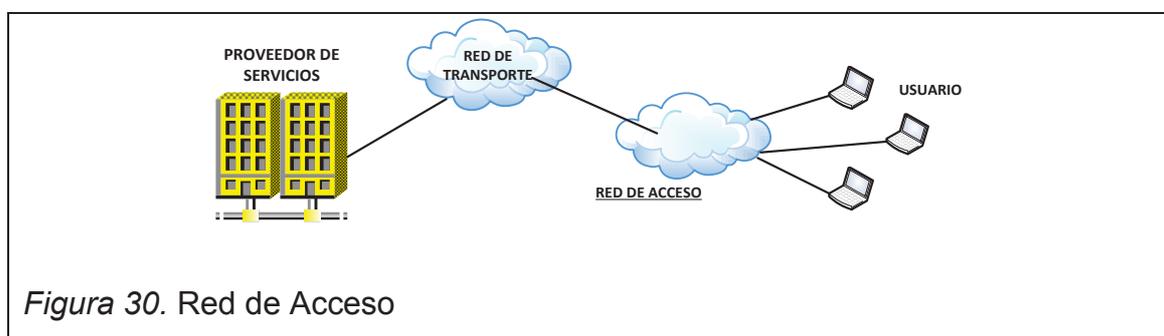


Figura 30. Red de Acceso

Cada vez con más frecuencia los usuarios demandan tecnologías de acceso de banda ancha que les permitan acceder a un conjunto de nuevos servicios y prestaciones que les ofrecen las redes de comunicación. El futuro de las redes de última milla apunta a la creación de nuevas alternativas y/o la fusión de algunas existentes debido a la rápida convergencia actual de las tecnologías, como es el caso de la transmisión de datos de aplicaciones multimedia, voz sobre IP, televisión por Internet, que cada día hacen necesario un medio capaz de brindar un mayor ancho de banda a los usuarios.

Las tecnologías de transmisión de última milla de acceso vía radio se conectan utilizando las ondas de radio entre el cliente y la red principal. Son muy utilizadas en regiones donde las redes están aún en desarrollo, regiones de reciente apertura que necesitan rápido despliegue en lugares donde la utilización de una red cableada resulta costosa o difícil de instalar.

1.6.1 Wi-fi

La red de tipo Wi-fi o IEEE 802.11 es una WLAN, red de área local inalámbrica, en la actualidad existe cobertura de Wi-fi en la mayoría de lugares de acceso masivo como campus universitarios, bibliotecas, hoteles, cafeterías, etc. Wi-fi proporciona conectividad de alrededor de 1.5 Mbps por usuario. La Senatel permite que estas redes inalámbricas operen en banda libre. En Ecuador la máxima potencia transmitida en 5.4 GHz es de 30 dBm o 1W con una ERP² máxima de 4 W. Se utiliza la modulación por OFDM en muchos sistemas Wi-fi, ya que OFDM es resistente al desvanecimiento por causa de múltiples trayectorias.

La IEEE ha logrado que las especificaciones sean compatibles con el modelo de referencia del 802.11, el nivel de enlace de datos se ha dividido en dos subniveles, Logical Link Control o LLC y Medium Access Control o Mac, donde Mac controla el acceso al medio de los dispositivos que se conectan a la red y LLC restringe la transmisión y recepción de tramas y detecta errores producidos por el nivel físico.

La capa física define la modulación de las ondas de radio, las reglas eléctricas, lógicas y temporales, sincroniza la transmisión asegurando al nivel de enlace la independencia de la tecnología empleada.

La capa de enlace de datos define un canal lógico independiente del medio físico para la transmisión de datos libres de errores, le corresponde el formateo de la trama y toma de acciones pertinentes en caso de detección de una trama errónea.

² Potencia efectiva radiada equivalente o potencia radiada es una medición teórica normalizada de radiofrecuencia (RF) con los vatios de la unidad del SI, y se determina restando las pérdidas del sistema y la adición de las ganancias del sistema.

Capa de enlace de datos	802.2 LLC		
	802.11 MAC		
Capa física	DSSS		
	FHSS	Infrarrojo	

Figura 31. Estándares IEEE y el modelo OSI

Tomado de (Caballar Falcon, 2007, pág. 40)

Cualquier protocolo de nivel superior puede utilizarse en una red inalámbrica Wi-fi de la misma manera que puede utilizarse en una red Ethernet. Las redes inalámbricas son la alternativa ideal para llegar a una red tradicional a lugares donde el cableado no lo permite. En general las WLAN se utilizan como complemento de las redes fijas.

La tabla a continuación muestra las distintas modificaciones del estándar 802.11 y sus significados:

Tabla 3. Estándares para Wi-fi

Elemento	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Banda	5.0 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Máxima velocidad de datos	54 Mb/s	11 Mb/s	120 Mb/s	120 Mb/s
Modulación	OFDM	DSSS	OFDM	DSSS y OFDM
Ancho de banda (típico)	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz
Rango (máximo)	Ninguno	Ninguno	Ninguno	MIMO
Compatible con	500 pies	500 pies	500 pies	1.500 pies
		802.11a	802.11b	802.11b, 802.11g

DSSS = espectro ensanchado de secuencia directa

MIMO = múltiples entradas, múltiples salidas

Tomado de (Couch, 2008, pág. 638)

Las modificaciones de del estándar 802.11 son a, b y g. Estos operan de modos diferentes, lo que les permite alcanzar distintas velocidades en la transferencia de datos según sus rangos.

1.6.1.1 802.11a

El estándar 802.11a se basa en la tecnología OFDM opera en la frecuencia de 5 GHz y utiliza 8 canales que no se superponen, tiene un flujo de datos máximo de 54 Mbps en teoría.

Tabla 4. Estándar 802.11 a

Capacidad	Distancia
54 Mbit/s	10 m
48 Mbit/s	17 m
36 Mbit/s	25 m
24 Mbit/s	30 m
12 Mbit/s	50 m
6 Mbit/s	70 m

1.6.1.2 802.11b

El estándar 802.11b se caracteriza porque en ambientes cerrados tiene una cobertura de 100m con una tasa de transferencia de datos de 11 Mbps máximo, y de más de 200 metros aproximadamente al aire.

Tabla 5. Estándar 802.11 b

Capacidad	Distancia en ambientes cerrados	Distancia al aire libre
54 Mbit/s	27 m	75 m
48 Mbit/s	29 m	100 m
36 Mbit/s	30 m	120 m
24 Mbit/s	42 m	140 m
18 Mbit/s	55 m	180 m
12 Mbit/s	64 m	250 m
9 Mbit/s	75 m	350 m
6 Mbit/s	90 m	400 m

1.6.1.3 802.11g

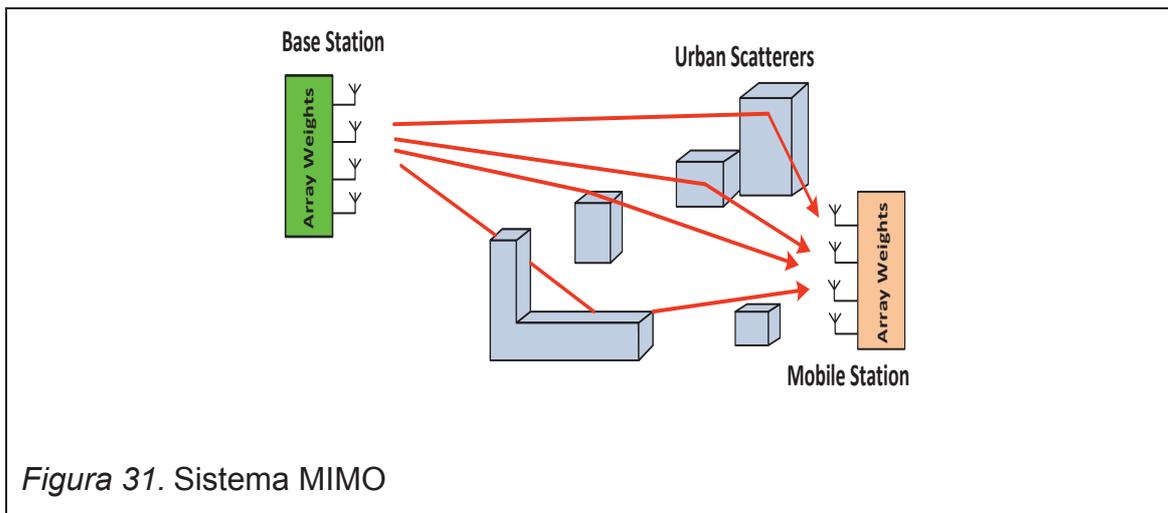
El estándar 802.11g admite transferencia de datos máximas de 54 Mbps en rangos comparables a los del estándar 802.11b utiliza el rango de frecuencia de 2.4 GHz con codificación OFDM, 802.11g es compatible con los dispositivos 802.11b con excepción de algunos dispositivos más antiguos.

1.6.1.4 802.11n

Está construido basándose en estándares previos de la familia 802.11, agregando Multiple-Input Multiple-Output (MIMO), incrementa velocidad significativa de estándares como a/b/g: de 54 Mbps a un máximo de 600 Mbps(hipotético). En la práctica tenemos que la capa física soporta una velocidad de 300Mbps, tiene canales de 20 y 40 MHz, trabaja en la banda de frecuencia: 2.4 GHz, el número de antenas limita la cantidad de flujos de datos enviados.

1.6.1.5 MIMO

Usa múltiples antenas aprovechando las ventajas de las propiedades de entorno multicamino o multitrayecto para transmitir y recibir las señales de radio. MIMO por lo que permite proveer servicios de acceso inalámbrico de banda-ancha que tienen funcionalidad sin línea de vista, usando antenas de estación base que no tienen línea de vista.



Según la geografía que se dispone alrededor, las señales de radio rebotan en los edificios, árboles y otros objetos en el viaje entre las dos antenas. El efecto rebote produce múltiples ecos de la señal. Como resultado la señal original al llegar a la antena receptora está acompañada de múltiples ecos, que son aprovechados por la señal tecnología MIMO.

1.6.1.6 Arquitectura del estándar 802.11

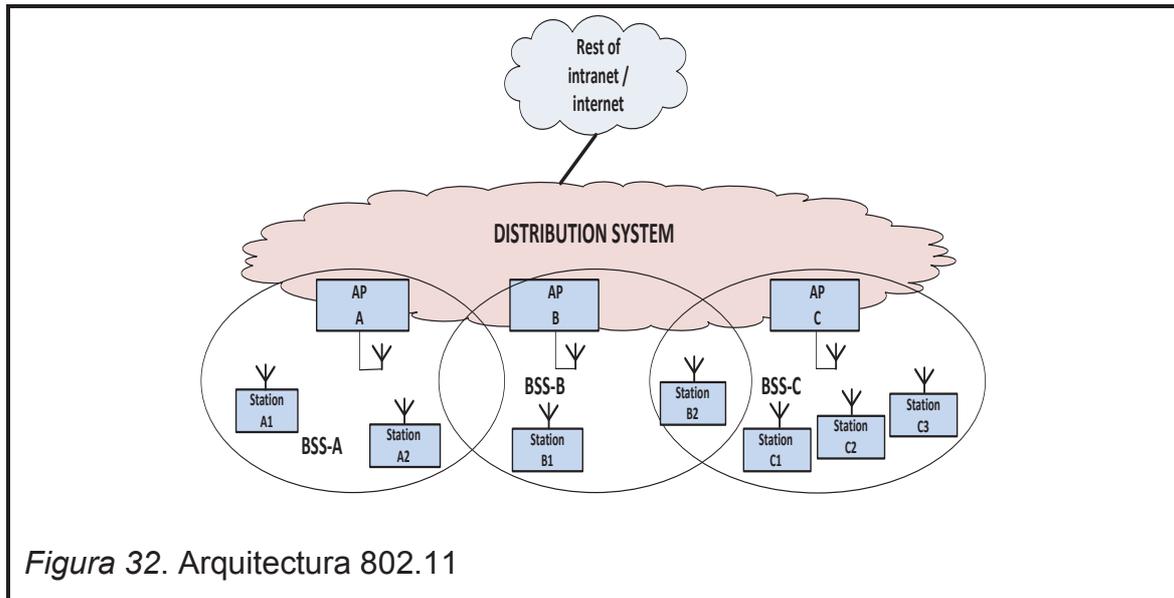


Figura 32. Arquitectura 802.11

Una LAN 802.11 está basada en el sistema que está dividido en celdas, donde cada celda denominada BSS es controlada por una Estación Base llamada AP, aunque también puede funcionar sin la misma en el caso que las máquinas se comuniquen entre ellas. Los AP de las distintas celdas están conectados a través de algún tipo de red troncal. La LAN inalámbrica completamente interconectada, incluyendo las distintas celdas, los Puntos de Acceso respectivos y el Sistema de Distribución es denominada en el estándar como un Conjunto de Servicio Extendido.

La arquitectura consta de los siguientes componentes principales:

AP (Access Point): Permite el acceso de los clientes al sistema de distribución.

STA (Station): Dispositivos cliente del sistema, por ejemplo una PDA o una laptop.

Bridge: Puente de Conectividad entre edificios.

BSS (Base ServiceSet): Bloque constructivo fundamental de una WLAN, Un AP y su grupo de estaciones clientes.

BSA (Basic ServiceArea): Área geográfica de un BSS Las fronteras de un DSS pueden ser afectadas por condiciones no ambientales, elementos arquitectónicos del sitio.

IBSS: Independent Basic Service Set, solo clientes STAs de una Red Ad Hoc

DS (DistributionSystem): Un DS permite interconectar un conjunto de BSS's, El DS no está definido en el IEEE 802.1, podría ser una red cableada o algún tipo de red inalámbrica, los servicios que proporciona son:

- Transferencia de datos entre AP de un BSS en un ESS
- Transferencia de datos entre portales y BSS en ESS
- Transferencia de datos ente estaciones del mismo BSS cuando los datos tienen múltiples destinos.

ESS (Extended ServiceSet):Conjunto de servicios ampliados, conjunto de BSS interconectados por un DS. Permite el acceso a la red cableada o a Internet, llamado portal

1.6.2 Tecnología Wi-max

El concepto de Wi-max es completamente diferente del Wi-fi, pues es mas como un sistema de telefonía celular, a excepcion de que se diseño estrictamente para la transmision de datos y se conecta a Internet. Wi-Mac es una WMAN, y el grupo de trabajo IEEE 802.16 ha desarrollado y aprobado sus estándares. Las antenas de las estaciones base de Wi-Max se colocan en ubicaciones elevadas, como en el techo de edificios o torres, y pueden compartir espacio en las torres de telefonía celular.

1.6.2.1 Características generales

Wi-max son las siglas “World Wide Interopability for Microwave Access”, que significa “Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas”, esta tecnología corresponde a un grupo de tecnologías inalámbricas, que se asocian en el estándar IEEE 802.16 y el estándar HyperMan de la ETSI, orientados a la transmisión de datos de redes de área metropolitana, este

determina que cualquier unidad de usuario que cumpla con el estandar puede conectarse con una estación base. Wi-Max define una capa física OFDM con organización TDM/TDMA, cuyo formato de trama tanto ascendente como descendente se define en tiempo real, mediante un intervalo de tiempo conocido como slot-descriptor de trama ubicado al comienzo de cada trama descendente que se encarga de definir todas las características lo que le brinda al sistema de máxima flexibilidad, optimizando sus prestaciones en función del número y tipo de clientes a servir en cada momento, así como de las características de propagación existentes en cada instante. El sistema contempla un juego de modulaciones adaptativas para ser capaz de elegir vía negociación entre la Estación Base y el equipo de abonado, la más eficiente posible en cada circunstancia. Es estándar especifica un alcance de hasta 50 Km y capacidades de hasta 75 Mbps. (Alcatel para Fundación AUNA, pág. 14).

1.6.2.2 Estándar IEEE 802.16

Se origina en el año 1998, cuando la IEEE inicia sus trabajos en un estándares de acceso inalámbrico de banda ancha, los estándares más utilizados son:

Tabla 6. Tabla de características del estándar 802.16

PARÁMETRO	ESTANDAR DE WIMAX			
	802.16 - 2001	802.16a – 2003	802.16 - 2004	802.16 e - 2004
Velocidad	32 - 134 Mbps	75 Mbps	120 Mbps	15 Mbps
Banda de frecuencia	10 - 66 GHz	2 - 11 GHz (3.5 y 5.8 GHz)	2 - 66 GHz	2 - 6 GHz (2.3 y 2.5 GHz)
Ancho de canal	20, 25 a 20 MHz	1, 25 a 20 MHz	1, 25 a 20 MHz	1, 25 a 20 MHz
Línea de Vista	LOS	NLOS	NLOS y LOS	NLOS
Radio de Celda	1.6 a 5Km	5 a 10 Km	5 a 8 Km (más 50)	1.6 a 5 Km
Modulación	QPSK, 16 QAM	256-OFDM, QPSK,	256-OFDM	S-OFDMA
	64-QAM	16QAM, 64QAM		2048 portadora
Licencia	Si	Si/No	Si/No	Si/No
Movilidad	No (Sistema fijo)	No (Sistema fijo)	Fijo y portable	Movilidad e itinerancia 120 Km/h

1.6.2.3 Funcionamiento de Wi-max

El proyecto Wi-max actualmente incluye al 802.16-2004 y al 802.16e. El estándar IEEE 802.16 utiliza OFDM, para servir a múltiples usuarios mediante división temporal, lo extremadamente rápido de modo que los usuarios tienen la sensación de que siempre están transmitiendo o recibiendo información, WiMax permite tráfico continuo y ráfagas de datos, independiente del protocolo y soporta múltiples servicios simultáneos, una característica de Wi-max es la "Selección dinámica de frecuencia" que permite a los radios buscar de forma automática los canales no utilizados, en la figura 33 se indica la estructura básica de una red Wi-max.

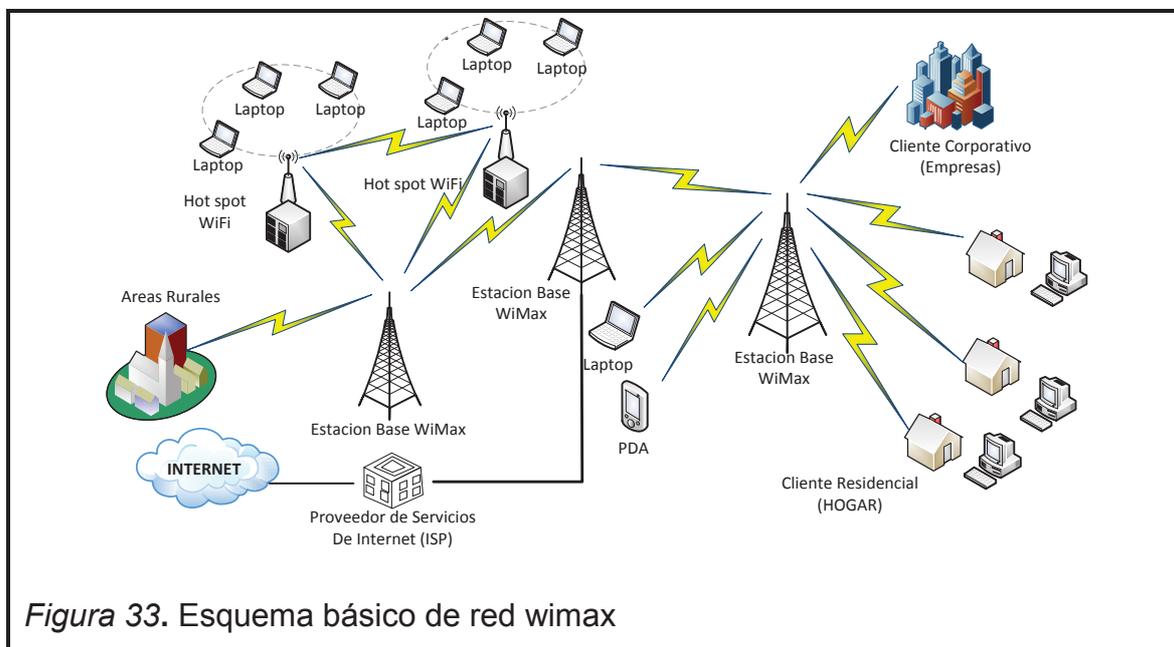


Figura 33. Esquema básico de red wimax

1.6.3 Redes de radio P-P

Las redes punto a punto o P-P son sistemas en los que la comunicación se realiza entre dos sitios exclusivamente, se trata de una tecnología uno a uno, los sistemas de P-P se instalarán en las bandas de frecuencia a partir de 1 GHz hasta 58 GHz. En cualquier caso, la calidad del servicio por un medio de transporte PP tiene que garantizar tanto el rendimiento a corto plazo y la disponibilidad. (ETSI European Telecommunications Standards Institute, 2000)

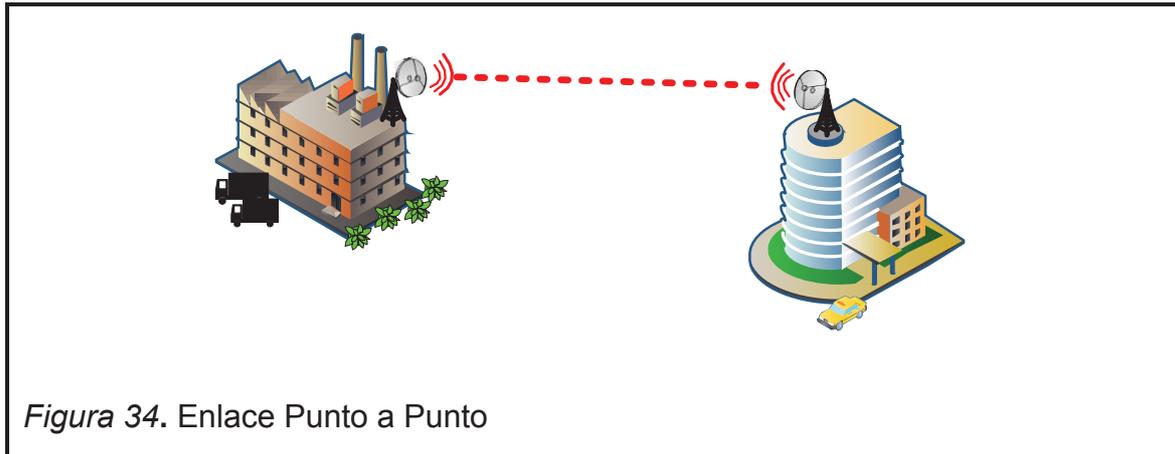
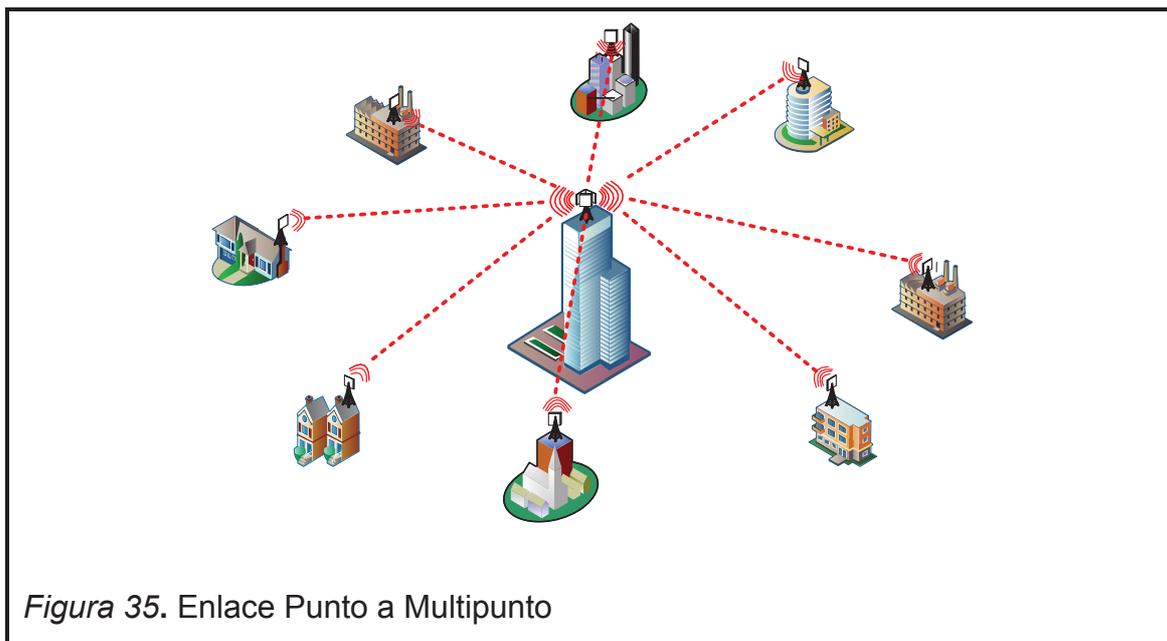


Figura 34. Enlace Punto a Punto

1.6.4 Redes de radio P-MP

En un sistema punto a multipunto o P-MP se tiene que desde un sitio se puede tener comunicación con varios sitios simultáneamente con un solo equipo de radio transmisión. La creciente demanda de servicios de banda ancha requiere mayores tasas de datos en los sistemas de comunicaciones. (Tachikawa, 2003). En redes punto a multipunto, un punto de acceso transmite información independiente a un número de usuarios que compiten por los recursos disponibles del sistema, es decir, tiempo de transmisión, potencia de transmisión, de espectro y espaciales. Por lo tanto, el reto consiste en proporcionar un servicio satisfactorio a todos los usuarios al hacer una asignación adecuada de los recursos.

