



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**“PROYECTO DE RED CON TECNOLOGÍA WIMAX PARA
LA DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA EN
LA REGIÓN DE PACHUCA”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
P R E S E N T A N:
ROSALIE CITLALLI FLORES RODRÍGUEZ
NAYELLI VIRIDIANA RODRÍGUEZ BALLESTEROS



**ASESOR DE TESIS:
ING. MARIANO ARUMIR RIVAS**

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO, MAYO DEL 2007.

Agradecimientos

Quiero dar gracias primeramente a Dios, porque innegablemente siempre ha estado conmigo para sostenerme y escucharme. Gracias por ayudarme a concluir mi carrera y darme la fuerza para seguir adelante aún cuando todo pareciese adverso.

A mi padre, por inculcarme el amor a Dios, por sus consejos, su guía moral y por sembrar en mí el deseo de superarme; así como por impulsarme a ser una persona independiente.

A mi madre, por su amor incondicional, por darlo todo sin esperar nada a cambio, por sus esmerados cuidados y eterno sacrificio a sus hijos. Dios te bendiga.

A Willy, por ser una constante en mi vida, por creer en mí y apoyarme a lo largo de todas mis dichas y desventuras, por escudarme y alentarme a seguir. Gracias por alegrar mis días y ser parte de mi vida.

A mi compañera Nayelli, por su dedicación y por el tiempo invertido a la realización de este trabajo.

A mi Universidad por formar profesionistas que impulsen el desarrollo de su país y sus comunidades así como a todos mis profesores por compartir sus conocimientos, por fomentar mi curiosidad e inculcarme el amor por mi carrera. En primer término deseo agradecer al Ing. Mariano Arumir Rivas por su colaboración y asesoría, mil gracias por su tiempo, paciencia y dedicación en la realización de esta tesis.

Un sincero agradecimiento a todos mis compañeros y amigos de carrera, en especial a Mayra, Beto, David, Alfio, Jorge y Nefta, por acompañarme a lo largo de toda la carrera y compartir conmigo su amistad y tiempo. Gracias por los inolvidables recuerdos.

Deseo expresar mi gratitud en estas líneas a todas esas personas que a lo largo de mi vida me han brindado su cariño, amistad y consuelo; gracias por ayudarme a escalar este peldaño.

Finalmente, quiero dar un agradecimiento público a todas esas personas que de alguna manera con su apoyo, consejos y colaboración hicieron posible la culminación de este trabajo.

Con cariño y respeto,

Rosalie Citlalli.

La conclusión de este proyecto es consecuencia del empeño que han puesto mis padres, *Reynaldo Rodríguez* y *Ester Ballesteros*, por procurar siempre lo mejor para mis hermanos y para mí. En virtud de estar constantemente pendiente de nuestro bienestar y brindarnos incondicionalmente su cariño les agradezco infinitamente de corazón. De manera semejante extiendo el agradecimiento a mis hermanos, *Cristian Emanuel* y *Marisol Ibeth*, por el soporte y afecto absoluto que siempre me han obsequiado.

A mis padrinos, *Alejandro Acosta* y *Lourdes Rodríguez*, quienes han estado presentes a lo largo de mi vida compartiendo ideas e invitándome a ser parte de la foto del recuerdo en varias ocasiones.

A mis tíos por los momentos y consejos que me han regalado a lo largo de estos años, de manera singular a *Humberto Reyes* y *Petra Ballesteros* por los ánimos que repetidamente me han procurado.

A mis profesores por darme las herramientas necesarias para crecer profesionalmente y haber compartido con deleite sus conocimientos y experiencias. En especial agradezco al *Ing. Mariano Arumir* por su dedicación y asesoramiento para este proyecto además de engrandecer mi amor hacia las Telecomunicaciones.

Agradezco no poco a mi compañera y amiga *Citlalli Flores* por la acertada decisión de acompañarme y apoyarme en la culminación de este trabajo.

De manera particular doy mi más sincero agradecimiento al *Lic. José Guadalupe Rodríguez* por haberme brindado la oportunidad de compartir parte de sus experiencias, por los consejos otorgados y ante todo su apoyo y condescendencia que ha tenido hacia mi persona.

No es que sean los últimos mencionados los menos importantes, a ustedes que dejaron su huella muy dentro de mí, que siempre me han apoyado en cada uno de mis proyectos y me han incluido en los suyos compartiendo dichas; que me han dado un jalón de orejas cuando fue necesario y me brindaron su aliento cuando más falta me ha hecho; y encima de todo me han obsequiado su cariño incondicional, a *todos mis amigos*, sin olvidar a nadie, mil gracias.

Con mucho cariño
Nayelli Viridiana

Índice General

Introducción.....	ix
Justificación.....	xiii
Objetivo General	xv
Objetivos Específicos	xv
Capítulo 1 Marco normativo y jurídico	17
1.1 El papel de los estándares de redes inalámbricas	17
1.1.1 Organismos internacionales.....	17
1.2 El papel del marco jurídico.....	19
1.3 Regulación Nacional del Espectro Radioeléctrico	20
1.3.1 Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF).....	20
1.4 Evolución Tecnológica y Administración del Espectro Radioeléctrico para un Uso Eficiente.....	21
1.4.1 Enlaces no licenciados para la Infraestructura de la Información Nacional (Unlicensed National Information Infrastructure U-NII)	23
1.5 Bandas de frecuencia contempladas para WiMAX.....	23
1.5.1 Antecedentes.....	23
1.5.2 Resolutivos	25
Capítulo 2 Marco teórico.....	29
2.1 Tipos de transmisiones inalámbricas.....	30
2.1.1 Radio transmisión.....	30
2.1.2 Transmisión por microondas	31
2.1.3 Ondas infrarrojas y milimétricas	32
2.1.4 Transmisión por ondas de luz.....	32
2.2 Factores que alteran la señal.....	33
2.2.1 Corrimiento Doppler	34
2.2.2 Atenuación de la señal.....	34
2.2.3 Desvanecimiento Rayleigh.....	35
2.2.4 Desvanecimiento selectivo de la frecuencia.....	36
2.2.5 Interferencia por retardo de dispersión.....	36

2.2.6	Interferencia de co-canal	36
2.3	Redes inalámbricas	37
2.3.1	Grupo IEEE 802	37
2.4	Características de redes inalámbricas de datos según la clasificación de IEEE	40
2.4.1	WPAN IEEE 802.15	40
2.4.2	WLAN IEEE 802.11	40
2.4.3	MBWA IEEE 802.20	41
2.4.4	WMAN IEEE 802.16	42
2.5	Características de WiMAX	43
2.6	Transmisión en RF	46
2.6.1	Operaciones de transmisión	46
2.6.2	TDD	46
2.6.3	FDD	47
2.7	Interfaz RF	47
2.7.1	Radio TDD	47
2.7.2	Radio FDD	48
2.7.3	Radio HFDD	49
2.8	Principales bloques del sistema RF	50
2.8.1	Amplificadores	50
2.8.2	Filtros	50
2.8.3	Sintetizadores	50
2.9	Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM)	51
2.9.1	Símbolo OFDM	53
2.9.2	Ventanas (Windowing)	55
2.9.3	Código convolucional	55
2.9.4	Interleaving	56
2.9.5	Subcanalización	58
2.9.6	SOFDMA	59
2.10	Modulación Adaptativa	60
2.11	Uso de la tecnología CMOS	61
2.12	Antenas directivas	62

2.12.1	Sistemas sectorizados	63
2.12.2	Acceso Múltiple por División de Espacio (SDMA).....	63
2.12.3	Antenas inteligentes.....	65
2.12.4	Diversidad del sistema.....	66
2.12.5	Diversidad de selección	67
2.12.6	Diversidad de retardo cíclico.....	67
2.12.7	Transmisión de Alamouti	70
2.12.8	Tipos de antenas inteligentes.....	70
2.12.9	Multiple In Multiple Out (MIMO)	71
2.12.10	Conmutación de haz	73
2.12.11	Sistemas de haz desviado	74
2.12.12	Sistema de Antenas Adaptativas (AAS).....	74
2.13	La capa media del control de acceso (MAC)	77
2.13.1	Métodos de control de acceso al medio.....	77
2.14	Codificación y corrección de errores.....	78
2.14.1	Automatic Repeat Request (ARQ)	78
2.14.2	FEC Código convolucional	79
2.14.3	Técnicas de codificación espacio-temporal.....	80
2.14.4	Esquema Híbrido de ARQ (HARQ).....	81
2.15	Clases de servicio	82
2.16	QoS en WiMAX.....	83
2.17	Seguridad en WiMAX.....	84
2.17.1	Estructura de un certificado X.509.....	84
2.17.2	Procedimientos de autenticación en una red.....	85
2.18	La seguridad de extremo-a-extremo	86
Capítulo 3	Planteamiento del proyecto.....	87
3.1	Situación de la industria	87
3.2	Determinación de la localización óptima del proyecto	88
3.3	Diseño del proyecto	90
3.3.1	Estación base	91
3.3.2	Estación suscriptora.....	95

3.3.3	Backhaul PrimeMAX	98
3.3.4	Antena para estación base	100
3.2.5	Antena para backhaul	101
3.3.6	Torre y caseta para estación base	102
3.2.7	Instalación eléctrica	103
3.3.8	Sistema de Energía Ininterrumpida (UPS)	103
3.3.9	Planta de energía eléctrica de emergencia	104
3.3.10	Sistema de aire acondicionado	105
3.4	Estudio del Sistema	106
3.4.1	Predicción de confiabilidad del suscriptor S1	107
3.4.2	Predicción de confiabilidad del suscriptor S2	109
3.4.3	Predicción de confiabilidad del suscriptor S3	111
3.5	Estimación de tiempo	113
3.6	Estimación de costos (USD).....	114
3.7	Esquema de servicio	115
	Conclusiones.....	117
	Anexo A Perfiles Topográficos	121
	Acrónimos	135
	Bibliografía.....	141

Índice de figuras

Figura 1.1 Colores aplicados a los servicios de radiocomunicación, CNAF	21
Figura 1.2 Banda de frecuencias de 5 GHz	22
Figura 2.1 Ondas sinusoidales de frecuencia diferente	29
Figura 2.2 Disminución de la zona de cobertura según se aumenta la frecuencia	31
Figura 2.3 Enlace de microondas	31
Figura 2.4 Sistema infrarrojo.....	32
Figura 2.5 Transmisión por medio de láser	33
Figura 2.6 Desvanecimiento Rayleigh	35
Figura 2.7 Interferencia entre símbolos por ambiente multitrayectoria	36
Figura 2.8 Interferencia de co-canal	37
Figura 2.9 Modelo de red de área local y metropolitana	38
Figura 2.10 Posicionamiento de estándares inalámbricos	39
Figura 2.11 Esquema comparativo de diversas tecnologías que coexisten	39
Figura 2.12 Aplicación de bluetooth	40
Figura 2.13 Red LAN inalámbrica	41
Figura 2.14 Diversas soluciones a la demanda de banda ancha con WiMAX	44
Figura 2.15 Modos de duplexación	46
Figura 2.16 Radio TDD	48
Figura 2.17 Radio FDD	48
Figura 2.18 Radio HFDD	49
Figura 2.19 Espectro de portadora FDM en el dominio de la frecuencia.....	51
Figura 2.20 Espectro de la portadora OFDM en el dominio de la frecuencia.....	51
Figura 2.21 Transmisión de símbolos de OFDM en modo simple y con subportadoras	52
Figura 2.22 Portadora OFDM.....	54
Figura 2.23 Símbolo de OFDM con prefijo cíclico.....	55
Figura 2.24 Ventana usando función coseno.....	55
Figura 2.25 Posicionamiento de los bits en las subportadoras	57
Figura 2.26 Diagrama de bloques de un sistema OFDM	57
Figura 2.27 Uso de la subcanalización	58

Figura 2.28 Efecto de subcanalización.....	59
Figura 2.29 Modulación adaptativa.....	61
Figura 2.30 Antena direccional.....	63
Figura 2.31 Antena sectorizada.....	63
Figura 2.32 Antenas inteligentes en un sistema sectorizado.....	63
Figura 2.33 Ejemplo de despliegue de SDMA.....	64
Figura 2.34 Proceso espacial totalmente adaptativo, con dos usuarios en el mismo canal y en la misma célula.....	64
Figura 2.35 Cobertura diversidad combinada efectiva.....	67
Figura 2.36 Ejemplo de la diversidad de selección.....	67
Figura 2.37 Esquema de diversidad de transmisión usando diversidad de retardo cíclico ..	68
Figura 2.38 El sistema de OFDM.....	68
Figura 2.39 Canal de MIMO.....	69
Figura 2.40 a) Arreglo de antenas tradicional, b) Antenas inteligentes.....	70
Figura 2.41 Comparación entre sistemas SISO y MIMO.....	71
Figura 2.42 Sistema MIMO.....	72
Figura 2.43 Sectores de un sistema de cobertura de haz conmutado.....	73
Figura 2.44 Los lóbulos de haz que se desvía, el haz (rojo) y la serie adaptativa (azul) los sistemas podrían escoger para identificar al usuario y las interferencias del canal.....	74
Figura 2.45 Cobertura de un sistema de antenas adaptativas. Una representación del lóbulo principal extendido hacia el usuario.....	75
Figura 2.46 Modelos de cobertura.....	76
Figura 2.47 Estructura de un sistema adaptativo.....	76
Figura 2.48 Diagrama de ARQ parada y espera.....	79
Figura 2.49 Estructura de X.509.....	85
Figura 2.50 Marco de seguridad de 802.16.....	86
Figura 3.1 Zona de Pachuca.....	89
Figura 3.2 Esquema de red.....	90
Figura 3.3 Arquitectura del sistema HiperMAX.....	91
Figura 3.4 Equipo para estación base HiperMAX.....	94
Figura 3.5 EasyST, equipo CPE interno.....	96

Figura 3.6 PROST, equipo CPE externo	96
Figura 3.7 Arquitectura del sistema PrimeMAX.....	99
Figura 3.8 Equipo para suscriptor PrimeMAX.....	99
Figura 3.9 Antena de sector 120°.....	100
Figura 3.10 Antena parabólica para backhaul	101
Figura 3.11 Torre arriestrada.....	102
Figura 3.12 Powerware 9125 Rackmount UPS.....	103
Figura 3.13 Generador de energía	104
Figura 3.14 Sistema de aire acondicionado.....	105
Figura 3.15 Ubicación de Suscriptores en el mapa	106
Figura 3.16 Poligonal del Suscriptor S1	107
Figura 3.17 Vista aérea del suscriptor S1	107
Figura 3.18 Poligonal del Suscriptor	109
Figura 3.19 Vista aérea del suscriptor S2	109
Figura 3.20 Poligonal del Suscriptor S3.....	111
Figura 3.21 Vista aérea del suscriptor S3	111
Figura C.1 Suscriptores de Banda Ancha por cada 100 habitantes, por tecnología	119
Figura A.1 Ubicación de los radiales para crear perfiles topográficos.....	121
Figura A.2 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R0”.....	122
Figura A.3 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R1”.....	123
Figura A.4 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R2”.....	124
Figura A.5 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R3”.....	125
Figura A.6 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R4”.....	126
Figura A.7 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R5”.....	127
Figura A.8 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R6”.....	128
Figura A.9 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R7”.....	129
Figura A.10 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – CS0”	130
Figura A.11 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – CS1”	131
Figura A.12 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – CS2”	132
Figura A.13 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – CS3”	133

Índice de tablas

Tabla 1.1 Banda de frecuencias del espectro radioeléctrico.....	19
Tabla 2.1 Atenuaciones típicas.....	34
Tabla 2.2 Distribución Rayleigh.....	35
Tabla 2.3 Características del estándar 802.11	41
Tabla 2.4 Modulación y tasas de código	56
Tabla 2.5 CODFM escalable	60
Tabla 2.6 Características de las antenas inteligentes.....	65
Tabla 2.7 Parámetros de QoS	83
Tabla 3.1 Usuarios de Internet por disponibilidad de computadora en el hogar, según lugar de acceso.....	88
Tabla 3.2 Características técnicas de HiperMAX	92
Tabla 3.3 Características técnicas del CPE	97

Introducción

Desde sus inicios, el hombre ha tenido la necesidad de expresar sus pensamientos. La comunicación se hizo presente desde el momento en que el hombre tiene uso de la razón y comienza a tener ideas que necesita transmitir. Inicio plasmándolas en piedra, papiros, etc., hasta que Gutenberg inventó la imprenta y estas pudieron ser transmitidas a mayor número de personas en menor tiempo.

Con la revolución industrial llegaron grandes inventos y la sociedad comenzó a desarrollarse a un ritmo poco más acelerado de lo que había sido en mucho tiempo.

En el siglo XX se inició la era de la tecnología, tomando como punto de partida, nos referimos al año de 1837, cuando Samuel Morse (1847-1922) inventó el telégrafo. Este diseño hizo que se acortaran distancias creando redes de hilos que unieron a dos o más puntos físicamente para el envío de información, por supuesto, este nuevo medio de comunicación, no vino a reemplazar el correo, sino a complementarlo.

En 1876 Alexander Graham Bell (1847-1922) inventó el teléfono, que al inicio fue costoso contar con este servicio, pero siendo un invento de importancia trascendental, ha seguido desarrollándose.

En 1920 la empresa Marconi inició la radiodifusión sonora. No fue sino hasta 1941 cuando se iniciaron las transmisiones de forma regular en frecuencia modulada (FM).

Con el nacimiento y desarrollo de la Computadora Personal se hizo presente la necesidad de compartir recursos e información. Como solución a este problema, se crearon las redes, que como objetivo principal, tienen la misión de que los datos, equipo y programas estén disponibles para cualquier usuario en la red sin importar su ubicación. En 1962 J.C.R. Licklider utilizó el término de red galáctica a aquella infraestructura que permitiera el acceso desde cualquier punto; este hecho impulsó el origen de Internet (antes llamado Arpanet) en los sectores educativos, de investigación y milicia. A la vez que Internet impulsó la instalación de una infraestructura óptica, inalámbrica y satelital a nivel mundial.

Podríamos decir que en nuestro país, las telecomunicaciones se iniciaron cuando se realizó la primera demostración pública del telégrafo eléctrico en 1850, entre el Palacio Nacional y el Colegio de Minería. Más tarde en 1878 se efectuó el primer enlace telefónico

entre la ciudad de México y la población de Tlalpan. México, se incorpora al grupo de los aliados contra los países del Eje, formado por las capitales Berlín-Roma-Tokio, en 1942 e ingresó en la Segunda Guerra Mundial, motivo por el cual, los Estados Unidos, transfirió a nuestro país buena parte del equipo militar así como, tecnología moderna: El Radar. En ese año, el Gral. Manuel Ávila Camacho, separó los servicios postal y telegráfico y creó la Dirección General de Telecomunicaciones. Sin quedarnos atrás, a principios de los 70's la UNAM y el ITESM campus Monterrey, introdujeron Internet en nuestro país; pero no fue sino hasta 1995 que se utilizó de manera comercial. Hay que destacar que la introducción de redes inalámbricas al TEC de Monterrey en 1999, fue el primer punto de conexión en toda Latinoamérica.

No tuvo que pasar mucho tiempo para que Internet revolucionara la sociedad mundial, no solamente influyó en la forma de relacionarse, sino también en la forma de comunicarse, de trabajar y de hacer negocios.

La vida moderna, en varios casos exige la movilidad de las personas y que al mismo tiempo necesitan estar en constante comunicación con sus compañeros de trabajo, jefes clientes, etc., siendo así las tecnologías del tipo inalámbrico de gran ayuda.

Las redes inalámbricas han creado soluciones para esta necesidad de movilidad, además de ofrecer mayor velocidad de transmisión que una red alámbrica y pueden llegar a lugares que para una red alámbrica sería difícil o imposible.

Este trabajo estudia las redes inalámbricas del tipo MAN (redes de área metropolitana), que trabajan con el estándar IEEE 802.16, y se propone la implantación de una red WiMAX en la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo.

El primer capítulo hace mención de regulaciones nacionales e internacionales que tienen por objeto administrar el espectro radioeléctrico, definiendo así, la banda de 5.8 GHz como frecuencia central para el desarrollo de este proyecto.

En el mercado existen tecnologías inalámbricas que han creado una sinergia entre ellas y este hecho se da a conocer en el capítulo dos, así como los conceptos, requerimientos y limitaciones de WiMAX.

El tercer capítulo está enfocado al desarrollo del proyecto, donde encontraremos el estudio topográfico de los enlaces, el equipo que será utilizado en la estación base y estaciones suscriptoras, antenas, y demás equipamiento requerido.

Justificación

La globalización mundial ha traído grandes beneficios a nuestro país. En la actualidad contamos con tratados de libre comercio con Norteamérica, China y la Unión Europea, entre los más importantes. Esta apertura comercial ha hecho que México se desarrolle a un ritmo más acelerado con el fin de ser competitivo y estar a la altura de las exigencias de estas potencias. Para lograr esto, ha tenido que actualizarse en tecnologías de información y telecomunicaciones para estar a la vanguardia y elevar la productividad.

La transformación de las telecomunicaciones y la convergencia de los servicios es cada día más evidente y ofrece amplias oportunidades para innovar e impulsar la competitividad de la economía; hay ejemplos muy importantes del potencial innovador de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC); algunos los liderea el sector público como e-México; otros han sido impulsados por la industria como los servicios móviles.

El mercado se vuelve cada días más demandante y un país como el nuestro no tiene otro camino que empezar a distinguirse innovando. No toda la innovación resulta de inversiones en investigación básica e investigación y desarrollo experimental; lo que propone este trabajo es innovación mediante la adopción de mejores tecnologías de proceso para aumentar la eficiencia y la calidad, la adecuación de productos y servicios y esquemas comerciales a las condiciones del mercado local.

Las comunicaciones digitales han ido ganando terreno y los sistemas cada día requieren mayor velocidad de transmisión. Esto, entre otras cosas, ha hecho que tecnologías inalámbricas estén siendo creadas para llegar a la convergencia de servicios que incluyen voz, datos, imágenes y video de alta calidad, mejor conocido como triple play.

La tecnología WiMAX IEEE 802.16a ofrece la posibilidad de una cobertura de varios kilómetros, así como un ancho de banda superior al de las redes alámbricas. Por consiguiente podemos conseguir la transmisión de datos, voz y video de una forma eficiente y veloz. Aunque esta tecnología en su versión móvil, IEEE 802.16e no ofrece la posibilidad de varios kilómetros de cobertura (No más allá de 10 Km.), sigue ofreciendo transmisión de datos en una forma más eficiente y principalmente lo que es la movilidad del usuario.

El estado de Hidalgo tiene una posición geográfica que representa una oportunidad para crecer económicamente. En los últimos años, se ha proyectado su imagen como destino turístico con diversas alternativas como turismo alternativo, de negocios, cultural y familiar. Considerando que al ofrecer las condiciones adecuadas de infraestructura y servicios, se incrementa el interés de los inversionistas para asentar sus empresas en Hidalgo; WiMAX es una tecnología de punta que ofrece la capacidad de comunicación que se requiere en diversos sectores de la industria, por consiguiente, la implantación de una red de este tipo en los próximos años en la ciudad de Pachuca de Soto, sería un atractivo más para inversionista traduciéndose en un desarrollo económico sustentable.

En el sector educativo, la implantación de una red de este tipo puede ser muy útil para dar mayor abasto a la demanda que cada día crece, menos de la mitad de aspirantes para entrar a una Universidad son aceptados, pues existe un déficit de espacios y los costos son elevados. Las videoconferencias han sido vistas como una solución viable, que aún no han sido lo suficientemente explotadas. En nuestro país solamente existen 4 universidades virtuales, que son el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, la Universidad Regiomontana, la Universidad Anáhuac y la Universidad Tecnológica Mixteca. Aunque la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica alienta a la creación de este tipo de opciones y están abriendo espacios de licenciatura en la Universidad Veracruzana y la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en la modalidad virtual. Si se llegaran a crear más Universidades en esta modalidad, los costos se irían reduciendo con el tiempo y los jóvenes tendrían más oportunidades para seguir sus estudios.

Objetivo General

Desarrollar un proyecto de red con tecnología WiMAX que pueda ser implementado en la ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo a corto plazo.

Objetivos Específicos

Delimitación del marco legal.

Reconocimiento de características, limitaciones y requerimientos de WiMAX.

Perfil topográfico de las trayectorias.

Planeación de la estación base y equipo suscriptor.

Selección del equipo.

Estudio de confiabilidad.

Estimación de costos.

Cronograma del proyecto.

Capítulo 1

Marco normativo y jurídico

La introducción oportuna de los avances tecnológicos, nos permite encontrar en los mercados en competencia, alternativas de comunicación de bajo costo y de uso del público en general para acceder a servicios que transportan cada vez más información. Nos sirve también para ir acortando la brecha digital que existe entre los que tienen acceso a la información y a las redes de comunicación y los que no cuentan con ningún tipo de servicio y además nos ayudan a construir el camino para acceder a la sociedad de la información y el conocimiento que caracteriza este siglo.

Gracias a la digitalización podemos observar un cambio en la administración y regulación del espectro radioeléctrico, esto con la finalidad de poder darle un mayor uso a este recurso. Principalmente, esto se debe a la factibilidad de convivencia de sistemas, dispositivos y aplicaciones en ciertas bandas de frecuencias. Una razón importante para el impulso que ha tenido el sector telecomunicaciones, ha sido la destacada participación en los últimos años de la inversión privada.

1.1 El papel de los estándares de redes inalámbricas

Los estándares son básicamente acuerdos de ámbito industrial, nacional y probablemente internacional, que posibilitan la interoperación entre el equipo manufacturado por diferentes fabricantes; los estándares se encargan de la definición de interfaces que especifican como se interconectan físicamente los equipos y que procedimientos se utilizan para su correcto funcionamiento. Sin los estándares no podría haber una activación económica a escala para poder reducir los costos, es decir que cada empresa debería crear su propio software y hardware.

1.1.1 Organismos internacionales

Los estándares proporcionan un marco que sirve para fijar las actividades descentralizadas de diferentes organizaciones comerciales, industriales y gubernamentales involucradas en el desarrollo y evolución de las redes a través del modelo de *Interconexión de Sistemas Abiertos* (OSI), basado en siete niveles que es la plataforma para definir las

redes y los protocolos en la reglamentación de las Normas y Estándares en la Industria de la conectividad y canalización. A continuación se mencionan algunos de los organismos internacionales más relevantes en el ámbito de las Telecomunicaciones.

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), promueve los estándares de las redes de comunicación de datos, conmutación telefónica, sistemas digitales y terminales, funciona bajo el auspicio de las Naciones Unidas.

Organización Internacional de Normalización (ISO), establecida en 1947, en la cual participan comités de usuarios y de fabricantes. Cabe mencionar que una de sus contribuciones más importantes fue el desarrollo del modelo de referencia OSI y el grupo de protocolos OSI.

Dentro de esta organización colabora activamente el *Instituto Nacional de Normalización Americana (ANSI)*, responsable de la creación de la Interfase de Datos Distribuida por Fibra Óptica (FDDI) y otros estándares de comunicación.

Asociación Europea de Fabricantes de Computadoras (ECMA), trabaja activamente con el ISO y el *Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT)* que es uno de los miembros de la UIT. Dentro de este comité, existen varios organismo internacionales que participan con voz y voto para la definición de los estándares tales como: Departamento de Estado de los Estados Unidos de Norteamérica y la Agencia de Operación y Reconocimientos privados como AT&T, Avantel, Bell, entre otros.

Instituto de Ingenieros en Electrónica y Electricidad (IEEE), este organismo ha desarrollado estándares para el desarrollo de redes de computadoras.

Asociación de Industrias en Electrónica (EIA), especifica los estándares de transmisión eléctrica, incluyendo los que se utilizan en la conectividad de redes. [31]

1.2 El papel del marco jurídico

El espectro radioeléctrico es un recurso natural escaso, con un fuerte contenido económico y estratégico. La característica de recurso escaso implica la necesidad de

realizar una buena administración del mismo para conseguir su máximo aprovechamiento y una utilización eficaz. El espectro radioeléctrico está considerado como un bien de dominio público y su administración corresponde en exclusiva al Estado. Esta administración incluye las tareas de planificación, gestión y control. Por muchos motivos, tanto técnicos, económicos como estratégicos, estas tareas tienen una fuerte implicación internacional, por ello dicha administración ha de hacerse de acuerdo con los Tratados y Acuerdos Internacionales, tales como los establecidos en el marco de la UIT. [8]

Las bandas que se muestran en la tabla 1.1, son los nombres oficiales que ha establecido la UIT y se basan en las longitudes de onda. [6]

Nombre	Símbolo	Longitud de Onda	Gama de Frecuencias
Very Low Frequency (Muy Baja Frecuencia)	VLF	10-100 Km	3 – 30 KHz
Low Frequency (Baja Frecuencia)	LF	1- 10 Km	30 - 300 KHz
Medium Frequency (Frecuencia Media)	M F	100-1000 m	300 – 3000KHz
High Frequency (Alta Frecuencia)	H F	10-100 m	3 - 30 MHz
Very High Frequency (Muy Alta Frecuencia)	VHF	1-10 m	30 - 300 MHz
Ultra High Frequency (Ultra Alta Frecuencia)	UHF	10cm -1 m	300 - 3000MHz
Super High Frequency (Frecuencia Super-Alta)	SHF	1-10 cm	3 – 30 GHz
Extremely High Frequency (Frecuencia Extremadamente Alta)	EHF	1 mm-1 cm	30 – 3000GHz

Tabla 1.1 Banda de frecuencias del espectro radioeléctrico

La UIT establece convencionalmente qué servicios se pueden prestar en qué bandas de frecuencias¹. Los proveedores de equipo de telecomunicaciones, siguiendo lo establecido por la UIT, desarrollan éste para que pueda utilizarse en cualquier parte del mundo, reduciendo los costos de los equipos por economías de escala. Cada país es libre de optar por incluir en su legislación y regulación las recomendaciones de la UIT. México ha adoptado las recomendaciones de radiocomunicación a través del *Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (RR-UIT)* que desde 1947 se ha venido modificando conforme al desarrollo de las telecomunicaciones.

¹ Véase “Atribución del Espectro Radioeléctrico, Región 3” en : http://www.cft.gob.mx/cofetel/html/agitec/cuadro/index_espectro.html

1.3 Regulación Nacional del Espectro Radioeléctrico

La regulación en México del espectro radioeléctrico se fundamenta principalmente en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la **Ley Federal de Telecomunicaciones (LFT)**, el **Reglamento de Telecomunicaciones de 1990**, el **Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CNAF)**, el **Reglamento de Radiocomunicaciones (RR-UIT)**, el **Reglamento Interno de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)** y el **Reglamento Interno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL)**; así como las *Normas Oficiales Mexicanas (NOM)*, *Normas y recomendaciones contenidas en acuerdos internacionales suscritos por el Gobierno Federal o Normas y recomendaciones internacionales o extranjeras señaladas por la COFETEL*, todas ellas en materia de telecomunicaciones relativas a sistemas, dispositivos y productos que utilizan el espectro radioeléctrico; las condiciones técnico-operativas para sistemas, dispositivos y productos que utilizan espectro de uso libre; las disposiciones de carácter general en materia de uso o explotación del espectro radioeléctrico; y, los tratados, acuerdos, protocolos u otros instrumentos bilaterales o multilaterales que se refieran a la coordinación de frecuencias del espectro radioeléctrico de los servicios comprendidos en el RR-UIT.[8]

1.3.1 Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)

La SCT expidió en el año de 1993 el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, con objeto de hacer más eficiente el uso del espectro radioeléctrico y coordinar los distintos medios de radiocomunicación.

Corresponde a la COFETEL elaborar y mantener actualizado el CNAF, con el objeto de promover un desarrollo eficiente de las telecomunicaciones, en la figura 1.1 se aprecia los diferentes usos que tiene el espectro radioeléctrico.