Las limitaciones espectrales debido a la escasez de espectro en los sistemas inalámbricos y anchos de banda estrechos en los alambres de cobre, junto con la selectividad de frecuencia general de canales de banda ancha son dos obstáculos principales que se superan en el camino a velocidades de datos superiores a las de los sistemas de comunicación actuales. El envío de información a través de múltiples entradas en el transmisor y recuperarla de varias salidas en el receptor tiene el potencial de aumentar la cantidad de información fiable transmitida por unidad de tiempo y de frecuencia, es decir, permite un uso más eficiente del espectro (Foschini, 1998).



Dentro de un área de servicio habrá más de un operador que construya su propia infraestructura de red, especialmente en las regiones económicamente interesantes se pueden encontrar cuatro o más operadores que pedirán bloques de frecuencias para operar sus propios sistemas P-MP, que les permitan conectar usuarios a sus nodos. Teniendo como resultado que diferentes operadores ofrecen diferentes carteras de servicios a sus usuarios previstos y por lo tanto se instalarán diferentes sistemas P-MP en la misma zona. Permitiendo que cada operador planifique y despliegue sus sistemas P-MP, cada uno de P-MP operador tiene la posibilidad de operar y proporcionar el Sla a sus clientes.

1.7 RADWIN³ 5000 HPMP punto a multipunto de alta capacidad

RADWIN 5000 HPMP, es una solución orientada a un mercado con una demanda creciente de mayor capacidad, provee estaciones base con capacidad del más alto nivel para brindar al usuario una experiencia óptima, una mayor eficiencia espectral de cara a posibilitar un retorno de inversión más rápido y un excelente rendimiento en condiciones adversas, en bandas inferiores a 6 GHz tanto licenciadas como no licenciadas, siendo una de sus

³ Equipos de radio utilizados para la presente investigación.

principales ventajas el uso de la tecnología MIMO de formato reducido, que asegura de manera exclusiva una disponibilidad de ancho de banda por usuario final para un SLA nivel de satisfacción del servicio garantizado, al evitar que unidades de cliente con una calidad de transmisión inferior influyan negativamente en la capacidad de otras unidades. Las radios ofrecen una capacidad multi-banda lo que quiere decir que una misma unidad es capaz de operar en múltiples bandas, para posibilitar una planificación flexible. (RADWIN, 2011, pág. 2)

Aspectos destacados de RADWIN 5000 HPMP:

- Hasta 200 Mbps por sector de estación base
- Estación base todo OUTDOOR
- Variedad de unidades de alta velocidad (HSU): 50, 20, 10 Mbps
- Unidades de alta velocidad con tecnología MIMO de formato reducido
- OFDM MIMO 2x2 / Diversidad que posibilita el despliegue de nLOS
- Largo alcance: 40 km
- Multibanda, de 4,9 a 6 GHz
- Coexiste con la solución punto a punto de RADWIN

1.7.1 Componentes de RADWIN 5000

Las unidades de estación base y de abonado de RADWIN 5000 cumplen con el estándar IP67 que significa que es resistentes al polvo y puede ser sumergido en agua, para un despliegue eficaz en condiciones adversas. Los equipos son compatibles entre ellos para frecuencias desde de 4,8 hasta a 6,06 GHz, todas las unidades de radio tienen bajo consumo de energía y se alimentan a través de un dispositivo PoE lo que quiere decir que se alimentan sobre el cable ethernet.

1.7.1.1 RADWIN 5000 HBS Estacion base de Alta capacidad

La HBS consta de RADWIN 5000 HBS ODU, un sector de antena de doble polo y un dispositivo PoE, que proporciona una interfaz de LAN a equipo de usuario. Un solo HBS soporta hasta 16 HSUS.



1.7.1.2 RADWIN 5500 HSU Unidad de alta capacidad de abonado.

La unidad de abonado de RADWIN consiste en una Odu con antena integrada o conectorizada, se puede utilizar una doble antena de polo para un mejor rendimiento.



El alcance de transmisión es una función de la ganancia de la antena y la potencia de transmisión. Estos factores se ven limitados por las regulaciones

del país. RADWIN 5000 HPMP puede funcionar con una antena integrada unida al HSU unidad, o con una antena externa con cable a la HBS / HSU a través de un conector de tipo N. Todos los cables y las conexiones deben estar correctamente conectados para reducir las pérdidas. La impedancia de la antena requerida es 50Ω .

1.7.2 Ventajas

Estaciones base de alta capacidad, admite hasta 200 Mbps por sector. La solución junto con unidades de suscriptor alta velocidad, posibilita una capacidad de servicio hasta de 50Mbps por abonado.

Mayor eficiencia espectral lo que conlleva a un retorno de inversión más rápido, provee una eficiencia espectral del más alto nivel disponible (5bps/Hz) en el ámbito de bandas inferiores a 6 GHz de punto a multipunto, para un mayor rendimiento en ancho de banda de canal más estrecho.

Asegura de manera exclusiva una disponibilidad de ancho de banda por usuario final para un acuerdo de nivel de servicio garantizado. La capacidad del abonado no se ve afectada por las señales transmitidas por otros abonados, causada por interferencias o por otros motivos.

HBS es una unidad de radio de estación base OFDM/MIMO 2x2 al aire libre de alta capacidad, que cubre un sector único en el modo MIMO o dos sectores en el modo de diversidad. Hay tres tipos de modelos para aumentar al máximo la calidad de transmisión, así como para simplificar el proceso de instalación y reducir el esfuerzo operativo.

1.7.2.1 Unidad de alta velocidad

La unidad de estación base incluye una antena MIMO dual polarizada, de bajo impacto visual, que se acopla a la unidad de radio para facilitar la instalación junto a la estación base. La unidad de radio tiene conectores duales, para acoplar antenas externas de gran ganancia de acuerdo a la necesidad.

1.7.2.2 Mitigación de interferencias

La solución RADWIN 5000 HPMP incorpora técnicas avanzadas de mitigación de interferencias, que aseguran un funcionamiento de primer orden en condiciones adversas, en bandas licenciadas o no licenciadas. Se combinada con OFDM, MIMO 2x2 y diversidad de antenas, asegura un sólido rendimiento en instalaciones sin línea de vista (NLOS).

1.7.2.3 Capacidades de multibanda

El enlace que se encuentra formado por la estación base y de abonado, admiten una amplia gama de bandas de frecuencia en la misma unidad (4,9 a 6 GHz o 3,3 a 3,8 GHz), para una planificación de radio flexible.

1.7.2.4 Sincronización de TDD Time division duplex

Permite despliegues con un rendimiento máximo la estación base. La sincronización evita la interferencia mutua entre unidades de radio muy cercanas, ahorra espectro y espacio de la torre.

2 Capítulo II. Parámetros de diseño

2.1 Introducción

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de ondas electromagnéticas para el envío y recepción de señales, siempre antes de instalar cualquier sistema de telecomunicaciones es necesario realizar un estudio radioeléctrico que permita conocer si un enlace funcionara adecuadamente. Por lo que se debe considerar que la propagación de ondas electromagnéticas se ven afectadas por los factores detallados a continuación:

2.1.1 Pérdidas en el espacio libre

Las pérdidas en el espacio libre representan la atenuación que tiene una señal de radio cuando viaja a través del aire debido a la dispersión de potencia, por lo que se tiene que mientras más lejos esta del punto de transmisión final, más débil es la señal RF. La atenuación en el espacio libre expresada en decibeles (dB) viene dada por la fórmula:

$$FSL(dB) = 20\log_{10}d + 20\log_{10}f + K$$

Dónde:

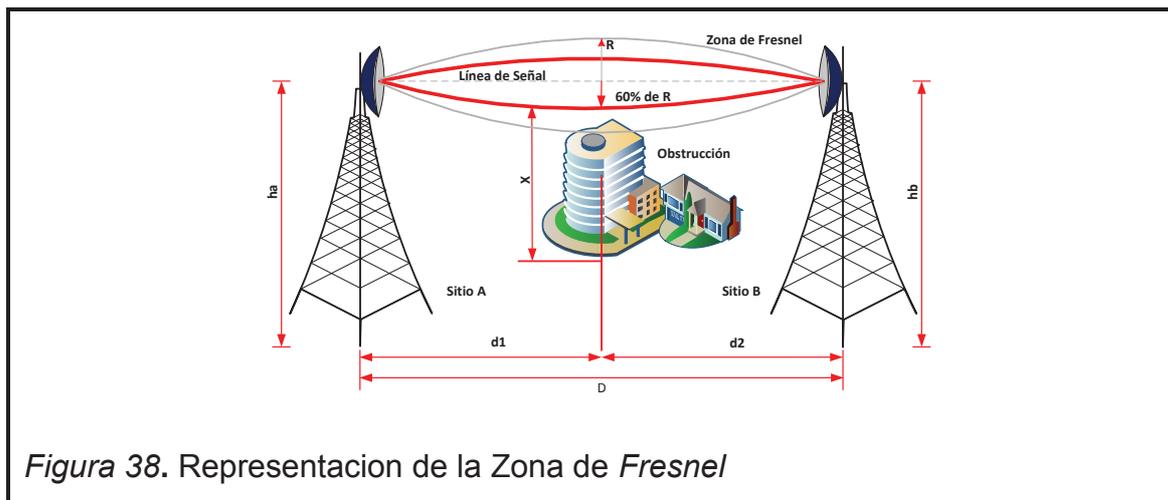
d =distancia del radioenlace.

f =frecuencia de operación

k =constante (32.45)

2.1.2 LA ZONA DE FRESNEL

La zona de Fresnel es una zona cónica de forma elíptica de la energía electromagnética que se propaga desde la antena transmisora a la antena de recepción. Es más amplia siempre en el centro de la trayectoria entre las dos antenas.



Pérdida de *Fresnel* es la pérdida de trayectoria produciendo desde varias rutas reflejos de las superficies reflectantes, como corrientes de agua, e intervenir como edificios o picos de montaña en zona de *Fresnel*.

Enlaces de radio deben ser diseñados para superar las obstrucciones y las condiciones atmosféricas, las condiciones climáticas, grandes masas de agua, y otros reflectores y absorben la radiación de la energía electromagnética. La zona de *Fresnel* nos proporciona una manera de calcular la cantidad de espacio que una red inalámbrica necesita asegurar para que el obstáculo no atenúe la señal.

La cantidad de aclaramiento de la zona de *Fresnel* está determinada por la longitud de onda de la señal, la longitud del camino, y la distancia hasta el obstáculo. Para mayor fiabilidad, en enlaces punto-a-punto se debe tener al menos 60% de la primera zona de *Fresnel* despejada para evitar una atenuación significativa (RADWIN, 2011, pág. 216).

$$R = 8.657 \sqrt{\frac{D}{f}}$$

donde

- R = radio en metros (m).
- D = distancia en kilómetros (km) ($d_1 = d_2, D = d_1 + d_2$)
- f = frecuencia de la transmisión en gigahercios (GHz)

Ejemplo practico

$$R = 8.657 \sqrt{\frac{5179}{5715}}$$

$$R = 8.657 \sqrt{0.906}$$

$$R = 8.24m$$

2.1.3 Línea de Vista

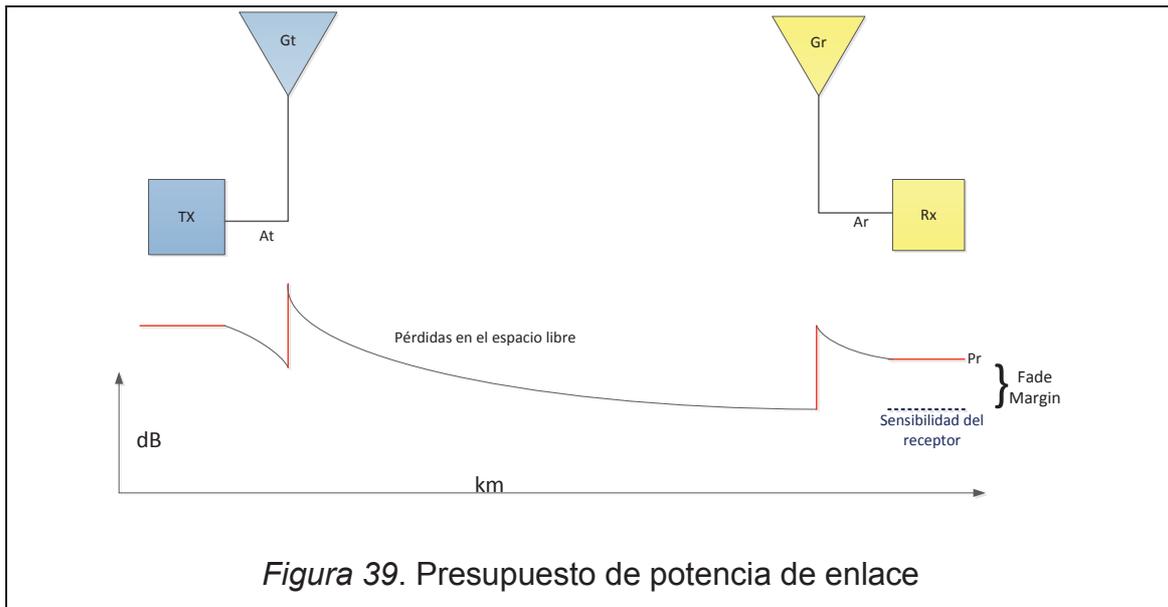
Línea de vista se refiere a un trayecto directo, sin obstrucciones entre las antenas transmisoras y receptoras. Para que exista la mejor propagación de las señales RF de alta frecuencia, es necesaria una línea de vista solida sin obstrucciones. Cuando se instala un sistema inalámbrico, se debe de tratar de transmitir a través de la menor cantidad posible de materiales para obtener la mejor señal en el receptor.

2.1.4 Multitrayectoria

Se dice que un radio enlace tiene multitrayectoria cuando la onda choca contra superficies y cambia la dirección de las ondas. En muchas ocasiones el multitrayecto permite dar servicio en sitios donde no existe línea de vista.

2.1.5 Presupuesto de Potencia del enlace

Es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor hacia el receptor incluyendo el paso por cables, conectores y el espacio libre, es de vital importancia para hacer mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado.



En los enlaces en que la distancia es muy grande el cálculo se reduce a que la potencia recibida sea suficientemente superior a la sensibilidad del receptor, teniendo en cuenta la potencia transmitida, las ganancias y pérdidas del enlace. Para el cálculo de Balance de Enlace se tiene la siguiente ecuación:

$$P_r(dB) = P_{Tx} - L_{ccTx} + G_{Tx} - L_p - A_{LL} + L_{ccRx}$$

Donde:

P_r = Potencia recibida en el receptor

P_{Tx} = Potencia de transmisión

L_{ccTx} = Pérdidas de cables y conectores en el sistema de transmisión

G_{Tx} = Ganancia de la antena de transmisión

L_p = Pérdidas en espacio libre

A_{LL} = Atenuación por lluvia

G_{Rx} = Ganancia de la antena de recepción

L_{ccRx} = Pérdidas de cables y conectores en el sistema de recepción.

2.1.6 Sensibilidad del receptor RSL

Conocido también como mínimo nivel de señal recibida, es el mínimo valor de potencia que necesita para poder decodificar la señal recibida, mientras más baja sea la sensibilidad mejor será la recepción del radio.

2.2 Planificación del sitio

Se compone de un conjunto de análisis con herramientas de análisis y en campo, que se llevan a cabo antes de instalar cualquier equipo. Si el resultado de cualquiera de las encuestas es negativo, se debe considerar re-localizar tanto la unidad base como las unidades suscriptoras. Una inspección del lugar se compone de dos etapas:

- Estudio preliminar
- Survey Físico

2.2.1 Etapa 1: Estudio preliminar

Un estudio preliminar es necesario antes de visitar posibles lugares de instalación, recopilando la mayor cantidad de información como sea posible de obtenerse sobre los sitios designados para la instalación de los radios, y el área entre ellos para evitar así el desgaste de recursos económicos y humanos. Como punto de partida del presente estudio se proponen cinco unidades suscriptoras que recibirán la señal desde una unidad Base, el sector propuesto se ubica en un el *google earth* y se obtienen las siguientes coordenadas.

Tabla 7. Puntos geo referenciales iniciales

PUNTO	Latitud [S]	Longitud [W]
Nodo	00° 16' 56.80"	078° 31' 29.40"
A	00° 14' 08.60"	078° 32' 00.87"
B	00° 16' 03.04"	078° 33' 35.77"
C	00° 18' 10.33"	078° 32' 29.94"
D	00°19' 18.18"	078° 33' 27.86"
E	00° 15' 59.80"	078° 33' 20.10"

Se revisan los manuales del fabricante (Anexo 1) para obtener los parámetros requeridos por el programa de simulación de radio enlaces.

Para llevar a cabo un survey preliminar:

1. Se marca los lugares de instalación designados en el *google earth*.



2. Se mide la distancia entre los sitios; y se comprueba que está dentro del rango especificado del equipo que es de 40 km.

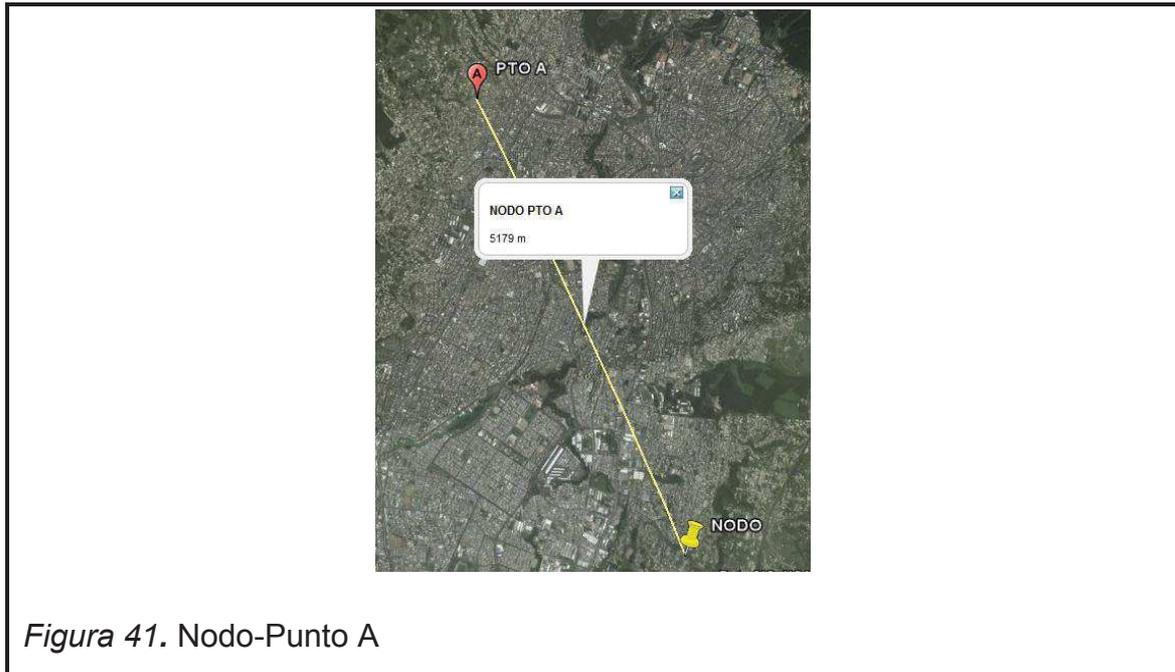


Figura 41. Nodo-Punto A

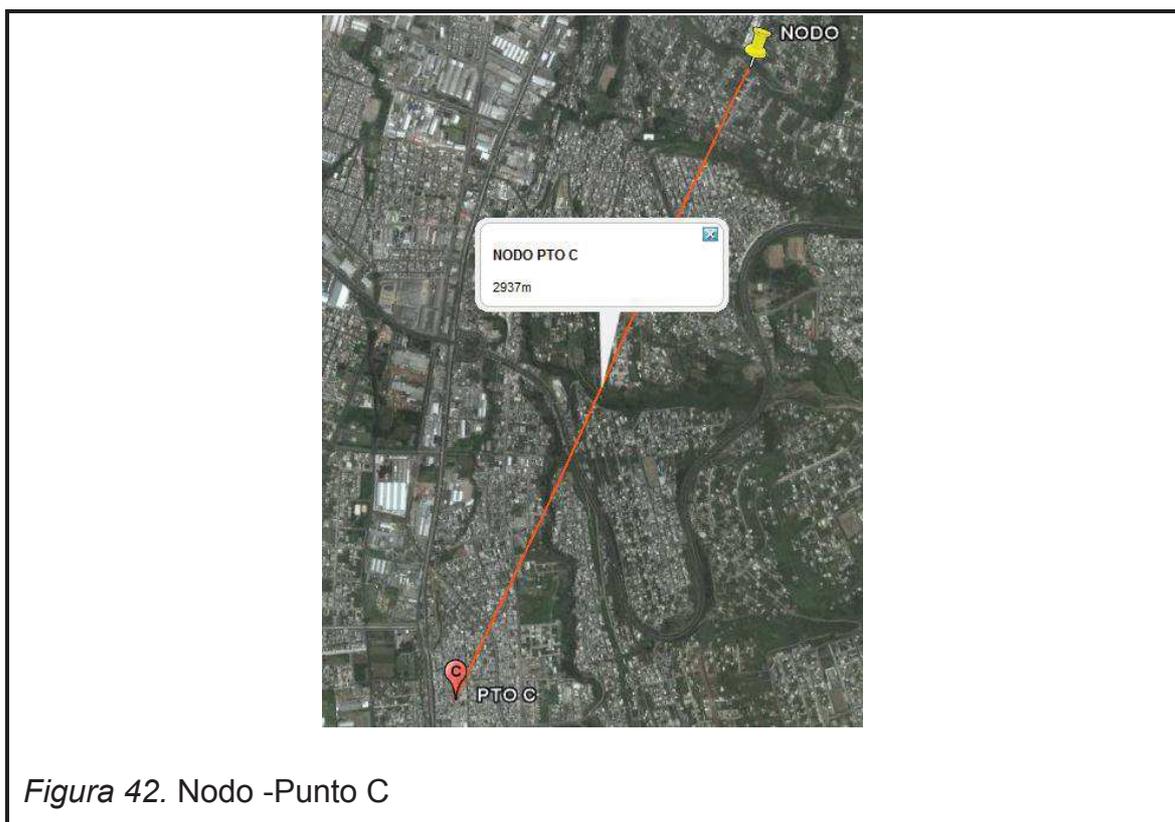


Figura 42. Nodo -Punto C

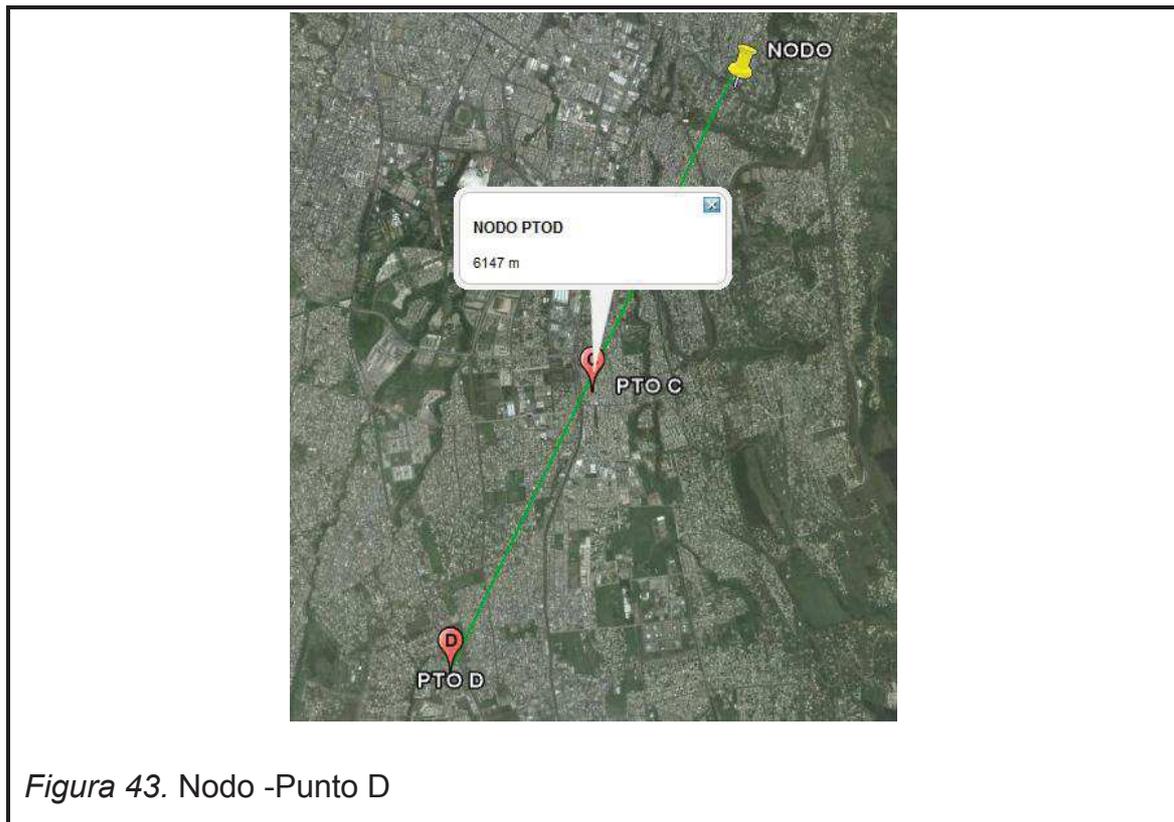


Figura 43. Nodo -Punto D

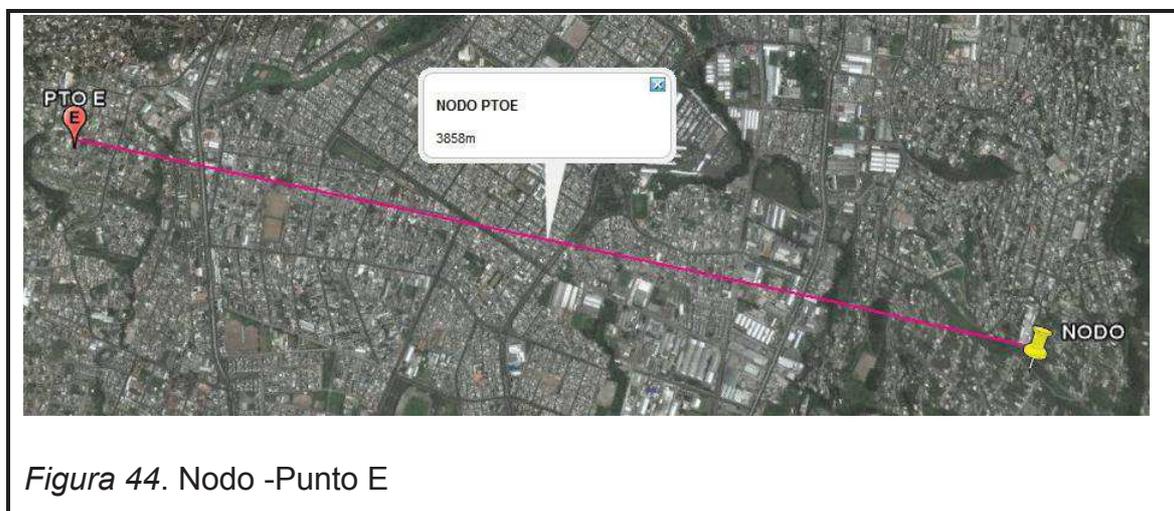


Figura 44. Nodo -Punto E

3. Se busca en el área los sitios de edificaciones altas, de preferencia se debe evitar edificios altos, torres o transmisores de RF en el sector ya que podrían causar interferencias, también se debe descartar que en el área exista colinas o montañas, lagos o grandes cuerpos de agua, en el

caso de que sea ineludible pasar sobre el cuerpo de agua se debería considerar.

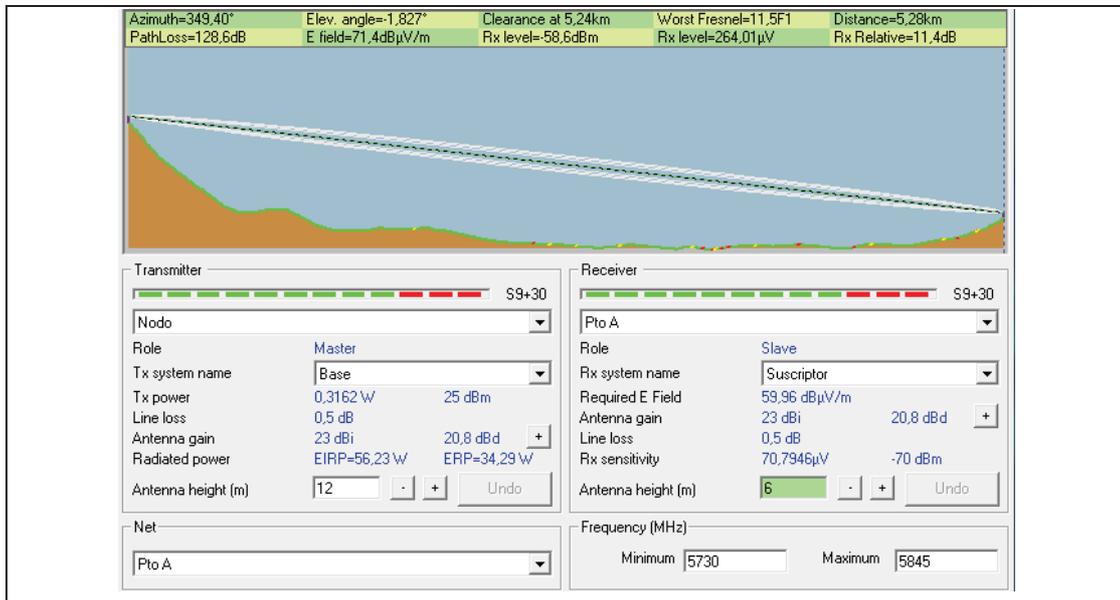


Figura 45. Calculo de Radio enlace Nodo-Pto A

No se observan obstrucciones en la línea de vista, la zona de *Fresnel* se encuentra despejada, y la línea verde continua indica cobertura en todo el trayecto.

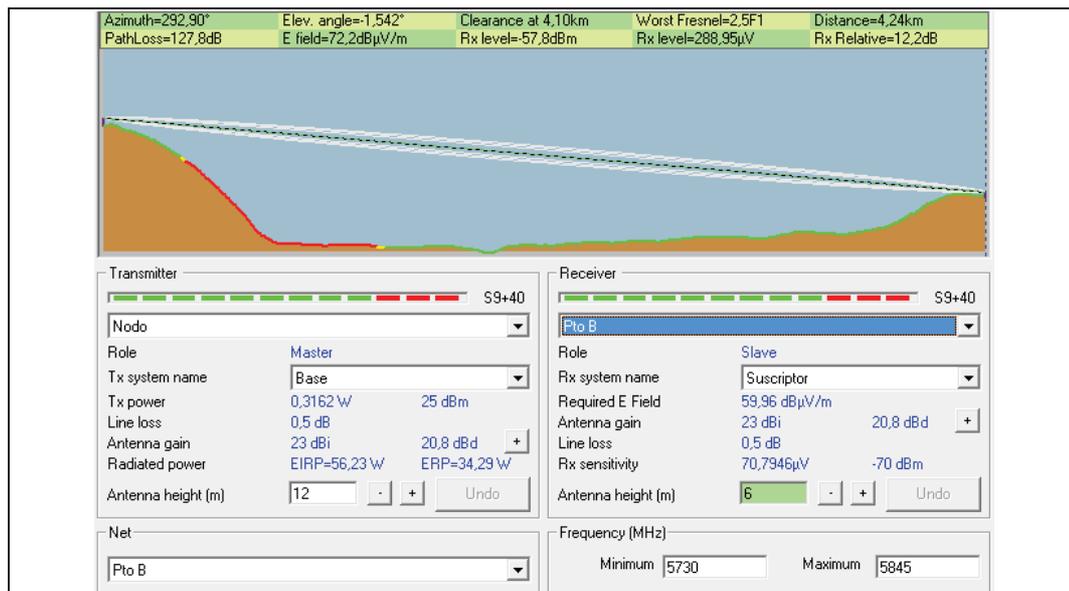


Figura 46. Calculo de Radio enlace Nodo-Pto B

No se observan obstrucciones en la línea de vista, la zona de *Fresnel* se encuentra despejada, pero tiene perdida de cobertura en las faldas del nodo.

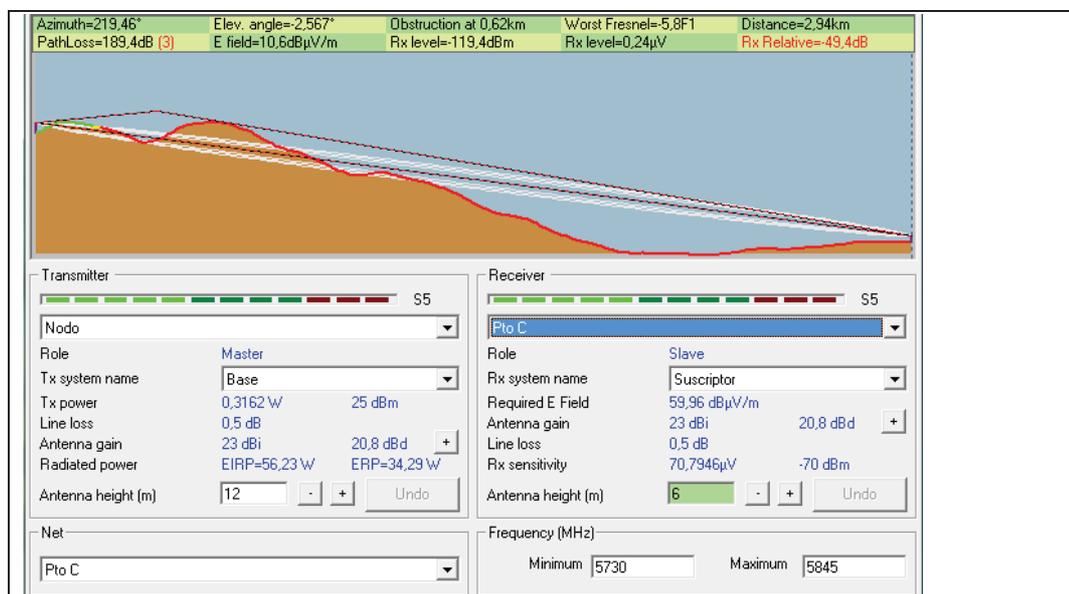


Figura 47. Calculo de Radio enlace Nodo-Pto C

Se observan que no existe línea de vista, la zona de *Fresnel* se encuentra totalmente obstruida, la línea roja continua indica que no existe cobertura.

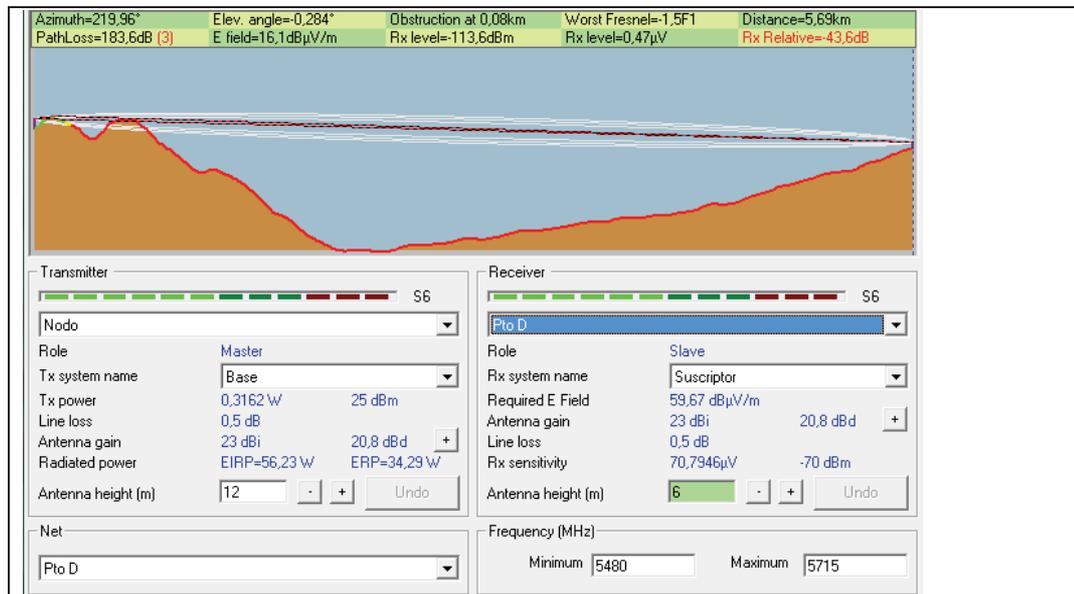


Figura 48 Cálculo de Radio enlace Nodo-Pto D

Se observan que no existe línea de vista, la zona de *Fresnel* se encuentra totalmente obstruida, la línea roja continua indica que no existe cobertura.

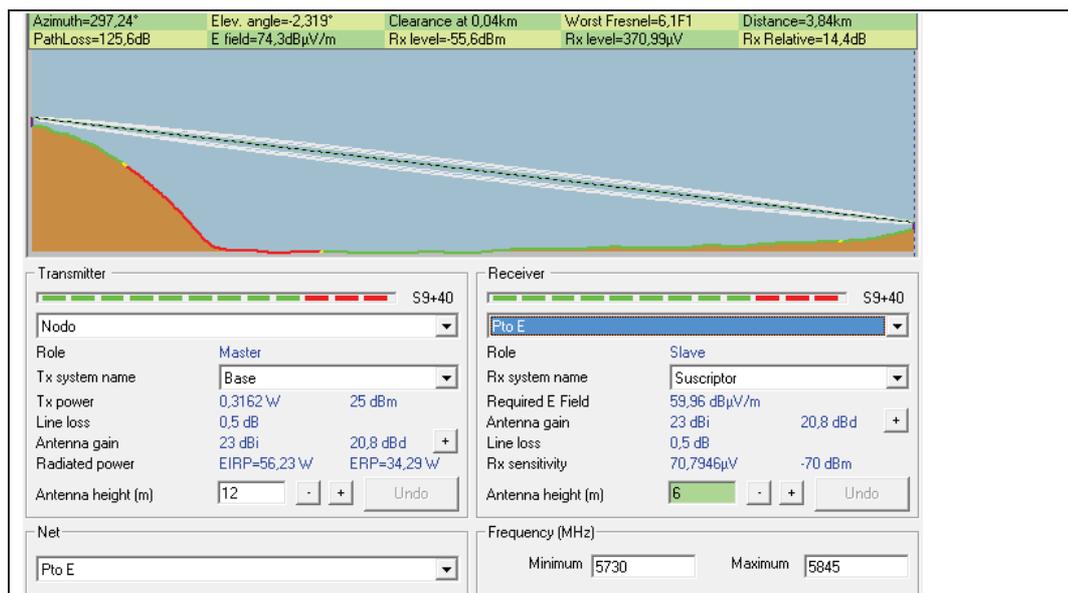


Figura 49. Calculo de Radio enlace Nodo-Pto B

No se observan obstrucciones en la línea de vista, la zona de *Fresnel* se encuentra despejada, pero tiene perdida de cobertura en las faldas del nodo.

Tabla 8. Tabulación de resultados del Estudio Preliminar

PUNTO	Latitud [S]	Longitud [W]	Altura [m]	Distancia hacia el Nodo [m]	Fresnel [m]	Azimut	Existe línea de vista
Nodo	00 16 56.80	078 31 29.40	3033				
A	00 14 08.60	078 32 00.87	2879	5179	8,19	349,40°	Si
B	00 16 03.04	078 33 35.77	2934	4229	7,46	292,90°	Si
C	00 18 10.33	078 32 29.94	2910	2937	6,13	219,46°	No
D	0019 18.18	078 33 27.86	3025	6147	8,96	219,96°	No
E	00 15 59.80	078 33 20.10	2893	3858	7,11	297,24°	Si

Ubicando los puntos propuestos en el *google earth* se obtuvo los puntos georeferenciales de cada uno de los sitios, se realizó una revisión breve de posibles obstrucciones como montañas o edificaciones altas que afecten el rendimiento de cada enlace, en esta primera etapa no se encontró ninguna razón de peso para descartar ningún punto. Con la finalidad de realizar un estudio detallado se utilizó el programa Radio-Mobile, donde al ingresar las

coordenadas obtenidas se encontró que no existe línea de vista hacia el nodo propuesto desde los puntos C y D, por lo que se decide descartarlos con la visión de que es prototipo. Si se tendría este panorama para un cliente real se debería validar otras tecnologías como la fibra.

2.2.2 Etapa 2: Encuesta Física

Se debe acudir a los sitios propuesto para la verificación física de la línea de vista, estructura y ductos a utilizarse para la instalación. Las herramientas básicas son:

- Flexómetro.
- Multímetro para comprobar los valores de voltaje de resistencia a tierra.
- Binoculares.
- Cámara digital.
- Brújula.

En la inspección física se examina el entorno del lugar de instalación propuesto, asegurándose de que los sitios de sector sean los adecuados para la red inalámbrica, es muy útil llevar los datos obtenidos en el estudio preliminar porque ayudaran en la identificación de los puntos de requeridos. Para llevar a cabo una inspección física:

- a) Una vez en el sitio se debe ubicar la posición del nodo o unidades suscriptoras respectivamente, con ayuda de binoculares localizar obstrucciones tales como árboles, edificios altos, montañas u otras torres de RF entre los dos sitios.



Figura 50. Línea de Vista desde en nodo hacia el punto A

Se observa que se tiene una línea de vista despejada hacia el punto A



Figura 51. Línea de Vista hacia el nodo

Se observa que se tiene una línea de vista despejada hacia el nodo

- b) Determinar la ubicación de la antena, teniendo en cuenta las instalaciones existentes en la azotea y el espacio en la torre. Se debe estar por encima de cualquier obstáculo para mantener despejada la zona de *Fresnel* y

mantener la línea de vista. Tener la precaución de que exista suficientemente de líneas de tierra en la torre.



Figura 52. Ubicación de la antena y recorrido del externo del cable

La antena se instalará en la torre del nodo a una altura de 15m para lograr una mejor cobertura de la zona utilizando un polo tipo C.



Figura 53. Ubicación de la antena y recorrido del externo del cable

La antena se instalará sobre la tapa grada de la casa de 2 pisos donde funciona la escuela. Será necesario la instalación de un mástil base plana de 2 metros.

- c) Determinar la ubicación para el equipamiento interior, debe estar lo más cerca posible la antena. El fabricante recomienda que la trayectoria del cableado CAT-5e no sea mayor a 100m para velocidades de 10/100BaseT y 75m para 1000BaseT (GbE PoEs), una la temperatura ambiente debe ser de 0 a 50 ° C (32 a 122 ° F) a una humedad de hasta 90%, sin condensación.



Existe el espacio disponible en esta bandeja del rack de microondas para colocar los equipos.



El equipo se colocaría sobre un pequeño mueble donde se encuentra un UPS con tomas AC disponibles

- d) Con la finalidad de tener un óptimo desempeño del equipo, el fabricante recomienda contar un sistema adecuado de puesta a tierra y energía eléctrica regulada en cada uno de los puntos. Para el caso del presente estudio se encontró que en el nodo se cumplía mientras que en los sitios de instalación no.

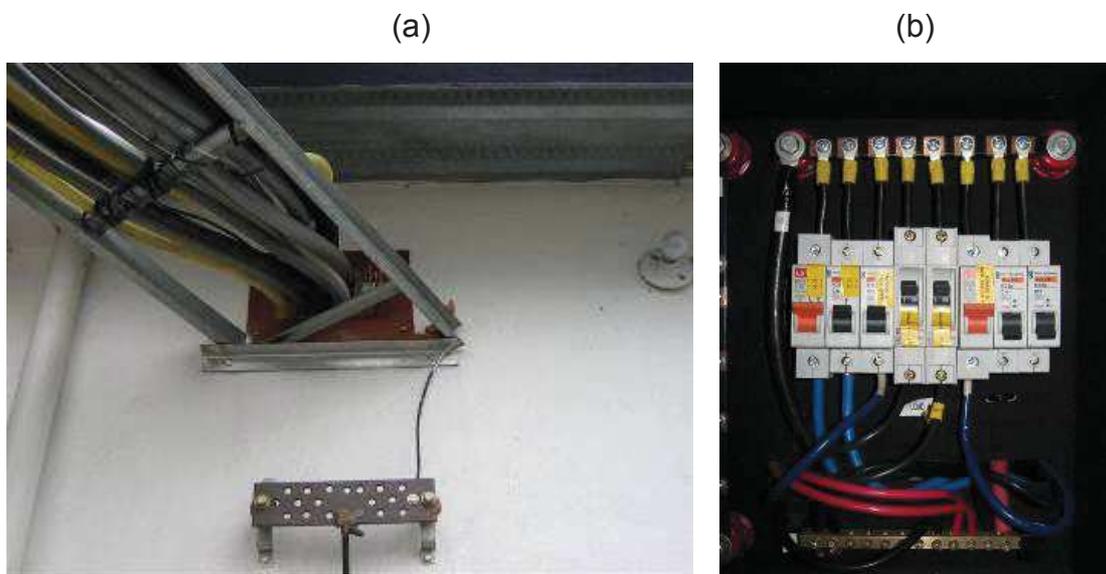


Figura 56. Sistema de eléctrico en el nodo

(a)El sistema de puestas a tierra se encuentra al pie de la torre

(b)Breaker disponibles para la instalación

2.2.3 Análisis de Resultados

Luego de realizar las inspecciones en cada uno de los sitios se procede a tabular la información recopilada.

a) Sistema radiante y anclaje

Tabla 9. Tabulación de datos de survey físico

Nodo

Tecnología a instalar:	Rawdwin 5000	Antena:	Flat Pannel
Tipo de soporte a utilizar:	Polo tipo C	Ubicación de la antena:	Torre
Tipo de cable:	RG - 6	Longitud del cable :	45 m
Datos de la torre:			
Existe espacio en la torre:	SI		
Se encuentra en buen estado?:	SI		
Tipo de torre:	Autosoportada		
Altura de la torre existente:	30 m		
Altura de torre sugerida:	15 m		

Punto A

Tecnología a instalar:	Rawdwin 5000	Antena:	Flat Pannel
Tipo de soporte a utilizar:	Mastil	Ubicación de la antena:	Terraza
Tipo de cable:	RG - 6	Longitud del cable :	25 m
Datos de la techo :			
Altura	7m	No. De pisos	1
Superficie	Cemento	Estructura:	Concreto
Tipo de torre:	Autosoportada		
Superficie en buen estado:	Si		

Punto B

Tecnología a instalar:	Rawdwin 5000	Antena:	Flat Pannel
Tipo de soporte a utilizar:	Mastil	Ubicación de la antena:	Terraza
Tipo de cable:	RG - 6	Longitud del cable :	15m
Datos de la techo :			
Altura	10m	No. De pisos	2
Superficie	Cemento	Estructura:	Concreto
Tipo de torre:	Autosoportada		
Superficie en buen estado:	Si		

Punto E

Tecnología a instalar:	Rawdwin 5000	Antena:	Flat Pannel
Tipo de soporte a utilizar:	Mastil	Ubicación de la antena:	Terraza
Tipo de cable:	RG - 6	Longitud del cable :	15m
Datos de la techo :			
Altura	7m	No. De pisos	2
Superficie	Cemento	Estructura:	Concreto
Tipo de torre:	Autosoportada		
Superficie en buen estado:	Si		

b) Cuarto de equipos

Nodo

Espacio en la Sala	SI		
Espacio en el Rack	SI	Capacidad libre:	1 UR
Punto a tierra en el rack	SI	Aire Acondicionado:	SI

Hay conexión hacia un tablero de tierra?	SI	
Existen tomas eléctricas reguladas?	SI	

Punto A

Espacio en la Sala	NO	
Espacio en el Rack	NO	Capacidad libre: N/A
Punto a tierra en el rack	NO	Aire Acondicionado: NO
Hay conexión hacia un tablero de tierra?	NO	
Existen tomas eléctricas reguladas?	SI	

Punto B

Espacio en la Sala	NO	
Espacio en el Rack	NO	Capacidad libre: N/A
Punto a tierra en el rack	NO	Aire Acondicionado: NO
Hay conexión hacia un tablero de tierra?	NO	
Existen tomas eléctricas reguladas?	SI	

Punto E

Espacio en la Sala	NO	
Espacio en el Rack	NO	Capacidad libre: N/A
Punto a tierra en el rack	NO	Aire Acondicionado: NO
Hay conexión hacia un tablero de tierra?	NO	
Existen tomas eléctricas reguladas?	SI	

- c) En base a las inspecciones realizadas se encuentra que es posible instalar un sistema Punto Multipunto, entre el nodo y los puntos A,B y E, existe línea de vista, y zona de Fresnel despejada. Para la

estación de la infraestructura como tal, en cada uno de los sitios se tienen las condiciones necesarias para el funcionamiento de los equipos, los datos relevantes se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Análisis de resultados

PUNTO	Línea de vista	Obstrucciones	Espacio para antena	Distancia del cable menor a 100m	Tomas eléctricas disponibles	Sistema de tierra
Nodo	Si	No	Si	Si	Si	Si
A	Si	No	Si	Si	Si	No
B	Si	No	Si	Si	Si	No
E	Si	No	Si	Si	Si	Si

En los puntos A y B no se dispone de un adecuado sistema de tierra, a largo plazo esto puede provocar un mal funcionamiento de los equipo, en este caso no se los descarta por tratarse de una instalación temporal mientras se realizan las pruebas.

3 Capítulo III. Diseño e Implementación

3.1 Calculo del enlace

Para realizar el cálculo del enlace nos apoyaremos en la herramienta proporcionada por el fabricante.

3.1.1 Link Budget Calculator

Es una herramienta para el cálculo del rendimiento esperado de los enlaces RADWIN 5000 HPMP dentro de un sector y las posibles configuraciones en un rango específico. Para utilizar la calculadora se requiere seleccionar los siguientes parámetros:

Tabla 11. Descripción de parámetros requeridos en Link Budget Calculator

Parámetro	Descripción
Banda	Determina la frecuencia y regulación
<i>HSU Series</i>	Modelo de equipo suscriptor
<i>Channel Bandwidth</i>	Ancho de banda de canal (5, 10, 20 y 40 MHz)
<i>Tx Power</i>	Máxima potencia de transmisión válida de acuerdo a la modulación escogida
<i>Antenna Gain</i>	Ganancia de la antena
<i>Cable Loss</i>	Pérdida del cable
<i>Fade Margin</i>	actualmente 6 dB
<i>Rate</i>	Velocidad requerida
<i>Required Range and climate type</i>	Rango requerido según el tipo de clima(constante proporcionada por RADWIN)

Para seleccionar el correcto Rango de clima el fabricante ha dividido a los países en regiones, Ecuador pertenece a la zona climática 2, moderada.