1 FIJO	12 MÓVIL AERONÁUTICO POR SATÉLITE	23 AYUDAS A LA METEOROLOGÍA
2 FIJO POR SATELITE	13 RADIODIFUSIÓN	24 EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE
3 ENTRE SATÉLITES	14 RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE	25 METEORLOGÍA POR SATÉLITE
4 OPERACIONES ESPACIALES	15 RADIODETERMINACIÓN POR SATÉLITE	26 FRECUENCIAS PATRÓN Y ZONAS HORARIAS
5 MÓVIL	16 RADIONAVEGACIÓN	27 FRECUENCIAS PATRÓN Y ZONAS HORARIAS POR SATÉLITE
6 MÓVIL POR SATÉLITE	17 RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE	28 INVESTIGACIÓN ESPACIAL
7 MÓVIL TERRESTRE	18 RADIONAVEGACIÓN MARÍTIMA	29 AFICIONADOS
8 MÓVIL TERRESTRE POR SATÉLITE	19 RADIONAVEGACIÓN MARÍTIMA POR SATÉLITE	30 AFICIONADOS POR SATÉLITE
9 MÓVIL MARÍTIMO	20 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	31 RADIOSATRONOMÍA
10 MÓVIL MARÍTIMO POR SATÉLITE	21 RADIOLOCALIZACIÓN	32 NO ATRIBUIDO
11 MÓVIL AERONÁUTICO	22 RADIOLOCALIZACIÓN POR SATÉLITE	

Figura 1.1 Colores aplicados a los servicios de radiocomunicación, CNAF

Atendiendo a las modificaciones de atribuciones de uso de diversas bandas de frecuencias, acordadas en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones, así como las recomendaciones pertinentes presentadas por la industria, a través de la *Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones e Informática* (CANIETI), la COFETEL ha elaborado un nuevo Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, que sustituye al publicado en 1993. [7,40]

1.4 Evolución Tecnológica y Administración del Espectro Radioeléctrico para un Uso Eficiente

Las tecnologías de acceso inalámbrico se han convertido en una parte complementaria de la infraestructura de las redes de acceso fijo y móvil, permitiendo un acceso relativamente fácil y además movilidad o nomadismo.

En las bandas de 900 MHz, 2.4 y 5 GHz operan desde controles remotos para televisores, juegos electrónicos, alarmas de vehículos, sistemas de telemetría, aperturas de puertas, hornos de microondas, teléfonos y micrófonos inalámbricos; además de otros múltiples dispositivos de baja potencia y corto alcance, hasta equipos inalámbricos de banda ancha como son Bluetooth, Wi-Fi, Home RF e incluso sistemas de comunicación de área amplia punto a punto y punto a multipunto, U-NII e Hiperlan.[8]

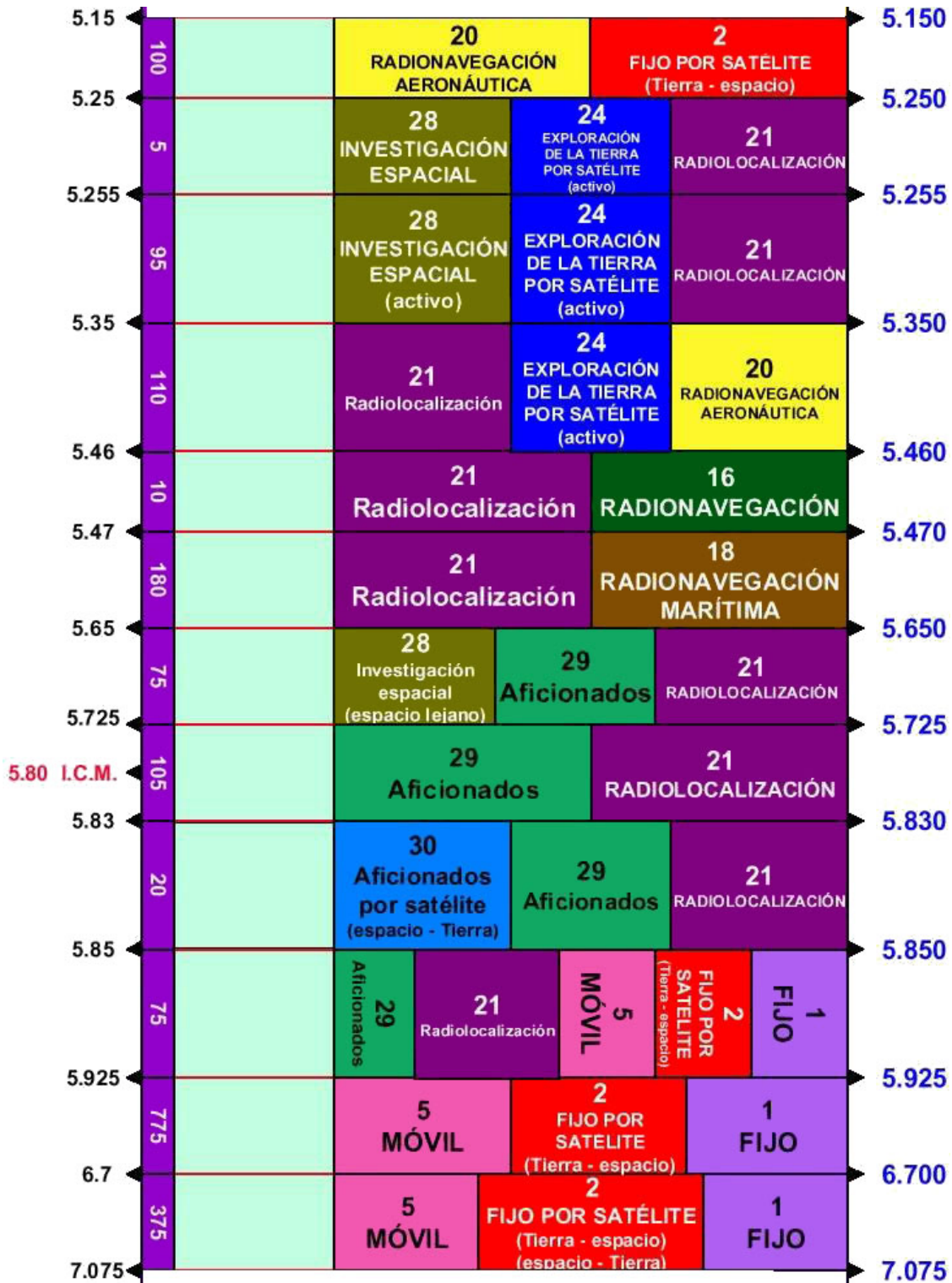


Figura 1.2 Banda de frecuencias de 5 GHz

1.4.1 Enlaces no licenciados para la Infraestructura de la Información Nacional (Unlicensed National Information Infrastructure U-NII)

Hacia 1998 se desarrollaron nuevas tecnologías inalámbricas de baja potencia en la banda de 5 GHz, consideradas como de soporte fundamental para el desarrollo de las denominadas “Infraestructuras Nacionales de la Información” ya que facilitan la incorporación de redes de banda ancha al interior de entidades privadas y públicas, al permitir diferentes aplicaciones de telecomunicación de beneficio general. Así las bandas comprendidas entre 5,150 – 5,250 MHz, 5 250 – 5,350 MHz y 5,725 – 5,850 MHz son conocidas en Estados Unidos de América como U-NII, y en Europa como redes de área local inalámbricas de alto desempeño o Hiperlan; en la figura 1.2 se muestran las atribuciones a esta porción del espectro.[8]

Estos sistemas pueden convivir en la misma banda de frecuencias con otros sistemas de radiocomunicación si se emplean potencias y antenas de ganancia y apertura acordes al ambiente en el que operarán. Por ejemplo, la configuración para una zona urbana será diferente a la configuración de una zona rural donde será posible utilizar mayores potencias.

1.5 Bandas de frecuencia contempladas para WiMAX

1.5.1 Antecedentes

El apartado 1.6 del Capítulo I del *Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2001 – 2006*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 14 de junio de 2002 señala que el Gobierno de la República orientará sus esfuerzos, entre otros, a expandir, mejorar y diversificar la provisión de servicios, así como buscar sinergias entre ellos; aprovechar las oportunidades que brinda la convergencia tecnológica, los nuevos servicios disponibles a través de Internet, las redes de comunicaciones globales y los nuevos servicios que utilizan el espectro radioeléctrico para incrementar la cobertura y la penetración de los servicios de telecomunicaciones en todo el país; favorecer el crecimiento acelerado de la teledensidad e impulsar la distribución geográfica y social equilibrada de la oferta de servicios.

Con fecha 25 de octubre de 2002, varias empresas de telecomunicaciones presentaron el “Análisis técnico y jurídico sobre las bandas 902 - 928 MHz, 2,400 – 2,483.5 MHz, 5,150 – 5,250 MHz, 5,250 – 5,350 MHz, 5,725 – 5,850 MHz” con el fin de que la COFETEL estableciera condiciones técnicas y operativas para bandas de uso libre y así poder implementar nuevas tecnologías de acceso inalámbrico fijo y móvil con la mínima interferencia. [8]

Con base en los planteamientos hechos por la industria, con fecha 1° de noviembre de 2003, la COFETEL creó un grupo interno interdisciplinario para analizar la atribución y el uso de las bandas de frecuencias de 900 MHz, 2.4 GHz y 5 GHz. Con objetivos como encontrar las razones técnicas, jurídicas y económicas para lograr promover el uso más eficiente de dichas bandas de frecuencias considerando en todos los casos el aprovechamiento del uso comercial y no-comercial.

Por otro lado, la COFETEL ha percibido a través del proceso de homologación de equipos de telecomunicaciones, que en las bandas citadas, ha proliferado el uso de sistemas de baja potencia para comunicaciones a distancia punto a punto y punto a multipunto; así como de dispositivos de corto alcance utilizando técnicas de espectro disperso y de modulación digital que están evolucionado hacia otras técnicas más sofisticadas para el uso eficiente del espectro radioeléctrico, pudiendo así compartir las mismas bandas de frecuencias. De los enlaces punto a punto y punto a multipunto en estas bandas, se estima que existen en operación en el país más de 5,000 enlaces instalados. Las principales razones por las que han proliferado este tipo de sistemas y dispositivos, es por el bajo costo de operación y mejores condiciones de propagación respecto de otros enlaces en las frecuencias convencionales de microondas, por lo que son utilizados generalmente para redes privadas y como respaldo de redes de transporte. [8]

Es importante hacer notar que el CNAF desde 1993 incluye las notas 707, 752 y 806 que señalan que las bandas de 902 – 928 MHz (frecuencia central 915 MHz), 2,400 - 2,500 MHz (frecuencia central 2,450 MHz) y 5,725 – 5,875 MHz (frecuencia central 5,800 MHz) están designadas para aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas (ICM). Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deberán aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones. Este mismo señalamiento fue

incluido por la Comisión en el CNAF de 1999 bajo la nota internacional S5.150 del artículo 5 del RR-UIT.

Para complementar lo anterior, la Dirección General de Planeación y Administración del Espectro consultó al grupo regulatorio del Foro WiMAX sobre la clasificación de la banda y la posibilidad de convivencia de varios servicios y tecnologías en la misma banda. Dicho grupo señala que el Foro cree en la importancia de la banda de 5.8 GHz como espectro de uso libre, ya que considera que esa banda es estratégica para posibilitar el desarrollo de comunidades aisladas y de baja densidad de población; así como acelerador del mercado en áreas urbanas, donde el despliegue de frecuencias concesionadas a menudo es retardado por el proceso de otorgamiento y planeación de frecuencias. El mismo Foro señala que hay ejemplos de países que han licenciado las frecuencias en 5 GHz, pero que ha sido sobre bases muy limitadas y usualmente como una fase de transición hacia uso libre. [8]

1.5.2 Resolutivos

El 28 de marzo de 2005, la Dirección General de Planeación y Administración del Espectro envió una consulta al Grupo de Trabajo Regulatorio del Foro WiMAX, respecto a la regulación en la banda de 5,725 – 5,850 MHz, recibiendo respuesta el 7 de abril de 2005.

Los razonamientos que dieron lugar a estos resultados fueron los siguientes:

- Uso eficiente del espectro radioeléctrico.
- Evitar poner barreras innecesarias al desarrollo de tecnologías tales como Wi-Fi en un ambiente controlado por especificaciones técnico/operativas.
- Permitir en la medida de lo posible la convivencia de sistemas y tecnologías que operan en dichas bandas, protegiendo de interferencias perjudiciales a las aplicaciones industriales, científicas y médicas.
- Buscar bandas candidatas para la introducción de nuevas tecnologías de banda ancha (por ejemplo: WiMAX, servicios 3G y posteriores), para la prestación de

servicios públicos de telecomunicaciones dando certidumbre jurídica a los participantes en la licitación.

- Establecer una visión de prospectiva que permita una adecuada planeación del espectro a corto, mediano y largo plazo, y, consecuentemente, se brinde certidumbre jurídica y se satisfaga la demanda de servicios.
- Facilitar el acceso a las TIC a la población en general.

La Subsecretaría de Comunicaciones reconoció las consideraciones expuestas por la Dirección General de Planeación y Administración del Espectro para determinar que la banda de frecuencias de 5,250 – 5,350 MHz fuera clasificada como de uso libre y que la de 3.5 GHz (segmento 3.6 – 3.7 GHz) fuera clasificada como de uso determinado. [8]

Cabe mencionar que para el estándar móvil aún se siguen desarrollando equipos, sin embargo, estas posibilidades deben ser tomadas en cuenta al evaluar los efectos sobre el proceso de competencia y libre concurrencia.

La tecnología WiMAX para redes inalámbricas de área metropolitana opera en la banda de frecuencias de 3,600 a 3,700 y 5,725 a 5,850 MHz, en el pleno de la COFETEL, estas frecuencias fueron clasificadas como espectro de uso determinado y reservado, respectivamente, y fueron publicadas en el DOF el 13 de Marzo del 2006, sin embargo, la banda de 5,725 a 5,850 MHz originalmente es clasificada de uso libre, por lo cual varias empresas presentaron sus observaciones a la Comisión Federal de Mejora Regulatoria. [38]

El viernes 14 de abril de 2006 en el DOF, la COFETEL da a conocer la resolución por medio de la cual la COFETEL expide las condiciones técnicas de operación de la banda 5,725 a 5,850 MHz, para su utilización como banda de uso libre. Siendo las condiciones técnicas las siguientes:

- Los sistemas, dispositivos o productos deberán ser homologados en términos del artículo 3 fracción V de la LFT y demás disposiciones reglamentarias y administrativas aplicables, y su uso debe realizarse en los términos y condiciones técnicas y operativas descritas a continuación.

- Los sistemas, dispositivos o productos deberán sujetarse a las características técnicas indicadas en las NOM que les apliquen o en su ausencia a las otras normas o recomendaciones previstas en el Reglamento de Telecomunicaciones de 1990 en su artículo 142, mismas que serán indicadas por la COFETEL.
- Las estaciones no provocarán interferencia perjudicial a estaciones cuyo usuario cuente con un permiso o concesión, ni reclamarán protección contra interferencia perjudicial proveniente de estas últimas.
- Aun cuando el equipo se encuentre debidamente homologado, en casos de interferencias perjudiciales a estaciones cuyo usuario cuente con permiso o concesión, el usuario deberá cesar la operación de los equipos hasta que se elimine la interferencia perjudicial.
- Las estaciones y equipos no recibirán protección contra interferencia proveniente de otras estaciones y equipos que operen de conformidad con la presente resolución.
- Estas bandas no podrán ser utilizadas para la operación de enlaces transfronterizos.
- La potencia máxima de transmisión entregada a las antenas de los sistemas de radiocomunicación no deberá exceder de 1 W, pudiéndose utilizar antenas de transmisión con ganancia direccional máxima de 6 dBi, de manera que se obtenga una Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) máxima de 4 W. La densidad de PIRE no deberá exceder de 200 mW/MHz en cualquier banda de 1 MHz.
- Si se utilizan antenas de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia total de entrada a las mismas y la correspondiente densidad de potencia, deberán ser reducidas en la misma cantidad que la ganancia direccional exceda de 6 dBi.
- Emisiones fuera de banda: Todas las emisiones dentro de un rango de 10 MHz fuera de los extremos inferior y superior de la banda, no deberá exceder una densidad de PIRE de -17dBm/MHz; para frecuencias a partir de 10 MHz fuera de esos rangos, las emisiones no deberán de exceder una densidad de PIRE de -27dBm/MHz. [5]

Capítulo 2

Marco teórico

Cuando los electrones se mueven crean ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio libre. El físico Británico James Clerk Maxwell predijo estas ondas en 1865 y el físico alemán Heinrich Hertz las produjo y observó por vez primera en 1887. La cantidad de oscilaciones por segundo de una onda electromagnética es su frecuencia (f) y se mide en Hertz (Hz). La distancia entre dos máximos (o mínimos) consecutivos se llaman longitud de onda y se designa de forma universal con la letra griega λ (lambda). En la figura 2.1 se muestran dos ondas sinusoidales con diferente frecuencia y misma amplitud de onda.

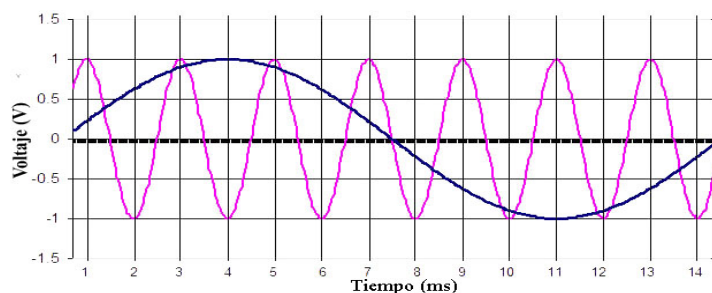


Figura 2.1 Ondas sinusoidales de frecuencia diferente

Al conectarse una antena del tamaño apropiado a un circuito eléctrico, las ondas electromagnéticas se pueden difundir de manera eficiente y captarse por un receptor a cierta distancia, toda la comunicación inalámbrica se basa en este principio.

En el vacío, todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad, no importa cual sea su frecuencia. Esta velocidad, usualmente llamada velocidad de la luz (c) es de aproximadamente 3×10^8 m/seg. La relación fundamental entre f , λ , y c , (en el vacío) se muestra en la ecuación 2.1.

$$\lambda f = c \quad \text{ec. 2.1}$$

Puesto que c es una constante, si conocemos f podemos encontrar λ y viceversa. Por ejemplo, las ondas de 1 MHz tienen una longitud de alrededor de 300m y las ondas de 1cm. tienen una frecuencia de 30GHz.

Las porciones de radio, microondas, infrarrojo y luz visible del espectro pueden servir para transmitir información modulando la amplitud, la frecuencia o la fase de las ondas. La luz ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma serían todavía mejores, debido a su frecuencias más altas, pero son difíciles de producir y de modular, no se propagan bien entre edificios y son peligrosos para los seres vivos.[42]

2.1 Tipos de transmisiones inalámbricas

2.1.1 Radio transmisión

Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar distancias largas y penetrar edificios sin problemas, son omnidireccionales y por lo tanto el transmisor y el receptor no tienen que alinearse físicamente. Utilizan la banda comprendida entre 30 MHz – 1 GHz, para transmitir señales FM, TV (UHF, VHF) y datos.

Este rango de frecuencias es el más adecuado para transmisiones simultáneas (difusión). Las perturbaciones que sufre este tipo de comunicaciones son provocadas por las reflexiones que se producen tanto en la tierra como en el mar, debidas a interferencias multitrayectoria.

Las propiedades de las ondas de radio dependen de la frecuencia. A bajas frecuencias, las ondas de radio cruzan bien los obstáculos, pero la potencia se reduce drásticamente con la distancia a la fuente, como se muestra en la figura 2.2. A frecuencias altas, las ondas de radio tienden a viajar en línea recta y a rebotar en los obstáculos. También son absorbidas por la lluvia. En todas las frecuencias, las ondas de radio están sujetas a interferencia por los motores y otros equipos eléctricos.

En las bandas VLF, LF y MF, las ondas de radio siguen el terreno. Estas ondas se pueden detectar quizás a 1000 Km. en las frecuencias más bajas y a menos en frecuencias más altas. El problema principal al usar estas bandas para comunicación de datos es el ancho de banda relativamente bajo que ofrecen.

En las bandas HF y VHF, las ondas a nivel del suelo tienden a ser absorbidas por la tierra. Sin embargo, las ondas que alcanzan la ionosfera, una capa cargada de partículas cargadas que rodea a la Tierra a una altura de 10 a 500 km., se refractan y se envían de

regreso a nuestro planeta. Estas bandas son utilizadas por el ejército y por radioaficionados que se comunican a largas distancias. [42]

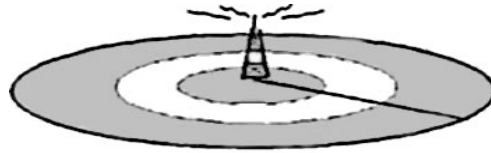


Figura 2.2 Disminución de la zona de cobertura según se aumenta la frecuencia

2.1.2 Transmisión por microondas

El ancho de banda potencial y la velocidad de transmisión aumentan con la frecuencia, por lo que sus prestaciones son muy buenas y tienen múltiples aplicaciones como la transmisión de vídeo y de voz. Por encima de los 100MHz las ondas viajan en línea recta y, por tanto, se pueden enfocar en un haz estrecho, figura 2.3. Concentrar toda la energía en un haz pequeño con una antena parabólica produce una señal mucho más alta en relación con el ruido, pero las antenas transmisoras y receptoras deben estar muy bien alineadas entre sí.

La antena típica de este tipo de microondas es parabólica, a cuanto mayor altura se sitúe la antena, mayor será la facilidad para esquivar obstáculos.

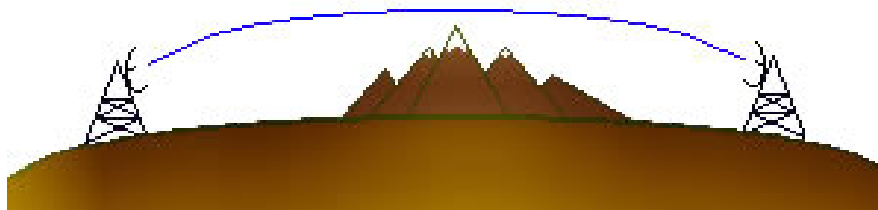


Figura 2.3 Enlace de microondas

La distancia entre las repetidoras se eleva en forma muy aproximada con la raíz cuadrada de la altura de las torres. Con torres de 100 m de altura, las repetidoras pueden estar espaciadas a de 50 km. de distancia. La comunicación por microondas se utiliza tanto para la comunicación telefónica de larga distancia, los teléfonos celulares, la distribución de la televisión y otros usos. [42]

2.1.3 Ondas infrarrojas y milimétricas

Las ondas infrarrojas y milimétricas no guiadas se usan mucho para la comunicación de corto alcance. En general, conforme pasamos de la radio de onda larga hacia la luz visible, las ondas se comportan cada vez más como luz y cada vez menos como la radio. Este tipo de ondas no atraviesan bien las paredes sólidas.

El hecho de colocar un transmisor y receptor láser o infrarrojo en la parte superior de un edificio resulta mucho más económico y fácil de instalar a comparación de otros medios de transmisión, figura 2.4.

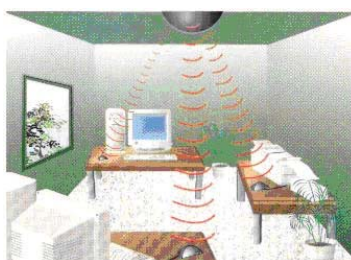


Figura 2.4 Sistema infrarrojo

Las señales infrarrojas no pueden viajar muy lejos sin debilitarse significativamente debiéndose utilizar sistemas láser de alta capacidad. El mayor problema de interferencia es causado por obstáculos físicos. Son más costosos que los sistemas de cables, sobre todo por los transmisores de alta potencia que se requieren para generar las señales para largas distancias.

Este tipo de comunicación no puede ser llevada a exteriores porque el sol brilla con igual intensidad en el infrarrojo con el espectro visible.

2.1.4 Transmisión por ondas de luz

Conectar redes de dos edificios por medio de láseres montados en sus azoteas. La señalización óptica coherente con láseres es inherente unidireccional, de modo que cada edificio necesita su propio láser y su propio fotodetector, figura 2.5. Ofrece un ancho de banda muy alto y un costo muy bajo.

Una de sus debilidades es que al apuntar un rayo de 1mm de anchura a un blanco de 1 a 500 metros de distancia requiere una muy buena puntería. Por lo general se añaden lentes al sistema para desenfocar ligeramente el rayo. Y aún así no pueden penetrar la lluvia ni la niebla densa. [42]

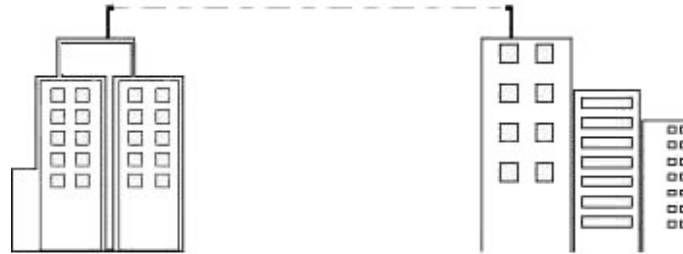


Figura 2.5 Transmisión por medio de láser

2.2 Factores que alteran la señal

La claridad de señal es la clave para la realización de una comunicación inalámbrica. Algunos de los factores que afectan la claridad son:

Potencia de la señal: Una señal fuerte permite una mejor recepción en largas distancias.

Distancia: La potencia de la señal de radiofrecuencia (RF) disminuye con la distancia. Además se pueden sumar interferencias no deseadas con lo que se consiguen distancias menores.

Interferencias: Los factores atmosféricos, como la nieve, la lluvia o el granizo, pueden interferir en la señal. Es un dato a tener en cuenta cuando se quieren realizar enlaces inalámbricos en exteriores. Normalmente las interferencias de RF son causadas por aparatos que están emitiendo cerca, en la misma banda y mismo canal que nosotros.

Cualquier señal transportada por un medio de transmisión sufre de efectos de atenuación, ancho de banda limitado, distorsión de retardo y ruido. [45] El entendimiento de estos efectos es importante debido a que el desempeño de un sistema de radio depende totalmente de las características del canal de propagación, a continuación se describen algunos de estos efectos. [12,43]

2.2.1 Corrimiento Doppler

Cuando una señal fuente y/o receptor se mueven relativamente uno de otro, la frecuencia de la señal recibida no será la misma que la de la fuente. Cuando estos se mueven lejos, la frecuencia de la señal recibida es más baja que la fuente, y cuando estos se acercan entre si la frecuencia se incrementa. Esto se denomina efecto Doppler. La cantidad de cambios de frecuencia debidos al efecto Doppler depende del movimiento relativo entre la fuente y el receptor, así como la velocidad de propagación de la onda. Puede ser escrito como la ecuación 2.2:

$$\Delta f_d = \pm f_0 \frac{v}{c} \cos \alpha \quad \text{ec. 2.2}$$

donde Δf_d es el cambio en la frecuencia de la fuente visto por el receptor, f_0 es la frecuencia de la fuente, v es la velocidad entre la fuente y el transmisor, c es la velocidad de la luz y α es el ángulo entre la línea que une al transmisor con el receptor con respecto a la dirección de desplazamiento móvil. [12]

2.2.2 Atenuación de la señal

La atenuación es la disminución de la potencia de la señal cuando se transmite de un punto a otro. Esta puede ser ocasionada por la longitud de la trayectoria, por obstrucciones en ésta o por otros efectos del entorno multitrayectoria. El opacamiento de la señal puede ocurrir si existe una obstrucción entre el transmisor y receptor. Esto es ocasionada generalmente por edificios y colinas y es el factor de atenuación ambiental más importante. Cantidades típicas de la variación en la atenuación debida al opacamiento son mostradas en la tabla 2.1. [12]

Descripción	Atenuación típica debida al opacamiento
Centro urbano densamente poblado	20dB de variación de una calle a otra
Área suburbana, muy pocos edificios grandes	10dB mas potencia de la señal que en centros suburbanos.
Área rural abierta	20dB más de potencia de la señal que en áreas suburbanas
Terreno irregular y follaje de árboles	3-12 dB de variación en la potencia de la señal.

Tabla 2.1 Atenuaciones típicas

2.2.3 Desvanecimiento Rayleigh

En un enlace de radio, las señales RF que se transmiten pueden ser reflejadas por objetos tales como colinas, edificios o vehículos, lo cual da lugar a múltiples trayectorias de propagación hacia el receptor.

La fase relativa de las múltiples señales reflejadas puede causar interferencia constructiva o destructiva en el receptor. Esto se experimenta sobre distancias muy cortas, por lo cual se otorga el término de rápido desvanecimiento. Estas variaciones pueden ser de 10 a 30 dB sobre una corta distancia. La distribución Rayleigh es comúnmente utilizada para describir la naturaleza tiempo-variante estadística de la potencia de la señal recibida. Esta describe las probabilidades en el nivel de la señal recibida debido al desvanecimiento. La tabla 2.2 muestra el porcentaje de probabilidad de que el nivel de la señal sea menor que los valores de la segunda columna de la tabla para una distribución Rayleigh.[12]

Nivel de la señal	Porcentaje de probabilidad
10	90
0	50
-10	5
-20	.5
-30	0.05

Tabla 2.2 Distribución Rayleigh

En la figura 2.6 se muestra que la amplitud de la onda reflejada es una fracción de la onda directa y al ser éstas combinadas en el receptor, la señal sufre una atenuación considerable; el grado de atenuación dependerá del material reflejante.

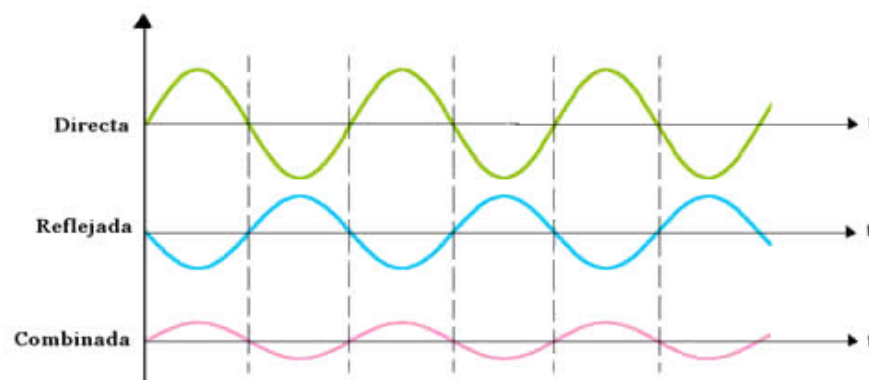


Figura 2.6 Desvanecimiento Rayleigh

2.2.4 Desvanecimiento selectivo de la frecuencia

En cualquier transmisión de radio, la respuesta espectral del canal es no plana. Este tiene hundimientos o desvanecimientos en su respuesta debidos a las reflexiones, causando la cancelación de algunas frecuencias en el receptor. [12]

2.2.5 Interferencia por retardo de dispersión

Como ya se explico, la señal de radio recibida desde el transmisor consiste típicamente de la suma de una señal directa y replicas reflejadas. Las señales reflejadas arriban un tiempo después del arribo la señal directa, debido a la longitud extra de su trayectoria, dando lugar tiempos de arribo ligeramente distintos del pulso transmitido, como se muestra en la figura 2.7.

El retardo de dispersión, retardo multitrayectoria o retardo del canal, es una medida de la forma en que la potencia de la señal se dispersa sobre el tiempo de arribo entre la primera y última señal multitrayectoria al receptor. En un sistema digital, el retardo de dispersión puede conducir a interferencia entre símbolos. Esto se debe a que las señales multitrayectoria retardadas se traslapan con los siguientes símbolos. [12]

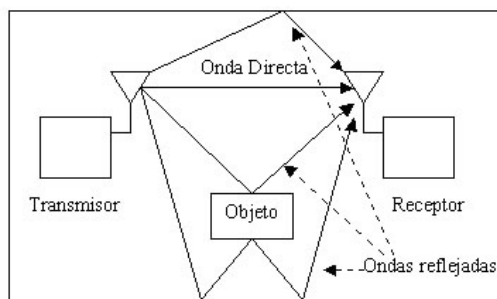


Figura 2.7 Interferencia entre símbolos por ambiente multitrayectoria

2.2.6 Interferencia de co-canal

Ésta ocurre cuando la misma frecuencia de portadora alcanza el mismo receptor de dos diferentes transmisores.

Las dos antenas de transmisión así como los sistemas de la antena más enfocados esparcen las señales por áreas relativamente anchas. Las señales que pierde un usuario

intencional pueden volverse interferencia para los usuarios en la misma frecuencia en las células mismas o inmediatas, representado en la figura 2.8.

Aunque las antenas sectorizadas multiplican el uso de canales, no superan la desventaja de interferencia del co-canal de una antena normal.

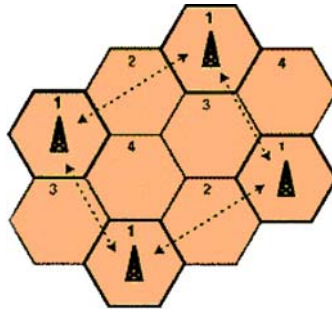


Figura 2.8 Interferencia de co-canal

2.3 Redes inalámbricas

Básicamente las redes inalámbricas son una tecnología que permite a los usuarios acceder a información y servicios electrónicamente, sin importar su posición geográfica. Para lograr esto, en la actualidad existen diversas tecnologías, tal es el caso de las ondas celulares, la luz infrarroja y el espectro disperso (Spread Spectrum), que han evolucionado enormemente con tecnologías como Acceso Múltiple por División de Código (Code Division Multiple Access CDMA) entre otras.