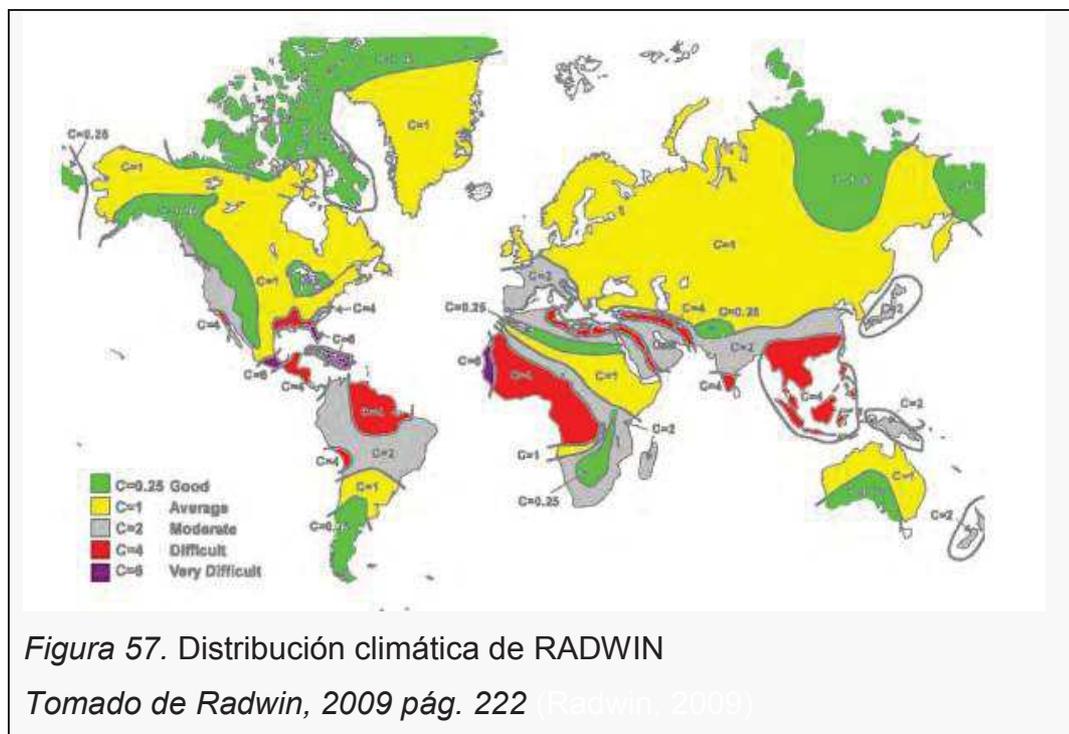


Tabla 12. Valor de la constante C de acuerdo a la distribución climática

Value	Description
Good (C=0.25)	Mountains and dry climate
Average (C=1)	Average terrain and climate
Moderate (C=2)	Moderate terrain and climate
Difficult (C=4)	Over water or humid climate
Very Difficult (C=6)	Externe humid climate

El fabricante ha realizado una distribución de acuerdo al clima que existe en cada región del mundo, el valor de C debe ingresarse en el Link Budget para realizar el cálculo de enlace.

3.1.1.1 Datos internos del Link Budget Calculator

Para cada Banda la calculadora almacena los siguientes datos necesarios para los cálculos de balance del enlace:

- Potencia máxima de transmisión (por modulación)
- Sensibilidad del receptor (por modulación) para el servicio de Ethernet
- Potencia máxima de entrada lineal (usado para calcular la distancia mínima).
- Ganancia de la antena y la pérdida de cable para ODU con antena integrada
- Anchos de banda de canal disponible

3.1.1.2 Procesamiento de datos

- a) PIRE, La Potencia Isotrópica Radiada Efectiva es el Producto de la potencia suministrada a la antena y la máxima ganancia de la antena respecto a una antena isotrópica.

$$EIRP(dBm) = TxPower + AntennaGain_{SiteA} - CableLoss_{SiteA}$$

- b) Esperado RSS y margen de desvanecimiento

$$ExpectedRSS(dBm) = EIRP - PathLoss + AntennaGain_{SiteB} - CableLoss_{SiteB}$$

Donde:

Site A :Lugar de la transmisión

Site B: Lugar de recepción

- c) PathLoss: se calcula de acuerdo con el modelo de espacio libre

$$ExpectedFadeMargin(dB) = ExpectedRSS - Sensitivity$$

Donde la sensibilidad depende de la tasa de aire.

- d) Rangos Mínimos y Máximos

Rango Mínimo

$$ExpectedRSS(dbm) \geq Sensitivity(dbm)$$

Rango Máximo

$$ExpectedRSS(dbm) \geq Sensitivity(dbm) + RequiredFadeMargin(db)$$

- e) Disponibilidad, el cálculo de disponibilidad de servicio se basa en el método *Vigants Barnett* que predice el tiempo de inactividad probabilidad basada en un factor climático, en el peor mes del año.

Availability(%)

$$= 1 - 6 * 10^{-7} * Cfactor * f_{GHz} * (RequiredRange_{km})^3 * 10^{\frac{-ExpectedFadeMargin}{10}}$$

- f) Altura de la antena, la altura de la antena recomendado requerido para la línea de visión se calcula como la suma del *Fresnel* zona en altura y la altura del eje de alineación.

La altura libre del eje de alineación se calcula como:

$$H(m) = \sqrt{R_{Mean}^2 + \left[\frac{ExpectedRange}{2}\right]^2} - R_{Mean}$$

Donde:

$$R_{Mean} = 6367.4425Km$$

3.1.2 Uso del Link Budget Calculator

La pantalla principal que se tiene en el programa es

RADWIN 2000		RADWIN 5000 HPMP		WinLink 1000		
Product	Band	5.730-5.845 GHz FCC/IC Integrated				
	HSU Series	HSU 550				
Radio	Channel Bandwidth	20 MHz				
	Tx Power	18 dBm [-8 - 18]				
	Antenna Type	Dual +3 dB				
	Antenna Gain	HBS Site	15	HSU Site	23	dBi
	Cable Loss	HBS Site	0	HSU Site	0	dB
	EIRP	36 dBm / 4 Watt				
	Fade Margin	6 dB				
	Rate	130 Mb/s (2 x 64-QAM 0.83) Adaptive <input checked="" type="checkbox"/>				
	Expected RSS / Fade Margin	-67 dBm				
	Range	Min	0.1 Km / 0.1 Miles			
Max		6.1 Km / 3.8 Miles				
Required/Climate		6.1	Km	Coordinates	Good (C=0.25) ?	
Services	Type	Ethernet Only				
	Ethernet Throughput	? Up to 49.8 Mb/s (6.2Mb/s per TS, up to 8 TS)				
Installation	Antenna height for LOS	5 Meter / 16 Feet (0.6 Fernel)				
Calculate						

Figura 58. Pantalla inicial del Link Budget Calculator

Para nuestro prototipo se escoge una banda conectorizada lo que quiere decir que la antena es externa.

RADWIN 2000		RADWIN 5000 HPMP		WinLink 1000	
Product	Band	5.730-5.845 GHz FCC/IC Connectorized			
	HSU Series	5.480-5.715 GHz FCC/IC Connectorized			
Radio	Channel Bandwidth	5.480-5.715 GHz IC Connectorized			
	Tx Power	5.255-5.345 GHz FCC/IC Connectorized			
	Antenna Type	4.945-4.985 GHz FCC/IC Connectorized			
	Antenna Gain	3.653-3.672 GHz FCC/IC Connectorized			
	Cable Loss	3.478-3.647 GHz IC Connectorized			
	EIRP	2.499-2.690 GHz FCC Connectorized			
	Fade Margin	5.730-5.870 GHz ETSI Connectorized			
	Rate	5.475-5.720 GHz ETSI Connectorized			
	Expected RSS / Fade Margin	5.155-5.345 GHz ETSI Connectorized			
			3.600-3.700 GHz ETSI Connectorized		
		3.480-3.600 GHz ETSI Connectorized			
		3.413-3.480 GHz ETSI Connectorized			
		5.835-5.865 GHz WPC Connectorized			
		5.740-5.835 GHz MII Connectorized			
		5.700-5.050 GHz Universal Connectorized			
		5.475-5.720 GHz Universal Connectorized			
		5.150-5.335 GHz Universal Connectorized			
		4.900-5.000 GHz Universal Connectorized			
		3.300-3.800 GHz Universal Connectorized			
		Integrated Products...			
		All Products...			

Figura 59. Ingreso de Banda

El margen de desvanecimiento es el mínimo requerido con línea de vista para mantener la comunicación, en condiciones de degradación se deben utilizar un *Fade Margin* mayor. La EIRP se calcula automáticamente y se muestra en dBm y Watts.

Se escoge el valor de *Rate* de acuerdo a la cantidad de Mbps que se desee configurar y este proporcionara el dato de la modulación que utilizara el equipo.

En el caso de que se desconozca la distancia entre los dos puntos se los puede ingresar manualmente haciendo un click en Coordinates

Figura 60. Ingreso de coordenadas

Los parámetros de rendimiento esperados son:

- Expected RSS*, se presenta cuando las *ODUSs RAD-WIN 5000 HPMP* están alineados de manera óptima, los valores permitidos van desde -55dB a -60dB, teniendo como consideración que a mayor distancia el valor de RSS va disminuyendo por la atenuación, pérdidas en el espacio, etc.
- Ethernet Rate, Throughput* máximo disponible para la combinación de parámetros elegidos.
- Antenna height for LOS*, la altura mínima requerida de la antena para tener línea de vista. Es la suma de la altura requerida para el despacho de eje de puntería debido a la curvatura de la Tierra más la altura necesaria para mantener despejada la zona de *Fresnel*.

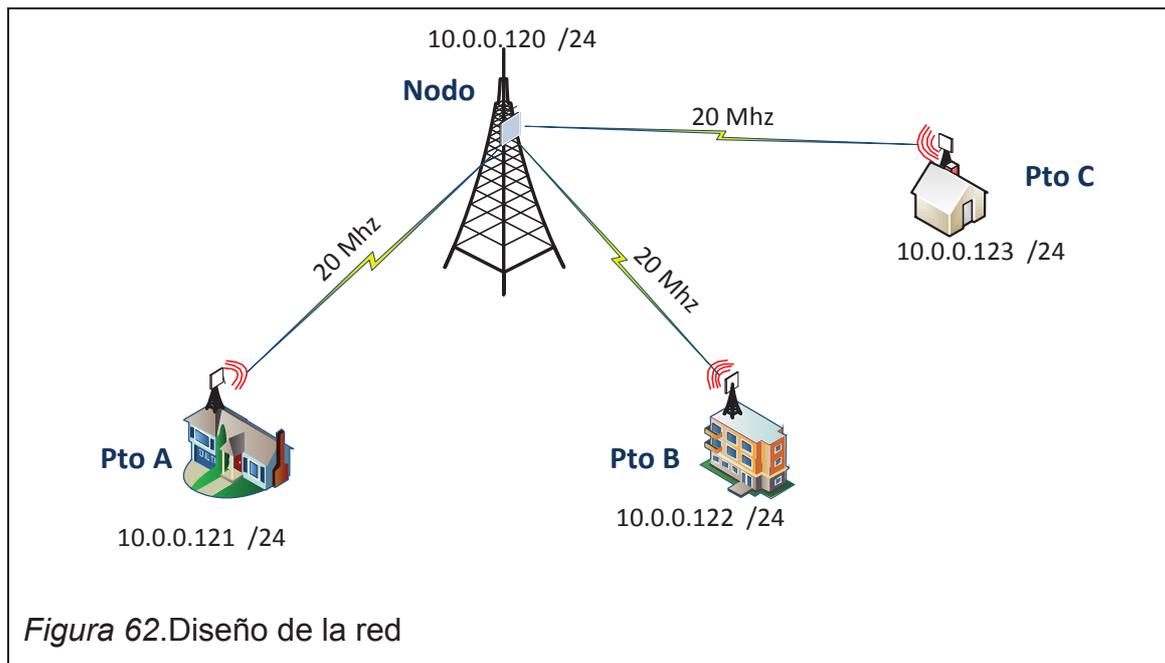
RADWIN 2000		RADWIN 5000 HPMP		WinLink 1000	
Product	Band	5.730-5.845 GHz FCC/IC Connectorized			
	HSU Series	HSU 550			
Radio	Channel Bandwidth	20 MHz			
	Tx Power	24 dBm [-8 - 24]			
	Antenna Type	Dual +3 dB			
	Antenna Gain	HBS Site	23	HSU Site	23 dBi
	Cable Loss	HBS Site	1	HSU Site	1 dB
	EIRP	49 dBm / 79.4 Watt			
	Fade Margin	6 dB			
	Rate	52 Mb/s (2 x 16-QAM 0.5) Adaptive <input type="checkbox"/>			
	Expected RSS / Fade Margin	-55 dBm / 26 dB			
	Range	Min	0.1 Km / 0.1 Miles		
Max		40 Km / 24.9 Miles			
Required/Climate		6.1	Km	Coordinates	Moderate (C=2) ?
Services	Type	Ethernet Only			
		@ 99.9997% availability (downtime 1 min/year)			
	Ethernet Throughput	? Up to 20 Mb/s (2.5Mb/s per TS, up to 8 TS)			
Installation	Antenna height for LOS	5 Meter / 16 Feet (0.6 Fernel)			

Figura 61. Muestra de Cálculo utilizando Budget Calculator

Para realizar el cálculo se escogió la mayor distancia que abarca a los demás de puntos, debido a que los parámetros son similares. Como se puede observar el *throughput* es de 20 Mbps, se indica que por cada time slot se van a transportar aproximadamente 2.5 Mbps, además el fabricante recomienda que la antena tenga una altura superior a 5m.

3.2 Esquema del diseño

Como base del presente prototipo se plantea la instalación de un enlace punto multipunto en la banda de 5 GHz con una unidad base y tres unidades suscriptoras que luego de los análisis realizados de línea de vista y zona de *Fresnel* en el capítulo 2 en el Radio Mobile, y en la sección 3.1.2 del *Link Budget Calculator* presentan condiciones óptimas para el funcionamiento de cada uno de los enlaces.



Cada unidad base tiene como máxima capacidad 16 time slot que se distribuyen entre cada una de las unidades suscriptoras, la velocidad de transmisión está ligada directamente a la modulación que usa el sistema y la asignación de los time slot según la velocidad transmisión, en esta ocasión se utilizara la modulación 16-QAM que permite velocidades de 52 Mbps y tiene una asignación de 2.5 Mbps por time slot.

Tabla 13. Diseño propuesto de red Punto-Multipunto

PUNTO	IP	Mascara	Ruta	Ancho de Banda	Ethernet Throughput	Rate
Nodo	10.0.0.120	255.0.0.0		20 Mhz	20Mbps	52Mbps
A	10.0.0.121	255.0.0.0	10.0.0.120	20 Mhz	20Mbps	52Mbps
B	10.0.0.122	255.0.0.0	10.0.0.120	20 Mhz	20Mbps	52Mbps
E	10.0.0.123	255.0.0.0	10.0.0.120	20 Mhz	20Mbps	52Mbps

3.3 Instalación física

3.3.1 Consideraciones generales

Se debe evitar la exposición excesiva a la energía de RF, una manera de protegerse contra la exposición excesiva a la energía de RF es mantener la

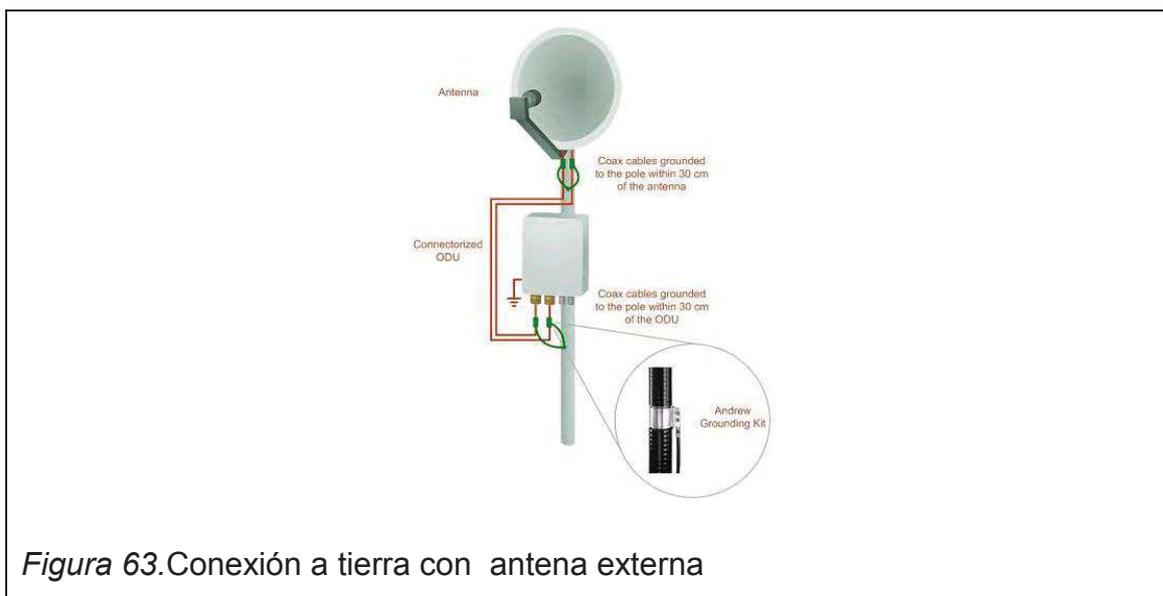
distancia prudente cuando la ODU se encuentra instalada, evitar colocarse directamente en frente de la antena. El instalador debe quitarse las joyas o cualquier otro objeto metálico que pudiera entrar en contacto con las partes energizadas.

Las antenas no deben instalarse cerca de las líneas eléctricas. Cuando se utiliza una fuente de alimentación de CA se debe utilizar tomas de energía regulada.

3.3.2 Toma de tierra

3.3.2.1 Conexión tierra de la Antena

La conexión a tierra de la antena se conecta con la ODU, el medio de conexión es un cable con un cable Andrew que viene en el kit de instalación.



3.3.2.2 Conexión tierra de la ODU

La ODU debe estar conectada a tierra por un cable con un diámetro de al menos 12 AWG, en el caso de torres se puede conectar a sistema de la estructura, la ODUs debe estar conectado a tierra adecuadamente para proteger contra los rayos.

3.3.2.3 Conexión tierra de la Idu

La IDU debe conectarse a un punto interno de tierra por un cable con un diámetro de al menos 10 AWG. Es sistema debe estar conectado

3.3.3 Instalación del Hardware

La instalación de los equipos tanto en la estación base como en los suscriptores difiere únicamente en el tipo de antena, en el nodo utilizaremos una antena de sector mientras que en los suscriptores se utilizarán flat panel de 23 dBi.

Los pasos de instalación se pueden resumir en:

- Montaje de las ODUs.
- Instalación de antenas externas, si aplica
- Conexiones Outdoor
- Conexiones de los PoEs
- Alineamiento entre la estación base y los suscriptores

3.3.3.1 Montaje de ODUs

La ODU puede ser montado en un poste o una pared, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Conectar la ODU correctamente a tierra.
- b) Montar la ODU en el poste o pared. Asegurándose de que la unidad está orientada de modo que los conectores de los cables están en la parte inferior, para evitar pueda ingresar agua.

3.3.3.2 Montaje de antenas externas

Para montar una antena externa, primero debe conectar adecuadamente el sistema a tierra y luego colocar la antena en el mástil.



Figura 64. Instalación de la Odu en el nodo

El equipo se instala a los 15 m de acuerdo a estudio preliminar



Figura 65. Antena y ODU del punto B

3.3.3.3 Instalación de un sector con dispositivos PoE (*Power over ethernet*)

El PoE es una unidad muy simple que tiene un conector de entrada de alimentación y dos puertos Ethernet. Se conecta el cable que viene de la *ODU* en el puerto *LAN RJ-OUT-45*.

3.3.3.4 Conexión de un equipo de usuario

Para conectar un equipo de usuario a un dispositivo *PoE*, se conecta un, router o cualquier otro dispositivo compatible al dispositivo *PoE RJ-45 LAN-IN*.

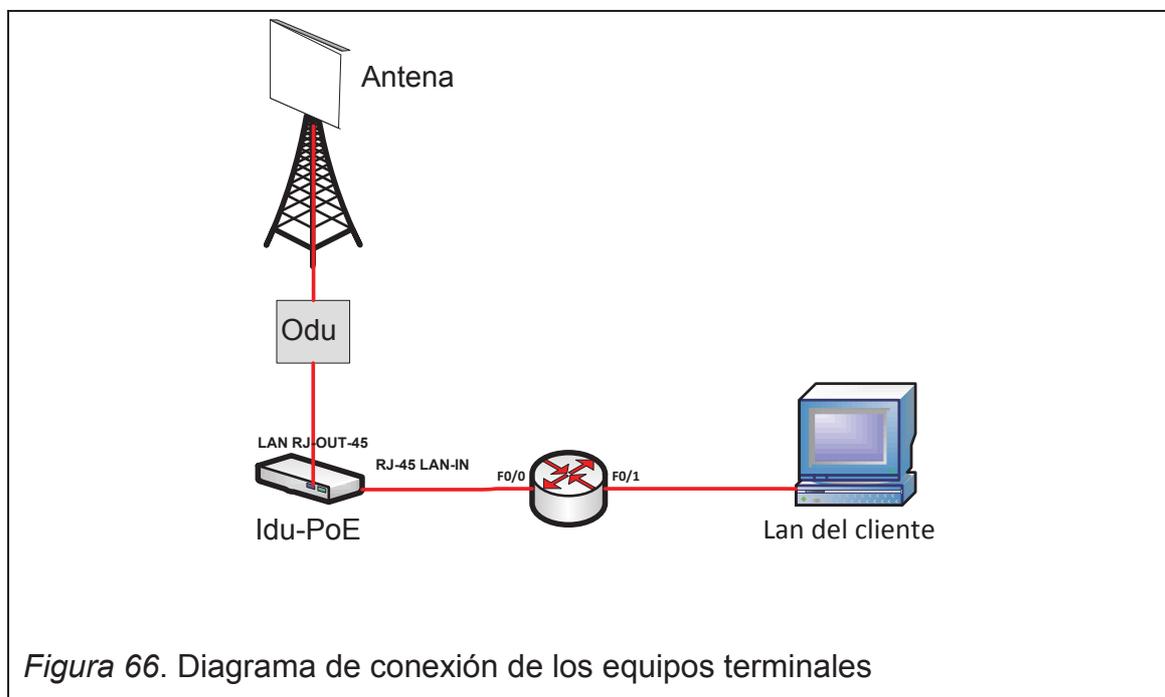




Figura 67. Equipos colocados en el rack de la base

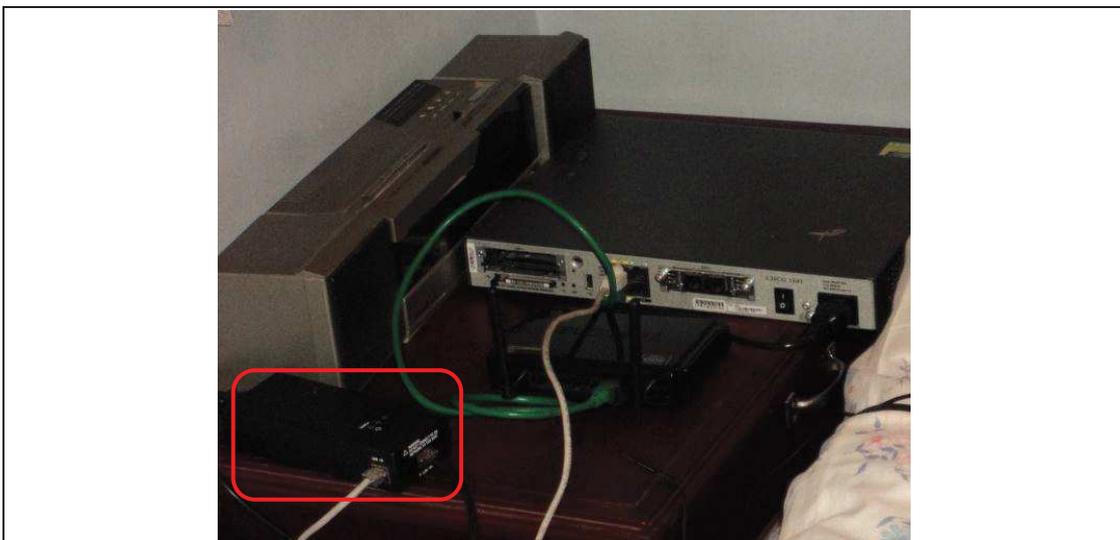


Figura 68. Equipo instalado en el punto B

3.3.3.5 Alineación de la estación base y los suscriptores

Para realizar la alineación de la antena entre la estación base y los suscriptores se debe tener en cuenta:

- a) La antena de la estación base debe alinearse exactamente con el sector es destinada a cubrir, con la finalidad de una correcta orientación se debe utilizar una brújula o *GPS*.
- b) Tanto para la estación base y los suscriptores se utilizan cable coaxial con conectores tipo N, se conecta la *ANT ODU* hacia la polarización vertical y la *ANT 2* de la *ODU* hacia la polarización horizontal.
- c) Se verifica que los *PoE* se encuentren energizados.
- d) Cuando la estación suscriptora detecta la señal de la estación base, la *ODU* emite pitidos a los 20 segundos después del encendido y sigue sonando hasta las dos unidades se encuentren alineadas
- e) Se hace un barrido horizontal de 180 grados con la antena de la estación suscriptora de manera que se detecte la señal más fuerte de la suscriptora.
- f) Se fija la antena

3.4 Software de gestión

RADWIN Manager es el software de gestión proporcionado por el fabricante para la configuración de las radios desde una laptop.