2.3.1 Grupo IEEE 802

La primera reunión de la sociedad de computación IEEE “Comité de Estándares de Redes de Área Local” (Local Network Standards Comité LNSC), fue en febrero de 1980. Este proyecto no sólo alcanzó a las Redes de Área Local (Local Area Network LAN) sino que también abarcó a las Redes de Área Metropolitana (Metropolitan Area Network MAN). Este grupo se dedica a desarrollar estándares para la comunicación de datos por medio de paquetes en redes LANs y MANs que son descritos por protocolos definidos por el modelo OSI, principalmente para las 2 capas más bajas de este modelo que son la Capa Física “PHY” y la Capa del Enlace de Datos, que se subdivide en Control de Enlace Lógico “LLC” y Control de Enlace “MAC”, figura 2.9.

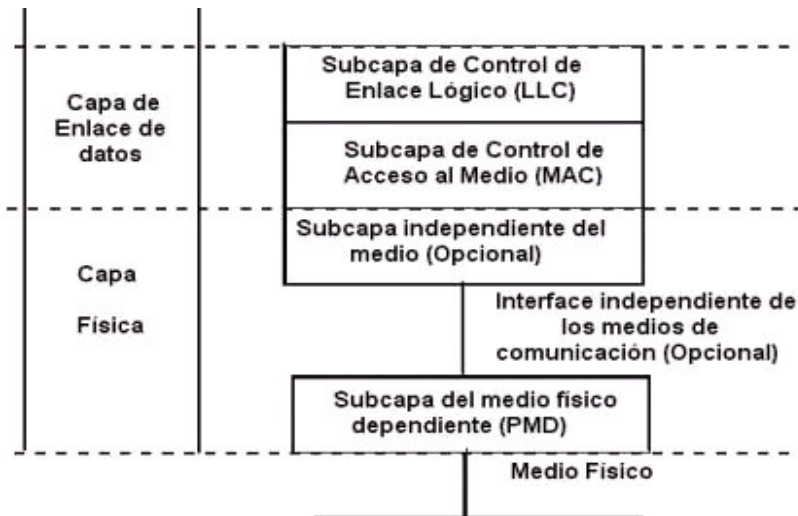


Figura 2.9 Modelo de red de área local y metropolitana

Las capas se definirán a manera de que el dispositivo y su aplicación sean independientes, para evitar cambios en otros protocolos. [49]

Dentro de la consideración genérica de redes inalámbricas podemos encontrar distintas categorías en función del rango o alcance en que una tecnología presta un servicio (figura 2.10):

- *Wireless Personal Area Network (WPAN)*: Redes para interconexión de dispositivos personales (PDA's, portátiles...) a muy corto alcance, baja velocidad y con necesidad de visión sin obstáculos. Definida por el estándar 802.15.
- *Wireless Local Area Network (WLAN)*: Redes para interconexión corporativa (oficinas, escuelas...). Definida por el estándar 802.11.
- *Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)*: Redes usadas típicamente para interconexión de distintas oficinas de una misma empresa en el radio de una ciudad. Definida por el estándar 802.16.
- *Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)*: Redes inalámbricas para acceso de Banda Ancha. Definida por el estándar 802.20.

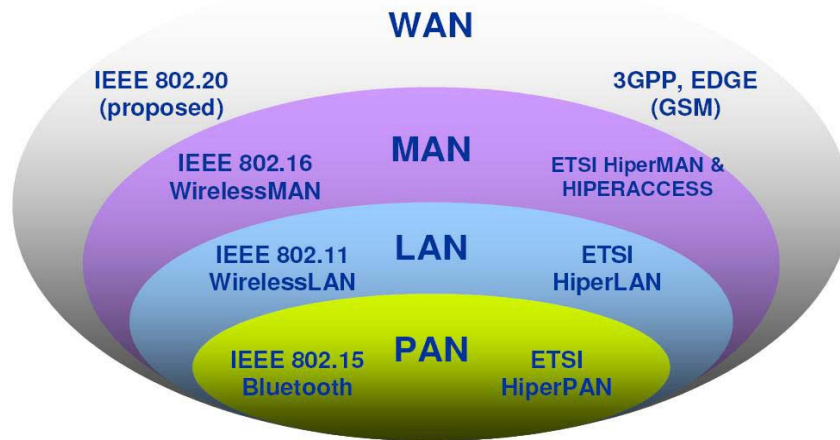


Figura 2.10 Posicionamiento de estándares inalámbricos

Como podemos observar, la IEEE ha establecido una jerarquía de estándares inalámbricos que se complementan entre sí. Cada estándar representa la tecnología optimizada para distintos mercados y usos del modelo. Un ejemplo de estos es la relación que existe entre un sistema Wi-Fi y un sistema WiMAX, mientras que Wi-Fi provee de comunicación en un sector de alguna empresa, WiMAX provee la comunicación entre los diferentes sectores de la misma empresa.

En la figura 2.11 se muestra algunas de las tecnologías que existen y se observa una comparación entre características como lo son la velocidad de transmisión y grado de movilidad.

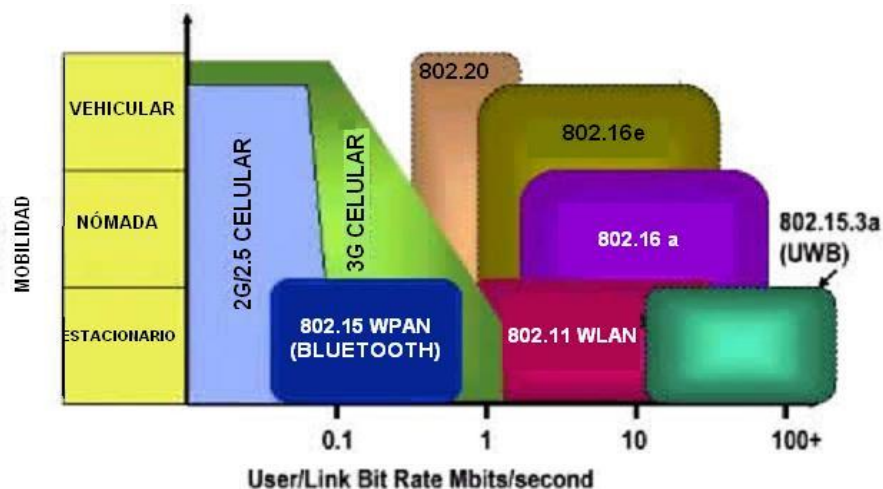


Figura 2.11 Esquema comparativo de diversas tecnologías que coexisten

2.4 Características de redes inalámbricas de datos según la clasificación de IEEE

2.4.1 WPAN IEEE 802.15

Esta tecnología permite interconectar diferentes dispositivos dentro de un área próxima sin la necesidad de usar cables.

Se conoce como Bluetooth, es un enlace radio de corto alcance que aparece asociado a las WPAN. Este concepto hace referencia a una red sin cables que se extiende a un Espacio de Funcionamiento Personal (Personal Operating Space POS) con un radio de hasta 10 metros. Las WPAN constituyen un esquema de red de bajo costo que permite conectar entre sí equipos informáticos y de comunicación portátil y móvil. Utiliza baja potencia aproximadamente de 1mW y ofrece ancho de banda de 1MHz a una velocidad de 720 Kbps. Hace uso de la modulación por Desplazamiento de Frecuencia (Frequency-Shift Keying FSK). El objetivo es que todos estos equipos se puedan comunicar e interoperar entre sí sin interferencias, figura 2.12. Esta tecnología opera en la banda de 2,400 – 2,483.5 MHz, la cual es la banda de aplicaciones ICM. [37, 56]



Figura 2.12 Aplicación de bluetooth

2.4.2 WLAN IEEE 802.11

Este fue el primero de los estándares definidos por la IEEE para aplicaciones WLAN. Funciona sobre la banda ICM de 2.4 GHz (de 2,400 MHz a 2.483,5 MHz) y utiliza dos tipos de modulación: Espectro Disperso por Secuencia Directa (Direct Sequence Spread Spectrum DSSS) y Espectro Disperso por Salto de Frecuencia (Frequency Hopped Spread Spectrum FHSS). La velocidad de transmisión que es capaz de alcanzar hasta 54 Mbps.

La expresión Wi-Fi (abreviatura de “Wireless Fidelity”) se utiliza como denominación genérica para los productos que incorporan cualquier variante de la tecnología inalámbrica 802.11 (802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11h, 802.11e, 802.11f, 802.11i, 802.11n), que permite la creación de redes inalámbricas conocidas como WLAN como la mostrada en la figura 2.13.

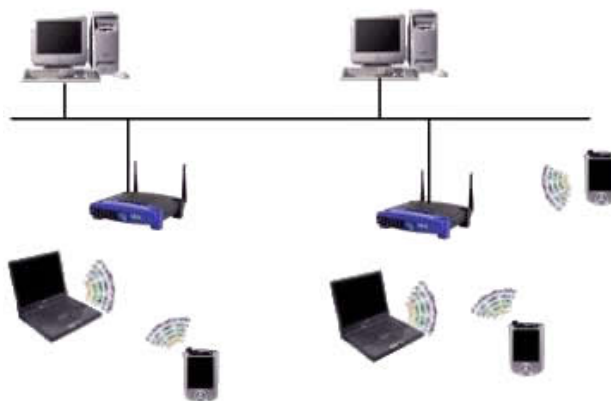


Figura 2.13 Red LAN inalámbrica

La tabla 2.3 muestra las características principales del estándar. [30,63]

Estándar WLAN	802.11b	802.11 a	802.11g	802.11h
Organismo	IEEE	IEEE	IEEE	IEEE
Finalización	1999	2002	Jun, 2003	2003
Denominación	Wi-fi	Wi-fi 5		
Banda de frecuencias	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	5 GHz
Velocidad máx.	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Interfaz aérea	SSDS/FH	OFDM	OFDM	OFDM
Disponibilidad	>1000	Algunos	Algunos	Algunos
Núm. de canales	3 no solapados	12 no solapados	3 no solapados	19 no solapados

Tabla 2.3 Características del estándar 802.11

2.4.3 MBWA IEEE 802.20

La misión del estándar IEEE 802.20 sistema denominado genéricamente: Mobile Broadband Wireless Access (MBWA), es desarrollar la especificación de las capas PHY y MAC de un interfaz aérea que opere en el espectro asignado al del servicio móvil, basada en conmutación de paquetes y optimizado para el transporte IP que opera en las bandas licenciadas por debajo de 3,5 GHz., trabaja con velocidades por encima de 1 Mbps, soporta

movilidad por encima de los 250 Km/h, cubre tamaños de celda que permitan coberturas continuas de áreas metropolitanas, obtiene eficiencias espectrales, velocidades de transmisión sostenidas y número de usuarios activos significativamente más altos que con los sistemas móviles existentes.

Utiliza el espectro disperso, Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (Orthogonal Frequency División Multiplexing OFDM), antenas adaptativas, arquitectura celular y técnicas avanzadas de procesamiento digital. Las aplicaciones incluyen Intranets seguras y servicios de Redes Privadas Virtuales (Virtual Private Network VPN), además de juegos por Internet en tiempo real. [27,36]

2.4.4 WMAN IEEE 802.16

El IEEE estableció un grupo de trabajo, el IEEE 802.16, para proponer una tecnología de largo alcance para redes del tipo WMAN y así poder interconectar las redes WLAN. El resultado ha sido el desarrollo de un nuevo estándar, cuyas características más destacables son una importante compatibilidad técnica con la serie 802.11. Se orienta hacia un uso eficiente de frecuencias en las bandas licenciadas entre 10 y 66 GHz, así como también está trabajando en las no licenciadas entre 2 a 11 GHz. El estándar 802.16x define un nivel MAC (Media Access Layer) que soporta múltiples enlaces físicos. Esto es esencial para que los fabricantes de equipos puedan diferenciar sus productos y ofrecer soluciones adaptadas a diferentes entornos de uso. [53]

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access o Interoperabilidad Global para Acceso por Microondas.) es el nombre comercial de un grupo de tecnologías inalámbricas que emergieron de la familia de estándares WMAN IEEE 802.16. En abril del 2002 que se publicó la primera versión del 802.16, y se refería a enlaces fijos de radio con visión directa (Line of Sight LoS) entre transmisor y receptor, utilizando eficientemente varias frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz. Soporta FDD y TDD, así como modulación y codificación adaptativa. [51]

Un año más tarde, en marzo de 2003, se ratificó una nueva versión, el 802.16a, y fue entonces cuando WiMAX, empezó a cobrar relevancia, rápidamente.

Actualmente más de 350 compañías son miembros del Foro de WiMAX, representando el ecosistema entero de compañías necesarias para brindar productos certificados para ser comercializados, incluye fabricantes de equipo, operadores, integradores del sistema, fabricantes de silicón y componentes, y proveedores de la aplicación. [36] Entre los principales actores del Foro WiMAX se encuentra Intel, Nokia, Motorola, Qualcomm, Alvarion, Alcatel, Siemens, Wavesat, WiLAN, NextNet Wireless, Aperto Networks, BT, France Telecom, AT&T Wireless, Qwest, Covad, PCCW de Hong-Kong, entre otros. [64]

2.5 Características de WiMAX

WiMAX, puede ser una tecnología complementaria entre redes alámbricas e inalámbricas para permitir la convergencia total entre herramientas e información desde cualquier lugar. [13] La figura 2.14 se muestra un esquema de las posibilidades uso de esta tecnología.

La tecnología WiMAX soporta varios cientos de usuarios por canal, es adecuada tanto para tráfico continuo como por ráfagas y es independiente de protocolo. Es ideal para aplicaciones que demanden un alto ancho de banda a mayores distancias y permite a los proveedores de servicio la convergencia de la red basada toda sobre IP para triple-play, es decir que podrán ofrecer los servicios de datos, voz, y video. Así, transporta ATM, IPv4, IPv6, Ethernet, y VLAN. [58]

WiMAX usa una capa física basada en OFDM proporciona una modulación adaptativa a cada suscriptor de forma individual de acuerdo a la capacidad del radio del canal asignado. Este tipo de multiplexación permite esquemas de modulación para ser asignados dinámicamente, haciendo intercambios automáticos entre el rango de alcance y el rendimiento incrementando el nivel de servicio a los usuarios finales. Además soporta difusiones del tipo multicast, unicast y broadcast. [24]

La flexibilidad de la calidad de servicio (QoS), permite a las portadoras entallar los servicios para las necesidades específicas de diferentes medios de comunicación, como voz, video, y datos en general. Por ejemplo, la voz y el vídeo requieren baja latencia pero

soportan bien la pérdida de algún bit, mientras que las aplicaciones de datos deben estar libres de errores, pero toleran bien el retardo. [56]

Una de las principales limitaciones en los enlaces a larga distancia vía radio es la limitación de potencia, para prever interferencias con otros sistemas, y el alto consumo de batería que se requiere, sin embargo, los más recientes avances en los procesadores digitales de señal (Digital Signal Processing DSP) hacen que señales muy débiles puedan ser interpretadas sin errores.[60]

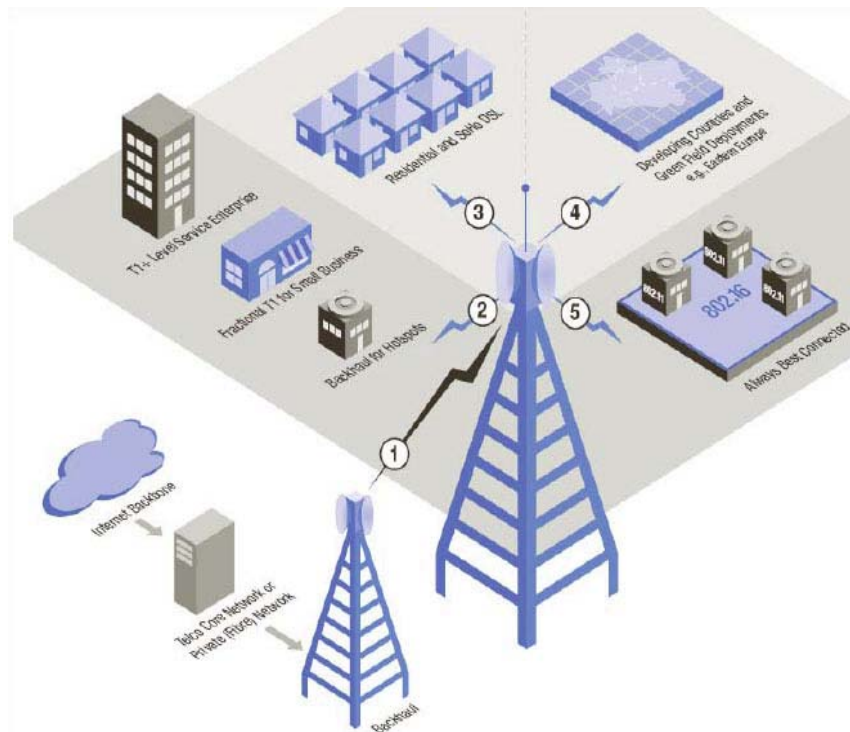


Figura 2.14 Diversas soluciones a la demanda de banda ancha con WiMAX

Cabe destacar que WiMAX soporta las llamadas antenas inteligentes, propias de las redes celulares de 3G, lo cual mejora la eficiencia espectral, llegando a conseguir 5 bps/Hz; evitan las interferencias entre canales adyacentes y se consume menos potencia al ser un haz más concentrado.

También, se contempla la posibilidad de formar redes malladas (Mesh Networks) que permite, por ejemplo, la comunicación entre usuarios dispersos a un bajo costo y con una gran seguridad al disponerse de rutas alternativas entre ellos.

El estándar 802.16 en la banda de 5 GHz soporta velocidades de transferencia de hasta 75 Mbps, mismo que en las bandas que van de 10 a 66 GHz permite velocidades de hasta 120 Mbps. Estas velocidades tan elevadas se consiguen utilizando OFDM con 256 subportadoras, la cual puede ser implementada de diferentes formas, según cada operador, siendo la variante de OFDM empleada un factor diferenciador del servicio ofrecido, no obstante también utiliza Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA).

Cabe mencionar que hace uso de técnicas como la diversidad espacio-tiempo codificado, y Petición Automática de Retransmisión (Automatic Request ARQ), para aumentar la cobertura. En cuanto a seguridad, incluye medidas para la autenticación como los certificados X.509 usando DES en modo CBC (Cipher Block Chaining). Para encriptación de los datos utiliza los algoritmos Triple DES (128 bits) y RSA (1.024 bits), así como AES. [54,55]

El IEEE 802.16-2004, que también es conocido como 802.16 REVd es una mejora del estándar 802.16a que fue certificado en octubre de 2004, diseñado para enlaces fijos, llega a extender el rango alcanzado desde 40 a 70 kilómetros, emplea las bandas de 3.5 GHz y 10.5 GHz, válidas internacionalmente, que requieren licencia, y las de 2.4 GHz y 5.725-5.825 GHz que son de uso común y no requieren disponer de licencia alguna. Por otra parte, también está el estándar IEEE 802.16e conocido como 802.16-2005 o WiMAX móvil. Su principal mejora en referencia al estándar fijo, son los esquemas de modulación; está diseñado para aplicaciones NLOS para sistemas inalámbricos fijos y móviles, principalmente reforzando el OFDMA, llamado OFDMA Escalable (Scalable OFDMA SOFDMA). [59]

No obstante cabe mencionar que el estándar IEEE 802.16e es incompatible con el IEEE 802.16-2004. Lo único que estos dos estándares propuestos tienen en común es que emplean el mismo rango de frecuencia (sub 11GHz).

WiMAX tiene similares, son los estándares Hiperaccess (>11 GHz) e HiperMAN (<11 GHz) del ETSI, que también utiliza OFDM. Uno de los objetivos principales del Foro WiMAX ha sido crear un solo estándar interoperable del IEEE 802.16 e HiperMAN del ETSI. Esto se logra por la creación de Perfiles del Sistema seleccionando a Cetecom España como su primer laboratorio de la certificación oficial.

2.6 Transmisión en RF

El sistema de RF para WiMAX resulta ser un poco más complicado por el hecho que utiliza bandas licenciadas y no licenciadas, las soluciones deben de ser lo suficientemente flexibles porque varios países tienen sus propias regulaciones.

WiMAX, a través del uso de integración y técnicas avanzadas para aumentar los márgenes de enlace, ha permitido lograr que los sistemas inalámbricos sean fiables a un costo razonable.

2.6.1 Operaciones de transmisión

Para proveer canales bidireccionales (en dirección directa y de retorno) simétricos se han ideado 2 métodos (figura 2.15):

FDD: Frequency Division Duplex: canales separados en frecuencia

TDD: Time Division Duplex: canales separados en el tiempo [49]

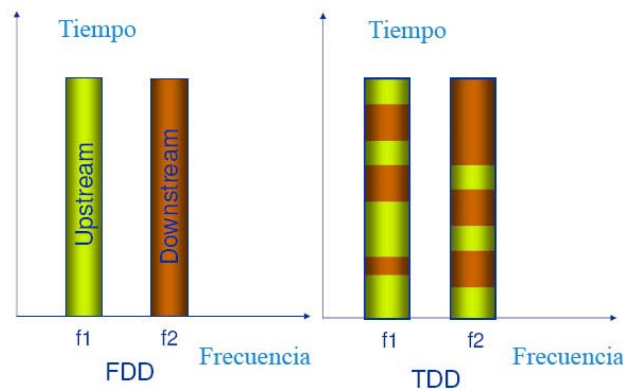


Figura 2.15 Modos de duplexación

2.6.2 TDD

Muchos sistemas de radio, no requieren la operación full-dúplex. En estos sistemas se puede transmitir y recibir en la misma frecuencia pero no en el mismo tiempo. Esta clase de dúplex se llama half-dúplex, y es necesario que un usuario de una indicación de que ha terminado de hablar, y está preparado para recibir respuesta de otro usuario.

2.6.3 FDD

Debido a que es difícil y muy caro construir un sistema de radio que pueda transmitir y recibir señales al mismo tiempo y por la misma frecuencia, es común definir un canal de frecuencia con dos frecuencias de operación separadas, una para el transmisor y otra para el receptor. Todo lo que se necesita es añadir filtros en los caminos del transmisor y del receptor que mantengan la energía del transmisor fuera de la entrada del receptor. Se podría usar una antena común como un sistema de filtrado simple. Los sistemas de filtrado se llaman duplexores y nos permiten usar el canal en el modo full-dúplex.

2.7 Interfaz RF

Todos los esquemas y mecanismos que usamos para hacer posible la comunicación en el canal de radio, se agrupan en los procedimientos de la interfaz de radio.

El chip de banda base digitaliza la señal analógica y realiza el procesamiento de la señal. Este chip de la capa física PHY contiene bloques para filtrado, Control Automático de Ganancia (CAG), demodulación de datos, seguridad, y estructuración de datos. Hay parámetros comunes como el CAG que es compartido por PHY, MAC, y el radio. Otros bloques de la interfaz son la Entrada/Salida de Propósito General (General Purpose In/Out GPIO), Modulador-Demodulador de Ancho de Pulso (Pulse Width Module PWM), Convertidores Analógico/Digital y Convertidores Digital/Analógico.

Dos parámetros fundamentales que manejan el diseño del radio son el ruido y linealidad. La meta es lograr el rango dinámico en la presencia de señales no deseadas. Esto requiere una distribución de ganancia y filtrado a través de la cadena de transmisión o de recepción. [25]

2.7.1 Radio TDD

En la figura 2.16 se muestra un radio del tipo TDD que contiene el sintetizador y los filtros. Este modo requiere sólo un Oscilador Local, además sólo es necesario un filtro de RF que es compartido entre el transmisor y el receptor. El filtro de RF en un sistema TDD no es requerido para atenuar el ruido de transmisión, como en los sistemas de FDD. El modo de TDD previene el ruido de transmisión bloqueando la recepción. Se ahorra energía en esta arquitectura, resultado directo de apagar el receptor mientras se utiliza el modo de transmisión y viceversa.

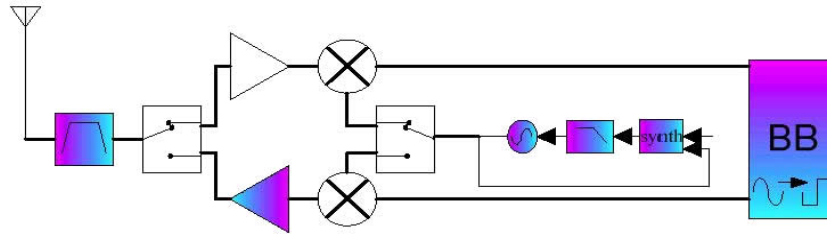


Figura 2.16 Radio TDD

Los sistemas de TDD son prominentes en las bandas no licenciadas; en estas bandas las regulaciones para el ruido del rendimiento son menores que en las bandas licenciadas.

2.7.2 Radio FDD

La figura 2.17 muestra un radio del tipo FDD. El software es más simple porque no tiene que tratar con los problemas de sincronización de tiempo como en los sistemas de TDD.

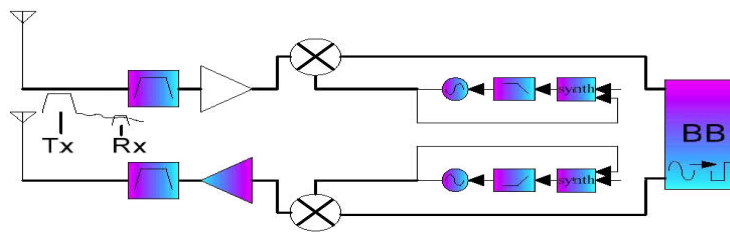


Figura 2.17 Radio FDD

Este radio es capaz de transmitir datos mientras que está recibiendo otros, sin tener alguna degradación en la Tasa de Error de Bit (Bit Error Rate BER). Para aliviar la carga en el filtro hay un espacio entre la banda de frecuencia de transmisión y la banda de frecuencia de recepción, la separación típica es de 50 MHz a 100 MHz.

El ruido de transmisión debe ser 10 dB debajo del ruido de entrada de recepción, que en todo caso que el ruido de transmisión sólo degradaría al de recepción por 0.5 dB. La naturaleza del circuito full-dúplex requiere un sintetizador de transmisión y recepción separado. Los sistemas de FDD se emplean típicamente en bandas licenciadas, por ejemplo, 2.5 GHz o 3.5 GHz. El costo del espectro obliga a optimizar la capacidad de los

canales. Se puede tener a la estación base trabajando en FDD y a la estación subscriptora en HFDD para ir reduciendo los costos.

2.7.3 Radio HFDD

La arquitectura de HFDD (Half FDD), que muestra en la figura 2.18 combina las ventajas de los sistemas de TDD con FDD.

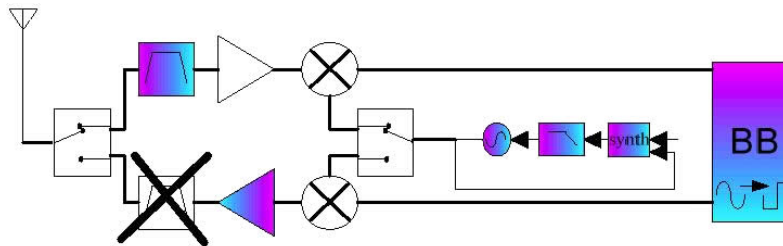


Figura 2.18 Radio HFDD

La estación base puede operar en FDD y puede retener su capacidad que es una ventaja por encima de los sistemas de TDD. La reducción del costo aparece en el filtro de transmisión de RF, los ahorros de energía también son comprendidos como en los sistemas TDD.

El autobloqueo no es un problema como en TDD, pero demasiados cambios en el filtro de transmisión puede producir interferencia entre los usuarios.

Hay también una pérdida de capacidad en la Estación del Suscriptor ya que la radio no puede transmitir y recibir simultáneamente.

La estructura de HFDD puede usarse en bandas licenciadas y no licenciadas. El transmisor y receptor pueden estar en la misma frecuencia como en los sistemas de TDD o separados por un espacio entre frecuencias como en FDD. Este tipo de radio es muy flexible.

2.8 Principales bloques del sistema RF

2.8.1 Amplificadores

En cualquier sistema de comunicaciones el principal parámetro de calidad es la relación C/N (Carry/Noise o Portadora/Ruido) en el receptor. Este parámetro define que tanta potencia de la señal se compara con la potencia de ruido presente en el canal.

Las transmisiones de las señales de RF a través del sistema están fundamentalmente limitadas por la distorsión generada por el amplificador de potencia y por la potencia de Corriente Directa (CD) consumida por el amplificador.

El amplificador de potencia debe de mantener un alto grado de linealidad, también debe de haber una reducción en la magnitud del consumo de la energía. Un factor importante en esto es la reducción en el voltaje de la batería, en especial si se desea aplicar estos tipos de amplificadores de potencia a PDA, PC portátiles y otros dispositivos electrónicos alimentados con baterías. [29]

2.8.2 Filtros

El filtrado es requerido para eliminar señales indeseables de canales adyacentes o alternados. Cualquier ruido de estas señales inmediatas puede introducir ruido en la banda deseada. Filtrar en el receptor no ayuda; solo una señal limpia en la transmisión puede prevenir una degradación.

EL filtrado, como ganancia, debe distribuirse entre RF y subsecuentes conversiones de bajada. Los filtros de RF son típicamente mayores a 50 MHz de ancho y se construyen de varias tecnologías. [61]

2.8.3 Sintetizadores

EL sintetizador genera el oscilador local que mezcla con la señal de entrada para crear una señal de frecuencia más baja que pueda ser digitalizada y procesada por el circuito integrado de banda base. [25]

2.9 Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia (OFDM)

La técnica de modulación OFDM constituye un caso particular de las modulaciones multiportadora (Multi-Carrier Modulation MCM) y puede ser vista como una técnica de modulación o como una técnica de multiplexación. [39]

La Multiplexación por División de Frecuencia (Frequency División Multiplexing FDM), elige frecuencias alejadas entre sí de forma que los espectros no se traslapen, esto consiste en situar los espectros de las señales en frecuencias tales que cada uno pueda separarse de los demás por medio del filtrado, figura 2.19. Este ancho de banda extra es para tolerar cualquier corrimiento de la frecuencia central del transmisor o receptor, en el cual más del 50 % del total del espectro es desperdiciado. [9]

TDMA sobrelleva en parte este problema usando canales de mayor ancho de banda. Múltiples usuarios acceden al mismo canal transmitiendo sus datos en distintos intervalos de tiempo.