Para instalar el software los requerimientos mínimos son:

- ✓ Disco duro: espacio libre de 1 GB
- ✓ Red: Puerto 10/100BaseT
- ✓ Gráficos: 1024x768 resolución de la pantalla con color de 16 bits

Para iniciar RADWIN Manager se:

1. Conecto la laptop al puerto LAN PoE de la estación base.
2. Comprobó que dispone de conectividad a la ODU de la estación base mediante un ping.



Figura 69. Prueba inicial de conectividad

Si no existe respuesta significa que la ODU no responde, en este caso se deberá comprobar la conexión Ethernet del PoE y ODU, reiniciar los equipos y volver a intentarlo.

3. Se abre el RADWIN y aparecerá el cuadro de diálogo Iniciar sesión.



Figura 70. Pantalla inicial del RADWIN

El Administrador de RADWIN proporciona tres niveles de acceso, los dos adicionales se pueden observar haciendo un click en Options

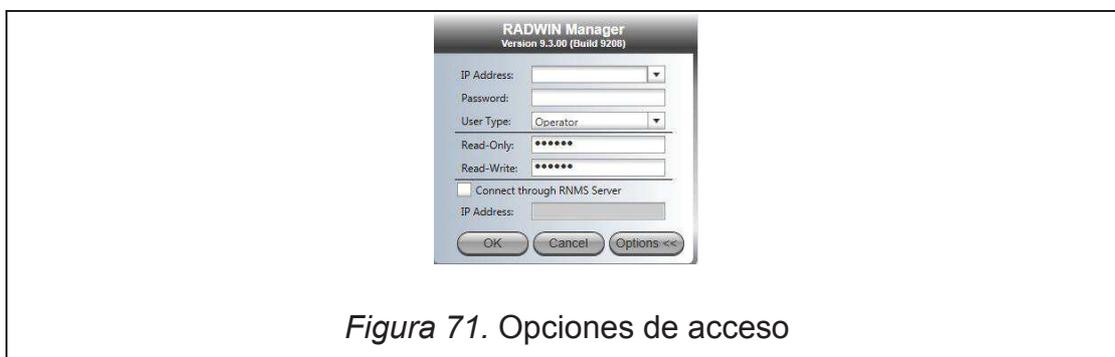


Figura 71. Opciones de acceso

Hay tres tipos de usuarios:

- a) Observador tiene acceso de sólo lectura para el sector. Un observador puede controlar el sector, generar informes, pero no podrá cambiar los parámetros del sector.
- b) Operator puede instalar y configurar el sector.
- c) Installer puede además de funcionar como un operador, también cambia la banda de frecuencia.

Tabla 14. Tipos de usuarios

Tipo de Usuario	Password por default	Funcion	Comunidad	String de la comunidad
Observer	admin	Monitoreo	Read-Only	Public
Operator	admin	Instalacion, Configuracion	Read-Write	Netman
Installer	wireless	Operador, seteo de bandas	Read-Write	Netman

4. Pantalla inicial del sistema de gestión



Figura 72. Pantalla inicial de RADWIN Manager en la estación base

Uno a uno se van variando los parámetros del radio según los datos suministrado en el diseño.

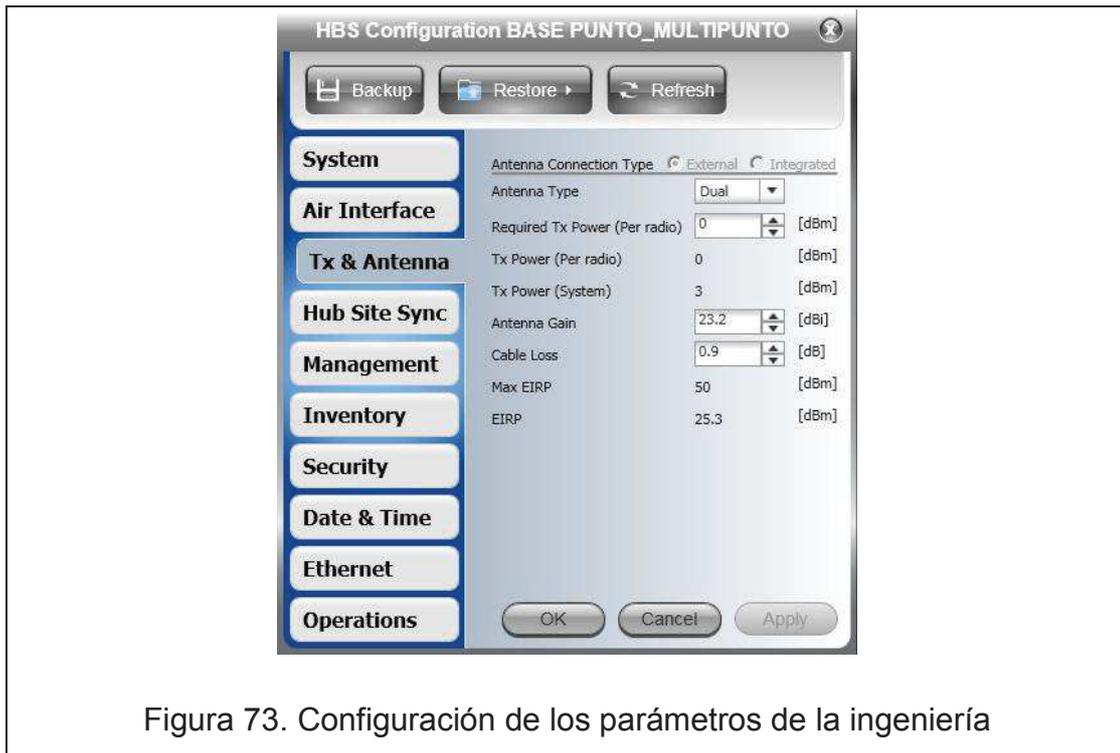


Figura 73. Configuración de los parámetros de la ingeniería

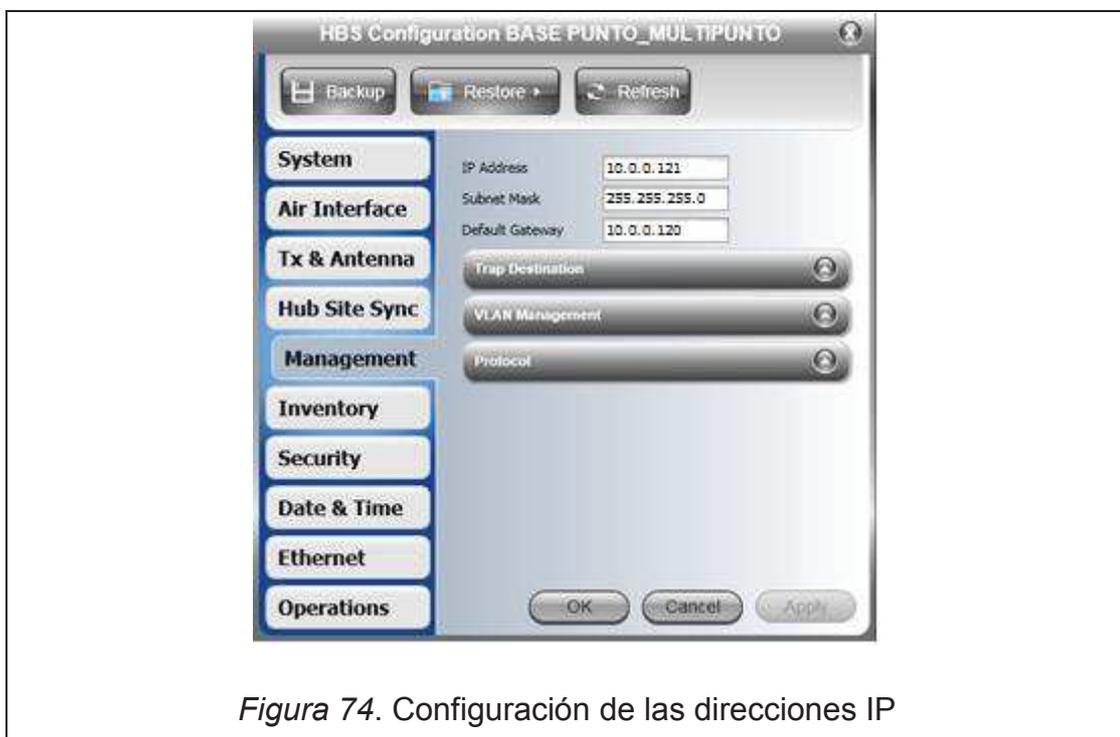


Figura 74. Configuración de las direcciones IP

Sector: SECTOR_01

Sector ID: EBG_20560554
 Frequency: 5.800 [GHz]
 Band: 5.730-5.845 GHz FCCIC
 Channel BW: 20 [MHz]
 Status: Active
 Time Slot: [Progress Bar]

HBS: PM_DAF

Product Name: RW-5200-0250
 Antenna Type: Dual
 IP Address: 10.0.0.120
 Subnet Mask: 255.0.0.0
 Trap Destination: 0.0.0.0
 Rx Rate: 14.9 [Mbps]
 Tx Rate: 8.4 [Mbps]

Updates
 No connection to the server.

HSU Performance Metrics:

AT	IP	Location	RSS	Tput	Rb	Tx
PM AT_02	10.0.0.122	North 02	-65	3.2	21.1 [Mbps]	3.6 [Mbps]
PM AT_03	10.0.0.123	Location	-67	2.5	20.8 [Mbps]	2.9 [Mbps]
PM AT_01	10.0.0.121	North 01	-66	2.9	20.8 [Mbps]	5 [Mbps]

Events Log

Number	Date & Time	Message	Trap Source	IP
000001	24/08/2011 12:06:51 p.m.	Connected to SECTOR_01.	Internal	Internal
000002	24/08/2011 02:20:30 p.m.	Device unreachable!	Internal	Internal
000003	24/08/2011 02:21:52 p.m.	Connected to SECTOR_01.	Internal	Internal

Connection State: Available | Connection Mode: Network | IP Address: 10.0.0.120 | Products Family: RADWIN 5000 | Encrypted Link

Figura 75. Pantalla de gestión de los equipos

4 Capítulo IV. Protocolo de Pruebas

4.1 Introducción

Luego de finalizar la instalación física del sistema se hace necesario cumplir con el protocolo de pruebas propuesto por el fabricante para garantizar el correcto funcionamiento de las unidades y a futuro garantizar un buen desempeño de los enlaces.

El protocolo de pruebas consta de siete etapas, que se detallan a continuación:

- Test de conectividad.
- Link de instalación.
- Pruebas de IPERF.
- Pruebas de encendido y apagado.
- Conexión de unidades suscriptoras.
- Gestión remota de unidad base.
- Trafico entre base y suscriptora.

4.1.1 Test de conectividad

Permite confirmar la conectividad entre la IDU y la ODU tanto en la estación base como en la suscriptora, constituye el punto de partida para la instalación de los equipos e iniciar la comunicación entre las unidades.

4.1.2 Link de instalación

Asegura el correcto funcionamiento del programa de gestión proporcionado por el fabricante en cada los equipos, visibilizar las unidades suscriptoras en la pantalla del RADWIN Manager de la unidad base.

4.1.3 Pruebas de Iperf

Mide el performance del equipo en capacidad Full dúplex, usando el programa Iperf, esto simulara el funcionamiento del equipo en ambientes de altas capacidades donde se debe obtener el máximo rendimiento.

4.1.4 Pruebas de encendido y apagado

Comprueba el tiempo que tardan los equipos en restaura el servicio completamente después de apagado y encendido de cada unidad base o suscriptor por separado y luego juntas.

4.1.5 Conexión de unidades suscriptoras

Habilitar y deshabilitar la comunicación entre unidades suscriptoras, esta aplicación se puede utilizar cuando las unidades suscriptoras permiten a un mismo cliente y se puede permitir la comunicación entre las unidades.

4.1.6 Gestión remota de unidad base

Tomar la gestión de la base desde cualquiera de las unidades suscriptoras, esta prueba es muy útil porque no siempre se cuenta con personal para que gestione la base en sitio, la única forma de bloquear esta gestión es ingresar desde la base y bloquear a la unidad suscriptor.

4.1.7 Tráfico entre base y suscriptor

Habilitar y deshabilitar el tráfico que cursa en la unidad suscriptor desde la estación base, esta aplicación permite dar de baja a un cliente en el caso que sea necesario bloquearlo, por falta de pago o representa una amenaza para los demás usuarios.

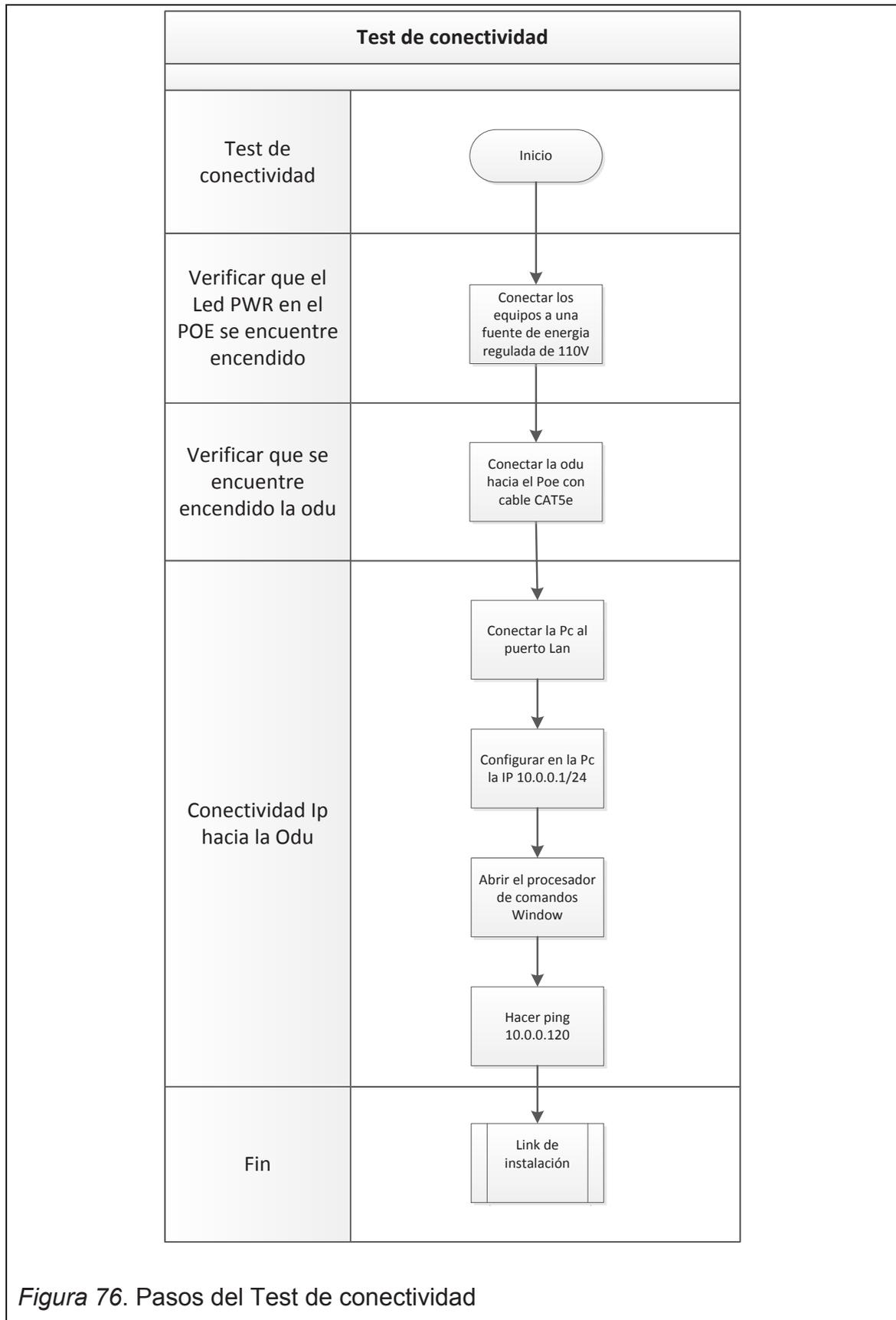


Figura 76. Pasos del Test de conectividad

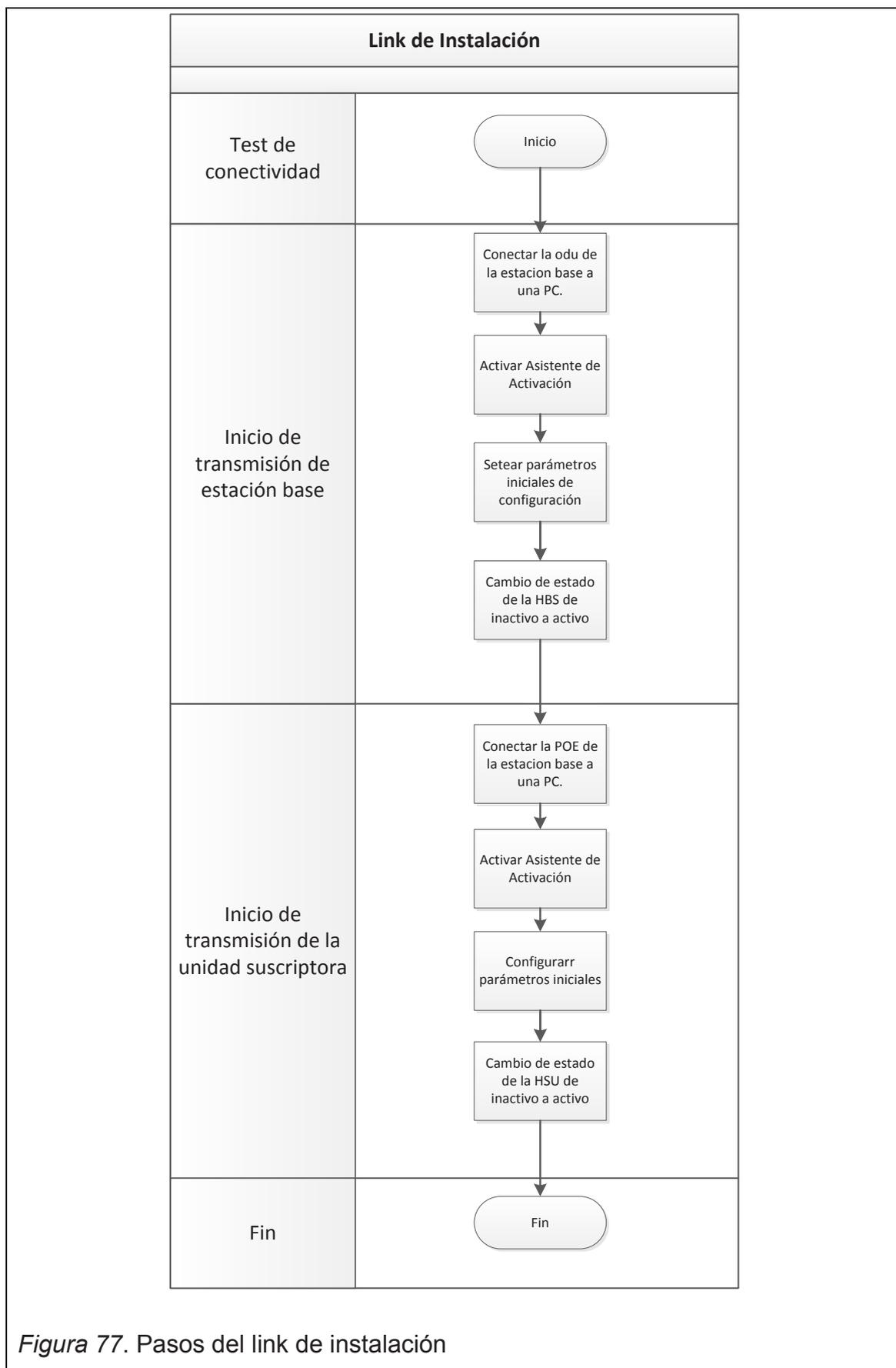
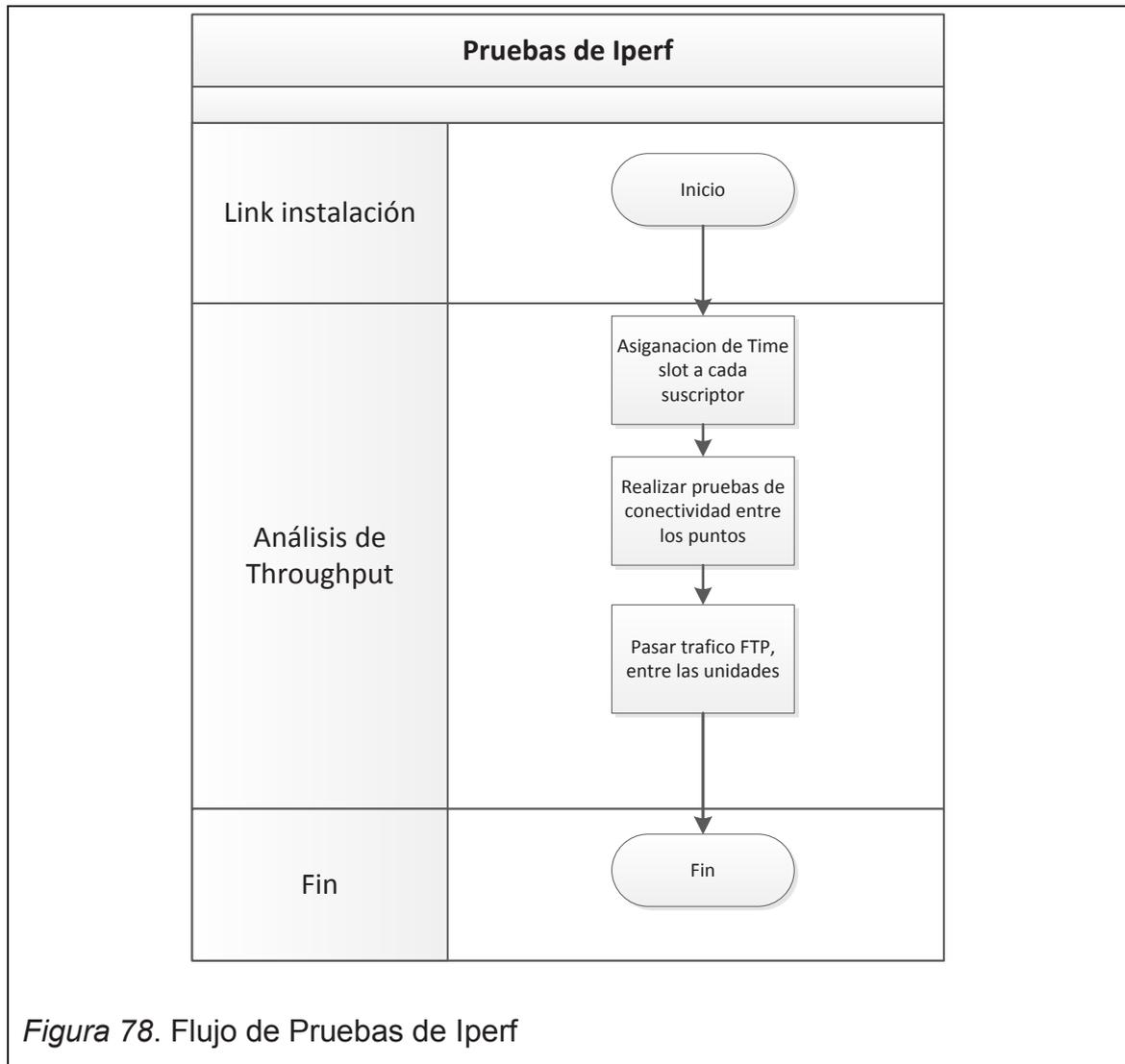