En cambio OFDM hace uso del espectro de una manera más eficiente al espaciar los canales mucho más cercanos unos de otros, haciendo a las portadoras ortogonales entre sí, figura 2.20. [41]

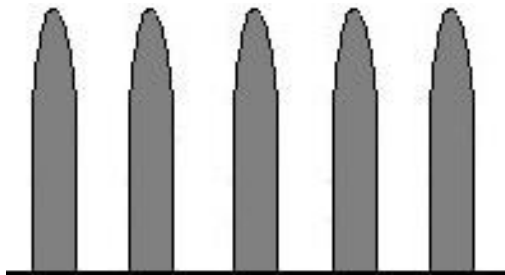


Figura 2.19 Espectro de portadora FDM en el dominio de la frecuencia

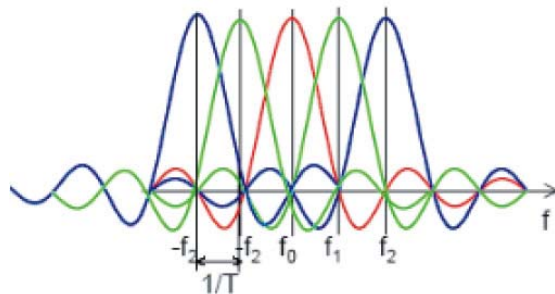


Figura 2.20 Espectro de la portadora OFDM en el dominio de la frecuencia

En una transmisión OFDM simple, todas las subportadoras están sincronizadas entre sí y el sistema está restringido a esquemas de modulación digital. OFDM está basado en símbolos y puede imaginarse como un gran número de portadoras de baja tasa de bits transmitiéndose en paralelo (ver figura 2.21). Puesto que múltiples portadoras forman una sola transmisión OFDM, éstas se denominan comúnmente “subportadoras” reservando el

término de “portadora” para describir la portadora RF que trasladará la señal desde la banda base. Estas múltiples subportadoras se superponen en el dominio de la frecuencia pero no producen interferencia entre portadoras (Carrier Interference ICI). [1]

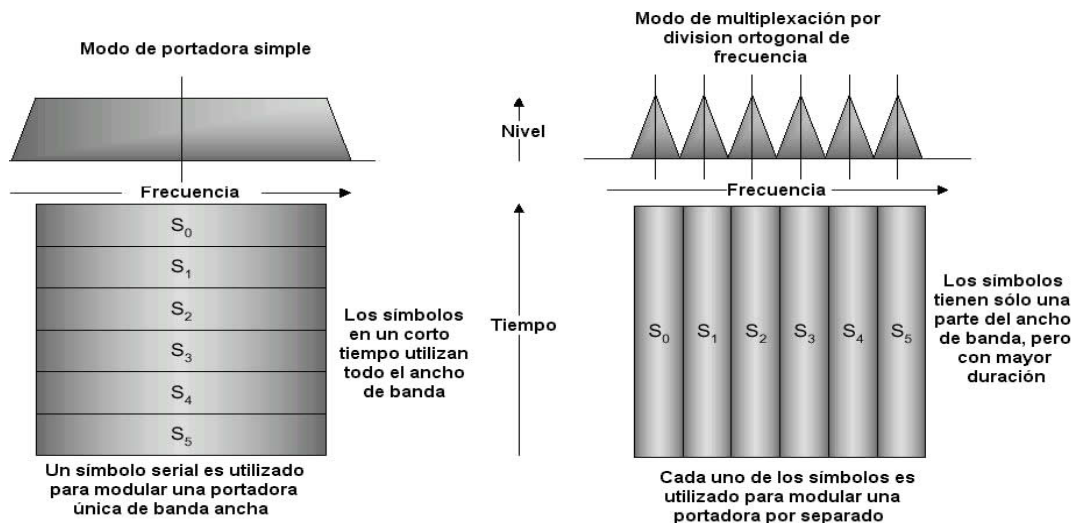


Figura 2.21 Transmisión de símbolos de OFDM en modo simple y con subportadoras

Las señales OFDM son construidas a partir de una suma de sinusoides, cada una correspondiendo a una subportadora diferente. La ortogonalidad de las subportadoras quiere decir que cada portadora tiene un número entero de ciclos sobre un período de símbolo. Desde la perspectiva del dominio del tiempo, cada subportadora es una senoide dentro de un intervalo de la Transformada Rápida de Fourier (Fast Fourier Transform FFT); desde la perspectiva del dominio de la frecuencia, esto corresponde a cada subportadora teniendo el valor máximo en su propia frecuencia central y un nulo en la frecuencia central de cada una de las demás subportadoras, evitando así interferencia entre ellas. [10]

Antes de transmitir, las subportadoras moduladas individuales se combinan para formar una sola señal compuesta mediante la FFT, la cual produce una señal de salida en el dominio temporal que tiene un ancho de banda similar al que se requiere para un esquema de portadora única. El criterio para elegir entre los dos esquemas de modulación será el costo y requerimientos de la potencia de procesamiento para realizar la operación de

ecualización, en comparación con el que se requiere para efectuar las operaciones de FFT.[44]

2.9.1 Símbolo OFDM

Un conjunto de subportadoras durante un segmento de tiempo se denomina símbolo. Para implementar la modulación COFDM (Coded OFDM, el cual se detalla más adelante) se realiza una partición del canal de transmisión en el dominio del tiempo y de la frecuencia:

- El dominio de la frecuencia es dividido en un conjunto de estrechas "sub-bandas de frecuencia".
- El dominio del tiempo es dividido en un conjunto de pequeños y contiguos "segmentos de tiempo".

Para generar un símbolo OFDM en banda base, una secuencia de datos digitalizados es primero modulada mediante esquemas comunes de modulación digital (en fase PSK *Phase Shift Keying* o en amplitud QAM *Quadrature Amplitude Modulation*). Estos símbolos son entonces convertidos a secuencias paralelas antes de modular las subportadoras, las cuales son muestreadas con una tasa de N/T_s , en donde N es el número de subportadoras y T_s es el periodo del símbolo OFDM (figura 2.22). La separación en frecuencia entre dos subportadoras adyacentes es de $2\pi/N$. Por último las muestras de cada subportadora son sumadas para formar un componente de la señal OFDM. Un símbolo generado a través de un sistema OFDM de N subportadoras consiste de N muestras. La Transformada Rápida Inversa de Fourier (Inverse Fast Fourier Transform IFFT) es aplicada sobre la secuencia de datos de entrada de un transmisor OFDM para su modulación en banda base y la FFT es aplicada sobre la secuencia recibida en el receptor para la correspondiente demodulación en banda base. [2]

Durante cada segmento de tiempo, las subportadoras son moduladas con datos codificados. El número de bits transmitidos por cada subportadora, depende de la clase de modulación utilizada (por ejemplo, 2 bits si se usa 4QAM, 4 bits si usamos 16QAM, y 6 bits si usamos 64QAM).

En un ambiente multitrayectoria, desde el punto de vista de los receptores, el canal introduce dispersión en el tiempo debido a lo cual la duración del símbolo recibido es alargada. Al extender la duración en el tiempo del símbolo se produce que el símbolo actual recibido se traslape con símbolos recibidos anteriormente y resulte en interferencia entre símbolos (ISI)

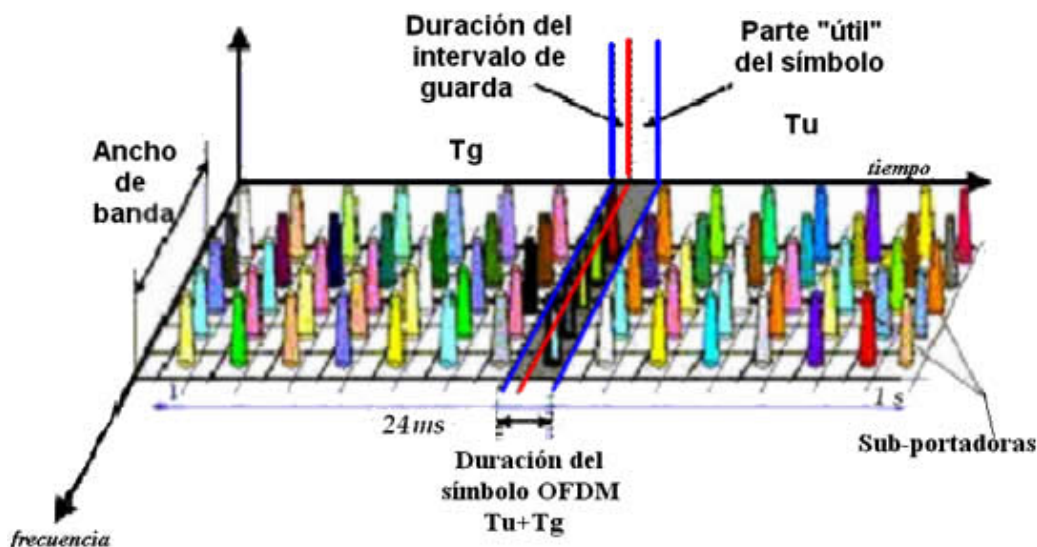


Figura 2.22 Portadora OFDM

El receptor muestrea los símbolos sobre subportadoras individuales en los puntos máximos y los demodula libres de cualquier interferencia provocada por las demás subportadoras. [39]

Para reducir la ISI se inserta un intervalo de guarda al inicio, llamado prefijo cíclico (Cyclic Prefix CP), figura 2.23, que repite la última parte del símbolo al inicio de cada símbolo (usualmente es una copia de las 8 o 16 últimas muestras del símbolo OFDM con un periodo T_{CP} , esto hace que la señal transmitida sea periódica. Al final se transmite, primero el prefijo cíclico y después el símbolo OFDM (Con un período T_U) en un periodo T_S ($T_U + T_{CP}$). El receptor remueve dicho prefijo antes de implementar la FFT. [11]

El principio de funcionamiento de OFDM se basa en la conversión serie-paralelo de un flujo de datos complejos de alta velocidad C_n en un conjunto paralelo de N_s flujos de datos de velocidad N_s veces inferiores. Los datos C_n son el resultado de mapear un

conjunto de datos binarios sobre el conjunto de valores posibles en la constelación de señal correspondiente a cada flujo.

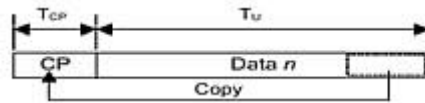


Figura 2.23 Símbolo de OFDM con prefijo cíclico

A continuación cada uno de los flujos de datos es modulado simultáneamente sobre una subportadora diferente y, en consecuencia, el tiempo del nuevo símbolo T resultante se incrementa en un factor N_s respecto al tiempo de símbolo que se necesitaría para enviar el flujo de datos serie original. [39]

2.9.2 Ventanas (Windowing)

En una señal OFDM la transición en la frontera entre el final de un símbolo y el comienzo de otro puede ser muy abrupta, esto provoca componentes espectrales de alta frecuencia aumentando así el ancho de banda de la señal. Para evitar este problema se emplean ventanas al comienzo y al final de cada símbolo, las mismas permiten aumentar o disminuir la potencia de la señal en forma gradual. En la figura 2.24 se observa como la transición entre los símbolos se hace menos abrupta cuando se utiliza la función coseno elevado.

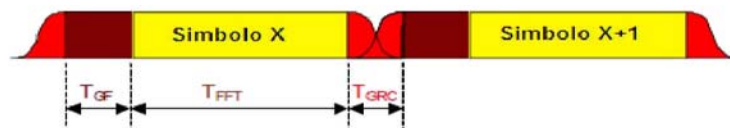


Figura 2.24 Ventana usando función coseno

2.9.3 Código convolucional

Es un código para la corrección de errores en el cual un grupo de M bits de información se codifican mediante complejos algoritmos y se transforman en un conjunto de N bits. El cociente M/N se conoce con el nombre de tasa de código (Code Rate), este toma valores entre cero y uno ($0 < M/N < 1$), cuando la tasa de código toma valores bajos el

código se hace más robusto, es decir existen mayor redundancia en la información transmitida por lo que aumenta la probabilidad de poder corregir los bit errados, sin embargo esto reduce la velocidad efectiva de transmisión debido al aumento en el tamaño del números de bits que se envían.

Los sistemas OFDM que incluyen al código convolucional como mecanismo de corrección de errores se conocen como COFDM. En el estándar se contempla la utilización de tasas de código de 1/2, 2/3 y 3/4. La tabla 2.4 muestra distintas modulaciones y tasas de código que se especifican en el estándar.

Velocidad Mbits/s	Modulación	Tasa de código	Bits por subportadora	Bits por símbolo OFDM	Bits de datos por símbolo OFDM
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216

Tabla 2.4 Modulación y tasas de código

2.9.4 Interleaving

Una señal OFDM, puede sufrir variaciones en los niveles de potencia en cada subportadora. En algunos casos la potencia de un grupo de subportadoras es tan baja que no permite identificar la información (bits) que contiene, para evitar que este fenómeno produzca ráfagas de errores que no podrán ser corregidos, se intercambia la posición de los bits antes de ser transmitidos, es decir se ordenan los bits de tal manera que no existan bits continuos en subportadoras adyacentes. El procedimiento antes descrito conocido como Interleaving permite que los bits errados ocurran aleatoriamente y separados unos de otros, figura 2.25.

En la figura 2.26, se muestra un diagrama a bloques de un sistema de transmisión y recepción con OFDM.

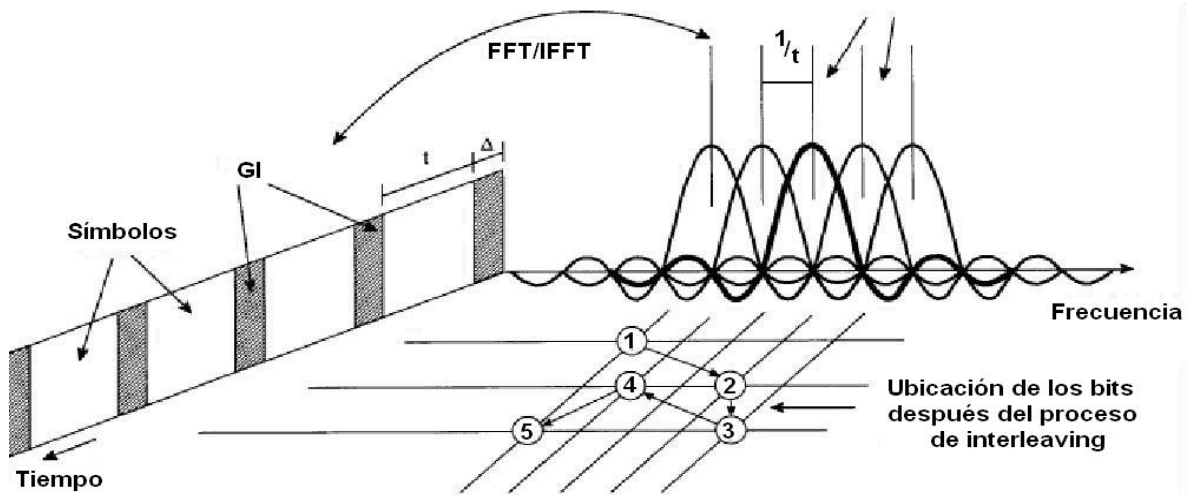


Figura 2.25 Posicionamiento de los bits en las subportadoras

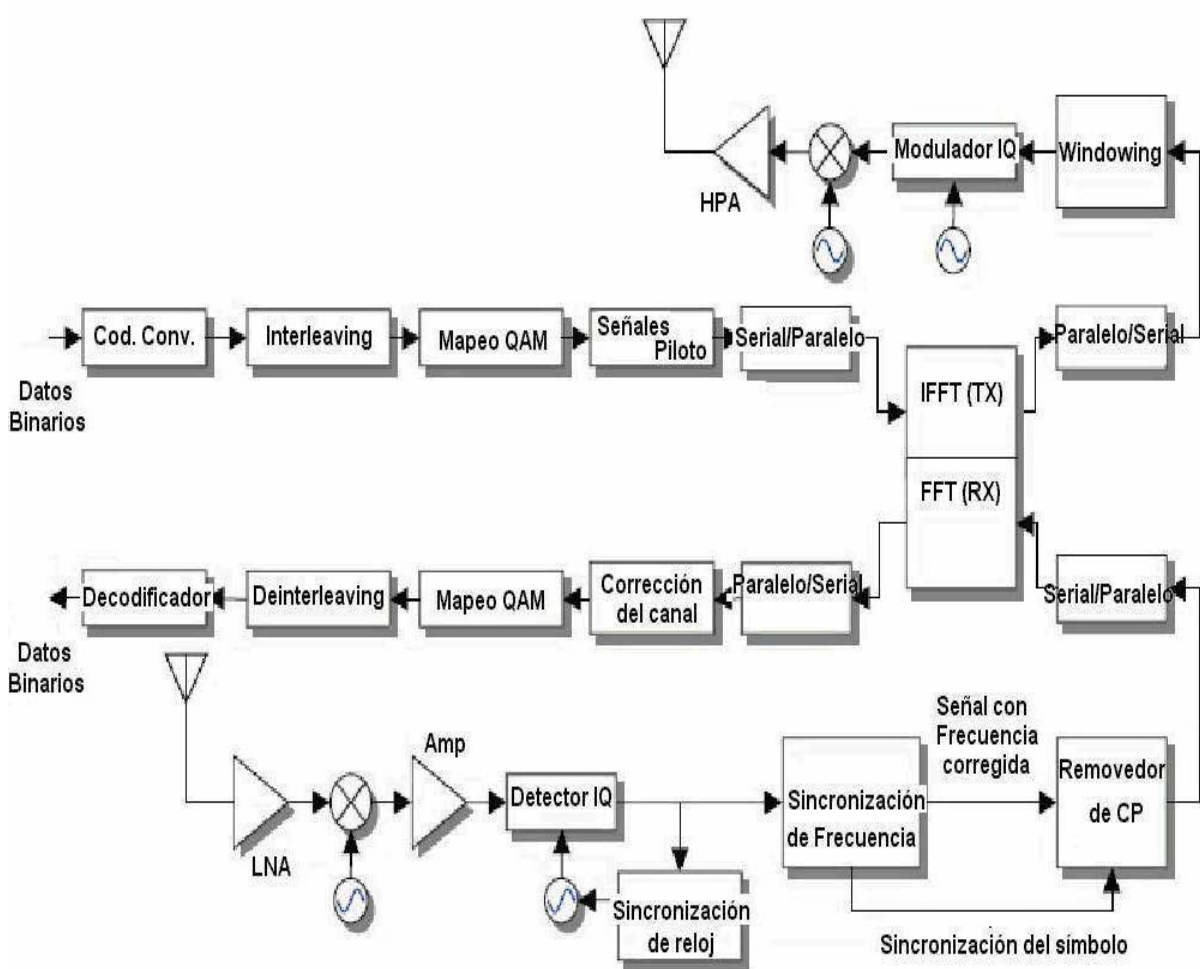


Figura 2.26 Diagrama de bloques de un sistema OFDM

2.9.5 Subcanalización

Las subportadoras de datos se agrupan en paquetes formando subcanales. Estas subportadoras pueden o no ser adyacentes, son permutadas siguiendo diferentes criterios para lograr mayor inmunidad al desvanecimiento selectivo. El criterio con que se realizan estas permutaciones es diferente según se trate de aplicaciones fijas o móviles. Se incrementa la ganancia del sistema en el enlace de subida pero el rendimiento se reduce en forma proporcional. [48]

La subcanalización concentra la potencia transmitida de cada abonado en un subconjunto de subportadoras; define los subcanales que pueden ser asignados a los subscriptores dependiendo de las condiciones del canal y sus requerimientos de datos., figura 2.27. Esto da al operador más flexibilidad de administrar el ancho de banda, la energía de transmisión, y lleva a un uso más eficaz de los recursos.

Por ejemplo, dentro de la misma ranura de tiempo puede asignarse más energía de transmisión a un usuario con condiciones de canal menos favorables, mientras se baja la energía a los usuarios en mejores ubicaciones

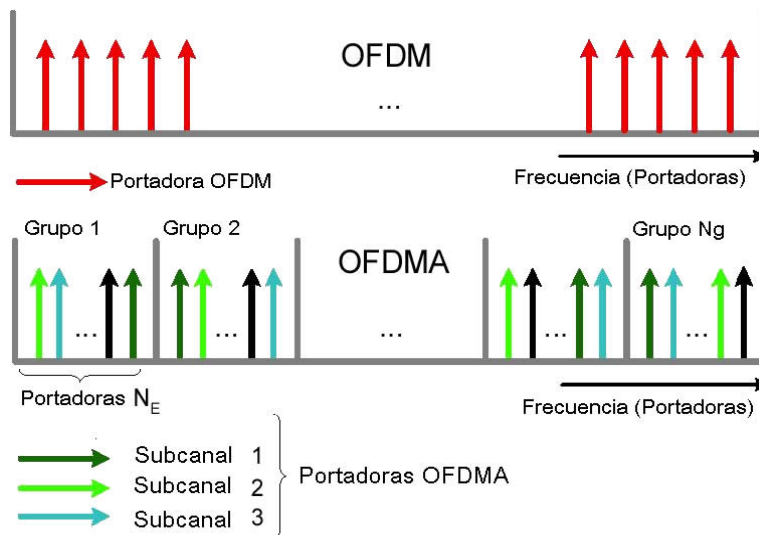


Figura 2.27 Uso de la subcanalización

OFDMA divide el espacio de la portadora en N_G grupos, cada uno de los cuales tiene N_E portadoras, y dentro N_E subcanales, con una portadora por grupo. En OFDMA con 2048 portadoras, para el caso, esto traduce en $N_E=32$ y $N_G=48$ en el enlace descendente, y

$N_E=32$ y $N_G = 53$ en el enlace ascendente, con las portadoras restantes, se usan para las bandas de guarda y pilotos. Codificación, modulación y amplitud son fijadas separadamente para cada subcanal basado en las condiciones del canal para optimizar el uso de recursos de la red.

OFDMA apoya acceso múltiple que permite a los dispositivos del usuario transmitir solamente a través del subcanal(es) asignado a él.

La subcanalización concentra la energía de transmisión en menos portadoras de OFDM (figura 2.28), esto es lo que aumenta la ganancia del sistema que no puede usarse para extender el alcance del sistema, superar las pérdidas de penetración del edificio, y/o reduce el consumo de poder del CPE (Customer Premises Equipment). [32]



Figura 2.28 Efecto de subcanalización

2.9.6 SOFDMA

Con 802.16e se ha cambiado de un tamaño de FFT constante (256 para OFDM, 2048 para OFDMA) a una capa física escalable, con el tamaño de FFT que se desplaza para diferentes anchos de banda. Es la opción para aplicaciones WiMAX portátiles, como chips para notebooks, entre otros dispositivos. La tecnología OFDMA Escalable (Scalable OFDMA SOFDMA) incluye varios rasgos importantes para las redes fijas, nómadas, y móviles. [47]

SOFDMA escala el tamaño de la FFT al ancho de banda del canal para guardar el espaciamiento constante de la portadora a través de diferentes anchos de banda de los

canales. El espaciamiento constante de la portadora resulta en una eficacia del espectro más alta en los canales anchos, y una reducción del costo en los canales estrechos.

SOFDMA no es compatible con OFDM 256 que es la base del WiMAX fijo (802.16-2004), ni siquiera aunque utilicen la misma banda de frecuencia. Esto es porque SOFDMA aumenta o escala el número de portadoras, basándose en los requerimientos del usuario y el ancho de canal de radio que se usa y el 802.16-2004 está estrictamente fijado en 256 subportadoras. En la tabla 2.5 se muestran los parámetros típicos de SOFDMA. [23]

Parámetros	Valores				
Sistema de Ancho de Banda (MHz)	1.25	2.5	5	10	20
Tamaño FFT (NFFT)	128	N/A **	512	1024	2048
Número de subportadoras de guarda	22	N/A	86	173	345
Número de subportadoras usadas	106	N/A	426	851	1703
Número de subportadoras de datos	96	N/A	384	768	1536
Número de subportadoras piloto (usando ambas, variable y fija)	9*	N/A	42	83	166
Número de subcanales	2	N/A	8	16	32

*Tabla 2.5 CODFM escalable
* solamente fijo ** no soporta la FFT 256*

2.10 Modulación Adaptativa

Diferentes estructuras de modulación permiten enviar más bits por símbolo y esto permite alcanzar más altos rendimientos o mejorar la eficiencia espectral. Las técnicas de modulación desplazamiento por cuadratura de fase (QPSK) y modulación por amplitud de cuadratura QAM son la base para sistemas de comunicación como WiMAX, como se muestra en la figura 2.29.

El uso de Modulación adaptativa permite a un sistema inalámbrico incrementar automáticamente el alcance efectivo dependiendo de las condiciones del canal, a cambio de reducir el rendimiento de procesamiento. La modulación de más alto nivel (Por ejemplo 64 QAM, los más altos niveles de modulación nos permiten codificar más bits por símbolo o periodo [17]) proporciona alto rendimiento de procesamiento en lo más cercano de la estación base, mientras que la modulación de más bajo nivel (BPSK o QPSK) proporciona

un rendimiento de procesamiento más bajo, pero a mayor distancia, desde la misma estación base. [18]

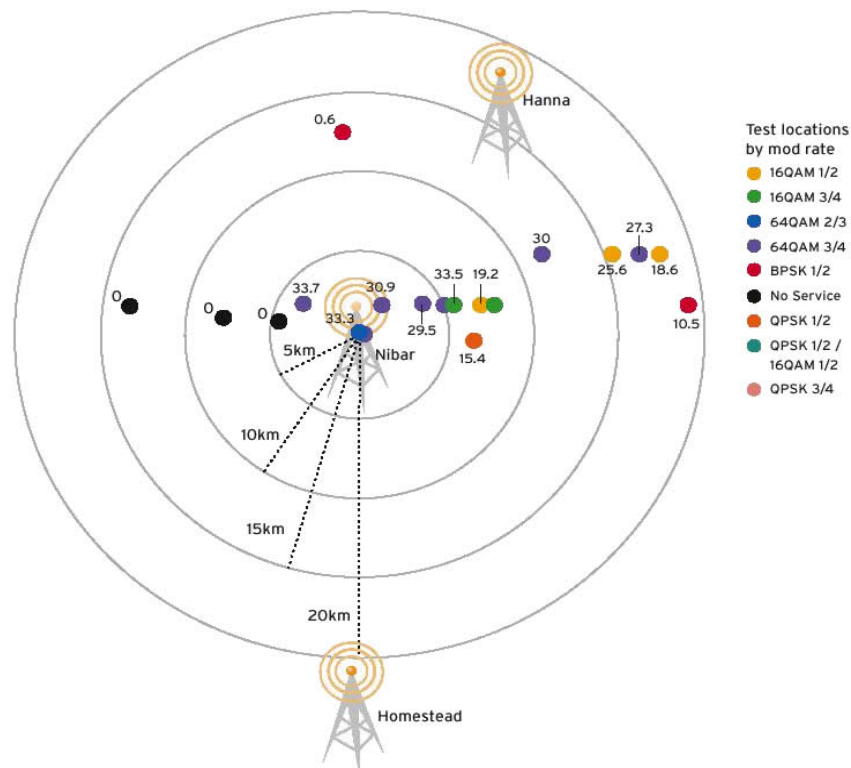


Figura 2.29 Modulación adaptativa

El esquema de modulación es dinámicamente asignado por la estación base, haciendo intercambios automáticos entre el rango y el rendimiento de procesamiento e incrementando niveles de servicio para los usuarios finales, dependiendo de la distancia del usuario, así como el clima, señales de interferencia, y otros factores transitorios

El soporte flexible de Calidad del servicio (QoS) permite a las portadoras adaptar los servicios para necesidades específicas de diferentes medios de comunicación, como voz, video y datos en general, con respecto a la latencia contra la transmisión confiable del paquete. [34]

2.11 Uso de la tecnología CMOS

Las comunicaciones y la computación tienen sinergias que se puedan explotar en RF y las integraciones de los procesadores digitales en el mismo chip. La habilitación del

escalamiento de CMOS permitió a la tecnología alcanzar frecuencias más altas en el orden de los Gigahertz. Las velocidades más altas ofrecen otras oportunidades de compensar a nivel del circuito las desventajas intrínsecas de esta tecnología, siendo la principal de ellas los niveles de la potencia de transmisión.

Los nuevos diseños de las redes pasivas complejas de RF disminuyeron el área del silicio requerida para las radios multiprotocolo de varias bandas y así se incluyeron más circuitos digitales, unidades de proceso, y nuevas características del sistema de comunicaciones.

En el receptor de radio, el amplificador de bajo ruido (Low Noise Amplifier LNA) es el primer componente clave.

Los transistores del CMOS están llegando a ser virtualmente "silenciosos" para los propósitos prácticos por debajo de los 10 GHz. Esto cambió totalmente los procedimientos del diseño y optimización de los LNAs para incluir la contribución del ruido de los elementos pasivos. [22]

2.12 Antenas directivas

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia. El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica. La máxima ganancia directiva se llama directividad.

La ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena (o sea, que se toma en cuenta la eficiencia de la antena). El ancho del haz de la antena es solo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3 dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomado de uno de los planos "principales", como se muestra en la figura 2.30.[45]



Figura 2.30 Antena direccional

2.12.1 Sistemas sectorizados

Los sistemas Sectorizados de antenas toman una área celular tradicional y lo subdividen en sectores que se cubren usando antenas direccionales que pertenecen a la misma estación base. Operacionalmente, cada sector se trata como una célula diferente, el rango de cobertura es mayor que en el caso omnidireccional. Las antenas del sector aumentan la posibilidad de reutilizar la frecuencia del canal. Muchas torres convencionales de antena se sectorizan. Un área de 360° es a menudo dividida en tres subdivisiones, cada una cubre 120° , figura 2.31.

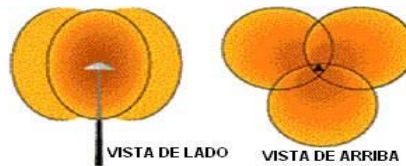


Figura 2.31 Antena sectorizada

Como puede observarse en la figura 2.32, un sistema sectorizado puede mejorarse aún más utilizando un arreglo de antenas inteligentes, las cuales se mencionan más adelante. [15]

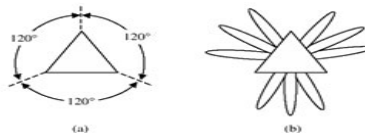


Figura 2.32 Antenas inteligentes en un sistema sectorizado

2.12.2 Acceso Múltiple por División de Espacio (SDMA)

La forma más sencilla de incrementar el ancho de banda acumulado de la red consiste en equipar el punto de acceso con múltiples antenas, cada una de las cuales atiende

puntos finales específicos, como se muestra en la figura 2.33. De esta manera, cada punto final se beneficia, ya sea a través de su conexión propia al punto de acceso, o al menos, en una reducción del número de dispositivos que se pelean por la conexión.

SDMA (Space Division Multiple Access) es un método efectivo de incrementar la transferencia a bajo costo, incrementando el número de dispositivos que se comunican simultáneamente con un punto de acceso se obtiene una utilidad neta que tiene una relación prácticamente lineal con el número de antenas en el punto de acceso.

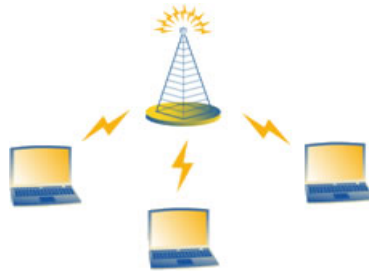


Figura 2.33 Ejemplo de despliegue de SDMA

SDMA se usa en todos los sistemas celulares, analógicos o digitales. Los sistemas de radio celulares, permiten el acceso a un canal de radio, siendo éste reutilizado en otras celdas dentro del sistema. El factor que limita SDMA es el factor de reutilización de frecuencia (Interferencia Co-Canal). [26]

Con este sistema se puede incrementar de un 20 a un 200 por ciento de cobertura, utiliza sofisticadas técnicas para localizar y rastrear terminales fijas y móviles, dirigiendo las señales de transmisión adaptativa hacia los usuarios y fuera de las interferencias, como se ilustra en la figura 2.34. [57]



Figura 2.34 Proceso espacial totalmente adaptativo, con dos usuarios en el mismo canal y en la misma célula

En esencia, el proceso espacial crea dinámicamente un diferente sector para cada usuario y conduce un canal/frecuencia en tiempo real.

2.12.3 Antenas inteligentes

Para hacer una antena inteligente primero se deben de agregar más elementos. Después, la antena puede volverse un sistema de antenas que puede diseñarse para cambiar las señales antes de la transmisión.

En los sistemas de antena adaptativas, esta capacidad fundamental de procesamiento de la señal es aumentada por algoritmos que se aplican para controlar su funcionamiento.

El propósito dual de un sistema de la antena inteligente es aumentar la calidad señalada del sistema basado en radio reforzando la capacidad a través del aumento de la reutilización de frecuencias. Más específicamente, los rasgos y beneficios derivados de un sistema de antenas inteligentes están listados en la tabla 2.6.

Característica	Beneficio
Ganancia de señal. Entradas de múltiples antenas son combinadas para optimizar el poder disponible requerido para establecer el nivel dado de cobertura.	Mejor cobertura. Enfocando la energía enviada, dentro de la célula se incrementa el rango y cobertura. Los bajos requerimientos de energía, habilitan una mayor vida de la batería.
Rechazo de interferencia. El modelo de la antena puede ser generado hacia las fuentes de interferencia del canal, mejorando la relación señal a ruido de la señales recibidas	Aumento de capacidad. La mitigación de la interferencia combinada al reuso de frecuencia reduce la distancia, mejorando la capacidad.
Diversidad espacial. Compone la información del sistema y es minimizado el desvanecimiento y otros efectos indeseables de la Multitrayectoria.	Rechazo de multitrayecto. Puede reducir el retraso eficaz extendido del canal, permitiendo tasa de bits más altas para ser utilizadas sin utilizar un equalizador.
Rendimiento de la energía. Combina las entradas a múltiples elementos para optimizar la ganancia disponible del procesamiento en el downlink	Reducción de costos. Costo más bajo del amplificador, menor consumo de poder con la fiabilidad más alta.

Tabla 2.6 Características de las antenas inteligentes

Las antenas inteligentes emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo, electrónicamente, para enfocar siempre al receptor, con lo que se evitan las interferencias entre canales adyacentes y se consume menos potencia al ser un haz más concentrado.

2.12.4 Diversidad del sistema

En el próximo paso hacia las antenas inteligentes, el sistema de diversidad incorpora dos elementos de la antena en la estación base, la separación física ligera (la diversidad espacial) de que ha sido usada para mejorar la recepción neutralizando los efectos negativos de la trayectoria múltiple.

Un sistema de antenas inteligentes combina un arreglo de antenas con la capacidad del procesamiento digital de señales para transmitir y recibir, en un sistema adaptativo. En otras palabras, un sistema puede cambiar automáticamente la directividad de sus modelos de radiación en respuesta a su ambiente señalado.