Figura 77. Pasos del link de instalación



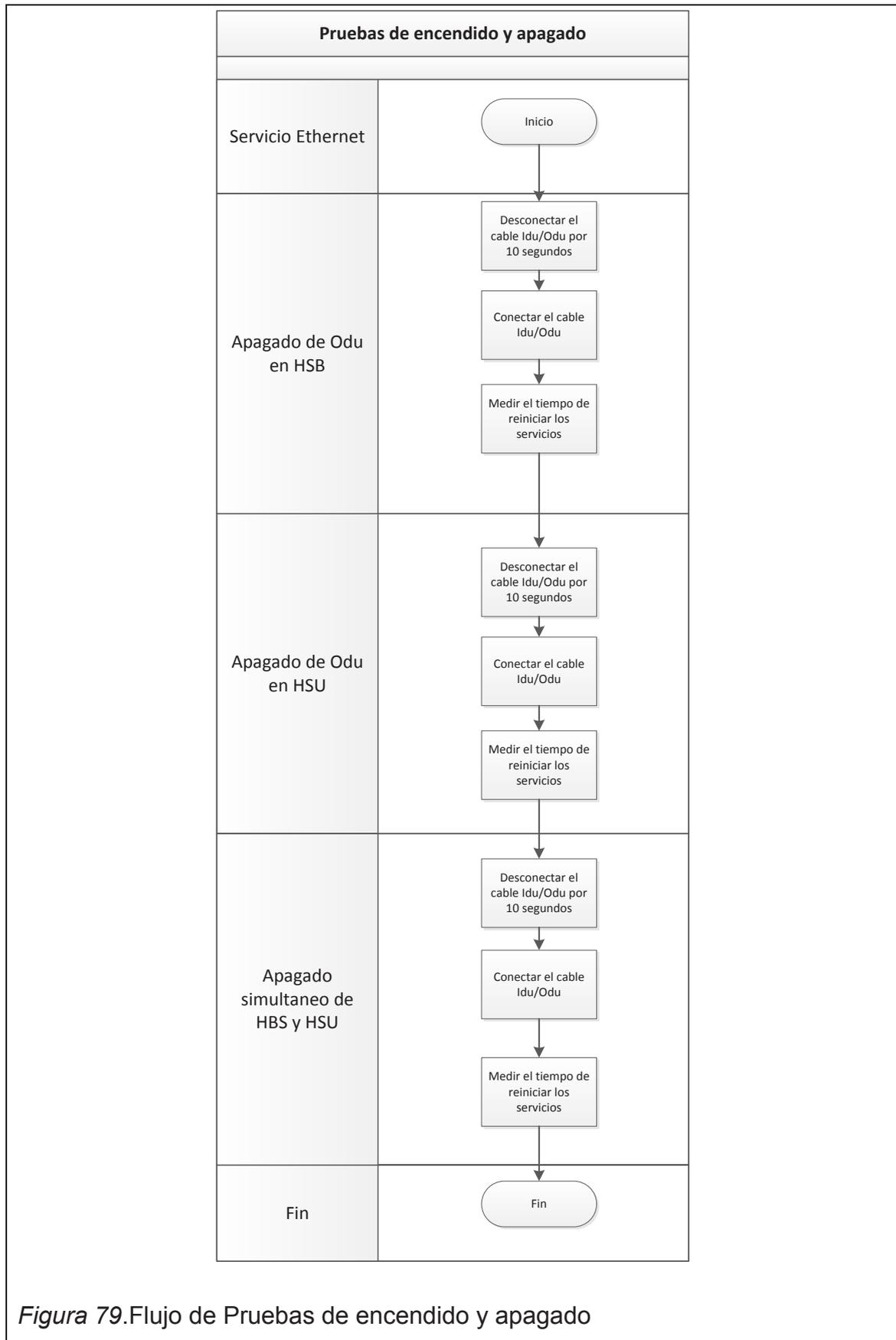


Figura 79. Flujo de Pruebas de encendido y apagado

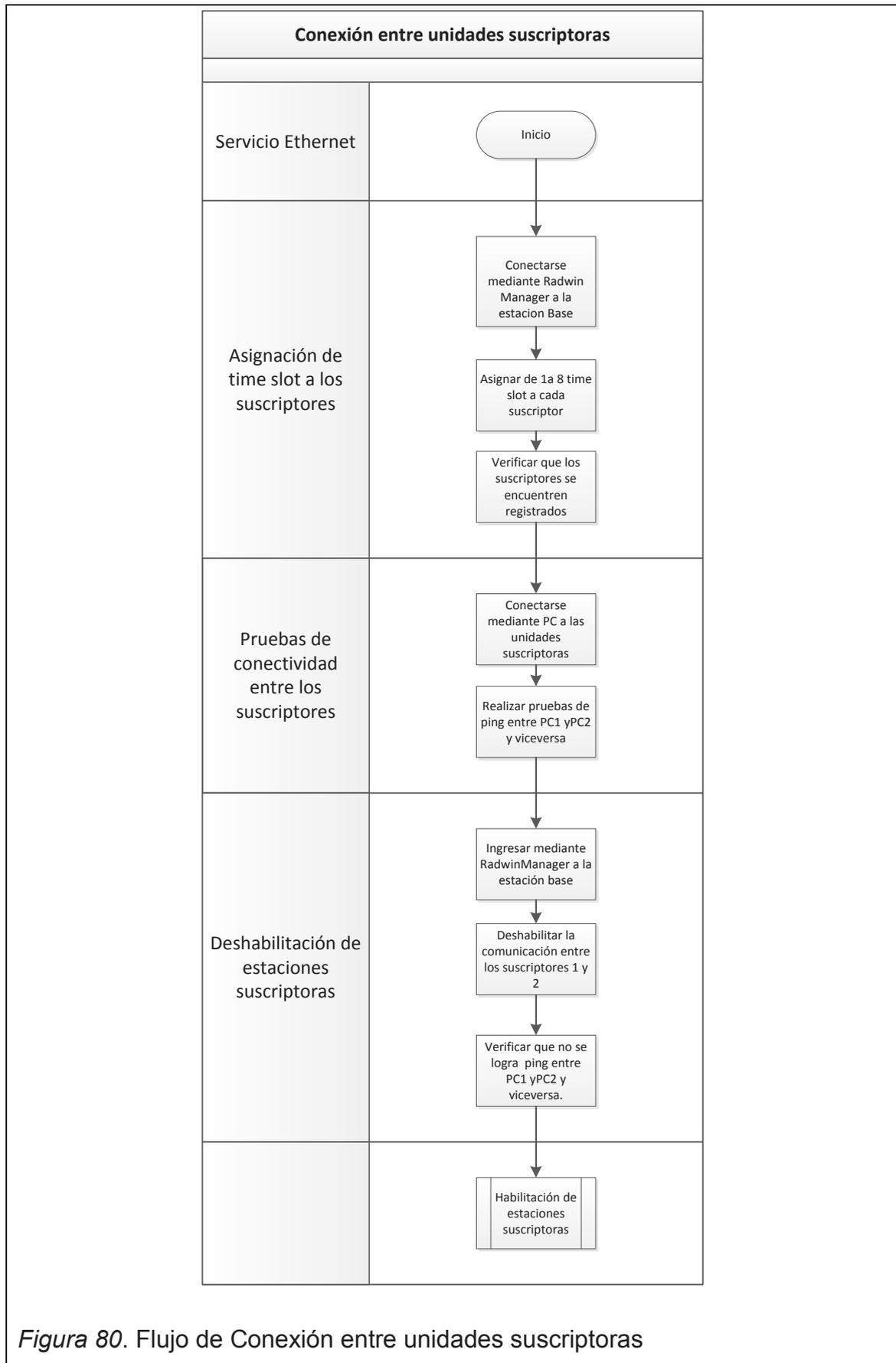
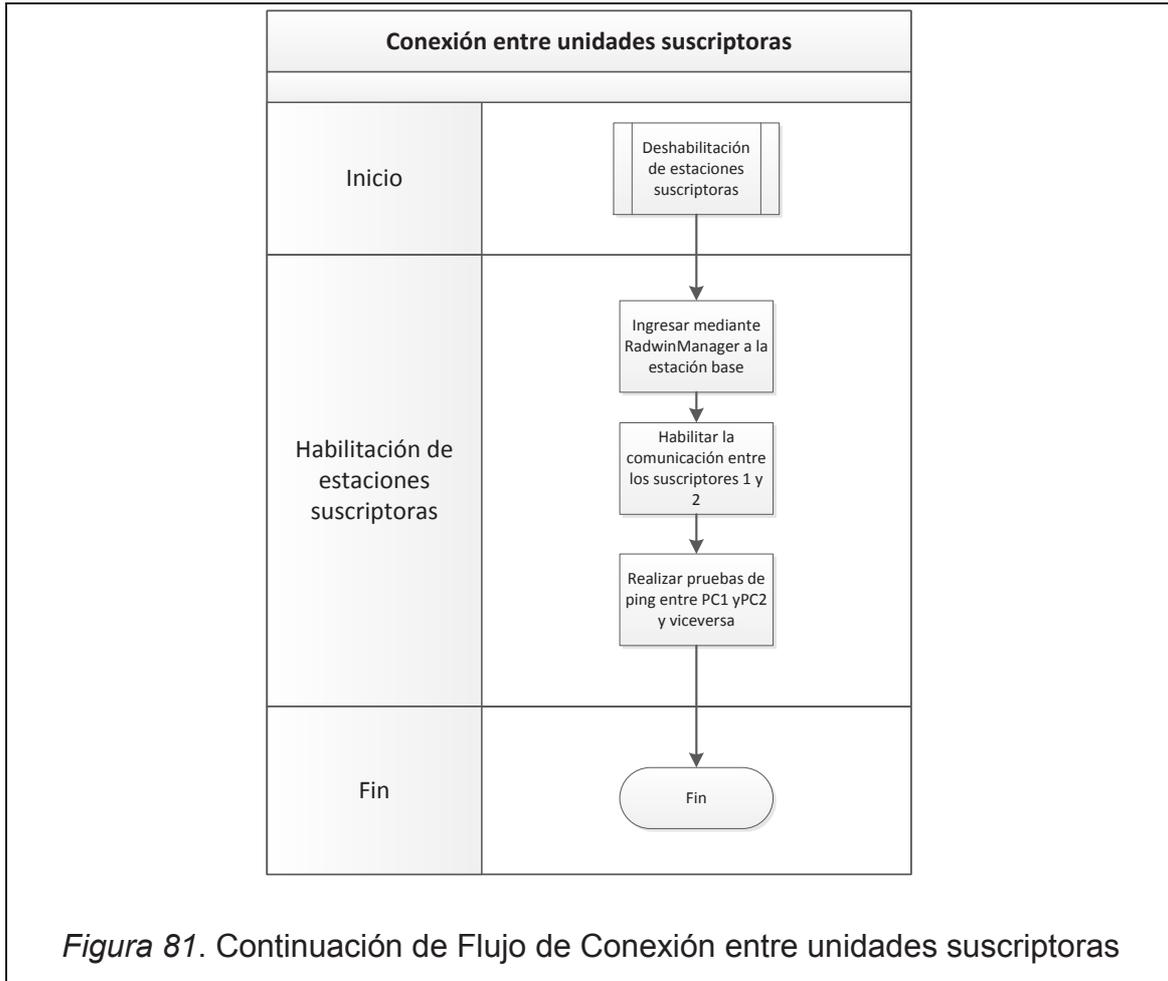


Figura 80. Flujo de Conexión entre unidades suscriptoras



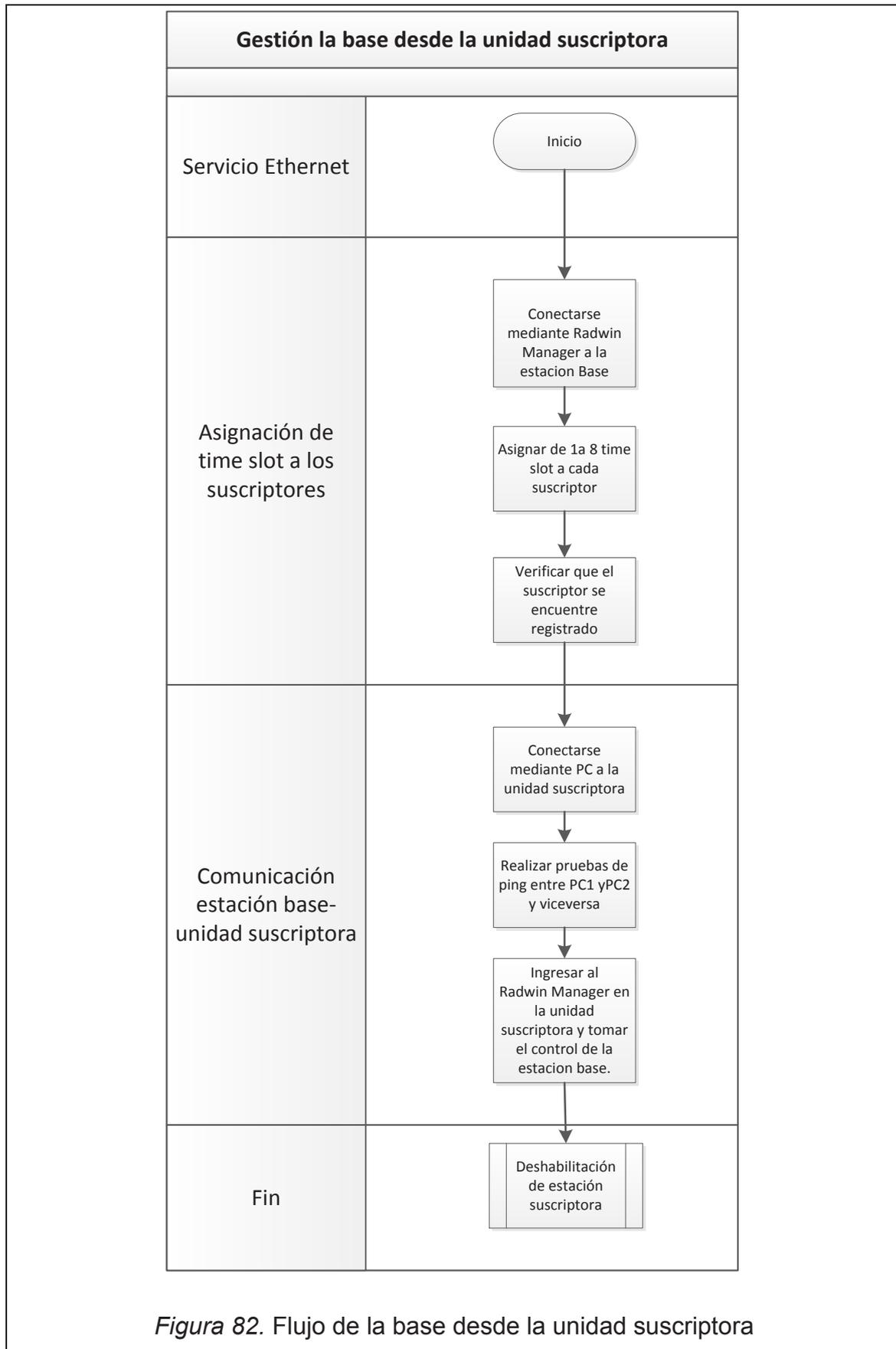


Figura 82. Flujo de la base desde la unidad suscriptor

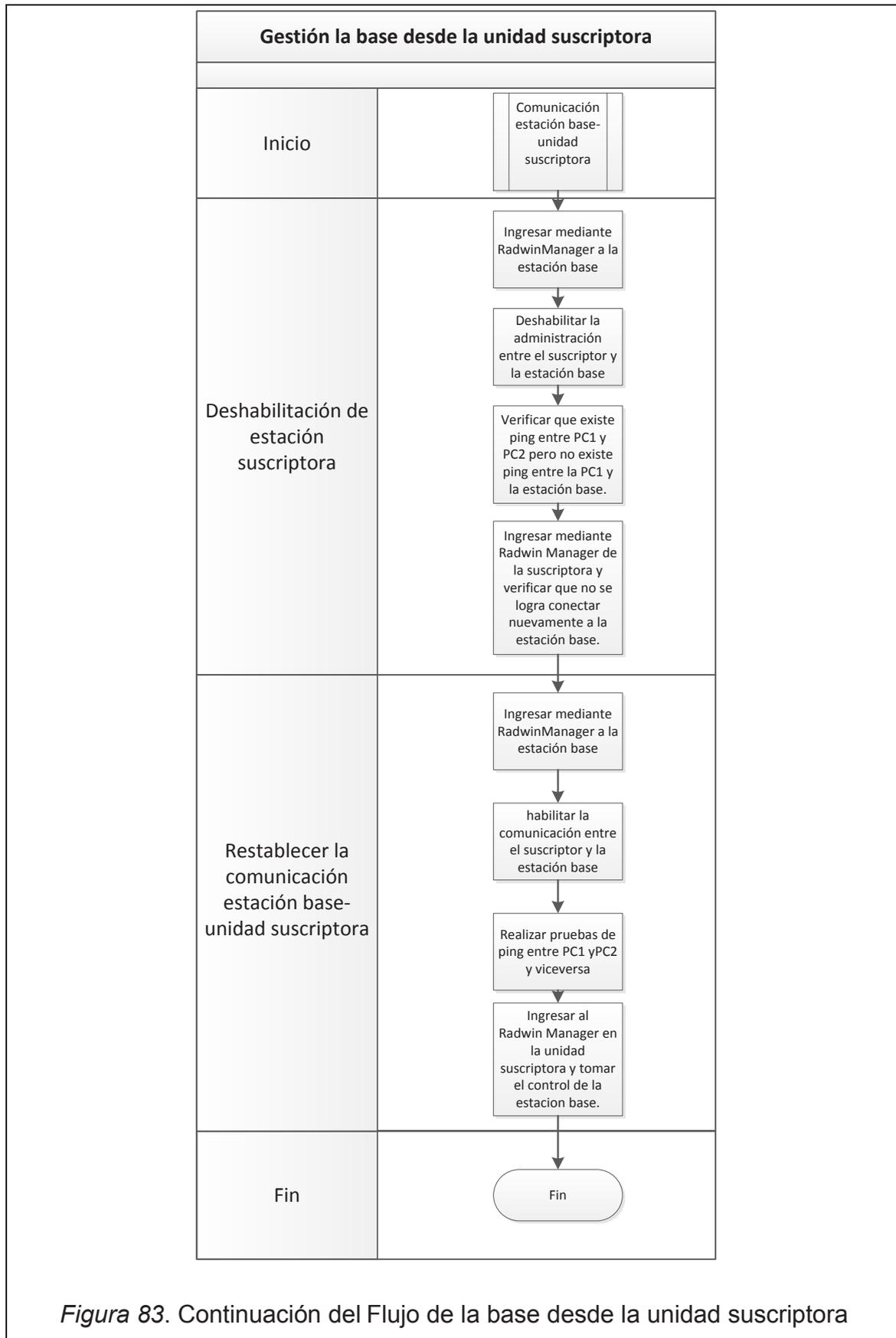


Figura 83. Continuación del Flujo de la base desde la unidad suscriptora

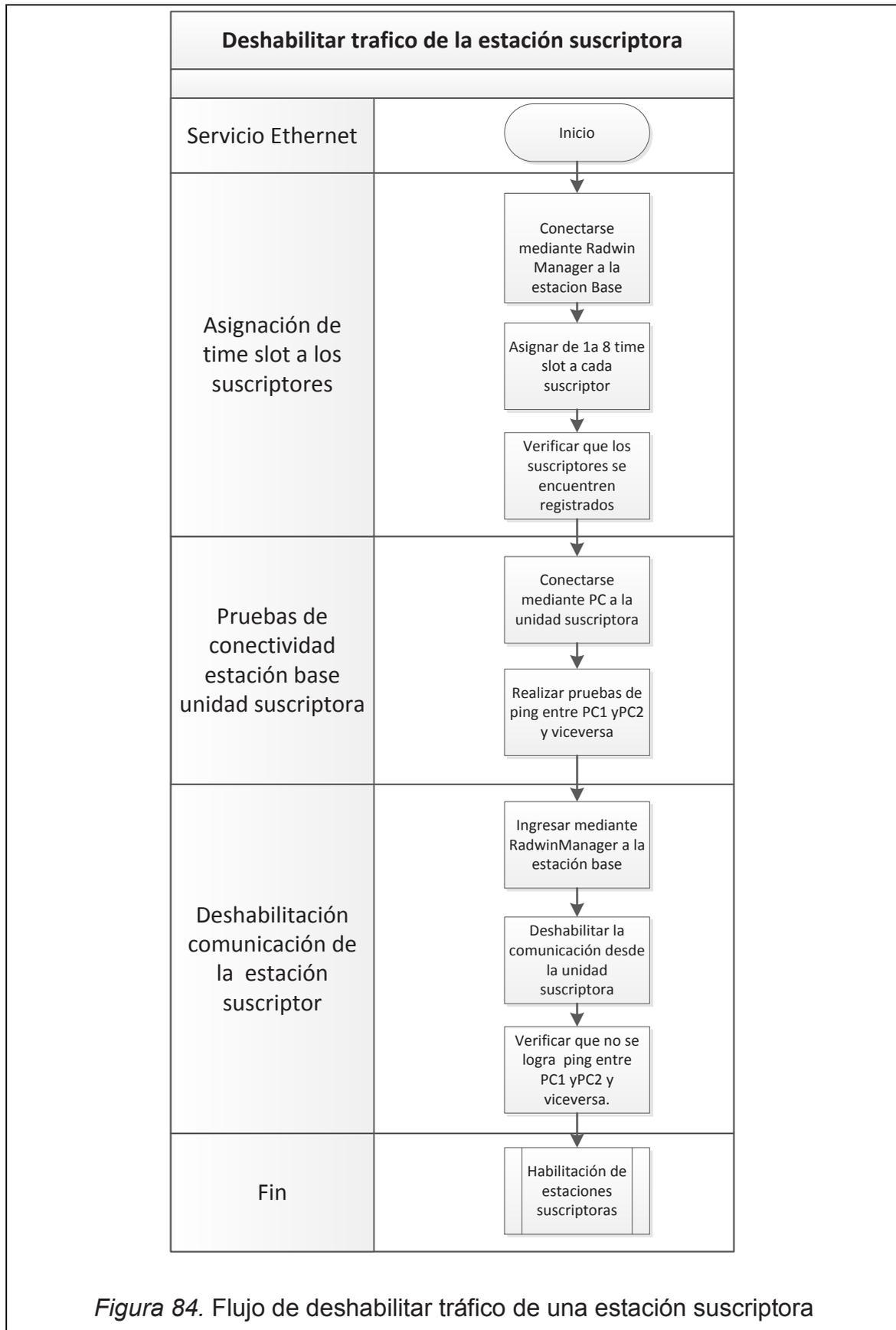
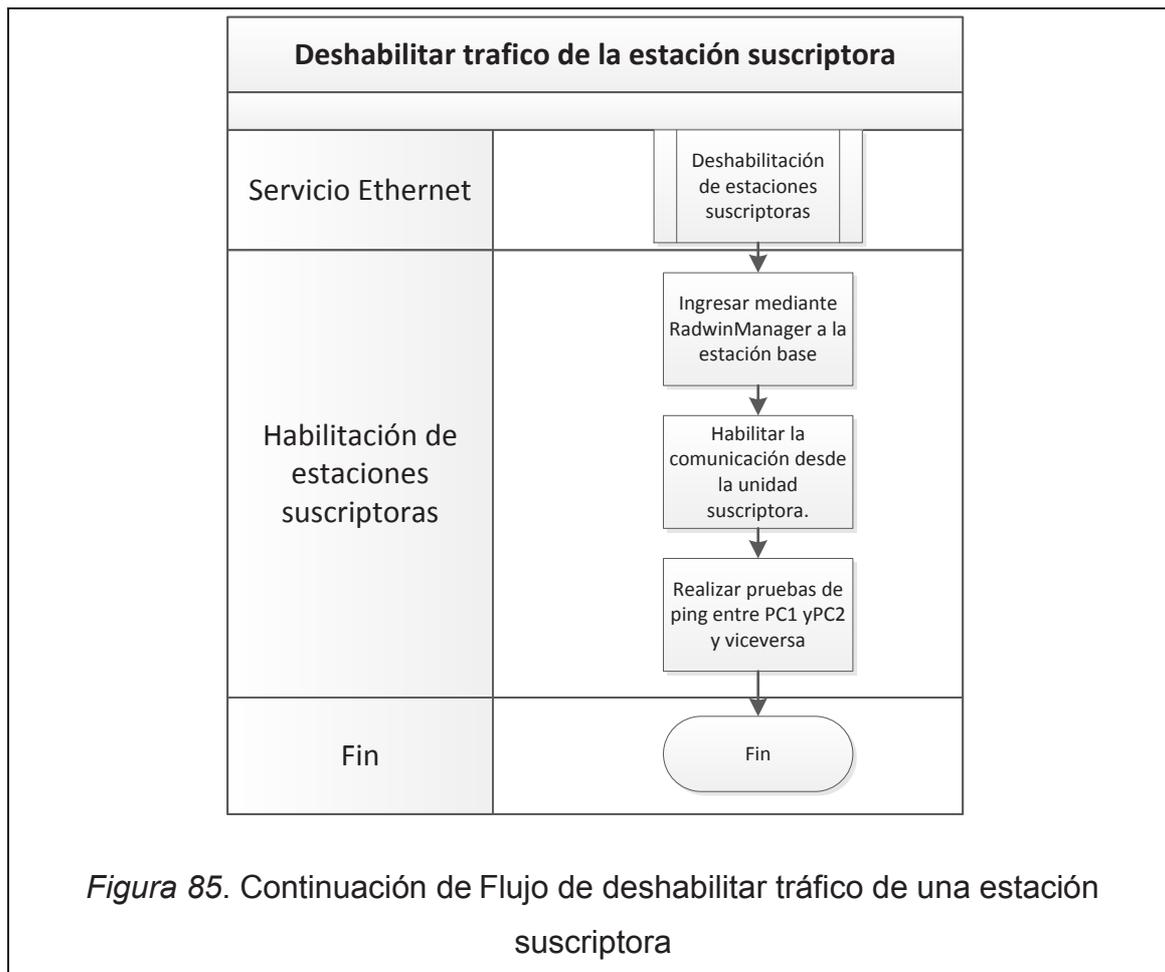


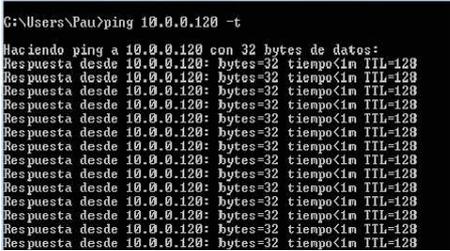
Figura 84. Flujo de deshabilitar tráfico de una estación suscriptor



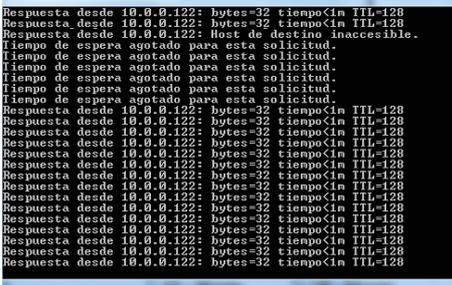
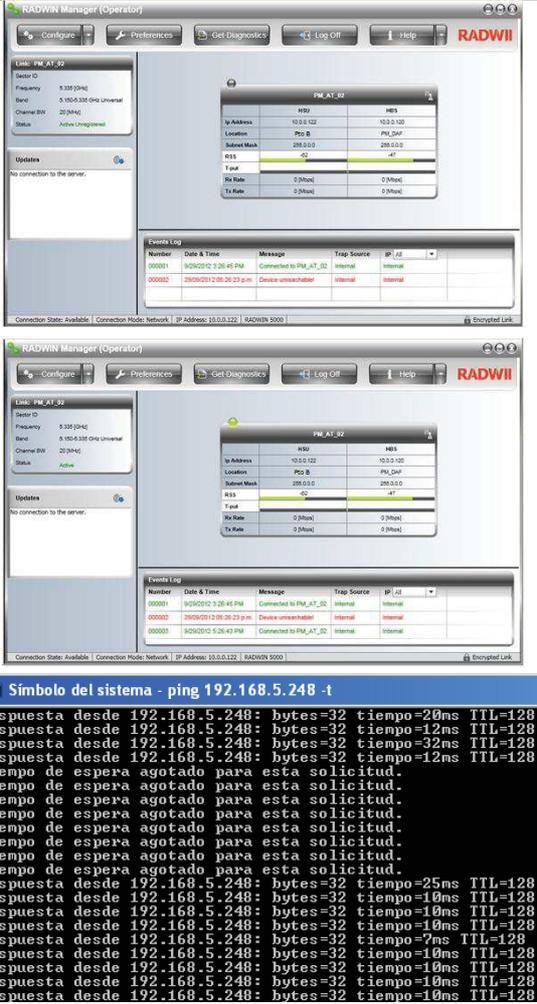
4.2 Pruebas y análisis de resultados

Luego de ejecutar cada uno de los pasos sugeridos por el fabricante se obtiene los resultados mostrados a continuación:

Tabla 15. Pruebas y análisis de resultados

Instrucciones y Resultados			
Fases		Resultados obtenidos	Analisis
Instalación física de los equipos.			
Test de conectividad			Los equipos se encienden sin novedad y le logra conexión desde la computadora hasta la odu.

Instrucciones y Resultados		
Fases	Resultados obtenidos	Análisis
<p>Link de instalación</p> 		<p>Se activa sin problema la estación base, las estaciones suscriptoras se enciende sin problema, todos los parámetros son satisfactoriamente, desde la estación base se registran las unidades suscriptoras sin problema.</p>
<p>Servicio Ethernet</p> 	<pre> C:\>iprf.exe -w 64240 [1880] local 192.168.5.106 port 5801 connected with 192.168.5.248 port 4843 Client connecting to 192.168.5.248, TCP port 5801 TCP window size: 62.7 KByte [1832] local 192.168.5.106 port 1792 connected with 192.168.5.248 port 5801 write failed: Software caused connection abort read on server close failed: Software caused connection abort [I] Interval Transfer Bandwidth [1832] 0.0- 2.3 sec 298 Kbytes 3.24 Mbits/sec [1880] 0.0- 2.6 sec 896 Kbytes 2.83 Mbits/sec C:\>iprf.exe -s -w 64240 "iprf.exe" no se reconoce como un comando interno o externo, programa o archivo por lotes ejecutable. C:\>iprf.exe -s -w 64240 Server listening on TCP port 5801 TCP window size: 62.7 KByte [1880] local 192.168.5.106 port 5801 connected with 192.168.5.248 port 4124 C:\>iprf.exe -w 64240 -c 192.168.5.248 -t 300 -d [1920] 239.0-239.0 sec 312 Kbytes 5.11 Mbits/sec [1920] 239.0-239.5 sec 280 Kbytes 4.59 Mbits/sec [I] Interval Transfer Bandwidth [1920] 239.0-240.0 sec 312 Kbytes 5.11 Mbits/sec [1920] 240.0-240.5 sec 280 Kbytes 4.72 Mbits/sec [1920] 240.5-241.0 sec 280 Kbytes 4.72 Mbits/sec [1920] 241.0-241.5 sec 290 Kbytes 5.74 Mbits/sec [1920] 241.5-242.0 sec 280 Kbytes 4.59 Mbits/sec [1920] 242.0-242.5 sec 312 Kbytes 5.11 Mbits/sec [1920] 242.5-243.0 sec 296 Kbytes 4.85 Mbits/sec write failed: Connection reset by peer read on server close failed: Connection reset by peer [1920] 0.0-243.0 sec 138 Mbytes 4.77 Mbits/sec C:\>iprf.exe -w 64240 -c 192.168.5.248 -t 300 -d Server listening on TCP port 5801 TCP window size: 62.7 KByte Client connecting to 192.168.5.248, TCP port 5801 TCP window size: 62.7 KByte [1860] local 192.168.5.106 port 1797 connected with 192.168.5.248 port 5801 </pre>	<p>El HSU-1 se configura con 4 time slots, la PC conectado al HBS se configura con la IP 192.168.5.248, la PC conectado al HSU -1 se configura con la IP 192.168.5.106, Se levanta servidor y cliente en Iperf y se realiza las pruebas satisfactoriamente, mostrándose un throughput de 4.77 Mbps.</p>
<p>Test de encendido-apagado</p> 	<pre> C:\> Símbolo del sistema - ping 10.0.0.120 -t Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=54ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=39ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=38ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=35ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=35ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=52ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=51ms TTL=64 Tiempo de espera agotado para esta solicitud. Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=15ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=7ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.120: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.122: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.122: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.122: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.122: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.122: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.122: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64 Tiempo de espera agotado para esta solicitud. Respuesta desde 10.0.0.122: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64 Respuesta desde 10.0.0.122: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64 </pre>	<p>Al realizar el encendido y apagado de la unidad base y suscriptor primero alternadas y luego juntas se verifica que se enganchan sin problema en ninguno de los casos</p>

Instrucciones y Resultados		
Fases	Resultados obtenidos	Análisis
<p>Conectividad entre unidades</p> 		<p>Desde la unidad base se permite el tráfico entre las unidades suscriptoras, mientras el tráfico se bloquea y desbloquea se observa que existe pérdida de comunicación, pero esta se reestablece sin problema</p>
<p>Habilitar tráfico</p> 		<p>Al iniciar la prueba se verifica que la unidad suscriptor se encuentra sincronizada con la estación base, cuando se bloquea al Punto B desde la estación base se observa que esta pierde la conexión, en la pantalla del RADWIN Manager se observa el estatus Active Unregistered que significa que a pesar de tener todos los parámetros adecuadamente no tiene la autorización desde la base para conectarse, al desbloquear al Punto B desde la estación base se observa que se recupera la comunicación sin problema.</p>
<p>Fin</p> 		

5 Capítulo V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Con la realización de la presente investigación se comprobó que OFDM presenta una alta eficiencia del espectro, todo el sistema diseñado trabajo específicamente con la frecuencia de 5735 GHz, considerando que cada unidad base permite hasta 16 unidades suscriptoras esto permitirá un eficiente uso de frecuencias en los nodos de prestadores de servicios de telecomunicaciones.
- Considerando que en un enlace punto a punto se debe instalar equipos en el nodo y en el cliente lo que implicaría espacio en la torres para cada antena y en el cuarto de equipos igual número de unidades de rack, con la utilización de un sistema multipunto se puede concentrar varios equipos en unos solo lo que implicaría mayores enlaces por nodo.
- Cuando un sistema multipunto se encuentra en marcha añadir una nueva unidad suscriptora implica únicamente la instalación física de en un solo lado reduciendo a la mitad el de tiempo de instalación.
- El sistema multipunto presenta alta resistencia a la interferencia de radio frecuencia RF se interfiere únicamente con otros equipos RADWIN porque trabaja con protocolos propietarios del fabricante.
- MIMO-OFDM permite a los proveedores de servicios de telecomunicaciones desplegar redes de banda ancha por medio de accesos inalámbrico a sitios donde la zona de *Fresnel* se encuentra obstruida, porque se aprovecha que las señales electromagnéticas poseen similares propiedades a la luz como son refracción, difracción, lo que implica que las señales de radio rebote contra edificios, árboles y cualquier superficie que se encuentre en el camino, el efecto rebote produce varios ecos o imágenes de la señal que al momento de llegar al lugar de destino pueden ser receptadas de mejor manera por la doble polaridad de las antenas MIMO.

- Con un enlace multipunto se puede lograr una optimización de direcciones IP, se puede utilizar una máscara de 27 para las redes WAN de todos los enlaces suscriptores.
- Los enlaces multipunto mejoran la versatilidad y la funcionalidad de los puntos de acceso WLAN convencional mediante la ampliación de servicio de forma inalámbrica como una alternativa o una adición a las conexiones por cable.
- La solución propuesta en el presente trabajo de investigación, es un excelente generador de ingresos para portadoras y proveedores de servicios de Internet porque se enfoca en brindar conectividad de última milla a empresas y ofrecer a usuarios finales un acceso a banda ancha de alta capacidad.
- En una instalación de equipos de telecomunicaciones, la correcta puesta tierra tanto en la estación base como en las suscriptoras debe garantizar valores mínimos de voltaje y resistividad para evitar el daño progresivo de los equipos y en ocasiones degradación de la calidad de la del enlace.
- El levantamiento adecuado de la información es fundamental, constituye el punto de partida para realizar un diseño adecuado y obtener un panorama global de los recursos necesarios para la puesta en marcha de cada uno de los enlaces.
- El uso de sistemas punto multipunto permite una mayor penetración de MDBA (Modulación Digital de Banda Ancha) en sitios de difícil acceso con redes ADSL, lo que logra una reducción de la brecha digital en nuestro medio.
- Los sistemas punto multipunto son tecnologías de última milla con grandes ventajas, sin embargo en nuestro medio la fibra óptica sigue siendo la más utilizada y en algunos casos podría ofrecer mejores tiempos de respuesta.
- Los equipos con tecnología OFDM ayudan a las empresas a evitar los altos costos de instalación de cable, a eliminar rentas mensuales o cargos por licenciamiento. Son la solución ideal en distancias medias de

hasta 20 Km aproximadamente, que tengan aplicaciones con información punto a punto, multipunto, acceso de alta velocidad a Internet, extensiones de LAN/WAN, Videoconferencia, Telefonía, Telemetría, Control, etc.

- En los enlaces de microondas existe la posibilidad de reutilizar los equipos en el caso de que un suscriptor ya no requiera el servicio, los mismos equipos pueden ser utilizados en otro sitio, en el caso que se lo requiera,
- La solución OFDM /MIMO P-MP es de alta capacidad porque brinda 200 Mbps por sector, por lo que abre nuevas oportunidades de servicio a operadores y proveedores de servicios de Internet interesados en ofrecer a empresas conectividad de última milla

5.2 Recomendaciones

- Al realizar la inspección física preliminar se debe evaluar la distancia más corta entre la antena y IDU para que las pérdidas por cables y conectores tiendan a cero.
- Las antenas no deben ser instaladas cerca de superficies conductoras para que las ondas no se reflejen directamente y provoquen una pérdida considerable en el sistema.
- Para medir de manera adecuada el azimut calculado el momento de la instalación se debe llevar una brújula que ayudara para lograr una mejor orientación y adecuado apuntamiento de la antena.
- Un adecuado sistema de tierra conjuntamente con pararrayos garantizan el funcionamiento adecuado del sistema punto multipunto.
- La solución planteada en el presente estudio es exclusivamente para última milla, en el caso de requerir enlaces de backbone se debería recurrir a los enlaces tradicionales punto a punto de alta capacidad.
- A pesar de que los parámetros del equipo indican que tiene una capacidad máxima de 16 unidades suscriptoras en recomendable no llegar a este número para logran un rendimiento adecuado de los equipos.

- En el momento de realizar la instalación física de los equipos se debe tener el equipamiento básico para el trabajo en alturas como son: línea de vida, arnes, eslingas, mosquetones, cuerdas.
- Las soluciones punto-multipunto constituyen una reducción en el tiempo de instalación, lo que representa clientes satisfechos y a la larga constituyen ganancia para el proveedor de servicios.

Referencias

Alcatel para Fundación AUNA. (s.f.). Tecnologías para comunicación de datos y multimedia. *Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks*.

Caballar Falcon, J. (2007). *WI-FI. INSTALACIÓN, SEGURIDAD Y APLICACIONES*. Madrid: RA-MA EDITORIAL.

Colorado, J., Ramirez, L., & Quintero, E. (2012). *Sistema de transmisión de información sobre*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Couch, W. (2008). *Sistemas de comunicacion digitales y analogicos* (Séptima ed.). Florida, Usa: Prentice Hall.

ETSI European Telecommunications Standards Institute. (2000). *Rules for the co-existence of point-to-point and point-to-multipoint systems using different access methods in the same frequency band*. Londres: ETSI.

Haykin, S. (2001). *Communication Systems*. John Wiley & sons, Inc.

Moreno, M. (2009). *TECNOLOGIA DE RED DE ACCESO XDSL OFDM*. Caracas.

RADWIN. (2011). *RADWIN 5000 HPMP Data Sheet*.

Stalling, W. (2009). *Comunicaciones y de redes de computadores*.

Telefonica de España. (2000). *Introduccion a la telematica y a las redes de datos*. Madrid.

Thorpe, C. (1998). *OFDM Wireless Systems Simulation Using*.

Tomasí, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas* (Cuarta ed.). Mexico: Pearson Hall.

ANEXOS

ANEXO 1



RADWIN 5000 HPMP
HIGH CAPACITY
POINT-TO-MULTIPOINT

RIDE THE RADWIN 5000 HPMP WIRELESS HIGHWAY

The RADWIN 5000 high-capacity Point-to-Multipoint (HPMP) solution delivers up to 250 Mbps per sector. It is the ideal choice for last mile enterprise connectivity, high-end applications that require guaranteed bandwidth per subscriber and mobile connectivity for vehicles in motion.

RADWIN 5000 HPMP HIGHLIGHTS

- » Up to 250 Mbps per base station sector
- » Fixed, Nomadic and Mobility capabilities for vehicles in motion
- » Variety of subscriber units – 5, 10, 25, 50, 100 Mbps
- » Upgrade subscriber units' capacity via a software key
- » Small form factor MIMO subscriber units
- » OFDM, MIMO 2x2 / Diversity enables real NLOS deployment
- » Low and constant latency
- » Long range – 40 Km / 25 miles
- » Supporting Multiband : 2.3-2.4 or 2.5-2.7 or 3.3-3.8 or 4.9-6.0 or 5.9-6.4 GHz in the same unit
- » Coexists with RADWIN's Point-to-Point solutions

RADWIN 5000 HPMP MOBILITY CAPABILITIES OFFER

- » Up to 100 Mbps per base station sector & mobile unit
- » High speed - up to 200 Km/h
- » Long range coverage of up to 10 Km / 6 miles

RADWIN 5000 HPMP APPLICATIONS

CARRIERS & ISPS

RADWIN 5000 HPMP is an excellent revenue generator for carriers and ISPs that are looking to deploy last mile enterprise connectivity and deliver high-capacity broadband access to end users. Carriers can leverage RADWIN 5000 HPMP high capacity capabilities and NLOS outstanding performance to backhaul wireless and landline access systems such as Wi-Fi hot spots, 3G/LTE small cells and DSLAMs.

GOVERNMENT & ENTERPRISE NETWORKS

RADWIN 5000 HPMP offers exclusive wireless broadband infrastructure for government and enterprise networks to dramatically reduce their total cost of ownership when implementing the following applications:

- » Connectivity of high resolution video surveillance
- » Wide range inter-office connectivity
- » Mission critical broadband applications

BROADBAND MOBILE NETWORKS FOR VEHICLES IN MOTION

RADWIN 5000 Mobility solution offers powerful, easy-to-deploy base stations that guarantee high capacity connectivity to ruggedized mobile units mounted on vehicles, trains and vessels.

RADWIN 5000 Mobility applications include:

- » Perimeter security - video transmission to and from patrol vehicles
- » On-board video surveillance & Internet access for public transportation
- » Oil Rigs to Ships - video & data connectivity
- » Remote control of heavy machinery for mines and ports

“RADWIN 5000 operates in the toughest conditions, including non line-of-sight scenarios. The subscriber units are lightweight and unobtrusive and the installation was carried out easily.”

Eamonn O'Donnell, President
Bandwidth Telecommunications
Ireland

“What we love about RADWIN 5000 is that it provides up to 100 Mbps full duplex throughput at a great price.”

Robert van Kempen
President, WiFi4All
Netherlands

“The RADWIN 5000 high-capacity systems allow us to connect businesses with guaranteed bandwidth. They also have a small footprint and low power usage, making them the perfect fit for our needs.”

Stefan Englhardt
COO Genias
Germany

Product Key Benefits

Highest Base Station Capacity for the Best User Experience

RADWIN 5000 HPMP base station supports up to 250 Mbps per sector, delivering high capacity over a single radio unit. Together with high-capacity subscriber units (HSUs), RADWIN 5000 HPMP enables service capacity of up to 100 Mbps per subscriber.

Greater Spectrum Efficiency for Faster ROI

RADWIN 5000 HPMP provides the highest spectrum efficiency available (above 6 bps/Hz) in the Point-to-Multipoint sub-6 GHz arena for greater throughput over narrower channel bandwidth.

Secured Service Level Agreement (SLA) for Demanding Applications

RADWIN's Smart Bandwidth Management (SBM) maximizes throughput for active users; yet, when the base station is congested, SBM assures user bandwidth per subscription agreement to uniquely guarantee SLA.

Superb Performance in Harsh Conditions

RADWIN 5000 HPMP incorporates advanced interference mitigation techniques that assure superior operation in harsh conditions in licensed or unlicensed bands. Combined with OFDM, MIMO 2x2 and antenna diversity, RADWIN 5000 HPMP establishes robust link performance in nLOS /NLOS deployments.

Full Span of Asymmetric Traffic

RADWIN 5000 can deliver more than 90% of channel traffic in either an uplink or downlink direction. This capability is ideal for full asymmetrical applications (e.g. video surveillance, IPTV) as well as for symmetrical traffic.

Multi-Band Capabilities - All in a Single Unit

RADWIN 5000 HPMP radios support an extensive range of frequency bands in the same unit for flexible radio planning.

Low Visual Impact Subscriber Units

RADWIN 5000 HPMP offers a variety of HSUs, some guaranteeing exceptionally low visual impact due to the small form factor integrated MIMO antenna.

TDD Synchronization, Enabling Dense Deployments with Maximum Performance

RADWIN 5000 base station enables TDD synchronization of all collocated sectors within a site and between base stations located in different sites. This synchronization prevents mutual interference between closely situated radio units and saves tower space and spectrum.

Co-Exist with RADWIN PtP

RADWIN 5000 HPMP and RADWIN Point-to-Point solutions create complimentary TDD synchronized solutions for last mile and backhaul deployments using the same RADWIN Network Management System (RNMS).

Broadband Mobility for Vehicles in Motion

Offering long range coverage, unmatched capacity and simple installation, RADWIN 5000 Mobility solution enables an extremely cost effective deployment for a wide variety of bandwidth-demanding applications for vehicles in motion.

RADWIN 5000 HPMP Components

RADWIN 5000 HPMP base station and subscriber units comply with IP67 for effective deployment in harsh conditions. Supporting multi frequency bands, 2.3 to 6.4 GHz, these units comply with a variety of regulations: ETSI, FCC, IC (Canada) WPC (India) and MII (China). All radio units consume low power and are fed through a PoE device.



HBS – High Capacity Base Stations

HBS is a high capacity OFDM / MIMO 2x2 outdoor base station unit that can cover a single sector in MIMO mode, using dual polarized antenna, or dual sectors when working with two single-polarized antennas. RADWIN HBS portfolio supports fixed and nomadic applications, providing varying levels of capacity: 250, 100, 50Mbps, and a low visual impact HBS delivering 25 Mbps.

A specialized HBS unit supports mobility applications for vehicles in motion, supporting up to 100 Mbps.

HSU – High Capacity Subscriber Units

RADWIN 5000 HPMP provides a variety of high capacity subscriber units (HSUs) that deliver 5, 10, 25, 50 and 100 Mbps for fixed and nomadic applications. The capacity of the units can easily be upgraded from 5 to 25 Mbps via a software key. This enables low initial investment while securing further capacity growth.

Four types of models are available:

HSU with Integrated MIMO Antenna

This low visual impact HSU model includes a dual polarized MIMO antenna that is attached to the radio unit for easy installation.



Connectorized HSU for External Antennas

This low visual impact HSU model includes dual connectors for a high gain external antenna that enables long range, high-capacity deployments.



HSU with Integrated MIMO Antenna for Video Cameras

This HSU model includes a dedicated PoE port for video camera connectivity together with an integrated antenna and AC power feed. The unit simplifies and reduces the costs of video camera installations.



High Capacity Mobile Subscriber Unit (HMU)

The HMU is built for mobile applications such as deployments on vehicles and vessels. This model includes dual connectors for Omni Directional antennas.

Product Specifications

Capacity

	Base Station					Subscriber units						
	HBS 5025	HBS 5050	HBS 5100	HBS 5200	HBS 5800	HSU 505	HSU 510	HSU 610	HSU 520	HSU 525	HSU 550	HMU 5700
Maximum Net Aggregate Capacity	25 Mbps	50 Mbps	100Mbps ⁽¹⁾	250 Mbps	100 Mbps	5 Mbps	10 Mbps	10 Mbps	25 Mbps	25 Mbps	50 Mbps	100 Mbps
Mobility Support					✓							✓

Frequency Bands & Antenna Configurations

2.5 - 2.7 GHz			Con.						Int. 19dbi Con.			
3.3 - 3.8 GHz			Con.				Int. 22 or 13dbi Con.		Int. 22dbi Con.	Int. 13dbi Con.	Int. 22dbi Con.	
4.9 - 6.0 GHz	Int. 90°	Int. 90° Con.		Con.	Con.	Int. 15dbi Con.	Int. 15dbi Con.	Int. 15dbi	Int. 23dbi	Int. 15dbi Con.	Int. 23dbi Con.	Con.
5.9 - 6.4 GHz			Con.				Int. 24dbi Con.		Int. 24dbi Con.		Int. 24dbi Con.	
2.3 - 2.4 GHz		Con.		Con.		Int. 13dbi Con.					Int. 19dbi Con.	
PoE Out	IEEE 802.3af								✓			

Con. - Connectorized unit; Int. - Integrated Antenna

Note 1: 250Mbps for 3.4-3.7GHz in ETSI regulation

Radio

Number of HSUs per HBS	Up to 32 HSUs or HMUs simultaneously
Range	Up to 40 Km / 25 miles
Frequency Bands	Multiband radio supporting 4.9 to 6 GHz or Multiband 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 / HMU
Spectrum Viewer	Supported at HBS & HSU / HMU
Max Tx Power	25 dBm at HBS & HSU / HMU
Duplex Technology	TDD
TDD Synchronization	Inter & Intra site synchronization (co-existence with RADWIN PtP)
Encryption, US Security	AES 128, FIPS-197

Interfaces

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

Networking

Sub convergence layer	Layer 2
QoS	Supported Packet classification to 4 queues according to 802.1p and Diffserv
VLAN	Supported 802.1Q, 802.1P, QinQ

Management

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

Mechanical

ODU Dimensions	HBS 5200, 5100, 5050 connectorized: 19.5(w) x 27.0(h) x 8.0(d) cm HBS 5050 with integrated antenna: 20(w) x 50(h) x 14(d) cm HBS 5025 with integrated antenna: 24.1(w) x 19.7(h) x 8.3(d) cm HSU 5.x, 2.x GHz 505, 510, 525 connectorized: 17.1(w) x 19.6(h) x 7.2(d) cm HSU 5.x, 2.x GHz 505, 510, 610, 525 with integrated antenna: 24.1(w) x 19.7(h) x 7.7(d) cm HSU 3.x, 2.5, 6.4GHz 510, 520, HSU 550 connectorized: 19.5(w) x 27.0(h) x 8.0(d) cm
-----------------------	--

ODU Weight	HBS 5200, 5100, 5050 connectorized: 1.8 kg / 3.6 lbs HBS 5050 with integrated antenna: 1.7 kg / 3.5 lbs HBS 5025 with integrated antenna: 2.2 kg / 4.8 lbs HSU 5.xGHz 505, 510, 525 connectorized: 1.1 kg / 2.4 lbs HSU 5.xGHz 505, 510, 525 with integrated antenna: 1.3 kg / 2.8 lbs HSU 3.x, 2.5, 6.4 GHz 510, 520, HSU 550 connectorized: 1.8 kg / 3.6 lbs
-------------------	---

Power

Power Feeding	Power provided over PoE interface
Power Consumption	HBS <25W HSU520,550, HMU < 20W HSU505, 510, 525, 610<12W

Environmental

Operating Temperatures	-35°C to 60°C / -31°F to 140°F
Humidity	100% condensing, IP67

Radio Regulations

FCC	FCC 47CFR, Part 15, Subpart C and Subpart E , FCC 47CFR, Part 90, Subpart Y, FCC 47CFR, Part 90 Subpart Z – Restricted Mode, 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

Safety

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

EMC

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

About RADWIN

RADWIN provides a complete wireless offering for the Sub 6 GHz domain. Recognized as the market leader, RADWIN provides competitively priced products that deliver unmatched reliability, flexibility and installation simplicity. RADWIN's solutions serve multiple applications including broadband access, backhaul connectivity, private networks and wireless broadband in motion. RADWIN's solutions are deployed in over 150 countries around the world by Tier 1 service providers, carriers and private and public organizations.