Ganancia de Diversidad: Éste es el aumento alcanzado utilizando las trayectorias múltiples de modo que la probabilidad que cualquier trayectoria sea mala no limita el funcionamiento. La diversidad se puede explotar en dimensiones espaciales (antena), temporales (tiempo), o espectrales (de la frecuencia).

Rechazamiento de Interferencia del co-canal (Co-channel Interference Rejection CCIR): Éste es el rechazamiento de señales haciendo uso diversas respuestas del canal de las interferencias.

La diversidad ofrece una mejora en la fuerza eficaz de la señal recibida usando uno de los siguientes dos métodos:

Asumiendo que al menos una antena estará en una situación favorable en un momento dado, este sistema intercambia continuamente entre las antenas (conecta cada uno de los canales receptores al mejor servicio de antena) para siempre usar el elemento con el más alto rendimiento. Mientras se reducen los efectos negativos del desvanecimiento de la señal, no se aumenta la ganancia por que sólo una antena se usa en ese momento.

Diversidad combinada. Esta aproximación corrige el error de fase en dos señales de trayectoria múltiple y combina eficazmente el poder de ambas señales para producir una ganancia. Otros sistemas de diversidad, combinan los rendimientos de todas las antenas para aumentar al máximo la proporción de la señal recibida combinada al ruido, ver figura 2.35.

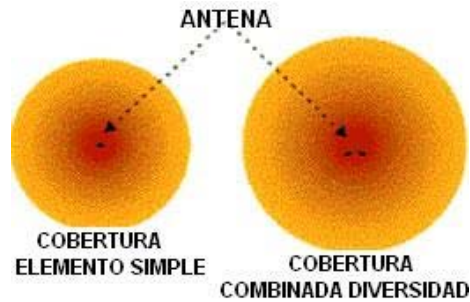


Figura 2.35 Cobertura diversidad combinada efectiva

Los esquemas de diversidad son utilizados en la estación base que requiere solamente una antena de recepción en la estación subscriptora.

2.12.5 Diversidad de selección

El receptor elige la mejor antena para recibir. El requisito de hardware adicional es simplemente un interruptor y una antena, figura 2.36. Para los canales que no usan propagación multitrayectoria, la señal recibida más fuerte es típicamente la mejor antena. Para los canales de propagación multitrayectoria, la optimización puede ser más complicada, la antena seleccionada es la que tenga la energía más alta de la señal.

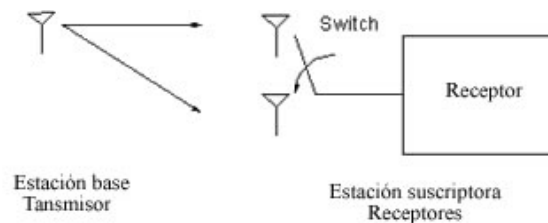


Figura 2.36 Ejemplo de la diversidad de selección

2.12.6 Diversidad de retardo cíclico

La figura 2.37 representa la diversidad de retardo cíclico. Básicamente, considera la secuencia de transmisión antes de añadir el prefijo cíclico, $x[n]$. Entonces “la versión retrasada” que es transmitida lejos de la segunda antena es $x'[n]=x[((n-m))_{NFFT}]$, donde m es un retraso, $NFFT$ es el tamaño de la FFT. $Z(t)$ y $Z'(t)$ son las salidas de las antenas que siguen el proceso digital y análogo.

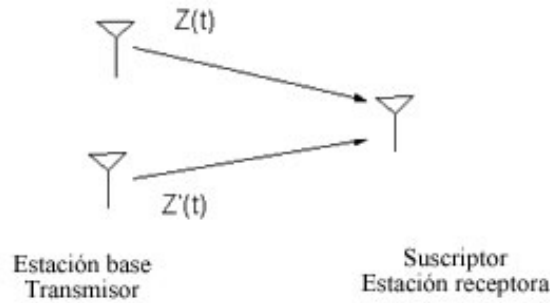


Figura 2.37 Esquema de diversidad de transmisión usando diversidad de retardo cíclico

La propagación multidireccional induce interferencia de intersímbolo (ISI) que sea compensada tradicionalmente por los equalizadores en los sistemas de portadora simple.

Mientras más largo sea el prefijo cíclico en una señal OFDM, los equalizadores no serán requeridos. En la figura 2.38 se ejemplifica la transmisión de N datos, donde se puede observar que la inserción del prefijo cíclico ocurre después de la IFFT.

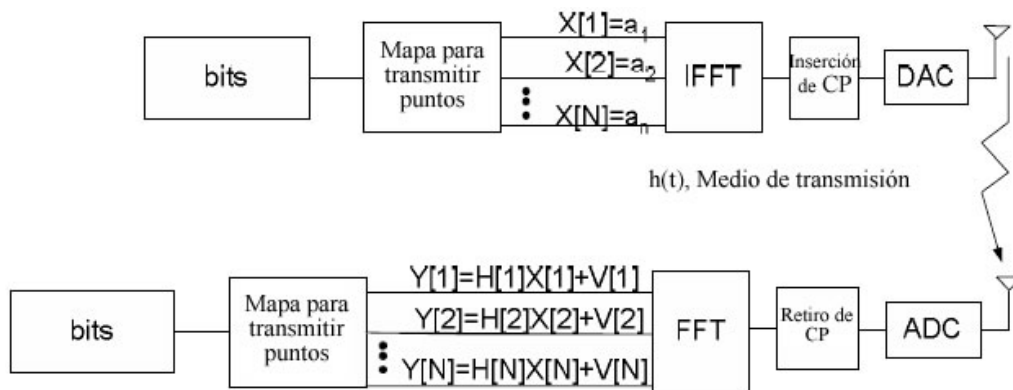


Figura 2.38 El sistema de OFDM

Para la terminología, $X[k]$ es el símbolo de la información transmitida en la subportadora k . Para la subportadora k , $H[k]$ es la respuesta escalar de la subportadora y su valor se relaciona con la FFT de la respuesta del canal digitalizado $h(t)$, $V[k]$ es el ruido, y $Y[k]$ es la salida. El sistema completo de las entradas $\{X[k]\}$ es el símbolo OFDM de transmisión, y el sistema de las señales demoduladas $\{Y[k]\}$ es el símbolo OFDM de recepción, tal como se muestra en la figura 2.39.

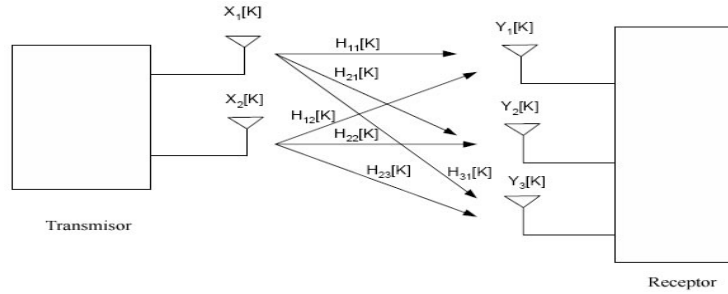


Figura 2.39 Canal de MIMO

Para un sistema MIMO sin ruido como el de la figura 2.39, se puede expresar como se muestra a continuación:

$$\begin{bmatrix} Y_1[k] \\ Y_2[k] \\ Y_3[k] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11}[k] & H_{12}[k] \\ H_{21}[k] & H_{22}[k] \\ H_{31}[k] & H_{32}[k] \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1[k] \\ X_2[k] \end{bmatrix} \quad \text{ec.2.3}$$

Donde, $Y_i[k]$ es la K -ésima salida de la subportadora para la antena receptora i , $H_{ij}[k]$ es la k -ésima ganancia de la subportadora de la j -ésima antena de transmisión a la i -ésima antena de recepción, y $X_j[k]$ es la subportadora de la k -ésima entrada de la antena j .

Así pues, reescribiendo la ecuación 2.3:

$$Y = H \times X + N \quad \text{ec. 2.4}$$

donde están Y , H , y X que son las generalizaciones apropiadas de los sistemas de antenas donde 2 transmiten y 3 reciben; N es el ruido y la interferencia. Para los sistemas generales, H es una matriz $M_r \times M_t$ que representa el número de antenas que reciben y que transmiten, respectivamente.

Para un canal gaussiano aditivo de ruido blanco (AWGN), el máximo índice de datos teórico realizable por este sistema está dado por la fórmula de capacidad de Shannon:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{bps} \quad \text{ec. 2.5}$$

donde C es la tasa de la información de datos en bps, W es el ancho de banda del canal en Hz, S es la Potencia media de la señal en Watts y N es la potencia media del ruido aleatorio en Watts.[28]

2.12.7 Transmisión de Alamouti

El esquema de la transmisión de Alamouti es una codificación en el espacio-tiempo STC (Space-Time Coding) que envía la información sobre dos antenas de transmisión y consiste en dos transmisiones consecutivas en un mismo tiempo. Por lo tanto transmite la información en espacio y tiempo. Este código es el más utilizado por WiMAX.

2.12.8 Tipos de antenas inteligentes

Incluye antenas inteligentes, SDMA, proceso espacial, sistemas de la antena adaptativa, conmutación de haz de antenas y otros.

Los sistemas de la antena inteligentes se comunican direccionalmente formando modelos específicos de haces de emisión de la antena; controlan los lóbulos variando los grados de precisión y flexibilidad. Cuando una antena inteligente dirige su lóbulo principal con ganancia reforzada en dirección del usuario, forma lóbulos laterales y nulos o áreas medias y mínimas de ganancia respectivamente en direcciones fuera del lóbulo principal.

Estos cálculos dinámicos habilitan el sistema para que cambie su modelo de radiación para optimizar la recepción de la señal, figura 2.40. [62]

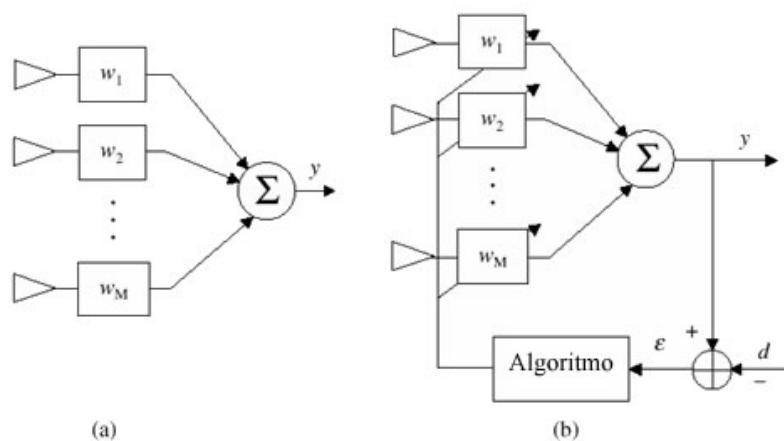


Figura 2.40 a) Arreglo de antenas tradicional, b) Antenas inteligentes

2.12.9 Multiple In Multiple Out (MIMO)

Un canal de ancho de banda considerable se ve afectado por el desvanecimiento selectivo. La mezcla analógica es una técnica directa y efectiva. Una técnica similar, pero más avanzada, usa la mezcla digital y es efectiva en especial para los radios que utilizan OFDM. Así se permite que la transmisión de la señal de radio se divida en múltiples señales secundarias pequeñas que se transmiten simultáneamente al receptor usando frecuencias diferentes. Si se emplean técnicas que permitan que cada una de esas subseñales sean transmitidas por antenas diferentes, y recibidas por antenas diferentes, se logran drásticas mejoras en sistemas NLOS.

Esta tecnología se conoce como MIMO (Entrada Múltiple Salida Múltiple), utiliza múltiples y diversas antenas afinadas con el mismo canal de distribución, cada una transmitiendo con diferentes características espaciales. Cada receptor escucha las señales de cada transmisor, habilitando varias rutas en las que las reflexiones de múltiple trayectoria (normalmente interrupciones con la recuperación de la señal) pueden volver a combinarse para mejorar las señales deseadas.

Para manejar múltiples señales, estos sistemas MIMO requieren de más inteligencia que una simple configuración SISO (Entrada Simple Salida Simple), figura 2.41. En algunos casos, la lógica de procesamiento de señal es sumamente compleja. Por esa razón, estas antenas múltiples se conocen como antenas inteligentes.

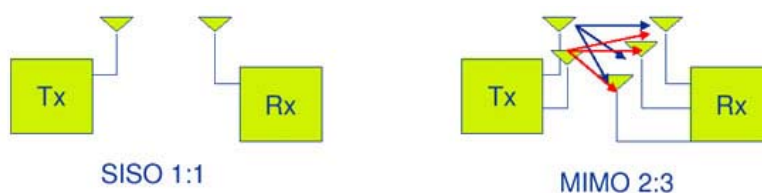


Figura 2.41 Comparación entre sistemas SISO y MIMO

Este sistema aumenta notablemente el alcance del sistema inalámbrico y para mantener unas tasas de velocidad, aunque no muy superiores, si mucho más estabilizadas. Para maximizar el alcance se establece un nuevo sistema de antenas, normalmente caracterizado por tres antenas.

Cada transferencia espacial necesita su propio par de antena transmisora/receptora en cada extremo de la transmisión. Es importante comprender que la tecnología MIMO necesita de una cadena de frecuencia de radio (RF) independiente y de un conversor analógico a digital (ADC) para cada antena MIMO. Las implementaciones que requieran más de dos cadenas de antenas RF tendrán que construirse prestando especial atención para que los costos no aumenten mucho al tiempo que mantengan las expectativas de rendimiento. [1]

El principio básico de las antenas inteligentes es que cada antena recibe una señal separada y definida. Dependiendo como está configurado el sistema inalámbrico, el receptor puede usar una señal para mejorar la calidad de otra señal, o podría combinar los datos de señales múltiples para ampliar el ancho de banda.

La señal que reciben las antenas es una señal de radiofrecuencia (RF) sin procesar. Esta RF se encamina inicialmente a circuitos que la manejan como una señal analógica, tal como un radio. Algunos dispositivos con antenas inteligentes aplican sus conceptos inteligentes en esta etapa analógica. Después del procesamiento inicial, la RF se convierte en una señal digital, misma que se envía al dispositivo host como una cadena de datos, figura 2.42.

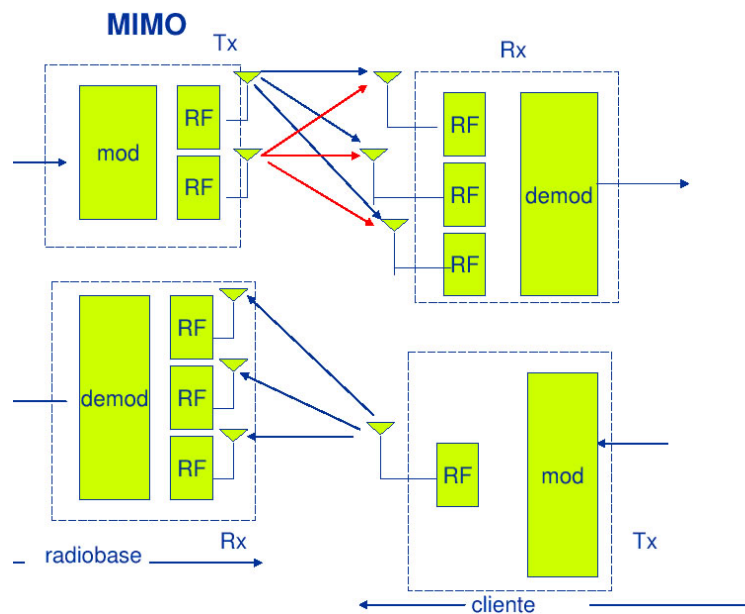


Figura 2.42 Sistema MIMO

En la mezcla analógica, las señales de RF se sincronizan y luego se les pondera de acuerdo con la intensidad de la señal y los niveles de ruido. Después, las señales se combinan para producir una RF óptima en términos de la proporción de intensidad de señal a ruido. Esta señal optimizada se envía a los circuitos digitales para su digitalización.

Las señales secundarias de cada antena se encaminan por el conjunto de circuitos digitales, donde son ponderados y combinados para producir una señal óptima. Ya que las señales secundarias llegan por varias frecuencias diferentes simultáneamente, el proceso de ponderación es complejo y exige capacidades de procesamiento muy avanzadas. [57]

Otra opción que involucra tanto al transmisor como al receptor es codificación espacio-tiempo (o espacio-frecuencia), en donde las señales se transforman y se delegan a ciertas antenas, frecuencias o símbolos en el tiempo. Este es un mecanismo para reducir los efectos de la atenuación de señal por trayectoria múltiple. Actualmente, se utiliza un código de espacio-tiempo, conocido como código Alamouti.

2.12.10 Conmutación de haz

Los sistemas de conmutación de haz de antena forman múltiples haces fijos con elevaciones susceptibles en direcciones particulares (figura 2.43). Éstos sistemas de antena detectan la fuerza de la señal, escoge uno de algunos de los predeterminado haces fijos, y cambia de uno a otro como el usuario móvil se mueve dentro del sector.



Figura 2.43 Sectores de un sistema de cobertura de haz conmutado

En lugar de formar el modelo de la antena direccional con las propiedades metálicas y plan físico de un solo elemento (como una antena del sectorizada), los sistemas de conmutación de haz, combinan los rendimientos de antenas múltiples de semejante

manera que se acerca a una forma de haces finamente sectorizados, con más selectividad espacial que puede ser logrado con acercamientos de un solo elemento convencional.

2.12.11 Sistemas de haz desviado

Por lo que se refiere a los modelos de la radiación, el haz desviado es una extensión de la corriente microcelular o método de sectorización celular de dividir a una célula típica. El acercamiento del haz desviado subdivide los macrosectores en varios microsectores como medio para mejorar rango y capacidad. Cada microsector contiene un modelo de haz fijo predeterminado con la mayor sensibilidad localizada en el centro, figura 2.44. Este sistema selecciona uno de algunos modelos de haces predeterminados con mayor poder de rendimiento en el canal del usuario remoto. Estas opciones se manejan por RF o el hardware y software del Procesador Digital de Señales (DSP) en banda base. El sistema desvía el haz en diferentes direcciones a lo largo del espacio cambiando la diferencia de fase de las señales usadas para alimentar los elementos de la antena o recibidos de ellas. Cuando el usuario móvil entra un macrosector particular, el sistema selecciona el microsector que contiene la señal más fuerte. A lo largo de la transmisión, el sistema supervisa la fuerza de la señal y la desvía a otro microsector fijo como sea requerido.

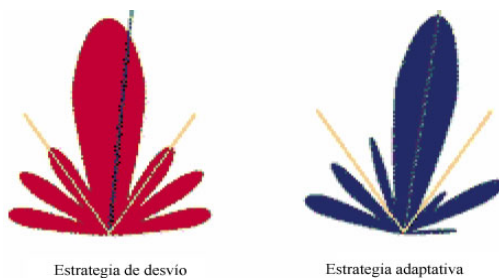


Figura 2.44 Los lóbulos de haz que se desvía, el haz (rojo) y la serie adaptativa (azul) los sistemas podrían escoger para identificar al usuario y las interferencias del canal

2.12.12 Sistema de Antenas Adaptativas (AAS)

Una aplicación de sistema de antenas es factible para resolver el problema del ancho de banda de canal limitado; consiste en un sistema de elementos de antena que se encuentran distribuidos espacialmente en lugares conocidos con respecto a un único punto

de referencia fijo. El patrón de radiación del sistema está determinado por el patrón de cada uno de los elementos individuales, su orientación y sus posiciones relativas en el espacio, y finalmente los cambios que se les haga a la amplitud y a la fase de la onda incidente. Si cada uno de los elementos del sistema es una fuente puntual isotrópica, entonces el patrón de radiación del sistema dependerá únicamente de la geometría del sistema y de los cambios de amplitud y fase de la onda incidente y en ese caso el patrón de radiación es conocido como factor del sistema. Cuando el factor del sistema es adaptativo, independientemente de la geometría del mismo, el sistema es conocido como *sistema de antenas adaptativas*. Las antenas adaptativas para sistemas celulares pueden incrementar significativamente la capacidad del sistema, mejorando su funcionamiento.

Usando una variedad de nuevos algoritmos de procesamiento de la señal, el sistema adaptativo se aprovecha de su habilidad para localizar eficazmente y rastrear los varios tipos de señales para minimizar la interferencia dinámicamente y maximizar la recepción de la señal pensada.

Las señales múltiples traslapadas se pueden transmitir simultáneamente usando SDMA, que hace uso del rechazo de interferencia del co-canal, diversidad de ganancia, y ganancia del sistema.

Se desarrolla de la técnica de sistemas adaptativos, que son capaces de maximizar la relación de señal a ruido, o bien situar nulos en las direcciones del espacio en las que hay interferencias, figura 2.45. [26]

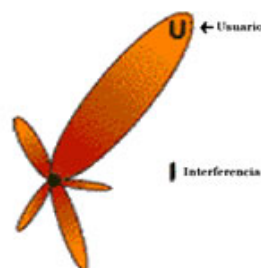


Figura 2.45 Cobertura de un sistema de antenas adaptativas. Una representación del lóbulo principal extendido hacia el usuario

El ejemplo más típico de una antena adaptativa es la denominada SLC (Sidelobe Canceller Antenna), que ajusta el diagrama de forma que aparece un nulo en la dirección de la interferencia o jammer. El número de antenas auxiliares determina el máximo número de

interferencias que se pueden cancelar. Otro ejemplo es el denominado SLB (Sidelobe Blanking Antenna). En este caso se compara la señal recibida a través de la antena principal y la antena auxiliar. Se desconecta el receptor cuando la señal que llega es superior en el canal auxiliar. Los algoritmos matemáticos relacionados con las antenas adaptativas son relativamente complejos. La implementación práctica se puede realizar en forma analógica o digital.

Los sistemas de antenas adaptativas aproximan la comunicación entre usuario y estación base de una manera diferente, llevando a cabo la adición de una dimensión de espacio. Ajustando el origen espacial de la señal, la tecnología de antenas adaptativas puede alterar los modelos de la señal para perfeccionar la actuación del sistema inalámbrico. La figura 2.46 ilustra la cobertura relativa para sectorización convencional, el haz desviado, y los sistemas de la antena adaptativos.

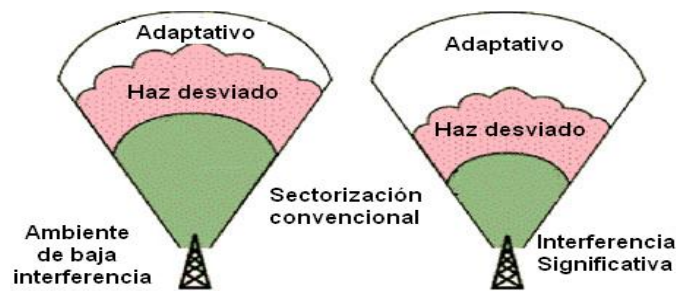


Figura 2.46 Modelos de cobertura

En la figura 2.47 se muestra un esquema general de un sistema de antenas adaptativas, en el proceso se refleja la conversión de los datos analógicos a digitales, el procesamiento del sistema y la señal de salida resultante de todo este proceso.[26]

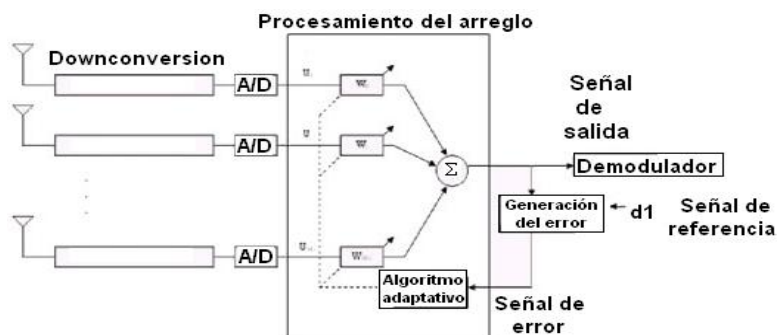


Figura 2.47 Estructura de un sistema adaptativo

2.13 La capa media del control de acceso (MAC)

La principal función de la capa del control de acceso al medio del estándar 802.16 es manejar los recursos del enlace aéreo de una manera eficiente. El protocolo de 802.16 MAC está diseñado para soportar enlaces Punto-Multi-Punto (PMP) y redes malladas.

La capa MAC proporciona la calidad de la diferenciación del servicio (QoS). Entre otras cosas, soporta Modo de Transmisión Asíncrono (ATM) y Protocolo de Internet (IP).

2.13.1 Métodos de control de acceso al medio

Opera en un medio de difusión, es decir, todas las transmisiones son recibidas por los receptores que están dentro del campo de cobertura del transmisor. En consecuencia tendrá que recurrirse a un método de MAC para asegurarnos que sea solo un transmisor el que esté usando el medio.

CSMA/CD (Carrier Sense Múltiple Acces Collision Detection) Cuando un nodo tiene que transmitir, lo primero que hace es generar una secuencia binaria pseudoaleatoria corta –denominada peine- y la añade al preámbulo de la trama. A continuación, el nodo realiza la operación normal de detección de portadora y, suponiendo que el medio está inactivo, procede a transmitir la secuencia peine. Para cada 1 binario de la secuencia, el nodo transmite una señal durante un intervalo de tiempo corto, pero cuando la secuencia incluye 0 binario, el nodo cambia al modo de recepción. Si un nodo detecta la transmisión de una señal mientras está en el modo de recepción, se elimina a sí mismo de la competencia por el canal y espera hasta que los otros hayan transmitido su trama. La eficiencia del esquema depende del número de bits de la secuencia pseudoaleatoria, si dos nodos producen la misma secuencia, puede haber una colisión.

CSMA/CA. Es una adaptación de CSMA/CD, con prevención de colisiones (Carrier Sense Múltiple Acces With Collision Avoidance). En lugar de iniciar la transmisión de una trama inmediatamente después de que el medio queda inactivo, el nodo espera un lapso aleatorio adicional corto. De esta manera, si hay otros nodos en espera, el nodo que calcula el tiempo más corto obtendrá el acceso primero y los nodos restantes

ceden ante él. La eficiencia del sistema sigue dependiendo del número de bits que contienen la secuencia pseudoaleatoria.

2.14 Codificación y corrección de errores

2.14.1 Automatic Repeat Request (ARQ)

Los protocolos ARQ se basan en que la transmisión de la información que no fue recibida correctamente. Sin embargo, para detectar que la información no ha llegado correctamente al receptor se utilizan algunas técnicas de codificación. Los bits de redundancia que ocupan estas técnicas de codificación se utilizan para detectar los errores, que no intentarán corregirse, sino simplemente se utilizan para retransmitir los datos. Dado que la detección de errores se da en el receptor es necesario que el transmisor este continuamente informado acerca de las tramas descartadas (o aceptadas) para retransmitirlos (o liberarlos) del buffer. [21]

Hay tres métodos utilizados para retransmitir un mensaje:

- ARQ de parada y espera (conexión semidúplex).
- ARQ continua con vuelta atrás (conexión dúplex).
- ARQ con repetición selectiva.

A) ARQ parada y espera (ARQ continuo)

Está basada en la técnica de control de flujo de parada-y-espera representada en la figura 2.48. La estación fuente transmite una única trama y espera el Asentamiento de Trama (ACK); ninguna otra trama puede ser transmitida hasta que no llegue la contestación de la estación destino.

B) ARQ rechazo simple

La fuente envía tramas consecutivamente hasta un número fijado por el tamaño de la ventana, la posición de cada trama en la ventana está determinada por su número de secuencia. Mientras que no haya errores el receptor reconocerá las tramas que le llegan. Si detecta un error devuelve un ACK negativo (**REJ=reject**). La estación receptora descarta no sólo esta trama, sino todas las siguientes hasta que la primera llegue correctamente. La

estación origen, cuando recibe un REJ debe retransmitir la trama errónea y todas las que iban a continuación.

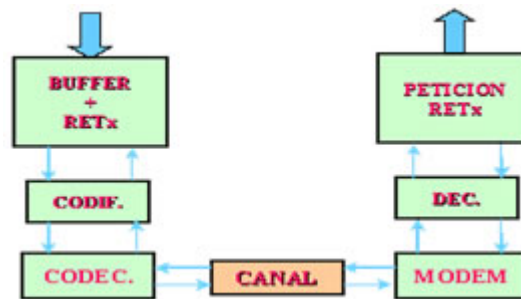


Figura 2.48 Diagrama de ARQ parada y espera

C) ARQ rechazo selectivo

Con ARQ selectivo las únicas tramas que es necesario retransmitir son las defectuosas o pérdidas, es decir, de las que se recibe un ACK negativo (que en este caso se denomina SREJ). [16,62]

2.14.2 FEC Código convolucional

En numerosas aplicaciones la corrección de errores en el receptor constituye una necesidad, para no ocasionar retrasos. De igual forma uno de los principales campos de acción del FEC es en aplicaciones multitrayectoria; es una técnica que corrige directamente los errores en el receptor mediante la utilización de códigos de corrección de errores. Estos códigos se basan en la redundancia añadida a la información y dependiendo del nivel de redundancia.

Debe utilizarse FEC cuando la conexión es simplex o semidúplex ya que los retardos en ARQ con un enlace semidúplex son excesivos o cuando el número esperado de errores implique un número excesivo de retransmisiones.

Es un código para la corrección de errores en el cual un grupo de M bits de información se codifican mediante complejos algoritmos y se transforman en un conjunto de N bits, se debe cumplir que $M < N$ debido a la información redundante.

El cociente M/N se conoce con el nombre de tasa de código, este toma valores entre cero y uno ($0 < M/N < 1$), cuando la tasa de código toma valores bajos el código se

hace más robusto, es decir existen mayor redundancia en la información transmitida por lo que aumenta la probabilidad de poder corregir los bits errados, sin embargo esto reduce la velocidad efectiva de transmisión debido al aumento en el tamaño del números de bits que se envían. [26]

2.14.3 Técnicas de codificación espacio-temporal

Dentro de estas técnicas se encuentran las técnicas de codificación espacio-temporal, que no son más que una extensión de las técnicas clásicas de codificación de canal para el caso de contar con múltiples antenas. Existen dos grupos básicos dentro de estas técnicas: Códigos Espacio-Temporales Trellis o Convolucionales (STCM) y Códigos Espacio-Temporales Bloque (STBC).

Los primeros ofrecen ganancias de diversidad y de codificación, mientras que los segundos se basan únicamente en la mejora de la ganancia de diversidad. La principal ventaja de STBC respecto a STCM es que la técnica de decodificación es más sencilla.

A) Códigos Espacio-Temporales Trellis o Convolucionales STCM

El caso más general a considerar es el de un entorno con un único usuario, en el que se cuenta con N antenas en transmisión y M en recepción. Se supone que el canal es invariante durante el tiempo de trama, que no es selectivo en frecuencia y que la ganancia para cada par de antenas tiene una distribución Rayleigh. En caso de que en recepción no haya interferencias, y el único ruido sea el propio del sistema (ruido Gaussiano y blanco AWGN), el detector óptimo es un detector de Viterbi que calcula cuál es la palabra código con máxima verosimilitud.

B) Códigos Espacio-Temporales Bloque STBC

El primer esquema basado en STBC fue propuesto por Alamouti, y posteriormente fue generalizado. El esquema básico de Alamouti se basa en el uso de 2 antenas en transmisión y 1 en recepción, y asume que el canal no es selectivo en frecuencia. En este esquema se toman los símbolos de datos de dos en dos: c_1 c_2 y se transmiten de la siguiente manera: por la primera antena se transmite primero c_1 y luego $-c_2^*$, mientras que por la segunda antena se envía primero c_2 y luego c_1^* . [57]

2.14.4 Esquema Híbrido de ARQ (HARQ)

Los sistemas ARQ tienen como desventaja, que su rendimiento cae rápidamente con el incremento de la tasa de error en el canal. Los sistemas que utilizan FEC mantienen constante el rendimiento a pesar de la tasa de error del canal. Sin embargo, los sistemas FEC tienen dos desventajas. Primero, cuando se detecta un error, este se codifica y el mensaje codificado se libera al usuario, sin importar si es correcto o incorrecto. La función del FEC es reducir la frecuencia de retransmisiones mediante la corrección de los errores que ocurren más frecuentemente, éste incrementa el rendimiento del sistema. Cuando se detecta un error menos frecuente, se pide una retransmisión, lo cual incrementa la fiabilidad del sistema. Una combinación de FEC Y ARQ puede funcionar mejor que FEC puro o ARQ puro en canales de tiempo variable. Existen tres tipos de esquemas híbridos de ARQ (Hybrid Automatic Repeat Request HARQ).