Corporate Headquarters

+972.3.766.2900
sales@radwin.com
www.radwin.com

ANEXO 2

RESOLUCION-TEL-560-18-CONATEL-2010
EL CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CONATEL

CONSIDERANDO:

Que, los artículos 261, 313 y 408 de la Constitución de la República determinan la potestad del Estado para administrar, regular, controlar y gestionar el espectro radioeléctrico como un sector estratégico, de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado; lo cual también se encuentra establecido en el artículo 47 del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, que señala que el Espectro Radioeléctrico es un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del Estado; en consecuencia es inalienable e imprescriptible;

Que, de conformidad con lo señalado en el artículo innumerado primero del artículo 10 de la Ley Reformatoria a la Ley Especial de Telecomunicaciones, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones es el ente de Administración y Regulación de las telecomunicaciones en el país;

Que la Nota 5.150 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT,, establece que las bandas 902 - 928 MHz, 2400 - 2500 MHz y 5725 - 5875 MHz están asignadas para aplicaciones industriales, científicas y medicas (ICM);

Que como parte de las Resolución 229 de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2003 (CMR-03), celebrada en Ginebra, se estableció la utilización de las bandas 5150-5250 MHz, 5250-5350 MHz y 5470-5725 MHz para el servicio móvil para la implementación de Sistemas de Acceso Inalámbrico (WAS), incluidas las redes radioeléctricas de área local (RLAN);

Que el artículo 42, letra a) del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, establece que, *"El Estado debe fomentar el uso y explotación del espectro radioeléctrico y de los servicios de radiocomunicación, de una manera racional y eficiente a fin de obtener el máximo provecho;"*;

Que la implementación y operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, permiten utilizar una baja densidad espectral de potencia, que minimiza la posibilidad de interferencia;

Que los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha pueden coexistir con Sistemas de Banda Angosta, lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del Espectro Radioeléctrico;

Que, el artículo 2 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, promulgada en el Registro Oficial No. 691 de 9 de mayo de 1995, establece que el Estado ecuatoriano a través del CONARTEL otorgará frecuencias o canales para radiodifusión y televisión, así como regulará y autorizará estos servicios en todo el territorio nacional, de conformidad con la Ley;

Que, el literal b) del artículo innumerado quinto agregado a continuación del artículo 5, de la Ley de Radiodifusión y Televisión, Reformada, establece la facultad del CONARTEL de expedir reglamentos técnicos complementarios y demás regulaciones de esta naturaleza que se requieran para el cumplimiento de sus funciones;

Que, el Presidente Constitucional de la República en el artículo 1 del Decreto Ejecutivo No. 8, de 13 de agosto, publicado en el Registro Oficial 10, de 24 de agosto de 2009, crea el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, como el órgano rector del desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación, que incluyen las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico;

Que, el artículo 13 del referido Decreto Ejecutivo No. 8, fusiona el Consejo Nacional de Radio y Televisión CONARTEL al Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL;

Que el artículo 14 del citado Decreto Ejecutivo, dispone que, “ *Las competencias, atribuciones, funciones, representaciones y delegaciones constantes en leyes, reglamentos y demás instrumentos normativos y atribuidas al CONARTEL serán desarrolladas, cumplidas y ejercidas por el CONATEL, en los mismos términos constantes en la Ley de Radiodifusión y Televisión y demás normas secundarias.*”. De igual manera, el artículo 19 establece que, “*Los derechos y obligaciones constantes en los convenios, contratos u otros instrumentos jurídicos, nacionales o internacionales vinculados en el CONARTEL, serán asumidos por la SENATEL.*”;

Que, según el Artículo 30 del Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, los Servicios y Sistemas que se autoricen mediante Registro no pagarán Derechos de Concesión;

Que, la Recomendación No. 18 del Informe No. DA1-0034-2007 de 8 de noviembre de 2007, de la Contraloría General del Estado, establece: “Reformarán la norma de espectro ensanchado con el propósito de que los usuarios de la banda sean concesionarios de radiodifusión y televisión, sin garantizar la exclusividad de uso y con la prohibición de prestar servicios a terceros en concordancia con lo que establece la Ley Especial de Telecomunicaciones”.

Que, el Artículo 92 de la Ley Orgánica de la Contraloría General del Estado, las recomendaciones deben ser aplicadas de manera inmediata y con el carácter de obligatorio.

Que, los usuarios de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha no son concesionarios del espectro radioeléctrico;

En ejercicio de sus atribuciones,

RESUELVE:

Expedir la siguiente:

NORMA PARA LA IMPLEMENTACION Y OPERACION DE SISTEMAS DE MODULACION DIGITAL DE BANDA ANCHA

CAPITULO I

OBJETO, TERMINOS Y DEFINICIONES

Artículo 1.- Objeto.- La presente Norma tiene por objeto regular la instalación y operación de Sistemas de Radiocomunicaciones (incluyendo radiodifusión sonora) que utilizan técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha en los rangos de frecuencias que determine el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL.

Artículo 2.- Términos y Definiciones.- En todo aquello que no se encuentre definido técnicamente en el Glosario de Términos y Definiciones de la presente Norma, se aplicarán

los términos y definiciones que constan en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, su Reglamento General, la Ley de Radiodifusión y Televisión y su Reglamento General, el Reglamento de Radiocomunicaciones y el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

CAPITULO II

DISPOSICIONES GENERALES Y NORMA TÉCNICA

Artículo 3.- Atribución.- La atribución de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha es a título secundario, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y en el Plan Nacional de Frecuencias.

Artículo 4. Homologación. Todos los equipos que utilicen Modulación Digital de Banda Ancha deberán ser homologados por la Superintendencia de Telecomunicaciones de acuerdo con lo establecido en el Reglamento para Homologación de Equipos de Telecomunicaciones.

Artículo 5.- Características de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha.- Los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha son aquellos que se caracterizan por:

- a) Una distribución de la energía media de la señal transmitida, dentro de una anchura de banda mucho mayor que la convencional, y con un nivel bajo de potencia;
- b) La utilización de técnicas de modulación que proporcionan una señal resistente a las interferencias;
- c) Permitir a diferentes usuarios utilizar simultáneamente la misma banda de frecuencias;
- d) Coexistir con Sistemas de Banda Angosta, lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del Espectro Radioeléctrico.
- e) Operar en Bandas de frecuencias inscritas en el cuadro de Atribución de bandas de frecuencias.

Artículo 6.- Bandas de Frecuencias.- Se aprobará la operación de sistemas de radiocomunicaciones (incluyendo radiodifusión sonora), que utilicen técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha en las siguientes bandas de frecuencias:

BANDA (MHz)
902 - 928
2400 - 2483.5
5150 - 5250
5250 - 5350
5470 - 5725
5725 - 5850

El CONATEL aprobará y establecerá las características técnicas de operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha en bandas distintas a las indicadas en la presente Norma, previo estudio sustentado y emitido por la SENATEL.

Artículo 7.- Configuración de Sistemas que emplean Modulación Digital de Banda Ancha.- La operación de los sistemas con técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha se aprobará en las siguientes configuraciones:

Sistemas punto - punto;
Sistemas punto - multipunto;
Sistemas móviles.

La operación de los sistemas con técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha para los sistemas de radiodifusión sonora, se aprobará únicamente en configuraciones punto – punto para enlaces auxiliares.

Artículo 8.- Características Técnicas de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha.- Se establecen los límites de Potencia para cada una de las bandas de acuerdo con el Anexo 1; así como los Límites de Emisiones no Deseadas de acuerdo con el Anexo 2 de la presente Norma.

CAPÍTULO III SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y SISTEMAS PRIVADOS

Artículo 9.- Competencia.- El Secretario Nacional de Telecomunicaciones, por delegación del CONATEL, aprobará la operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha mediante la emisión de un Certificado de Registro.

Artículo 10.- Solicitud de Registro.- La SENATEL llevará un Registro de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha. Para la inscripción en este Registro, los interesados en cualquier parte del territorio nacional, deberán presentar una solicitud con todos los requisitos para su aprobación dirigida a la SENATEL, cumpliendo con los datos consignados en el formulario técnico que para el efecto pondrá a disposición la SENATEL.

Artículo 11.- Certificados de Registro.- Una vez presentada la documentación y previo el análisis respectivo, la SENATEL procederá con la emisión del Certificado de Registro de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha que será entregado al interesado, el cual incluirá la descripción del sistema registrado.

El Certificado de Registro será otorgado por la SENATEL, previo el pago de los valores establecidos en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, vigente a la fecha de registro, más los impuestos de ley.

Artículo 12.- Vigencia del Registro.- El Certificado de Registro para la operación de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha tendrá una duración de cinco años y podrá ser renovado, previa solicitud del interesado, dentro de los treinta (30) días anteriores a su vencimiento.

De no darse cumplimiento a lo establecido en el párrafo anterior el Certificado quedará anulado de manera automática, y el usuario o concesionario no estará autorizado para operar el sistema.

Artículo 13.- Respetto de los Sistemas de Explotación.- Cuando la aplicación que se dé a un Sistema de Modulación Digital de Banda Ancha corresponda a la prestación de un Servicio de Telecomunicaciones, el concesionario deberá contar con el Título Habilitante respectivo, de conformidad con la normativa vigente.

Artículo 14.- Respetto de los Sistemas Privados.- Cuando la aplicación que se dé a un Sistema de Modulación Digital de Banda Ancha corresponda a Sistemas Privados, es decir que se prohíbe expresamente el alquiler del sistema a terceras personas, el concesionario deberá obtener previamente el Título Habilitante respectivo, de conformidad con la normativa vigente.

Artículo 15.- Modificaciones.- Los usuarios que requieran modificar la ubicación de sus sitios de transmisión o la información de las características técnicas registradas en la SENATEL, deberán solicitar previamente dicha modificación a la SENATEL a fin de que sea autorizada por la referida entidad.

Los usuarios que requieran interrumpir el proceso de registro de un "Certificado de Registro de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha", únicamente lo podrán realizar por voluntad del concesionario o usuario, expresada mediante solicitud escrita dentro de las 48 horas posteriores a la solicitud original.

Artículo 16.- Responsabilidad.- El usuario de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha es responsable de asegurar que las emisiones se encuentren dentro de la banda de frecuencias de operación y de cumplir con todas las condiciones técnicas especificadas en el Certificado de Registro, de conformidad con lo preceptuado en la presente Norma.

CAPITULO IV ENLACES AUXILIARES DE RADIODIFUSIÓN SONORA

Artículo 17.-Competencia.- El CONATEL, autorizará la operación de los enlaces auxiliares de Modulación Digital de Banda Ancha para los sistemas de radiodifusión sonora.

Artículo 18.- Solicitud.- Los peticionarios o concesionarios de radiodifusión sonora interesados en instalar y operar enlaces auxiliares que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha, en cualquier parte del territorio nacional, deberán presentar la solicitud correspondiente al CONATEL, adjuntando todos los requisitos establecidos en el artículo 16 del Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión,

Artículo 19.- Autorización.- Una vez presentada la documentación y previo los informes favorables emitidos por la SUPERTEL, el CONATEL autorizará la operación de los enlaces auxiliares de Modulación Digital de Banda Ancha, conforme lo dispone el artículo 14 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, previo el pago de los valores establecidos en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, vigente a la fecha de registro, más los impuestos de ley, que deberán ser cancelados en la SENATEL.

La SUPERTEL suscribirá el título habilitante correspondiente, en el que se incluirá una disposición en la cual se señale que la asignación de frecuencias se realiza a título secundario.

Artículo 20.- Vigencia.- La operación de enlaces auxiliares de radiodifusión sonora que utilizan técnicas de modulación digital de banda ancha, tendrá un periodo de autorización igual al establecido en el contrato de concesión de la frecuencia principal del servicio de radiodifusión sonora.

En caso de que la solicitud se realizara luego de iniciado el periodo de concesión del servicio de radiodifusión sonora, la vigencia de la autorización será hasta la fecha de terminación de la concesión del servicio.

Artículo 21.- Modificaciones.- Los concesionarios de frecuencias de radiodifusión sonora que requieran modificar las características técnicas de los enlaces auxiliares de radiodifusión sonora, que utilizan técnicas de modulación digital de banda ancha, deberán solicitar dicha modificación al CONATEL, para lo cual deben adjuntar el respectivo estudio de ingeniería los cuales serán autorizados por la SUPERTEL dentro de la misma banda y trayecto, y por el CONATEL si son a otra banda y/o trayecto .

Artículo 22.- Responsabilidad.- Los concesionarios de radiodifusión sonora que se encuentren autorizados para el uso de enlaces auxiliares de radiodifusión sonora, serán responsables de asegurar que las emisiones se encuentren dentro de la banda de frecuencias de operación y de cumplir con todas las condiciones técnicas especificadas en la Autorización, de conformidad con lo preceptuado en la presente Norma

Artículo 23.- Prohibiciones. Para los enlaces auxiliares de radiodifusión sonora, queda expresamente prohibida la prestación de servicios a terceros a través de enlaces de Modulación Digital de Banda Ancha, la conexión a redes públicas y privadas; así como la transmisión de cualquier otro tipo de información que no corresponda al uso exclusivo de radiodifusión sonora.

CAPITULO V INTERFERENCIAS

Artículo 24.- Interferencia.- Si un equipo o sistema ocasiona interferencia perjudicial a un sistema autorizado que está operando a título primario, aun si dicho equipo o sistema cumple con las características técnicas establecidas en los Reglamentos y Normas pertinentes, deberá suspender inmediatamente la operación del mismo. La operación no podrá reanudarse, hasta que la

Superintendencia de Telecomunicaciones envíe un informe técnico favorable indicando que se ha subsanado la interferencia perjudicial.

CAPITULO VI

CONTROL

Artículo 25.- Control.- La Superintendencia de Telecomunicaciones realizará el control de los sistemas que utilicen técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha y vigilará que éstos cumplan con lo dispuesto en la presente Norma y las disposiciones Reglamentarias pertinentes.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

ANCHURA DE BANDA DE EMISIÓN: Para los propósitos de aplicación de la presente norma, la anchura de banda deberá ser determinada midiendo la densidad espectral de potencia de la señal entre dos puntos que estén 26 dB por debajo del nivel máximo de la portadora modulada a ambos extremos de la frecuencia central de portadora.

BANDA DE FRECUENCIAS ASIGNADAS: Banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación determinada.

CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones, ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país.

DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA: La densidad espectral de potencia es la energía total de salida por unidad de ancho de banda de un pulso o secuencia de pulsos para los cuales la potencia de transmisión es al pico o el máximo nivel y dividida para la duración total de pulsos. Este tiempo total no incluye el tiempo entre pulsos durante el cual la potencia transmitida es nula o está bajo su máximo nivel.

DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA PICO: La densidad espectral de potencia pico es la máxima densidad espectral de potencia, dentro del ancho de banda específico de medición.

DENSIDAD MEDIA DE LA P.I.R.E.: La P.I.R.E. radiada durante la ráfaga de transmisión correspondiente a la potencia máxima, de aplicarse un control de potencia.

DFS (Dynamic Frequency Selection): Selección Dinámica de Frecuencia, es un mecanismo que dinámicamente detecta canales desde otros sistemas y permite una operación co-canal con otros sistemas tales como radares.

EMISIÓN FUERA DE BANDA: Emisión en una o varias frecuencias situadas inmediatamente fuera de la anchura de banda necesaria, resultante del proceso de modulación, excluyendo las emisiones no esenciales.

FRECUENCIA ASIGNADA: Frecuencia central de la banda de frecuencias asignadas a una estación.

FRECUENCIAS AUXILIARES: Las frecuencias auxiliares del servicio de radiodifusión y televisión: son las frecuencias atribuidas a los servicios fijo y móvil y que son necesarias para la operación y funcionamiento de las estaciones y sistemas de radiodifusión y televisión; estas frecuencias corresponden a los enlaces radioeléctricos entre estudio-transmisor, enlaces de conexión ascendente y descendente satelitales y entre estaciones repetidoras así como las frecuencias para operación remota;

INTERFERENCIA: Efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

INTERFERENCIA PERJUDICIAL: Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación.

LIMITES DE EMISIONES NO DESEADAS: Se refiere a las emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia de operación.

MODULACION DIGITAL DE BANDA ANCHA: Utilización de diferentes técnicas de modulación digital en una anchura de banda asignada con una densidad espectral de potencia baja compatible con la utilización eficaz del espectro; al permitir la coexistencia de múltiples sistemas en una misma anchura de banda.

P.I.R.E. (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente): Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia con relación a una antena isotrópica, en una dirección determinada.

POTENCIA PICO TRANSMITIDA: La potencia máxima transmitida medida sobre un intervalo de tiempo máximo de $30/B$ (donde B es la anchura de banda de emisión a 26 dB de la señal en Hertz) o la duración del pulso transmitido por un equipo, se toma el valor que sea menor, bajo todas las condiciones de modulación.

POTENCIA TRANSMITIDA: Es la energía total transmitida sobre un intervalo de tiempo de hasta $30/B$ (donde B es la anchura de banda de emisión de la señal a 26 dB de la señal en Hertz) o la duración del pulso de transmisión, se toma el valor que sea menor, dividido para la duración del intervalo.

RADIODETERMINACION: Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.

RADIODIFUSIÓN SONORA.- Es el servicio de radiocomunicaciones cuyas emisiones sonoras se destinan a ser recibidas directamente por el público en general

RLAN (Radio Local Area Network): Red Radioeléctrica de Área Local, que constituye una radiocomunicación entre computadores, aparatos electrónicos y dispositivos físicamente cercanos.

SISTEMAS DE MODULACION DIGITAL DE BANDA ANCHA: Sistemas de radiocomunicaciones que utilizan técnicas de codificación o modulación digital, cuyos equipos funcionan de conformidad con los límites de potencia y la densidad media de P.I.R.E. que se establecen en la presente Norma, en las bandas de frecuencias que determine el CONATEL.

SISTEMA PUNTO – PUNTO: Sistema de radiocomunicación que permite enlazar dos estaciones fijas distantes, empleando antenas direccionales en ambos extremos, estableciendo comunicación unidireccional ó bidireccional.

SISTEMA PUNTO – MULTIPUNTO: Sistema de radiocomunicación que permite enlazar una estación fija central con varias estaciones fijas distantes. Las estaciones fijas distantes emplean antenas direccionales para comunicarse en forma unidireccional o bidireccional con la estación fija central.

SISTEMA MOVIL: Sistema de radiocomunicaciones que permite enlazar una estación fija central con una o varias estaciones destinadas a ser utilizadas en movimiento o mientras estén detenidas en puntos no determinados.

SENATEL: Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, ente encargado de la ejecución de las políticas de telecomunicaciones en el país.

SUPERTEL: Superintendencia de Telecomunicaciones.

TPC (Transmit Power Control): Control de Potencia Transmitida, es una característica que habilita a los equipos que operan en las bandas de la presente norma, para conmutar dinámicamente varios niveles de transmisión de potencia en los procesos de transmisión de datos.

WAS (Wireless Access Systems): Sistemas de Acceso Inalámbrico, el término de sistemas de acceso inalámbrico se aplicará a todas las tecnologías de radiocomunicación de banda ancha y baja potencia, en la cual la forma de acceso en que los usuarios obtienen un servicio de telecomunicaciones es mediante enlaces ópticos o de radiofrecuencia.

DISPOSICIONES FINALES

Deróguese la Norma para la implementación y operación de enlaces de Radiodifusión Sonora utilizando sistemas de Espectro Ensanchado, emitida mediante Resolución 2584-CONARTEL-03 y publicada en el Registro Oficial 140, de 5 de agosto de 2003 y la Norma para la implementación y operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, emitida mediante Resolución 417-15-CONATEL-2005 y publicada en el Registro Oficial 143, de 11 de noviembre de 2005

La presente Resolución entrará en vigencia a partir de su publicación en el Registro Oficial y de su ejecución encárguese a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y a la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Dado en Quito, el 24 de septiembre de 2010



**ING. JAI ME GUERRERO RUIZ
PRESIDENTE DEL CONATEL**



**LIC. VICENTE FREIRE RAMIREZ
SECRETARIO DEL CONATEL**

ANEXOS

NORMA PARA LA IMPLEMENTACION Y OPERACION DE SISTEMAS DE MODULACION DIGITAL DE BANDA ANCHA

Anexo 1

Características Técnicas de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha

ANEXO 1
Características Técnicas de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha

SISTEMAS DE MODULACION DIGITAL DE BANDA ANCHA				
Tipo de Configuración del Sistema	Bandas de Operación (MHz)	Potencia Pico Máxima del Transmisor (mW)	P.I.R.E. (mW)	Densidad de P.I.R.E. (mW/MHz)
punto-punto	902 – 928	500	---	---
punto-multipunto				
móviles				
punto-punto	2400 – 2483.5	1000	---	---
punto-multipunto				
móviles				
punto-punto	5150 – 5250	50 ⁱ	200	10
punto-multipunto				
móviles				
Punto-punto	5250 – 5350	--	200	10
punto-multipunto		250 ⁱⁱ	1000	50
móviles				
punto-punto	5470 – 5725	250 ⁱⁱ	1000	50
punto-multipunto				
móviles				
punto-punto	5725-5850	1000	---	---
punto-multipunto				
Móviles				

(i) 50 mW o $(4 + 10 \log B)$

(ii) 250 mW o $(11 + 10 \log B)$

Donde:

B es la anchura de emisión en MHz

dBm, la que sea menor

dBm, la que sea menor

- i. Si la ganancia de la antena direccional empleada exclusivamente en los sistemas fijos punto – punto, punto – multipunto y que operan en la banda 2400 – 2483.5 MHz es superior a 6 dBi, deberá reducirse la potencia máxima de salida del transmisor, esto es 1 Watt, en 1dB por cada 3 dB de ganancia de la antena que exceda los 6 dBi.
- ii. Cuando en las bandas de 5150 - 5250 MHz, 5250 - 5350 MHz y 5470 - 5725 MHz, se utilicen en equipos con antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que superen la ganancia de la antena direccional que exceda los 6 dBi.
- iii. Cualquier dispositivo que opere en la banda de 5150 - 5250 MHz deberá utilizar una antena de transmisión que sea parte integral del dispositivo.
- iv. Dentro de la banda de 5150 - 5250 MHz y 5250 - 5350 MHz, los dispositivos que emplean Modulación Digital de Banda Ancha que estuvieran restringidos a operaciones al interior de recintos cerrados, deberán contar con sistemas que dispongan de selección dinámica de frecuencia (DFS) de acuerdo a la Recomendación UIT-R M.1652 sobre sistemas de acceso de radio incluyendo RLAN en 5000 MHz

En estas bandas, la densidad espectral de la P.I.R.E. media no debe exceder 0.04mw/4kHz medida en cualquier ancho de banda de 4 kHz o lo que es lo mismo 10mW/MHz.

- v. En las bandas de 5250 - 5350 MHz y 5470 - 5725 MHz los usuarios de sistemas móviles deben emplear controles de potencia en el transmisor capaces de garantizar una reducción media de por lo menos 3 dB de la potencia de salida media máxima de los sistemas o, en caso de no emplearse controles de potencia de transmisor, que la P.I.R.E. máxima se reduzca en 3 dB.

Los usuarios de sistemas móviles deberán aplicar las medidas de reducción de la interferencia que contempla la Recomendación UIT-R M.1652, a fin de asegurar un comportamiento compatible con los sistemas de radiodeterminación.

- vi. En la banda de 5250 - 5350 MHz, los sistemas que funcionen con una P.I.R.E. media máxima de 1 W y una densidad de P.I.R.E. media máxima de 50 mW/MHz en cualquier banda de 1 MHz, y cuando funcionen con una P.I.R.E. media superior a 200 mW deberán cumplir con la densidad de P.I.R.E. de acuerdo a la Tabla No. 1 del presente anexo.

Densidad de P.I.R.E. dB(W/MHz)	Intervalo de θ
-13	$0^\circ \leq \theta \leq 8^\circ$
$-13-0.716 * (\theta-8)$	$8^\circ \leq \theta \leq 40^\circ$
$-35.9-1.22 * (\theta-40)$	$40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$
-42	$\theta > 45^\circ$

Tabla No. 1

Donde:

θ : Es el ángulo, expresado en grados, por encima del plano horizontal local (de la Tierra).

- vii. Los sistemas que operen en la banda de 5725 - 5850 MHz pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional mayor a 6 dBi y de hasta 23 dBi sin la correspondiente reducción en la potencia pico de salida del transmisor.

Si emplean ganancia direccional en la antena mayor a 23 dBi, será requerida una reducción de 1 dB en la potencia pico del transmisor y en la densidad espectral de potencia pico por cada dB que la ganancia de la antena exceda a los 23 dBi.

- viii. Los equipos que emplean Modulación Digital de Banda Ancha que requieren Autorización de acuerdo a lo que establece el Reglamento de Radiocomunicaciones, deben cumplir con lo establecido en la Tabla No. 2 del presente anexo:

Equipos con Potencia (P)	antenas	áreas
$P < 100 \text{ mW}$	directivas	públicas o privadas
$P < 300 \text{ mW}$,	exteriores	privadas
$300 \leq P \leq 1000 \text{ mW}$,	directivas o exteriores	públicas o privadas

Tabla. No. 2

Anexo 2

Límites de Emisiones no Deseadas en las Bandas de Operación de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha

Anexo 2

Las emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia de operación deberán ser atenuadas de acuerdo con los siguientes límites:

- a) En las bandas de 902-928 MHz y 2400-2483.5 MHz, para cualquier ancho de banda de 100 kHz fuera de la banda de frecuencias de operación de los sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, la potencia radiada por el equipo deberá estar al menos 20 dB por debajo de dicha potencia en el ancho de banda de 100 kHz que contenga el mayor nivel de potencia deseada.
- b) En las bandas de 5150 – 5250 MHz, 5250 – 5350 MHz, 5470 – 5725 MHz y 5725 – 5850 MHz, deberán cumplir con lo establecido en la Tabla No. 3:

Banda de Operación (MHz)	Rango de frecuencias considerado (MHz)	P.I.R.E. para emisiones fuera de banda (dBm/MHz)
5150 – 5250	< 5150 > 5250	-27
5250 – 5350	< 5250 > 5350	-27
5470 – 5725	< 5470 > 5725	-27
5725 – 5850	5715 – 5725 5850 – 5860	-17
	< 5715 > 5860	-27

Tabla No. 3