A) HARQ Tipo I

La misma trama es transmitida en todas las retransmisiones. En el receptor, la combinación de diversidad o la combinación de código pueden ser usadas para mejorar la fiabilidad. Por lo tanto, los paquetes que no son correctamente recibidos no son desechados inmediatamente, pero pueden ser usados para descifrar el paquete. Dos configuraciones son posibles:

- Datos + encabezado FEC
- (Datos + CRC) + FEC.

En la primera configuración, cuando el número de errores en el bloque recibido excede la capacidad del código de corrección, el FEC es usado como un código de detección de errores. En la segunda configuración y más confiable, la secuencia decodificada consiste en datos de la información y el código de detección de errores.

B) HARQ Tipo II

En esta configuración, sólo la paridad de los bits son enviados en cada retransmisión. Este tipo de esquema puede ser alcanzado adoptando códigos convolucionales compatibles de tasa de velocidad, esto asegura que todos los códigos sean

utilizados en las tasas de velocidad más bajas. Por lo tanto, si una velocidad de código 1/m, en la primera retransmisión sólo los bits correspondientes al código con velocidad más alta son enviados. Después, los bloques de bits de paridad son retransmitidos subsecuentemente y son combinados en el receptor con los anteriores, para recuperar los datos. Después de m retransmisiones, si la palabra recibida todavía se asume errónea, la palabra original es enviada otra vez. El flujo del proceso sigue hasta que los datos sean correctamente recuperados.

C) HARQ Tipo III

Tanto datos de usuario como la paridad de bits son incluidos en cada retransmisión. Están basados en códigos convolucionales complementariamente perforados (CPC). Un conjunto de CPC sacados del mismo código de baja velocidad, se dice que son complementarios si son equivalentes (en términos de sus propiedades de distancia) y su rendimiento de combinación es al menos la velocidad inferior del código original. En general, en la i-ésima transmisión tentativa, primero se decodifica la palabra recibida y si se asume libre de error, la transmisión está completada. De otra manera, la decodificación se aplica otra vez, pero utilizando el código combinado y se puede obtener de cada una de las transmisiones. Esta característica de auto decodificación HARQ resulta muy útil en canales donde varios paquetes consecutivos pueden ser dañados. [35]

2.15 Clases de servicio

El MAC de 802.16 mantiene la diferenciación de QoS para los diferentes tipos de aplicaciones que podrían operar en redes 802.16. El estándar 802.16 define los siguientes tipos de servicios:

- Concesión de Servicios No solicitada (**Unsolicited Grant Services** UGS): se diseña para soportar servicios de velocidad constante de bits (CBR Constant Bit Rate), como T1/E1, VoIP sin la supresión de silencio.
- Servicios Polling en tiempo real (**Real-Time Polling Services** rtPS): Está diseñado para soportar servicios en tiempo real que generan los paquetes de datos de tamaño variable en una base periódica, como video de MPEG o VoIP con la supresión de silencio.

- Servicios Polling en tiempo no real (**Non-Real-Time Polling Services nrtPS**): está diseñado para soportar servicios de tiempo no real que requieren los datos de tamaño variable.
- Servicio Best Effort (BE): son típicamente suministrados por Internet para el surf en la web.

Cada conexión de la estación subscriptora a la estación base se asigna una clase de servicio como la parte de la creación de la conexión. Cuando los paquetes son clasificados en la subcapa de convergencia, la conexión en que se encuentran es escogida basado en el tipo de garantías de QoS que se requieren por la aplicación. [20]

2.16 QoS en WiMAX

La portabilidad introduce el requisito para transferir el acuerdo del porcentaje de disponibilidad (Service Level Agreement SLA) a través del APs implicado en un handover, aunque QoS se puede relajar durante handovers. La movilidad completa requiere QoS constante en todos los modos de funcionamiento, incluyendo handovers. Las RAN 802.16 necesitarán entregar ancho de banda y/o QoS como sea demandado para soportar diversos servicios en tiempo real y en tiempo no real diversos. La tabla 2.7 muestra los principales parámetros para medir la QoS.

Parámetro	Unidades	Significado
Ancho de banda	Kb/s	Indica el caudal máximo que se puede transmitir
Retardo o latencia	Ms	El tiempo medio que tardan en llegar los paquetes
Jitter	Ms	La fluctuación que se puede producir en el retardo
Tasa de pérdidas	%	Proporción de paquetes perdidos respecto de los enviados

Tabla 2.7 Parámetros de QoS

El jitter puede reducirse si el receptor retrasa la reproducción (buffer ‘anti-jitter’). Por ejemplo en VoIP lo habitual es enviar un paquete de voz cada 20 ms. Si el receptor reproduce los paquetes tal cual le llegan cualquier fluctuación en la entrega afectará la calidad. Si en vez de eso retrasa 40 ms la reproducción podrá compensar fluctuaciones de hasta 40 ms. en el tiempo de entrega. [4,33]

2.17 Seguridad en WiMAX

La arquitectura soporta autorización de las estaciones suscriptoras, asociaciones de seguridad (SA) las cuales son set de información que una estación base BS y uno o más de sus clientes SSs comparten, a manera de soportar comunicaciones seguras a través de la red WiMAX. Utiliza el Módulo de Identidad del Suscriptor (SIM) además de certificados digitales como el X.509 que es un documento firmado por una Autoridad Certificadora (AC). Si el Certificado es auténtico y confiamos en la AC, entonces, podemos confiar en que el sujeto identificado en el Certificado Digital posee la llave pública que se señala en dicho certificado.

2.17.1 Estructura de un certificado X.509

Un certificado X.509 contiene diversos campos, agrupados en tres grandes grupos (figura 2.49):

a) El primer grupo, es el subject, que contiene los datos que identifican al titular. Estos datos están expresados en notación DN (Distinguished Name), donde un DN se compone a su vez de diversos campos, siendo los más frecuentes los siguientes; CN (Common Name), OU (Organizational Unit), O (Organization) y C (Country). Un ejemplo para identificar un usuario mediante el DN, es el siguiente: CN=david.comin O=Safelayer, OU=development, C=ES.

Además del nombre del titular (subject), el certificado, también contiene datos asociados al propio certificado digital, como la versión del certificado, su identificador (serial number), la CA firmante (issuer), el tiempo de validez (validity), etc. La versión X.509.v3 también permite utilizar campos opcionales (nombres alternativos, usos permitidos para la clave, ubicación de la CA, etc.).

b) En segundo lugar, el certificado contiene la clave pública, que consta de dos campos, en primer lugar, el que muestra el algoritmo utilizado para crear la clave (ej. RSA), y en segundo lugar, la propia clave pública.

c) Por último, la CA, ha añadido la secuencia de campos que identifican la firma de los campos previos. Esta secuencia contiene tres atributos, el algoritmo de firma utilizado, el hash de la firma, y la propia firma digital.[14]

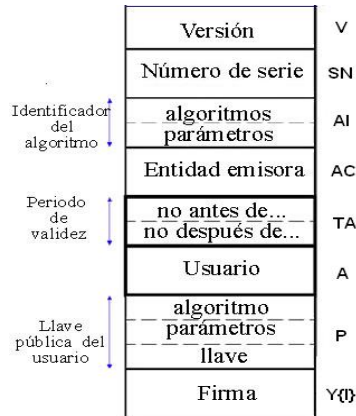


Figura 2.49 Estructura de X.509

- V: Versión del certificado.
- SN: Número de serie.
- AI: Identificador del algoritmo de firma que sirve única y exclusivamente para identificar el algoritmo usado para firmar el paquete X. 509.
- AC: Autoridad certificadora (nombre en formato X. 500).
- TA: Periodo de validez.
- A: Propietario de la clave pública que se está firmando.
- P: Clave pública más identificador de algoritmo utilizado y más parámetros si son necesarios.
- Y{I}: Firma digital de Y por I (con clave privada de una unidad certificadora)

2.17.2 Procedimientos de autenticación en una red

X. 509 da tres procedimientos alternativos para la autenticación en peticiones de servicio, mensajes o envío de información.

- Autenticación a una vía (una transmisión)
- Autenticación a dos vías (una transmisión + respuesta)
- Autenticación a tres vías (una transmisión + respuesta + acuse de recepción)

2.18 La seguridad de extremo-a-extremo

La figura 2.50 describe conceptualmente la Autenticación, Autorización, y Contabilidad (Authorization and Accounting AAA) de extremo-a-extremo en redes 802.16 soportando portabilidad y movilidad total.

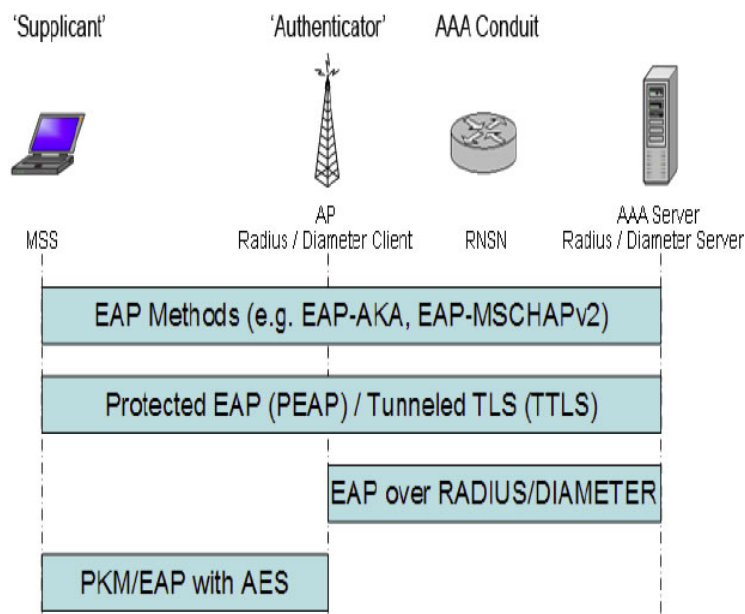


Figura 2.50 Marco de seguridad de 802.16

Como se muestra en esta figura, la autenticación en el aire y la encriptación se establece usando el protocolo de PKM-EAP. El Protocolo de la Autenticación extensible (EAP) se lleva a cabo en RADIUS DIAMETER hacia el backend de AAA. El uso de EAP habilita el apoyo para métodos criptográficos

El AP sirve como el "Autenticador" y hospeda a un cliente AAA RADIUS o DIAMETER. Todas las sesiones de AAA terminan en un servidor AAA que puede estar en el operador central de la red IP o en una red IP externa en los escenarios de roaming. El Nodo de Red de Servicio de Radio (Radio Network Serving Node RNSN) es meramente una canalización para los mensajes de AAA y no juega un papel significativo en el proceso de AAA. En algunos casos, la red puede emplear un intermediario de AAA pero la arquitectura no es impactada en esos casos. Adicionalmente, el RNSN puede hospedar un firewall para filtrar el tráfico del enlace de bajada a una red de acceso de radio (Radio Acces Network RAN). [19]

Capítulo 3

Planteamiento del proyecto

Se pretende instalar una red inalámbrica de banda ancha en la ciudad de Pachuca de Soto; ya que siendo la capital del Estado de Hidalgo, no sólo cuenta con oficinas de carácter gubernamental, sino que también se encuentran las instituciones educativas a nivel superior más importantes del Estado, así como empresas de diferentes rubros, que a veces por la ubicación geográfica u otro impedimento (escasez de líneas o costos elevados de conexión, entre otros), no cuentan con el acceso a la red. Este apartado estudia la zona geográfica y plantea las condiciones técnicas necesarias para la instalación de la red.

3.1 Situación de la industria

Según datos del INEGI², esta ciudad tiene una población aproximada de 275, 578 habitantes con una edad media de 24 años, una población de jóvenes, muchos de los cuales usan la computadora como herramienta de trabajo.

En la tabla 3.1 se observa que la mayor parte de hogares con computadora dentro de la República Mexicana, también cuenta con servicio a Internet.

Año	Concepto	Total	En el hogar	Fuera del hogar
2000 ^e	Estados Unidos Mexicanos	5 057 533	2 568 783	2 488 750
	Con computadora en el hogar	2 863 021	2 568 783	294 238
	Sin computadora en el hogar	2 194 512	n.a.	2 194 512
2001 ^a	Estados Unidos Mexicanos	7 047 172	3 194 638	3 852 534
	Con computadora en el hogar	4 094 680	3 194 638	900 042
	Sin computadora en el hogar	2 952 492	n.a.	2 952 492
2002 ^a	Estados Unidos Mexicanos	10 764 715	3 934 434	6 830 281
	Con computadora en el hogar	5 932 887	3 934 434	1 998 453
	Sin computadora en el hogar	4 831 828	n.a.	4 831 828
2003 ^e	Estados Unidos Mexicanos	12 218 830	4 632 062	7 586 768
	Con computadora en el hogar	6 920 910	4 632 062	2 288 848
	Sin computadora en el hogar	5 297 920	n.a.	5 297 920
2004 ^b	Estados Unidos Mexicanos	12 945 888	4 985 418	7 960 470
	Con computadora en el hogar	7 414 922	4 985 418	2 429 504
	Sin computadora en el hogar	5 530 966	n. a	5 530 966
2004 ^e	Estados Unidos Mexicanos	14 036 475	5 145 554	8 890 921

² II Censo de Población y vivienda 2005

	Con computadora en el hogar	7 968 153	5 145 554	2 822 599
	Sin computadora en el hogar	6 068 322	n. a	6 068 322
2005 ^b	Estados Unidos Mexicanos	16 492 454	5 235 018	11 257 436
	Con computadora en el hogar	8 385 921	5 235 018	3 150 903
	Sin computadora en el hogar	8 106 533	n. a.	8 106 533
2005 ^e	Estados Unidos Mexicanos	18 091 789	6 056 610	12 035 179
	Con computadora en el hogar	9 780 155	6 056 610	3 723 545
	Sin computadora en el hogar	8 311 634	n. a.	8 311 634
2006 ^p	Estados Unidos Mexicanos	18 746 353	6 295 052	12 451 301
	Con computadora en el hogar	10 218 188	6 295 052	3 923 136
	Sin computadora en el hogar	8 528 165	n. a.	8 528 165

Tabla 3.1 Usuarios de Internet por disponibilidad de computadora en el hogar, según lugar de acceso

a Cifras correspondientes al mes de diciembre.

b Cifras correspondientes al mes de junio.

e Cifras calculadas por COFETEL, a diciembre de cada año, con base en información del INEGI y reportes de las empresas que proporcionan el servicio de acceso a Internet.

p Cifras preliminares correspondientes al mes de abril.

n.a. no aplica.

Fuente: INEGI-Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnología de Información en los Hogares 2004.

En Pachuca de Soto hay un total de 71,341 viviendas habitadas, de las cuales 23,518 cuentan con una computadora; casi el 33%.¹

A continuación se referencia algunos de los proveedores de Internet dentro de la ciudad de Pachuca así como las velocidades del servicio que ofrecen, para el reconocimiento del panorama actual del mercado.

Tv Cable de provincia :	Accesnet a 64, 128 y 256 Kbps. [65]
Mexline:	Tipo DS0 a 64, 128, 256, 512, 1024 y 2048 Kbps.[66]
Mexline:	Tipo Satelitales a 700, 1000, 1500 y 2000 Kbps.[66]
AT&T :	Masternet a 256 y 512 Kbps.[67]
Telmex:	Prodigy Inginitum a 1, 2 y 4 Mbps.[68]
Telmex:	Dial Up a 56 y 128 Kbps. [69]

Los precios varían según la velocidad de conexión y oscilan entre los \$134.00 hasta \$1200.00 mensuales aproximadamente. Esto sin tomar en cuenta los costos de instalación.

3.2 Determinación de la localización óptima del proyecto

Entre los posibles lugares para la ubicación de la estación base, se encuentran, el Cerro de Saucillo, Cubitos y Cerro Redondo. Siendo elegido Cubitos, ya que cuenta con una ubicación céntrica, además de poseer vía de acceso y energía eléctrica. La figura 3.1

delimita la zona de cobertura la cual fue trazada en base a los perfiles topográficos que se encuentran en el anexo A.

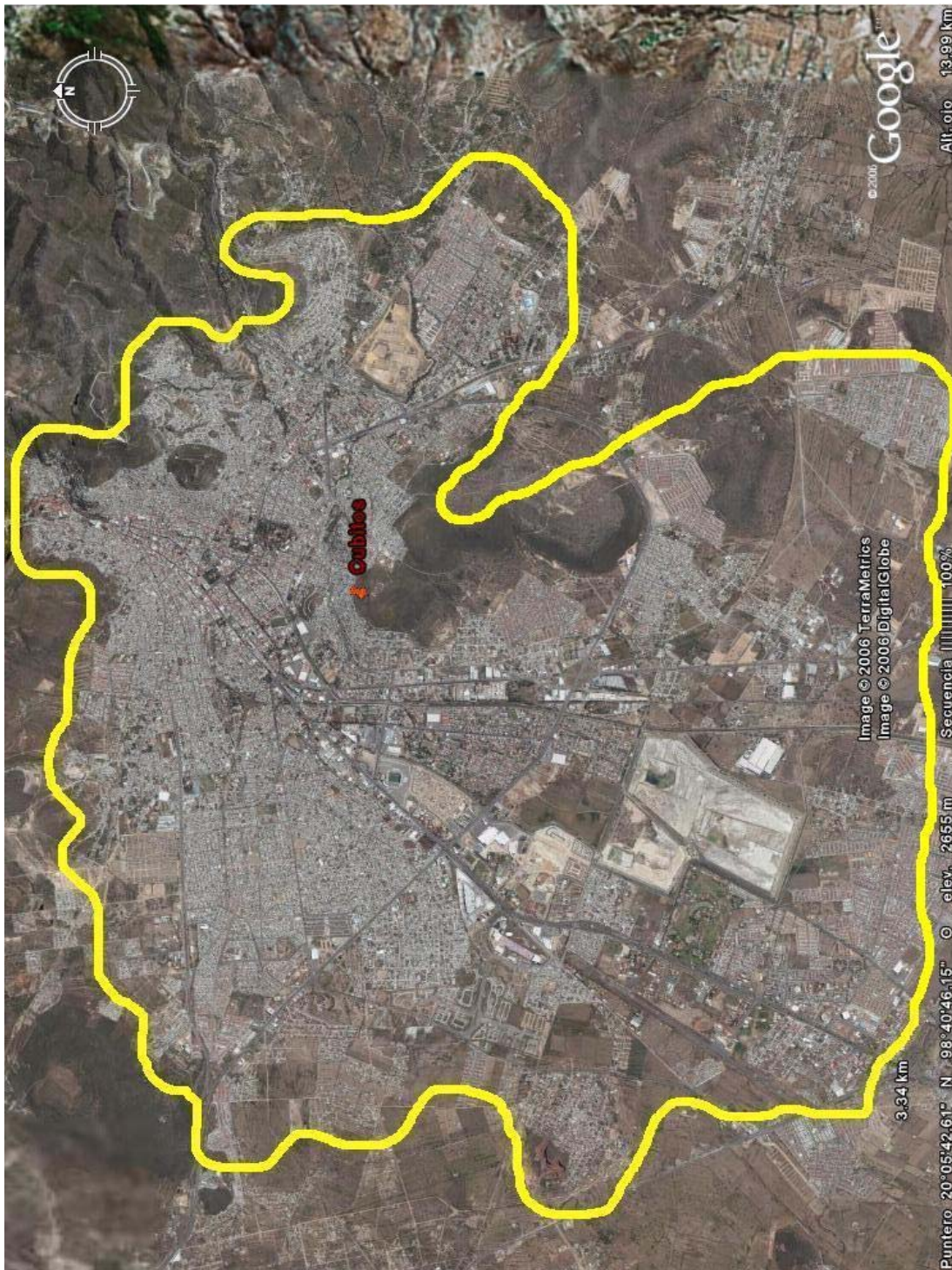


Figura 3.1 Zona de Pachuca [70]

3.3 Diseño del proyecto

En la figura 3.2 se muestra la red que se desea diseñar a partir de las necesidades y equipo disponible.

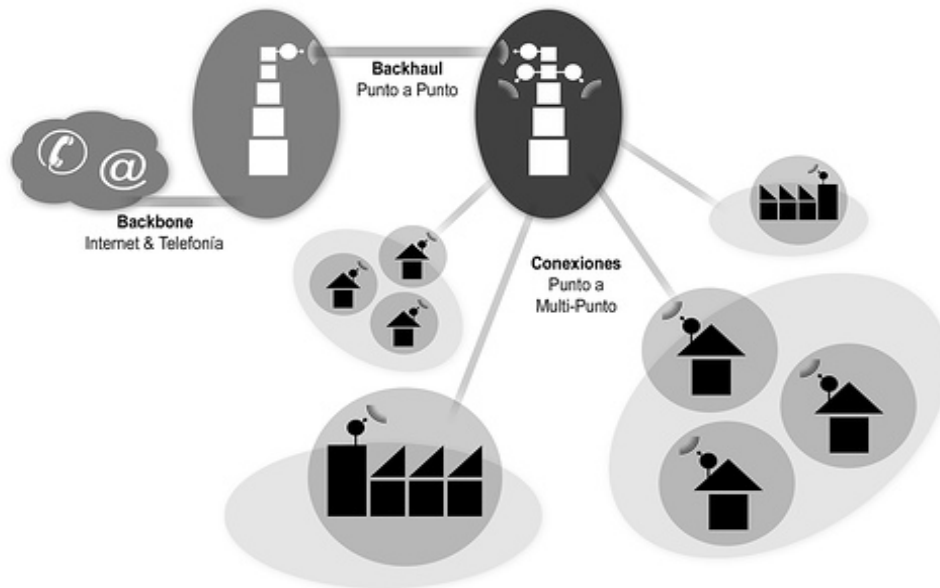


Figura 3.2 Esquema de red

En base a este esquema iremos describiendo y/o desarrollando los siguientes puntos:

- Descripción de estación base
- Descripción de estación suscriptor
- Descripción del tipo de antena para estación base
- Descripción del tipo de antena para backhaul
- Requerimientos para instalación de la torre y caseta de resguardo
- Sistema de energía ininterrumpida (UPS) y planta de emergencia
- Sistema de aire acondicionado

3.3.1 Estación base

Existe en el mercado una variedad de productos y marcas que ofrecen tecnología WiMAX. Una de las líneas más completas la ofrece Airspan bajo el nombre de AS.MAX. Incluye la tecnología Intel Wimax ProWireless 5116 en los CPE's. Ofrece velocidades por encima de los 50 Mbps que es comparable con la tecnología 3G. Permite la coexistencia con productos nuevos y provee la base para escalabilidad sin empalmes para IEEE 802.16e (SOFDMA) a través del uso de Software Defined Radio (SDR) y sistemas adaptativos de antena (AAS).

Para el desarrollo de este proyecto, se va a utilizar para la estación base el equipo HiperMAX, en la figura 3.3 se muestra la arquitectura diseñada para este equipo y sus características técnicas se muestran en la tabla 3.2.

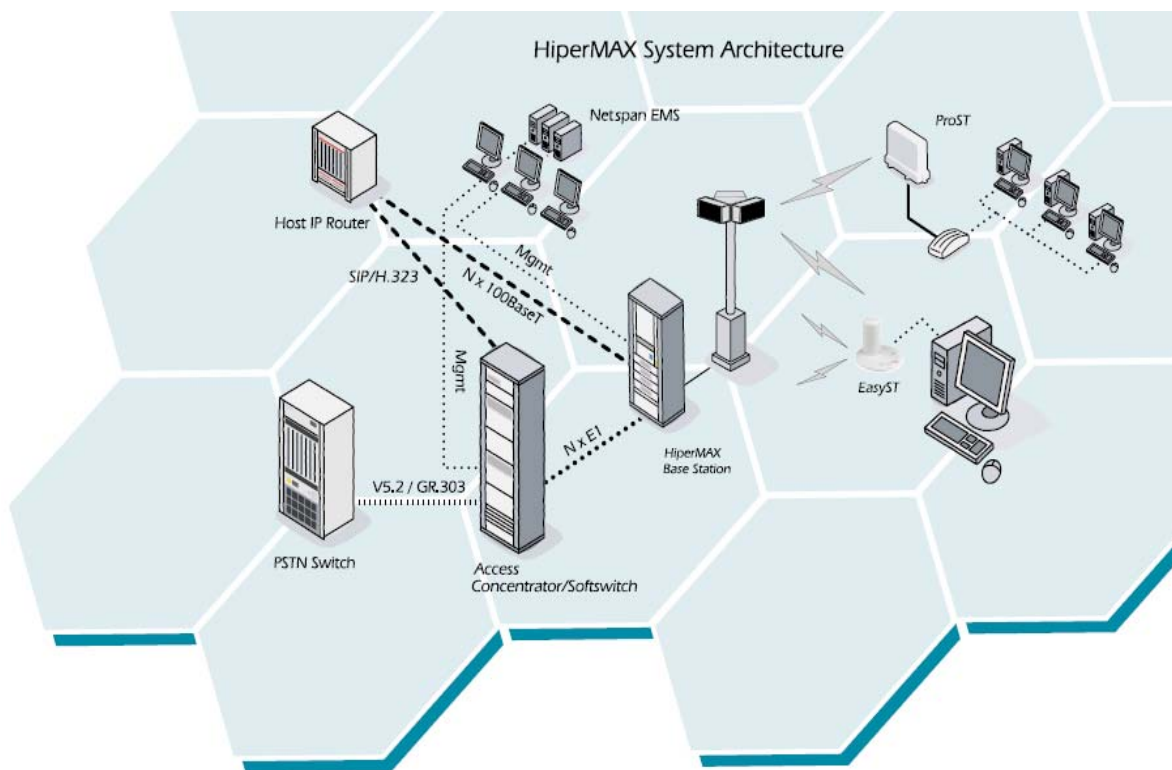


Figura 3.3 Arquitectura del sistema HiperMAX

		HiperMAX
RF Interface	Physical Layer	OFDM (SDR software upgradable to SOFDMA)
	Frequency Bands	3.4-3.6GHz initially, 2.3-2.4GHz, 4.9-5.0GHz + subsequent additional WiMAX bands
	Channel Size	1.75MHz, 3.5MHz, 5MHz, 7MHz, 10MHz
	FFT	256 (SDR software upgradeable to 512 and 1024)
	Duplex Method	FDD + TDD
	Sector Angle	60, 90, 120, 180, omni
	Modulations Supported	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
	WiMAX Profiles Supported	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2
	Standards Compliance	IEEE 802.16-2004 (Software upgradeable to 802.16e)
	Tx Power (see note 1)	Up to +32dBm per antenna element
Rx Sensitivity (see note 2)	-115dBm (1/16), -103dBm (1/1)	
AAS & Diversity Gains (Downlink / Uplink)	Up to 22dB / 15dB	
RF Interface Options	Adaptive Antenna System (AAS) Support	Yes
	Multi Channel Tx Diversity	Yes
	Nth Order Rx Diversity	Yes
	Space Division Multiple Access (SDMA) Support	Yes, by software upgrade
	Spatial Frequency Interface Rejection (SFIR) Support	Yes, by software upgrade
	Uplink Sub-Channelisation Support	1/2, 1/4, 1/8, 1/16 (+1/32 with software upgrade)
	Dynamic Frequency Selection (DFS) Support	N/A
	Turbo Coding Supported	Yes, by software upgrade
	Configurable Cyclic Prefix	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
	Configurable Frame Duration	2.5, 4, 5, 8, 10, 12.5, 20ms
GPS Clock Synch Supported	Yes	
IP Options / Features	Bridging Mode	802.1D self-learning bridge
	IPv	IPv4 + IPv6
	802.1Q VLAN	Yes
	MIR / CIR	Yes
	DiffServ	Yes
	Packet IPv6 over 802.3/Ethernet	Yes
	Packet IPv4 over 802.1Q	Yes
	Packet IPv6 over 802.1Q	Yes
	Payload Header Suppression	Yes
	Multicast Polling	Yes
ARQ	Yes	
Packing	Yes	
Scheduling	Unsolicited Grant Service	Yes
	Real Time Polling	Yes
Encryption	Data Encryption AES CCM	Yes
	TEK Encryption AES 128bit	Yes
	TEK Encryption AES 1024	Yes
Management	Managed Subscriber Station	N/A
User / Network Interface Options	User / Network Interface	100bT/1000bT Ethernet
Power	Voltage	-48V DC nominal
	Power Consumption	250W per AAS Sector
Mechanical	Indoor Dimensions (h-w-d)	Chassis to fit 19" / 23" Equipment Rack
	Outdoor Dimensions (h-w-d)	710 x 275 x 130 mm (inc. antenna array)
	Indoor Weight	110kg
	Outdoor Weight	20kg

Note 1: Tx powers apply for QPSK operation. 64QAM support requires appropriate power back-off.

Note 2: Rx sensitivities apply to the minimum channel bandwidth supported and include maximum sub-channelisation.

Tabla 3.2 Características técnicas de HiperMAX

La estación base HiperMAX consiste de una sección interior, adecuada para un ambiente interior protegido y una sección RF exterior. La sección interior contiene los tableros electrónicos de banda base, y están situados en un chasis llamado ATCA (Advanced Telecommunications Computing Architecture) de 1, 2, 5 y 14 ranuras mostrado en la figura 3.4. El gabinete exterior contiene los componentes del subsistema RF y pequeñas antenas. La conexión entre el equipo interior y exterior es a través de cable de fibra óptica que opera a velocidades de 3.1 Gbit/s y es capaz de soportar velocidades de hasta 10Gb/s para expansiones futuras.

En adición a los tableros de banda base, el gabinete ATCA alberga el switch ethernet, la unidad de sincronización GPS (para operaciones de TDD y antena en un sistema sectorizado) y el controlador de gabinete. El switch ethernet y las funciones de sincronización GPS están implementadas juntas en una misma unidad. El switch Ethernet agrega el flujo de tráfico individual sobre el flujo de Ethernet un Gigabit para propósitos de backhaul. El administrador del ATCA provee una capa de administración de la plataforma que mantiene un inventario de las unidades reemplazables de campo en el sistema y la salud básica de los monitores.

El equipo exterior consiste en un transceptor multicanal de RF y las antenas de transmisión y recepción.

Hay que mencionar que HiperMAX es administrado por Netspan, que es un administrador centralizado de red que soporta una arquitectura cliente-servidor. Utiliza una base de datos SQL para almacenar la configuración, estadísticas e historial de alarmas de la red de radio. El acceso al servidor Netspan se hace desde el explorador de Internet de Microsoft, usando el servicio de red del servidor Netspan. Cada operador Netspan tiene derechos de acceso configurables, permitiendo a cada operador acceder a los derechos apropiados para sus funciones.

Netspan provee configuración y diagnóstico de acceso a todos los componentes de la red AS.MAX, justo bajo cada terminal individual de suscriptor.



Figura 3.4 Equipo para estación base HiperMAX

3.3.2 Estación suscriptora

EasyST y ProST son productos CPE (Customer Premises Equipment) desarrollados para trabajar con las estaciones base WiMAX. El EasyST es un CPE de uso interior diseñado para autoinstalación por el cliente; en vista de que el ProST es un CPE de uso interior y exterior que requiere de instalación profesional y provee un costo superior de enlace en condiciones de despliegues difíciles.

El EasyST es un CPE WiMAX físicamente compacto diseñado para ser desplegado a un lado de la PC del usuario, cuenta con plug & play. Con dimensiones cercanas al tamaño de 2 cajas de CD. EasyST tiene tres diferentes modelos de despliegue: usando la antena integral 6dBi, usándolo junto con la expansión Wi-Fi opcional (permitiendo así la colocación del EasyST en la ventana), o usándolo con la antena externa montable en la ventana. En todos los casos un sistema de indicación visual informa al usuario cuando se tiene la colocación óptima para la recepción y transmisión RF.

EasyST tiene software completamente descargable sobre la interfaz de radio WiMAX, y estas actualizaciones pueden ser usadas para soportar la migración de la operación inicial a sistemas posteriores. En la figura 3.5 se muestra el EasyST y en la tabla 3.3 se encuentran las características técnicas de este equipo.

Por otro lado se encuentra ProST está diseñado para un rápido y simple despliegue externo, y debe ser instalado por un profesional; esta contemplado para usuarios que necesitan un servicio altamente confiable operando en ambientes de propagación LOS y NLOS.

Este equipo mostrado en la figura 3.6 cuenta con Hub de 1-4 puertos, Switch de 1-4 puertos, Más de 4 puertos con switcheo VLAN, Interfaces E1/T1, Soporte para VoIP y Wi-Fi IEEE 802.11b/g, Opciones de alimentación AC o DC, antena integrada con ganancia de 15 dBi o 18 dBi , opciones de amplio rango de antena externa, los detalles técnicos de este equipo se encuentran en la tabla 3.3

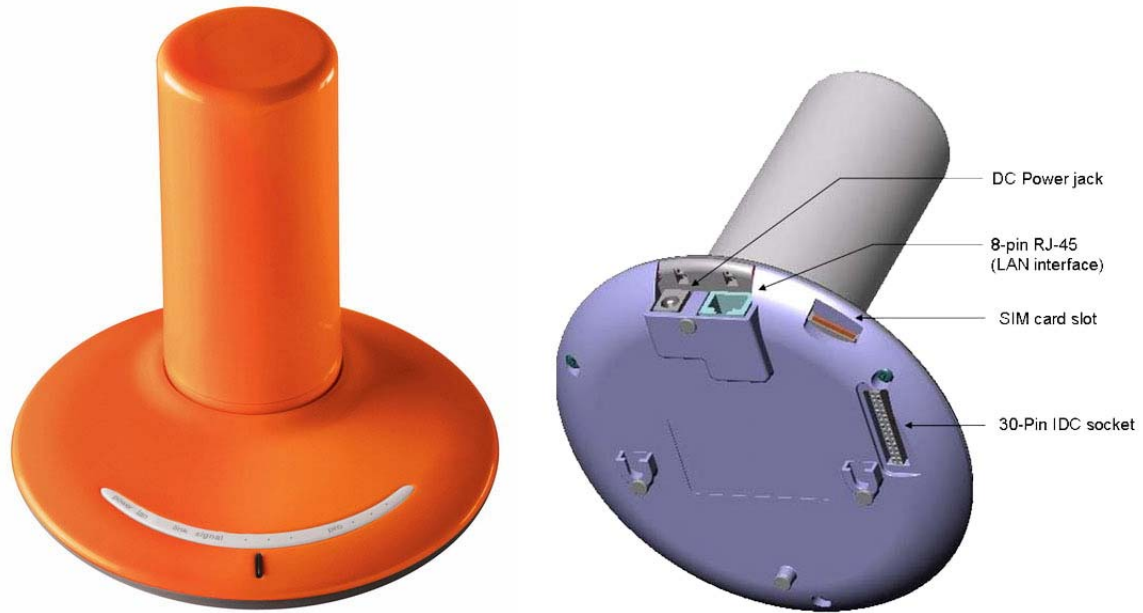


Figura 3.5 EasyST, equipo CPE interno



Figura 3.6 PROST, equipo CPE externo

		Indoor CPE	Outdoor CPE
		EasyST	ProST
RF Interface	Physical Layer	OFDM (future release supports SOFDMA)	OFDM (future release supports SOFDMA)
	Frequency Bands	3.4-3.6GHz, 4.9-5.0GHz, 2.3-2.4GHz + subsequent additional WiMAX bands	3.4-3.6GHz, 5.8GHz, 4.9-5.0GHz, 2.3-2.4GHz + subsequent additional WiMAX bands
	Channel Size	1.75MHz, 3.5MHz, 5MHz 7MHz, 10MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 5MHz 7MHz, 10MHz
	FFT	256 (future release supports 512 and 1024)	256 (future release supports 512 and 1024)
	Duplex Method	HFDD + TDD	HFDD + TDD
	Sector Angle	N/A	N/A
	Modulations Supported	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
	WiMAX Profiles Supported	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2, 5.8T
	Standards Compliance	IEEE 802.16-2004 (future release to support 802.16e)	IEEE 802.16-2004 (future release to support 802.16e)
	Tx Power (see note 1)	+24dBm	Up to +23dBm
Rx Sensitivity (see note 2)	-103dBm	-103dBm	
AAS & Diversity Gains (Downlink / Uplink)	-	-	
RF Interface Options	Adaptive Antenna System (AAS) Support	Yes	Yes
	Multi Channel Tx Diversity	Yes	Yes
	Nth Order Rx Diversity	Yes	Yes
	Space Division Multiple Access (SDMA) Support	Yes	Yes
	Spatial Frequency Interface Rejection (SFIR) Support	Yes	Yes
	Uplink Sub-Channelisation Support	Yes	Yes
	Dynamic Frequency Selection (DFS) Support	N/A	Yes (at 5.8HGz)
	Turbo Coding Supported	No	No
	Configurable Cyclic Prefix	N/A	N/A
	Configurable Frame Duration	N/A	N/A
GPS Clock Synch Supported	N/A	N/A	
IP Options / Features	Bridging Mode	802.1D self-learning bridge	802.1D self-learning bridge
	IPv	IPv4 + IPv6	IPv4 + IPv6
	802.1Q VLAN	Yes	Yes
	MIR / CIR	Yes	Yes
	DiffServ	Yes	Yes
	Packet IPv6 over 802.3/Ethernet	Yes	Yes
	Packet IPv4 over 802.1Q	Yes	Yes
	Packet IPv6 over 802.1Q	No	No
	Payload Header Suppression	Yes	Yes
	Multicast Polling	Yes	Yes
ARQ	Yes	Yes	
Packing	Yes	Yes	
Scheduling	Unsolicited Grant Service	Yes	Yes
	Real Time Polling	Yes	Yes
Encryption	Data Encryption AES CCM	Yes	Yes
	TEK Encryption AES 128bit	Yes	Yes
	TEK Encryption AES 1024	Yes	No
Management	Managed Subscriber Station	Yes	Yes
User / Network Interface Options	User / Network Interface	10/100bT Ethernet, 802.11g WiFi, POTs with integrated RGW	10/100bT Ethernet, 802.11g WiFi, POTs with integrated RGW, E1, T1
Power	Voltage	90-264V AC, 6VDC	-48V DC nominal, 90-264V AC
	Power Consumption	6-8W	10W
Mechanical	Indoor Dimensions (h-w-d)	30 x 145 x 145mm (excl clip-on antenna)	200 x 150 x 40mm
	Outdoor Dimensions (h-w-d)	N/A	244 x 311 x 65.5 mm
	Indoor Weight	1.4kg	0.5kg
	Outdoor Weight	N/A	1.2kg

Note 1: Tx powers apply for QPSK operation. 64QAM support requires appropriate power back-off.
 Note 2: Rx sensitivities apply to the minimum channel bandwidth supported and include maximum sub-channelisation.

Tabla 3.3 Características técnicas del CPE

3.3.3 Backhaul PrimeMAX

PrimeMAX está diseñado para backhaul IP y TDM de alta capacidad y aplicaciones de proyecto. Es un producto WiMAX de clase portadora de alta capacidad diseñado para uso de aplicaciones donde el backhaul confiable de múltiples E1/T1, así como el tráfico IP es de principal importancia. La arquitectura diseñada para este equipo se muestra en la figura 3.7.

El controlador de sector PrimeMAX provee una arquitectura de diseño dividido consistente de una unidad de uso interior, la cual aloja los electrónicos de banda base y una unidad exterior consistente de un transceptor y una antena, con una interfaz de frecuencia intermedia (IF) entre las unidades interior y exterior. La unidad interior puede ser adquirida como IP solamente o con IP con más de 8 puertos E1/T1. La figura 3.8 muestra el equipo de PrimeMAX.

PrimeMAX soporta IEEE 802.16-2004 QoS y características de red. El soporte es proveído por real time polling (rtPS), non real time polling (nrtPS), concesión de servicio no autorizado (unsolicited grant service UGS) y mejor servicio (best effort BE).

- Principales Características:
- E1/T1 de múltiple origen también para soporte IP
- Implementación de radio sofisticada
- Soporta los perfiles del WiMAX Forum
- Modulación adaptativa BPSK/QPSK/16QAM//64QQAM
- Operación TDD y Half Dúplex
- Las características del software incluye AES/DES/3DES
- Las características de hardware incluyen: Opción de redundancia de fuente de poder, Ethernet 100/ Gigabit

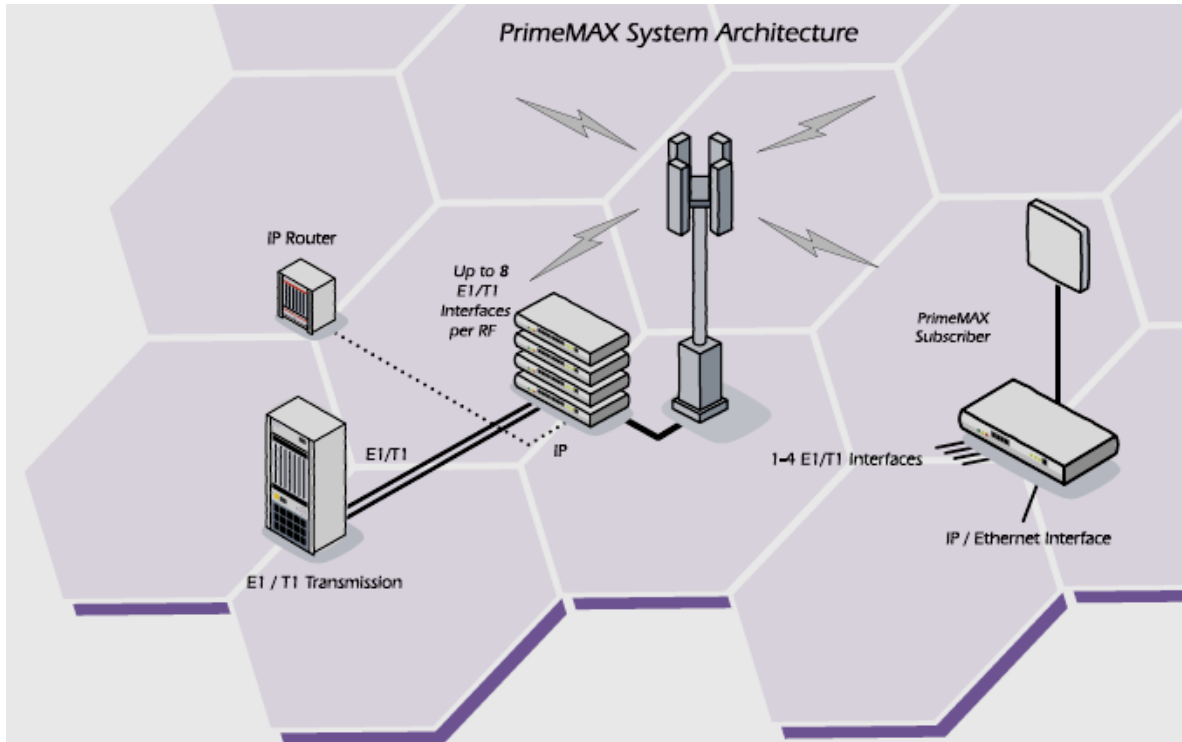


Figura 3.7 Arquitectura del sistema PrimeMAX



Figura 3.8 Equipo para suscriptor PrimeMAX

3.3.4 Antena para estación base

Para poder habilitar los tres sectores de cobertura, se instalarán 2 antenas sectorizadas para aplicaciones de WiMAX de 120° para cada sector definido.

Características eléctricas

Banda de frecuencia:	5,150–5,875 MHz
Ganancia	15 dBi
Polarización	Vertical/Horizontal
Azimut 3 dB	Ancho de haz 120° típico
Elevación 3 dB	Ancho de haz 5° típico
Peak power	50 W
Average power	200 W
VSWR	1.7:1 máximo
Pérdida de retorno	12 dB
Impedancia	50 ohms

Características mecánicas

Dimensiones:	554 x 76 x 53 mm
Conector :	Tipo N hembra
Peso aprox.:	4 Kgs.
Marca:	Andrew
Modelo:	SA5150-120V-15



Figura 3.9 Antena de sector 120°

3.2.5 Antena para backhaul

Esta antena será instalada con el fin de tener acceso a un router IP y a un switch de la PSTN, no es necesario que se encuentre a la altura de 30m., pero si debe de operar en una banda de frecuencias diferente a la que utiliza la estación base para evitar interferencias, por ello se tomará en cuenta la banda de 2.4 GHz. que es una banda de uso libre.

SP2 Series Antenas Parabólicas Standard

Marca: RADIOWAVES

Polarización: Sencilla

Dimensiones diámetro: 0.6 m.

Funciona en la banda de 1.5, 2.4, 5.4 y 5.8 Ghz.

Ganancia de 16.8 dBi (1.5 Ghz), 21.3 dBi (2.4 Ghz) y 29 dBi (5.4 y 5.8 Ghz).

Apertura de haz 25° (1.5 Ghz), 14° (2.4 Ghz) y 6.1° (5.4 y 5.8 Ghz).

Peso aproximado: 7 Kgs.



Figura 3.10 Antena parabólica para backhaul

3.3.6 Torre y caseta para estación base

La torre arriostada tiene estructura principal tubular, es triangular, escaleras de ascenso y descenso, curvas y soporte de cama de guía de ondas, como la mostrada en la figura 3.11. Además cuenta con kit de seguridad o línea de vida, plataforma de trabajo, brazos antitorsión, sistema de protección contra descargas atmosféricas y franjas alternas de color naranja y blanco según normas de SCT. [50]

La altura de la torre es de 36 mts., las antenas estarán ubicadas a la altura de 30 mts., exceptuando la antena de backhaul; deben de tener una resistencia al viento de 11 m/s aproximadamente.



Figura 3.11 Torre arriostada

Para la obra civil, la cimentación para torre arriostada incluye trazo y nivelación de terreno, excavación, plantilla de concreto pobre, acero de refuerzo, cimbra y descimbra. Soporte para tensores de anclaje para torre, incluyendo excavación anclado y armado.

Para el resguardo del equipo, se necesita construir una caseta con dimensiones aproximadas de 3.5 mts. de alto x 7 mts. de largo x 10 mts. de ancho.

Muros y techos prefabricados, para el piso la colocación de loseta (Exclusivamente en área de equipos), así como acabado fino para asentar planta de emergencia en el espacio destinado para ello con la resistencia necesaria que soporte el equipo que trabaja en el área. [52]

3.2.7 Instalación eléctrica

Hay que prever la toma de energía eléctrica de alta tensión, afortunadamente, el cerro de cubitos cuenta con este servicio, aún así se contará con una planta generadora de energía para casos de emergencia.

Es importante tomar en cuenta el sistema de iluminación tanto interior como exterior, sistema de tierra y apartarrayos (menor a 3 Ohms). Así como el suministro de extinguidores.

3.3.8 Sistema de Energía Ininterrumpida (UPS)

La figura 3.12 muestra un UPS que protege aplicaciones críticas como pérdida y corrupción de datos, proveyendo alimentación continuamente desde 5 hasta 30 minutos, dependiendo de la condición de la línea y la cantidad de energía requerida en la estación base.

Características principales:

Marca:	Eaton	Modelo :	9125RM 700 VA - 3000 VA
Rango de potencia:	3000/2100 VA/Watt		
Voltaje:	120, 208 y 230 VAC	Frecuencia:	50/60 Hz
Comunicaciones por Puerto RS-232 y USB			
Tiempo de recarga de la batería: 2 hrs. (aprox.)			

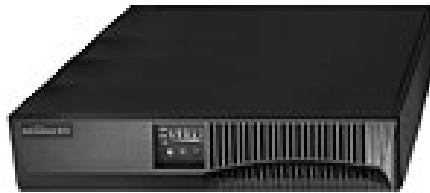


Figura 3.12 Powerware 9125 Rackmount UPS

3.3.9 Planta de energía eléctrica de emergencia

La figura 3.13 muestra un generador de energía que se utilizará para poder suministrar a la estación base cuando el servicio de energía se vea interrumpido y así evitar pérdidas de información. Cuenta con las siguientes características:

Marca: Cummins	Modelo: QSK60G6
Características: 4 tiempos	Potencia: 2922 BHP a 1800 rpm
No. de cilindros: 16 en V	Diámetro en carrera: 159 x 190 mm.
Desplazamiento: 60.2 Lts.	
Consumo plena de energía: 521 Lts. / Hrs. / KW	2000KW
Sistema eléctrico: Alternador y marcha 24 Volts.	

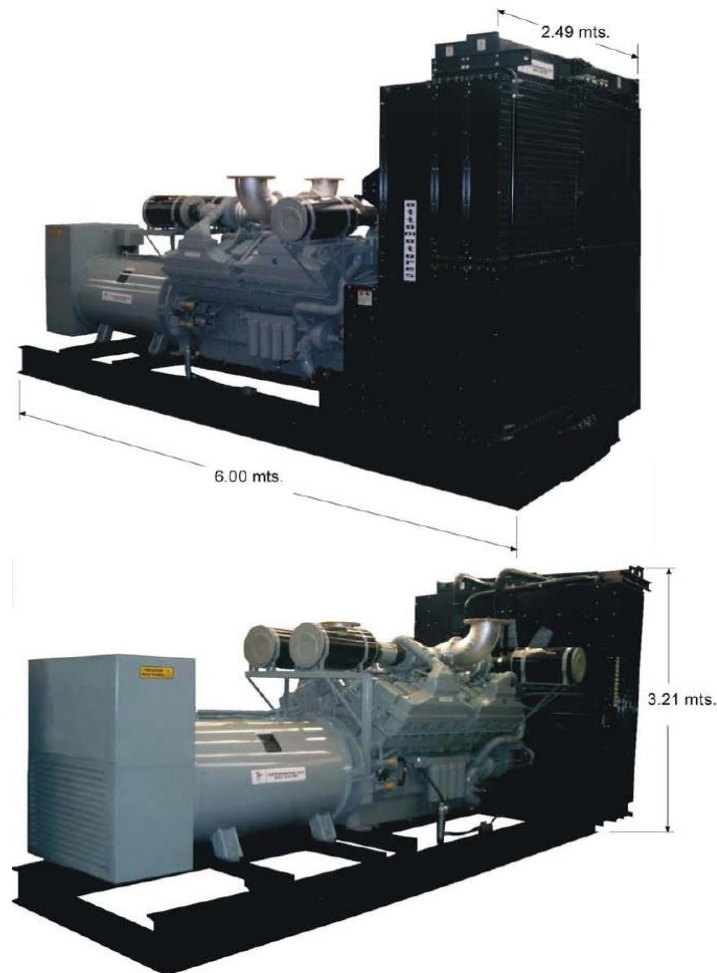


Figura 3.13 Generador de energía

3.3.10 Sistema de aire acondicionado

La figura 3.14 muestra un sistema diseñada para necesidades de enfriamiento en cuartos de cómputo en áreas pequeñas a moderadas, donde la flexibilidad de descarga de aire superior o inferior se requiere. Aplicaciones de cuartos de telefonía, Web hosting, áreas de servidores y routers así como cuartos de baterías.



Figura 3.14 Sistema de aire acondicionado

Principales características:

Marca: Data Aire Inc.

SERIES 6,8,10,13,16,20,26 y 30 TON

Microprocesador DAP-II asegura eficiente operación y comunicaciones.

Motor con bandas de velocidad variable.

Calentador eléctrico.

Filtros de aire con eficiencia del 30%.

Turbinas centrífugas con doble entrada de aire.

3.4 Estudio del Sistema

En la figura 3.15 se han definido tres sectores de servicio y en cada uno de ellos se ha ubicado un suscriptor para analizar la predicción de confiabilidad.

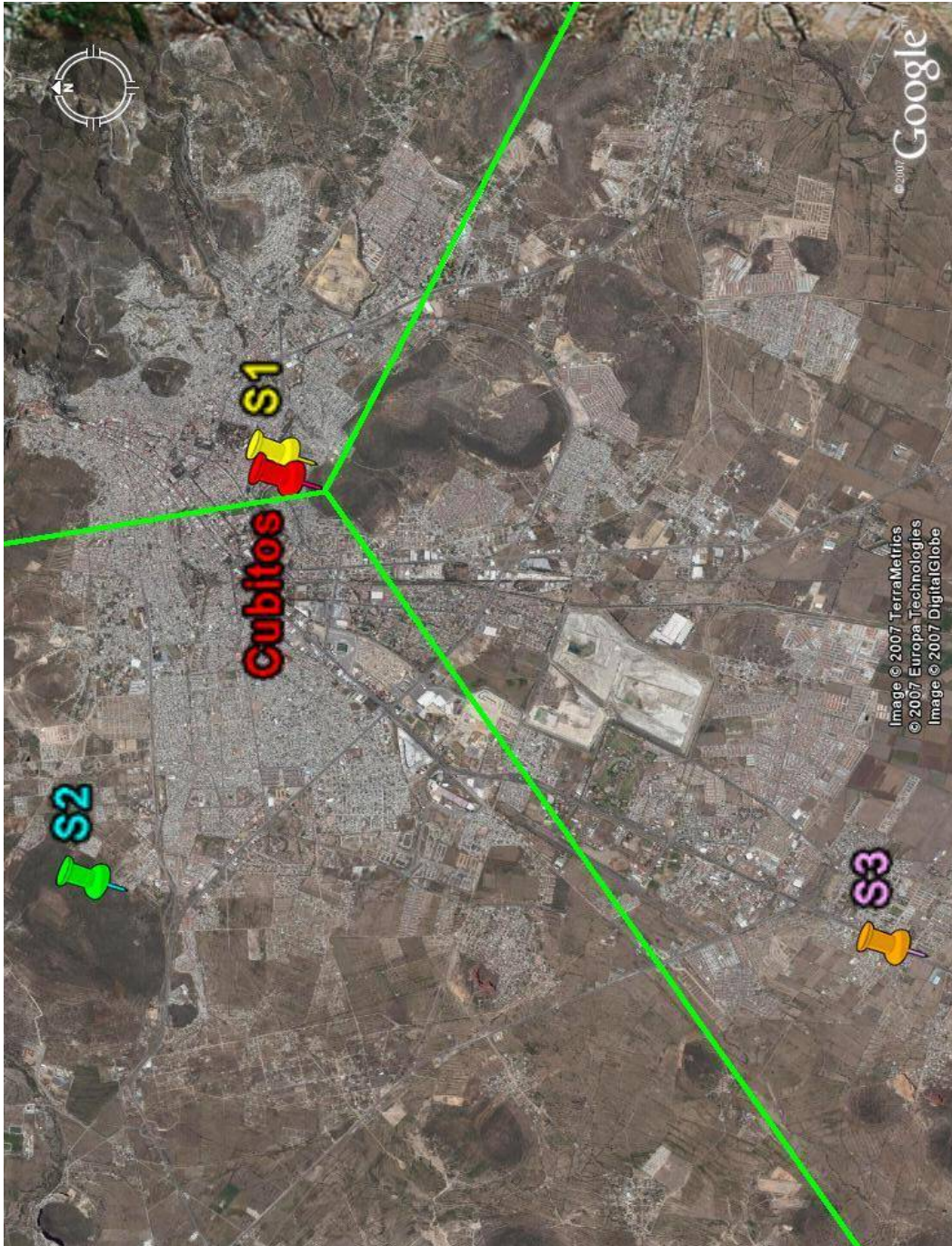


Figura 3.15 Ubicación de Suscriptores en el mapa [70]

3.4.1 Predicción de confiabilidad del suscriptor S1



Figura 3.16 Poligonal del Suscriptor S1

Estación:	Suscriptor 1
Altitud:	2538 m.
Azimut:	260.5 °
L.N.:	20° 6' 28.04''
L.W.:	98° 44' 5.46''
Altura de la antena:	2 m.

Estación:	Cubitos
Altitud:	2580 m.
Azimut:	80.5 °
L.N.:	20° 6' 25.78''
L.W.:	98° 44' 15.79''
Altura de la antena:	30 m.



Figura 3.17 Vista aérea del suscriptor S1 [70]

Valores:

Ganancia de la antena de Tx. (G_{ANTTX}):	15 dBi
Potencia de Transmisión CPE (G_{CPE_x}):	23 dBm
Potencia de Tx (P_{tx}):	.032 W = 32 mW
Potencia de Tx en dB (P_{tx}): $10 \log(0.03 \text{ W}) \approx$	-15 dBW
$10 \log(32 \text{ mW}) \approx$	15 dBm
Frecuencia de Transmisión (f):	5.8 GHz
Distancia (d):	310 m
Velocidad de la luz (c) en el vacío:	$3 * 10^8 \text{ m/seg.}$
Ancho de Banda del canal (AB):	5 MHz
Ancho de Banda del canal (AB) en dB:	$10 \log(5 \text{ MHz}) \approx 7 \text{ dB-MHz}$
Sensibilidad del equipo a la recepción:	-103 dBm

Pérdidas en el espacio libre (L_o)

$$L_o = 20 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)$$

$$L_o = 20 \log \left(\frac{4\pi(5800000000 \text{ Hz})(310 \text{ m})}{300000000 \text{ m/s}} \right)$$

$$L_o = 97.54 \text{ dBm}$$

$$\text{Predicción de confiabilidad} = \text{PIRE} - L_o + G_{ANTRX}$$

$$\text{Predicción de confiabilidad} = G_{ANTTX} + P_{TX} - L_o + G_{ANTRX}$$

$$\text{Predicción de confiabilidad} = 15 \text{ dBi} + 15 \text{ dBm} - 97.54 \text{ dBm} + 23 \text{ dBm} = \mathbf{-44.54 \text{ dBm}}$$

$$\text{Densidad de Potencia } \Phi = \frac{\text{PIRE}}{AB_b}$$

$$AB_b = \frac{5 \text{ MHz}}{1 \text{ MHz}} = 5 \text{ canales de 1 MHz}$$

$$AB_b = 10 \log(5) \approx 7 \text{ dB/MHz}$$

$$\text{PIRE} = G_{ANTTX} + P_{TX} = 15 \text{ dBi} + 15 \text{ dBm} = 30 \text{ dBm}$$

$$\Phi = 30 \text{ dBm} - 7 \text{ dB/MHz} = 23 \text{ dBm/MHz}$$

$$\Phi = 199.53 \text{ mW/MHz}$$

3.4.2 Predicción de confiabilidad del suscriptor S2



Figura 3.18 Poligonal del Suscriptor S2

Estación:	Suscriptor 2
Altitud:	2475 m.
Azimut:	114 °
L.N.:	20° 7' 37.79''
L.W.:	98° 47' 2.43''
Altura de la antena:	2 m.

Estación:	Cubitos
Altitud:	2580 m.
Azimut:	294 °
L.N.:	20° 6' 25.78''
L.W.:	98° 44' 15.79''
Altura de la antena:	30 m.

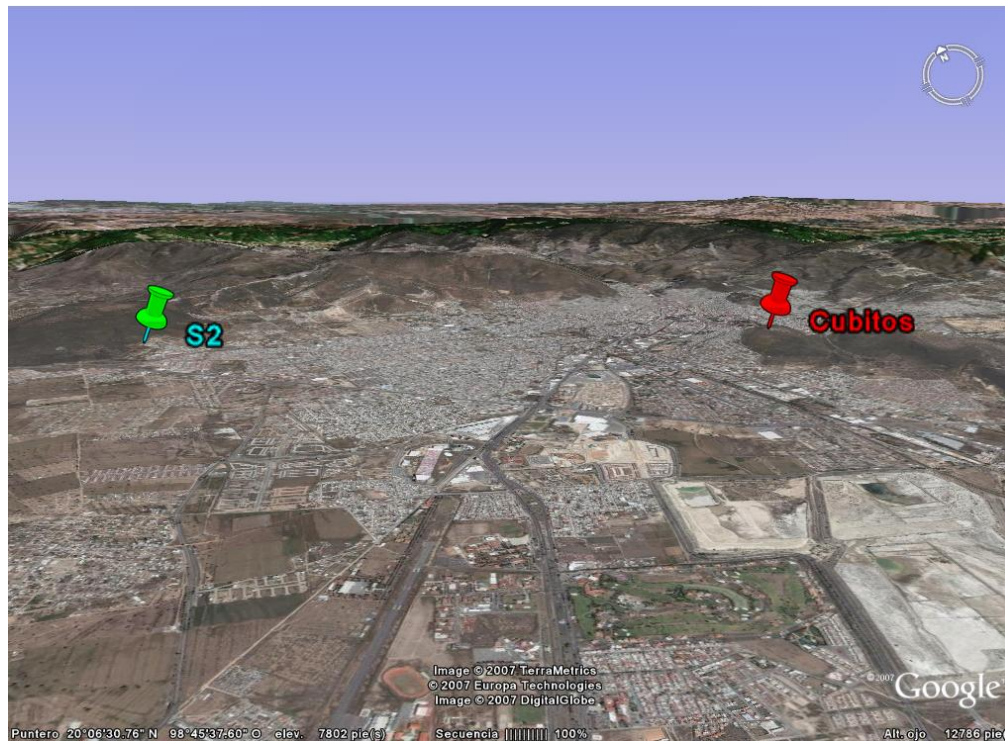


Figura 3.19 Vista aérea del suscriptor S2 [70]

Valores:

Ganancia de la antena de Tx. (G_{ANTTX}):	15 dBi
Potencia de Transmisión CPE ($GCPE_x$):	23 dBm
Potencia de Tx (P_{tx}):	.032 W = 32 mW
Potencia de Tx en dB (P_{tx}): $10 \log(0.03 \text{ W}) \approx$	-15 dBW
$10 \log(32 \text{ mW}) \approx$	15 dBm
Frecuencia de Transmisión (f):	5.8 GHz
Distancia (d):	5,530 m
Velocidad de la luz (c) en el vacío:	$3 * 10^8 \text{ m/seg.}$
Ancho de Banda del canal (AB):	5 MHz
Ancho de Banda del canal (AB) en dB:	$10 \log(5 \text{ MHz}) \approx 7 \text{ dB-MHz}$
Sensibilidad del equipo a la recepción:	-103 dBm

Pérdidas en el espacio libre (L_o)

$$L_o = 20 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)$$

$$L_o = 20 \log \left(\frac{4\pi(5800000000\text{Hz})(5530\text{m})}{300000000\text{m/s}} \right)$$

$L_o = 122.56 \text{ dBm}$

Predicción de confiabilidad = $G_{ANTTX} + P_{TX} - L_o + G_{ANTRX}$

Predicción de confiabilidad = $15\text{dBi} + 15\text{dBm} - 122.56\text{dBm} + 23\text{dBi} = \mathbf{-69.56\text{dBm}}$

Densidad de Potencia

$$\Phi = \frac{PIRE}{AB_b}$$

$$AB_b = \frac{5\text{MHz}}{1\text{MHz}} = 5 \text{ canales de } 1 \text{ MHz}$$

$AB_b = 10 \log(5) \approx 7 \text{ dB/MHz}$

$PIRE = G_{ANTTX} * P_{TX} = 15 \text{ dBi} + 15 \text{ dBm} = 30 \text{ dBm}$

$\Phi = 30\text{dBm} - 7\text{dB/MHz} = 23 \text{ dBm/MHz}$

$\Phi = 199.53 \text{ mW/MHz}$

3.4.3 Predicción de confiabilidad del suscriptor S3

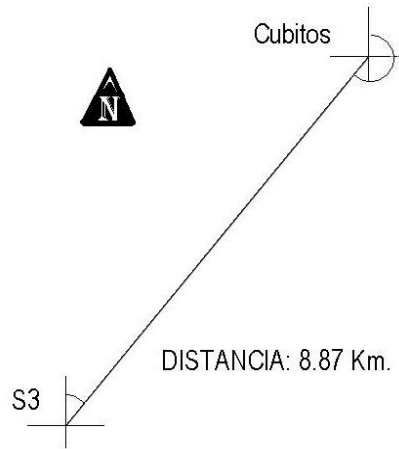


Figura 3.20 Poligonal del Suscriptor S3

Estación:	Suscriptor 3
Altitud:	2355 m.
Azimut:	219 °
L.N.:	20° 2' 43.71''
L.W.:	98° 47' 29.64''
Altura de la antena:	2 m.

Estación:	Cubitos
Altitud:	2580 m.
Azimut:	39 °
L.N.:	20° 6' 25.78''
L.W.:	98° 44' 15.79''
Altura de la antena:	30 m.

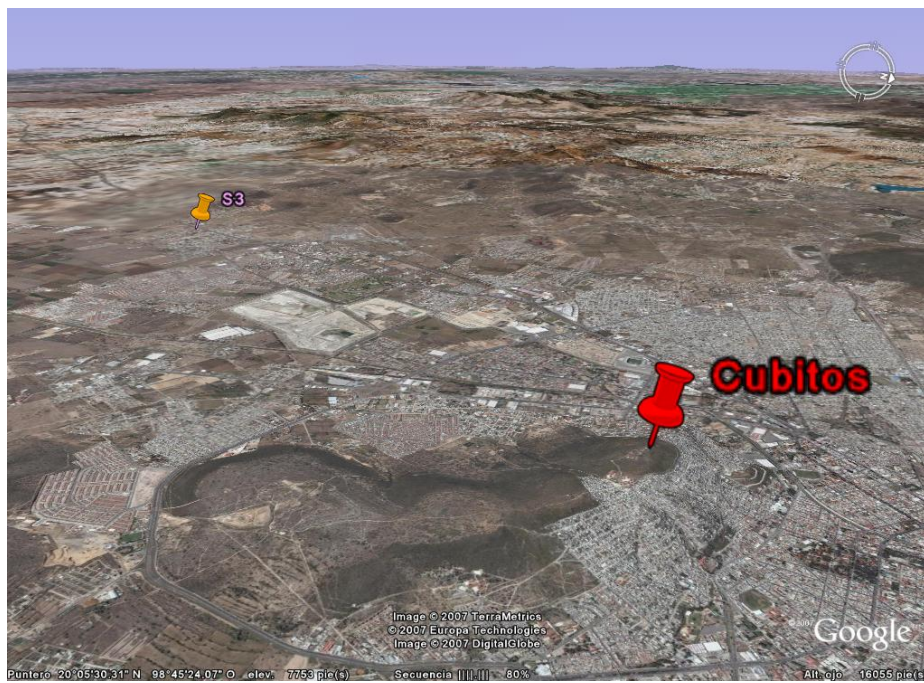


Figura 3.21 Vista aérea del suscriptor S3 [70]

Valores:

Ganancia de la antena de Tx. (G_{ANTTX}):	15 dBi
Potencia de Transmisión CPE ($GCPE_x$):	23 dBm
Potencia de Tx (P_{tx}):	.032 W = 32 mW
Potencia de Tx en dB (P_{tx}): $10 \log(0.03 \text{ W}) \approx$	-15 dBW
$10 \log(32 \text{ mW}) \approx$	15 dBm
Frecuencia de Transmisión (f):	5.8 GHz
Distancia (d):	8,870 m
Velocidad de la luz (c) en el vacío:	$3 * 10^8 \text{ m/seg.}$
Ancho de Banda del canal (AB):	5 MHz
Ancho de Banda del canal (AB) en dB:	$10 \log(5 \text{ MHz}) \approx 7 \text{ dB-MHz}$
Sensibilidad del equipo a la recepción:	-103 dBm

Pérdidas en el espacio libre (L_o)

$$L_o = 20 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)$$

$$L_o = 20 \log \left(\frac{4\pi(5800000000 \text{ Hz})(8870 \text{ m})}{300000000 \text{ m/s}} \right)$$

$$L_o = 126.66 \text{ dBm}$$

$$\text{Predicción de confiabilidad} = G_{ANTTX} + P_{TX} - L_o + G_{ANTRX}$$

$$\text{Predicción de confiabilidad} = 15 \text{ dBi} + 15 \text{ dBm} - 126.66 \text{ dBm} + 23 \text{ dBi} = \mathbf{-73.66 \text{ dBm}}$$

Densidad de Potencia

$$\Phi = \frac{PIRE}{AB_b}$$

$$AB_b = \frac{5 \text{ MHz}}{1 \text{ MHz}} = 5 \text{ canales de 1 MHz}$$

$$AB_b = 10 \log(5) \approx 7 \text{ dB/MHz}$$

$$PIRE = G_{ANTTX} * P_{TX} = 15 \text{ dBi} + 15 \text{ dBm} = 30 \text{ dBm}$$

$$\Phi = 30 \text{ dBm} - 7 \text{ dB/MHz} = 23 \text{ dBm/MHz}$$

$$\Phi = 199.53 \text{ mW/MHz}$$

3.5 Estimación de tiempo

Acciones	Semanas																																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40					
Reclutamiento de personal	■	■	■	■	■	■																																							
Estudio del terreno (condiciones ambientales, geográficas, tec.)			■	■	■	■																																							
Estudio de mercado			■	■	■	■																																							
Diseño detallado del proyecto según variables							■	■	■	■	■	■	■	■																															
Capacitación del personal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Trámite de permisos de construcción y otros requerimientos legales										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Compra del equipo requerido													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Construcción de las caseta de resguardo																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Instalación de la Torre Arriostrada																																													
Instalación de Sistema de energía																																													
Instalación de Sistema de aire acondicionado																																													
Instalación de equipo de estación base (antenas, HiperMAX y cableado)																																													
Pruebas de confiabilidad del sistema																																													
Optimización del sistema																																													
Instalación de equipos suscriptores																																													
Publicidad y ventas del proyecto																																													

Tiempo estimado para el funcionamiento del proyecto: 40 semanas; aprox. 10 meses

El cronograma mostrado es con fines ilustrativos para poder dar una estimación a partir de las tareas que se consideran de vital importancia.

3.7 Esquema de servicio

Con el despliegue de la red WiMAX, se busca llegar a diferentes sectores de la población y por consiguiente desarrollar paquetes que se adapten a estas necesidades. Por ejemplo:

ACCESO A INTERNET PARA EL HOGAR 1 MB

\$ 60.00 USD mensuales *

Ancho de Banda de hasta 1 MB

Conexión Simétrica: download / upload

IP Dinámica - Interfase Ethernet

ACCESO A INTERNET PROFESIONAL 1 MB

\$ 120.00 USD *

Ancho de Banda de hasta 1 MB

Conexión Simétrica: download / upload

IP Fija - Interfase Ethernet

ACCESO A INTERNET PARA EMPRESAS

\$ 180.00 USD **

Ancho de Banda: de 128 KB hasta 1 MB

Conexión Simétrica: download / upload

IP Fija - Interfase Ethernet

* No es necesaria la instalación por parte de un especialista, tomando en cuenta que el precio del equipo suscriptor EasyST es de un costo aproximado de \$ 500.00 USD tendrá que hacerse un contrato de dos años para cubrir el costo.

** Por ser un servicio que demanda alta confiabilidad, el ProST debe ser instalado por un profesional, por un costo aproximado de \$ 100.00 USD; tomando en cuenta que el precio del equipo suscriptor ProST es de un costo aproximado de \$ 800.00 USD tendrá que hacerse un contrato de dos años para cubrir el costo.

Cabe hacer mención que WiMAX puede soportar VLAN, VoIP, lo cual podría interesar a varias empresas de la región y por ser necesidades más específicas, necesitarían el equipo PrimeMAX para dar servicio E1/T1. El costo del equipo sería cubierto por la empresa interesada.

Conclusiones

Cuando hace tan sólo unos años aparecieron en el mercado las primeras redes inalámbricas, se pensaba que los días de las redes cableadas estaban contados, quizás tomando como referencia lo que estaba pasando en el mundo de la telefonía con la llegada de los teléfonos móviles.

Si además se tuvieron en cuenta las ventajas que este nuevo tipo de redes aportaría, como la de permitir una total movilidad a los usuarios sin necesidad de perder la conexión a la red, o la de facilitar enormemente cualquier tipo de cambio o movimiento de personal, todo parecía indicar que con el tiempo podrían llegar a convertirse en una alternativa válida para las redes de cable. Pero con el paso de los años esto no ha llegado a ocurrir, las redes cableadas se siguen utilizando de forma mayoritaria y la introducción de este tipo de redes ha sido limitada y más lenta de lo que se esperaba.

La apertura en las redes de televisión por cable ha facilitado la transmisión de datos, así como los servicios de Internet que fungen como redes para transportar la voz. El transporte de voz es un servicio que ofrecen los cableeros, por lo que se buscan sinergias entre éstos. Con la nueva Ley de Radio y Televisión y la Ley de Telecomunicaciones que conducen a la convergencia tecnológica, impulsará la inversión privada y pública en materia de telecomunicaciones que es de gran importancia para el desarrollo de nuestro país. El crecimiento económico no puede concebirse sin un adecuado desarrollo del sector de las telecomunicaciones, mismo que es de vital importancia para el desarrollo económico y social, de nuestro país. Esto se debe a que la provisión de los servicios de telecomunicaciones principalmente reduce los costos de transacción, es decir, a medida que las asimetrías de información se reducen en un mercado, tanto compradores como vendedores podrán estar mejor informados lo que les permite a los consumidores acceder a bienes y servicios a precios competitivos, así como a los productores obtener un mejor precio por el bien o servicio que ofrecen.

La adopción de la tecnología WiMAX es una propuesta interesante para la convergencia de los servicios de voz, datos y video que en los últimos años ha sido tema de controversia en nuestro país. Al implementar esta red inalámbrica en la zona de Pachuca, estaremos acortando la brecha digital, logrando integrar a varios cientos de usuarios a la

infraestructura de Telecomunicaciones. Será posible satisfacer las necesidades de información de las pequeñas y medianas empresas de esta zona a precios relativamente bajos en comparación con los enlaces dedicados, que por lo general están diseñados para las grandes empresas.

Es relevante tomar en cuenta que la elección de bandas de uso libre del espectro radioeléctrico para la transmisión de datos, permitirá que estas sean utilizadas de una manera creativa y eficiente por los agentes económicos, y que los usuarios que tengan necesidades de telecomunicaciones puedan adquirir equipos y dispositivos que les permita satisfacer sus requerimientos a precios accesibles. De otra manera, en bandas licenciadas, este desarrollo no sería del todo posible pues sería sólo un grupo reducido de operadores, traduciéndose en inhibición tecnológica.

Asimismo, una parte importante de esto han sido los proveedores de equipos, quienes al observar los requerimientos de acceso a los servicios de telecomunicaciones han sido capaces de desarrollar equipos que permiten un uso eficiente del espectro radioeléctrico, en este caso con el uso de OFDM, MIMO, entre otros.

Si se analiza a los países miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), organización de la cual México es miembro, el promedio de suscriptores de banda ancha por cada 100 habitantes es de 10.0, destacando países como Corea del Sur u Holanda. En el caso de México, la densidad de usuarios por cada 100 habitantes es de 0.8%, en donde la densidad de usuarios por cada 100 habitantes para usuarios de *DSL* es de 0.6%.

Si bien del año 2002 al 2004 el número de cuentas de acceso por banda ancha se ha incrementado en 5 veces pasando de 231 mil usuarios a más de un millón, representando la tercera parte de los accesos a Internet, como se observa en la figura C.1, la brecha con otros países es bastante significativa.

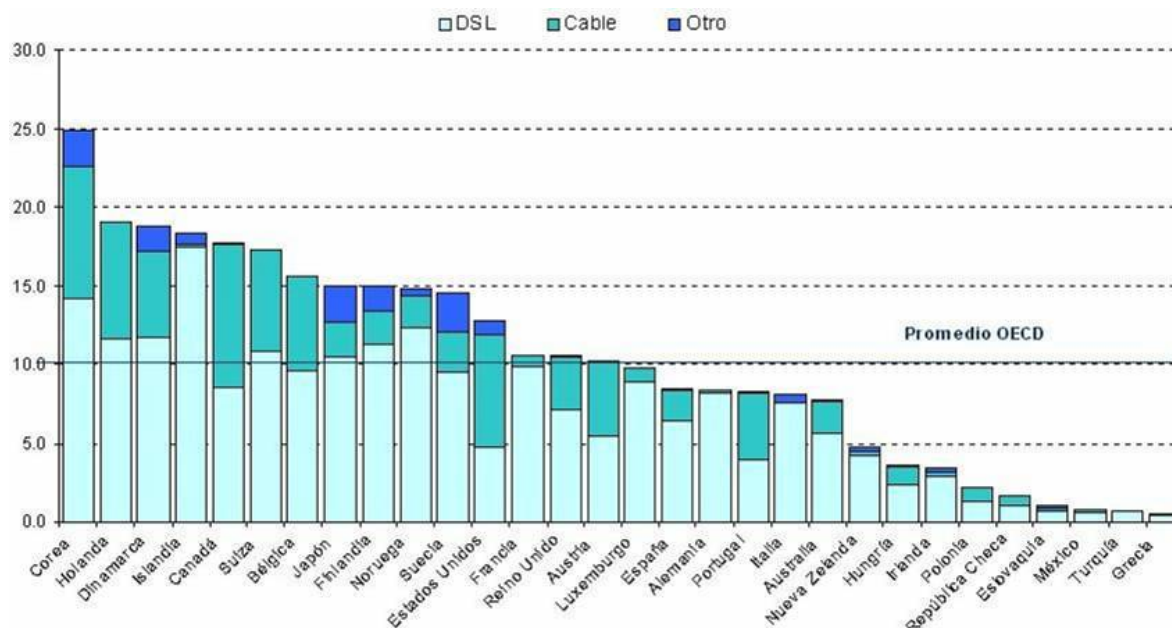


Figura C.1 Suscriptores de Banda Ancha por cada 100 habitantes, por tecnología³

Las tecnologías de banda ancha inalámbrica de alta velocidad basadas en el estándar IEEE 802.16 prometen abrir oportunidades de mercado económicamente viables para operadores, proveedores de servicio de Internet inalámbrico y fabricantes de equipamiento, entre otras cosas gracias a la facilidad y rapidez de despliegue en comparación a una red cableada. La flexibilidad de la tecnología inalámbrica, combinada con la alta velocidad, escalabilidad, alto alcance y niveles de calidad de servicio del estándar ayudarán a llenar los vacíos de cobertura de banda ancha y alcanzar millones de nuevos clientes residenciales y de negocios.

Después de analizar los perfiles topográficos, se encontró que la zona de cobertura del sistema que proponemos presenta una sombra debido a la altura del Cerro de Saucillo, sin embargo está pequeña región se ve poco poblada por lo que no afectaría significativamente el alcance en el mercado y en caso de ser necesario podrá instalarse una repetidora para dotar el servicio a esta área.

³ Fuente: OCDE Diciembre 2004

El estudio de confiabilidad arroja resultados positivos, y el equipo que se ha seleccionado para este proyecto resultó ser adecuado para la zona ya que ofrece una solución completa tanto para los servicios residenciales como empresariales.

Como ya se menciona en el capítulo tres, en la ciudad de Pachuca se encuentran diversas opciones para la conexión a Internet, no obstante a pesar de ser atractivo por ser una conexión inalámbrica de banda ancha, este tipo de redes se está orientando para el tráfico de VPN's y VoIP.

Este proyecto se puede empezar a implementar de inmediato, ya que la COFETEL ha emitido las especificaciones técnicas. Por otro lado el estándar ya ha sido certificado y en el mercado ya se puede encontrar el equipo con el estándar IEEE 802.16a. En algunas ciudades de Japón, India, España y algunos países de Latinoamérica ya está funcionando esta tecnología.

Anexo A

Perfiles Topográficos

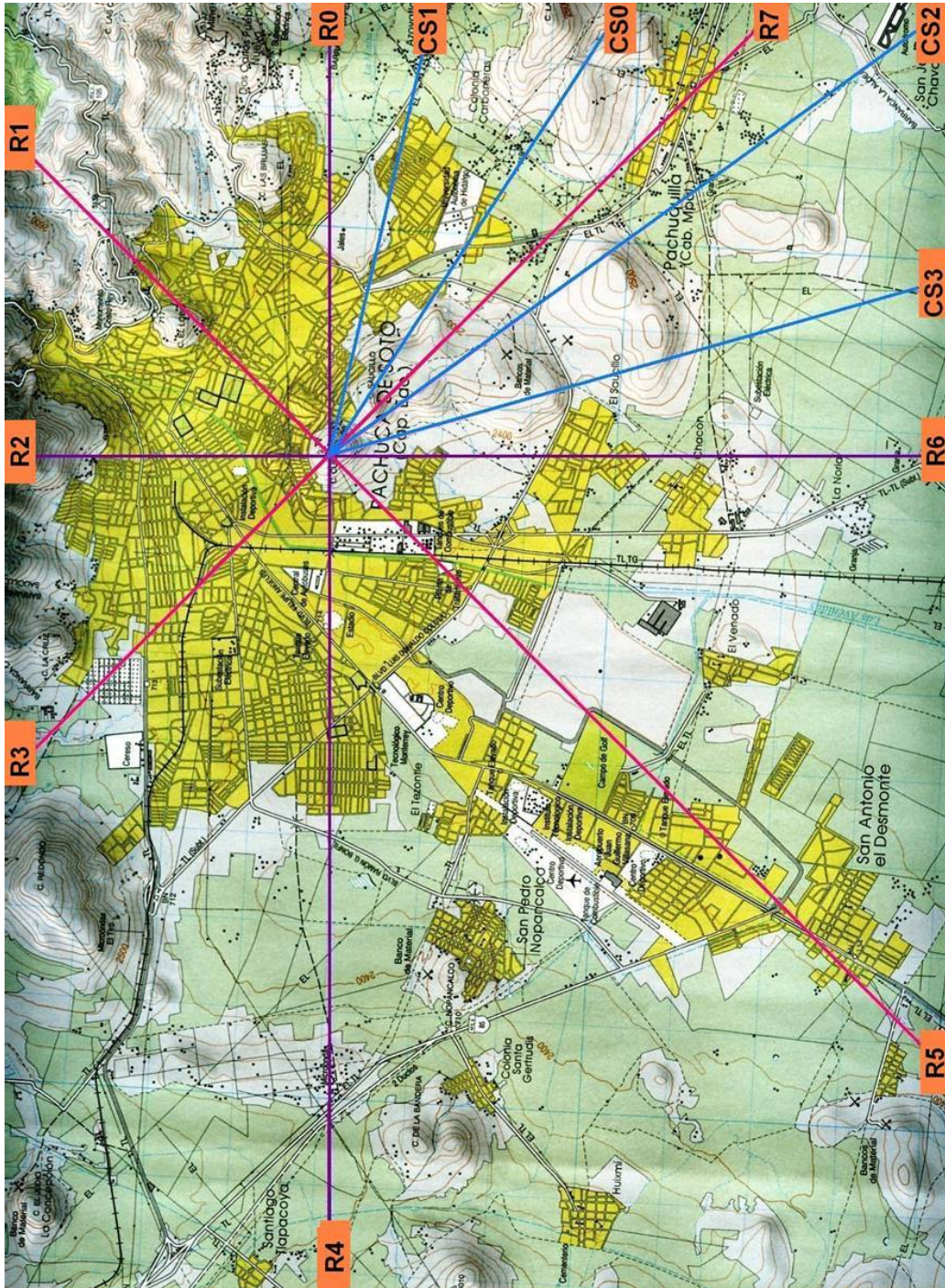


Figura A.1 Ubicación de los radiales para crear perfiles topográficos

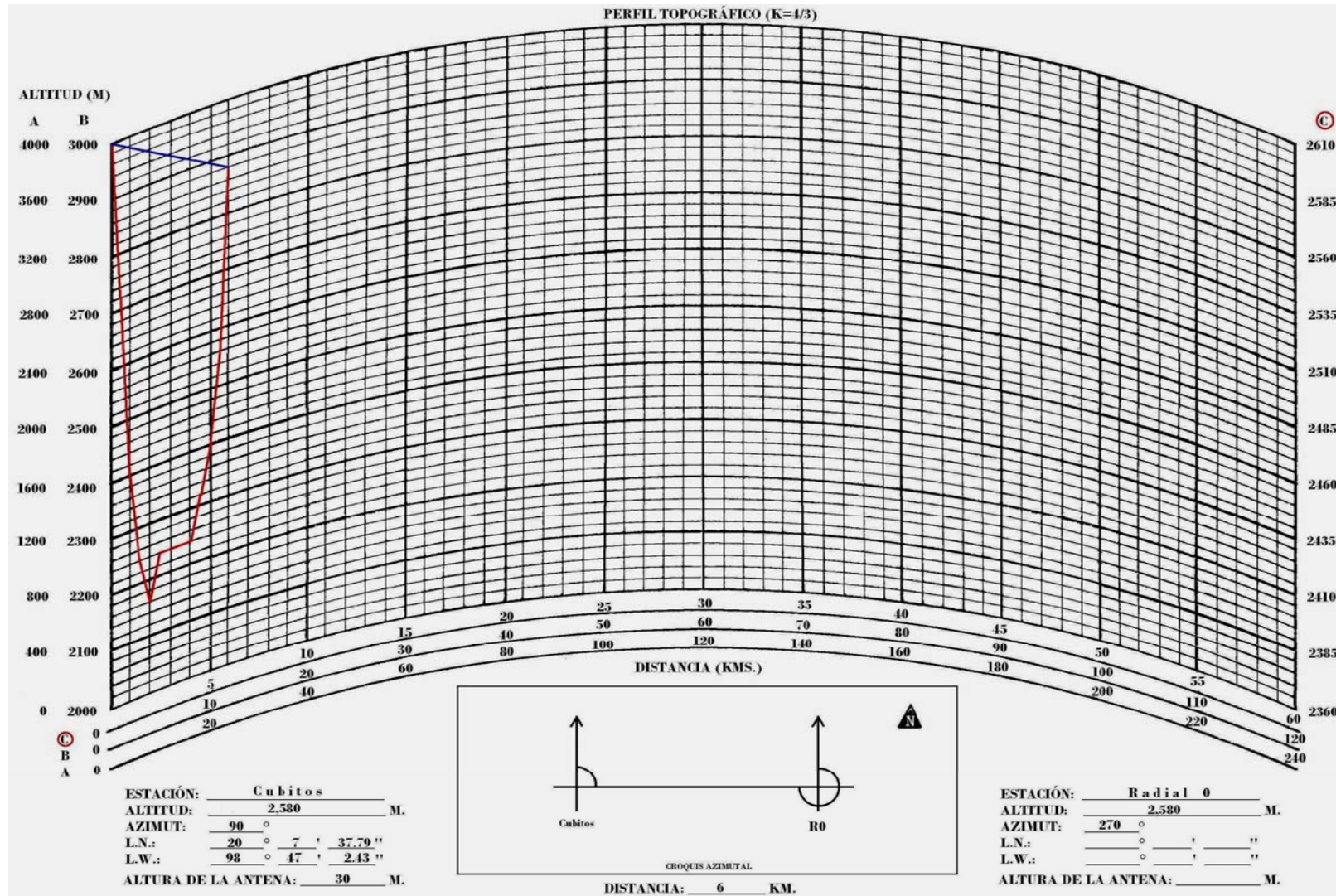


Figura A.2 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R0”

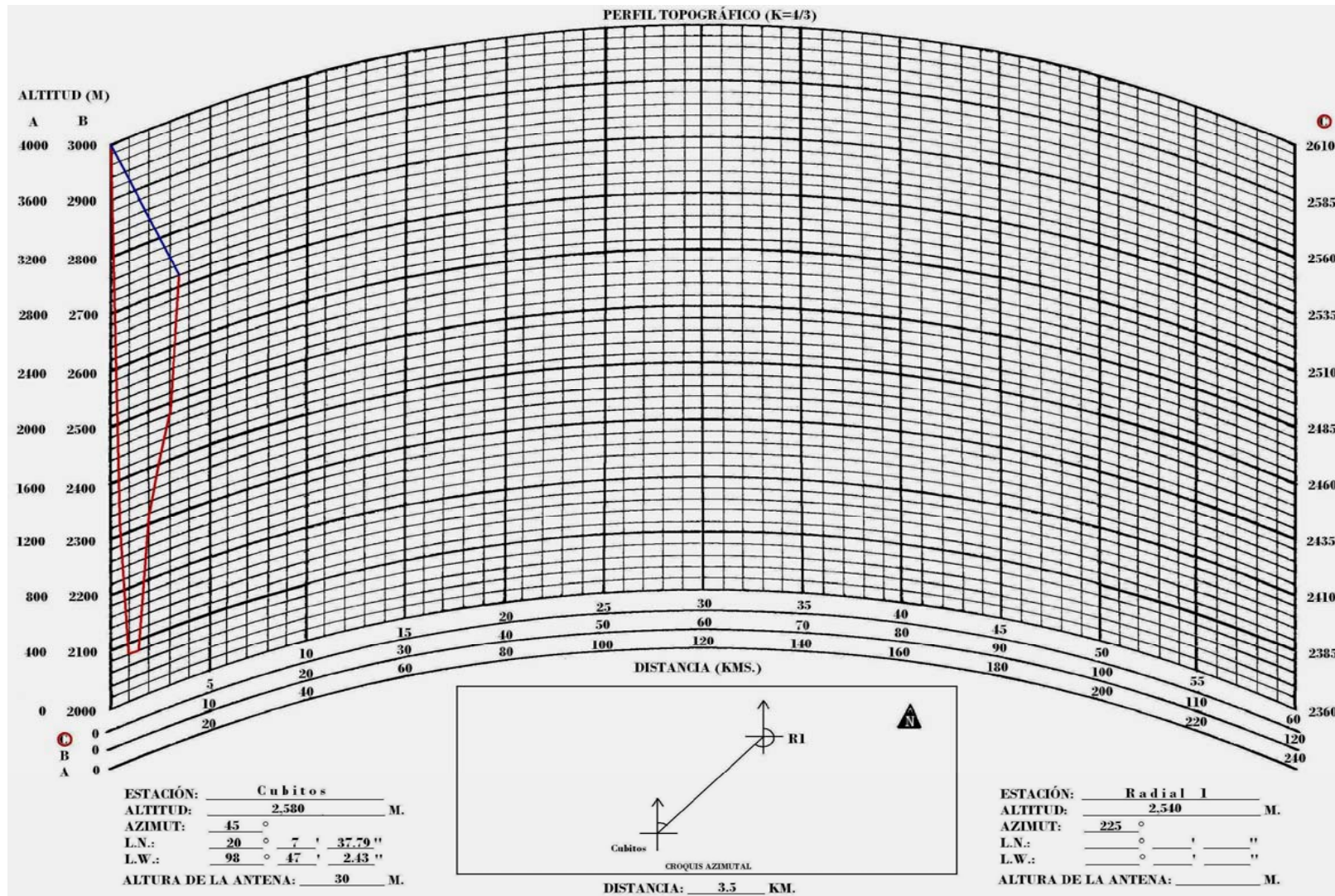


Figura A.3 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R1”

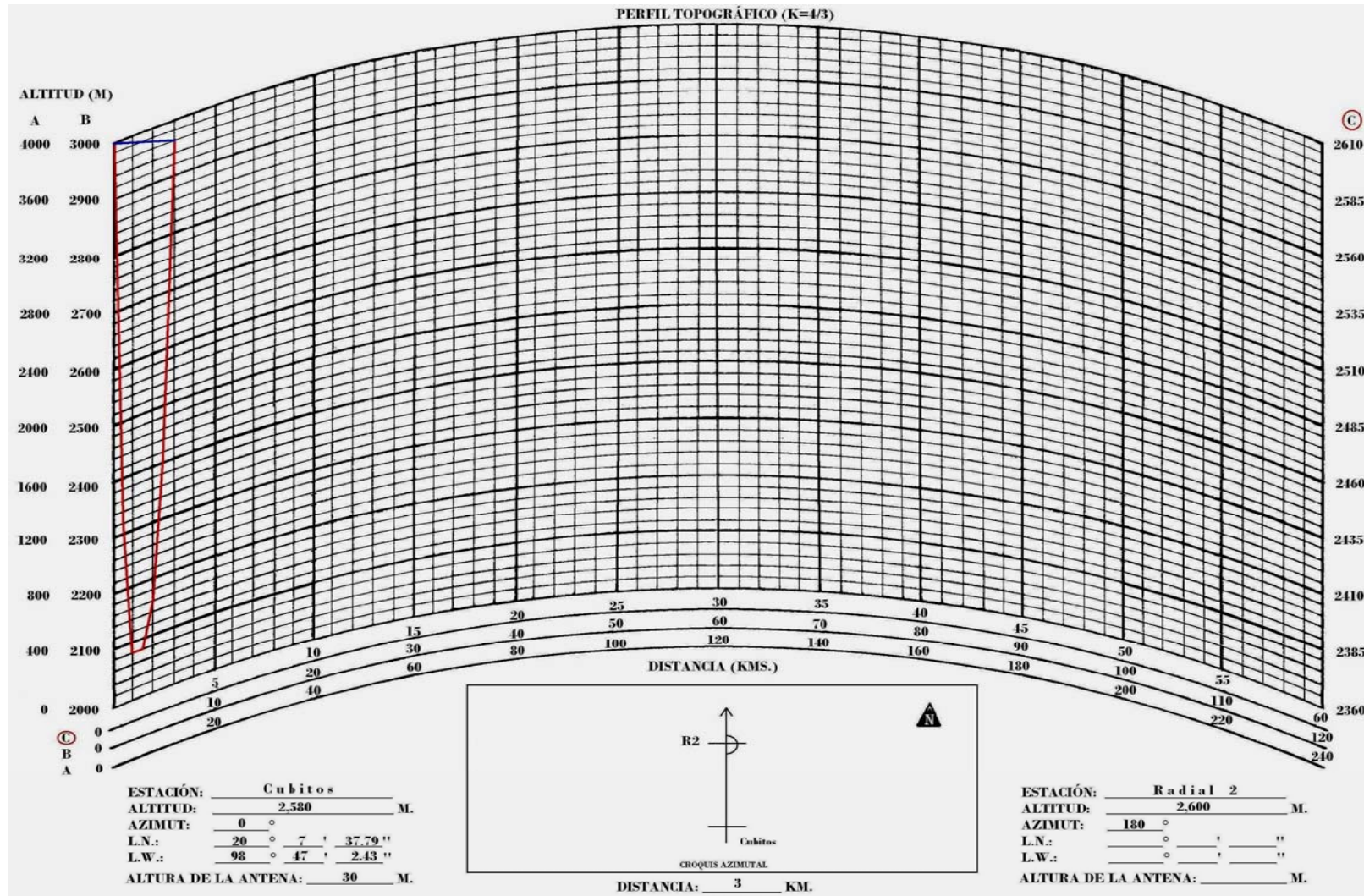


Figura A.4 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R2”

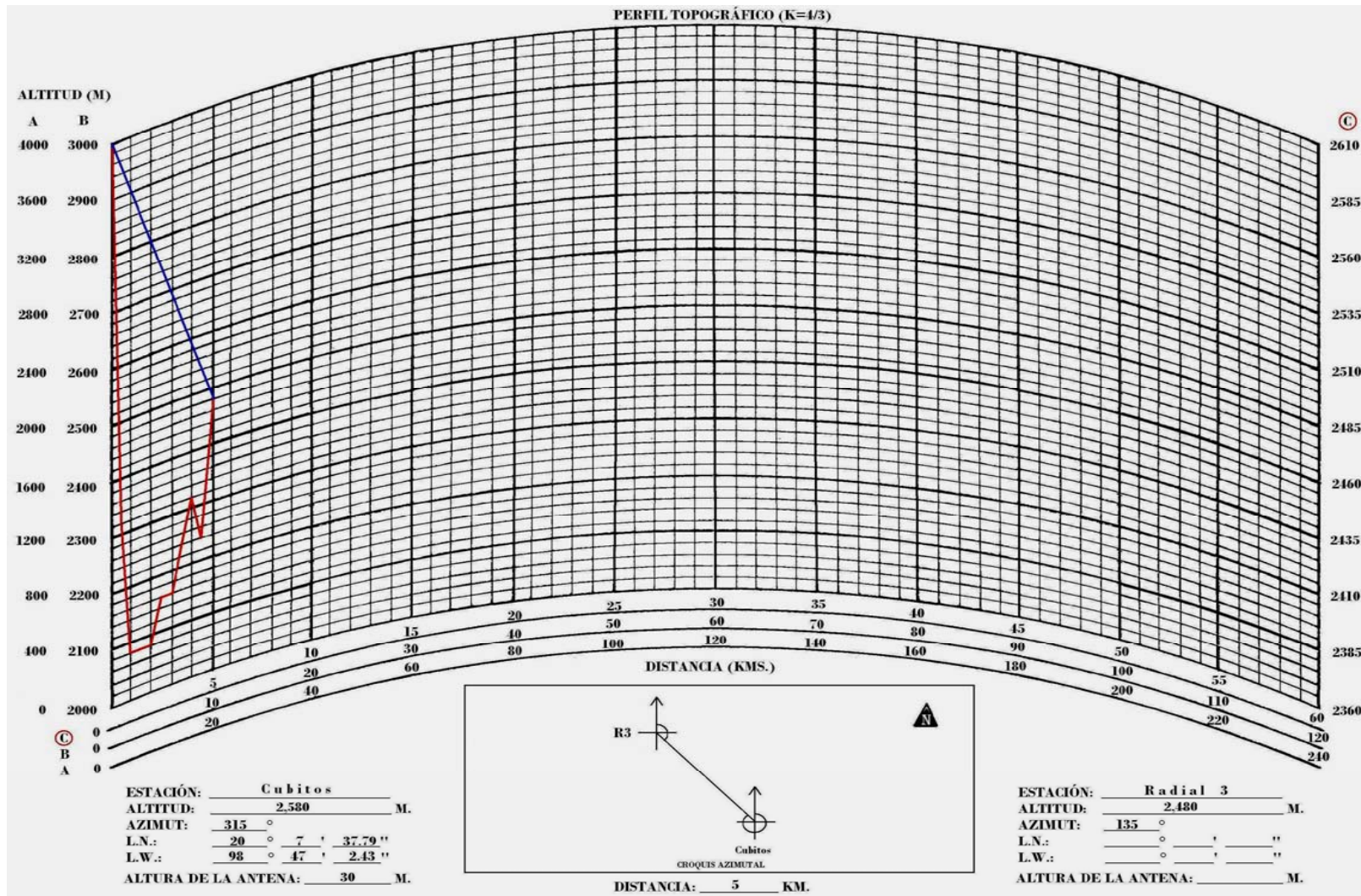


Figura A.5 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R3”

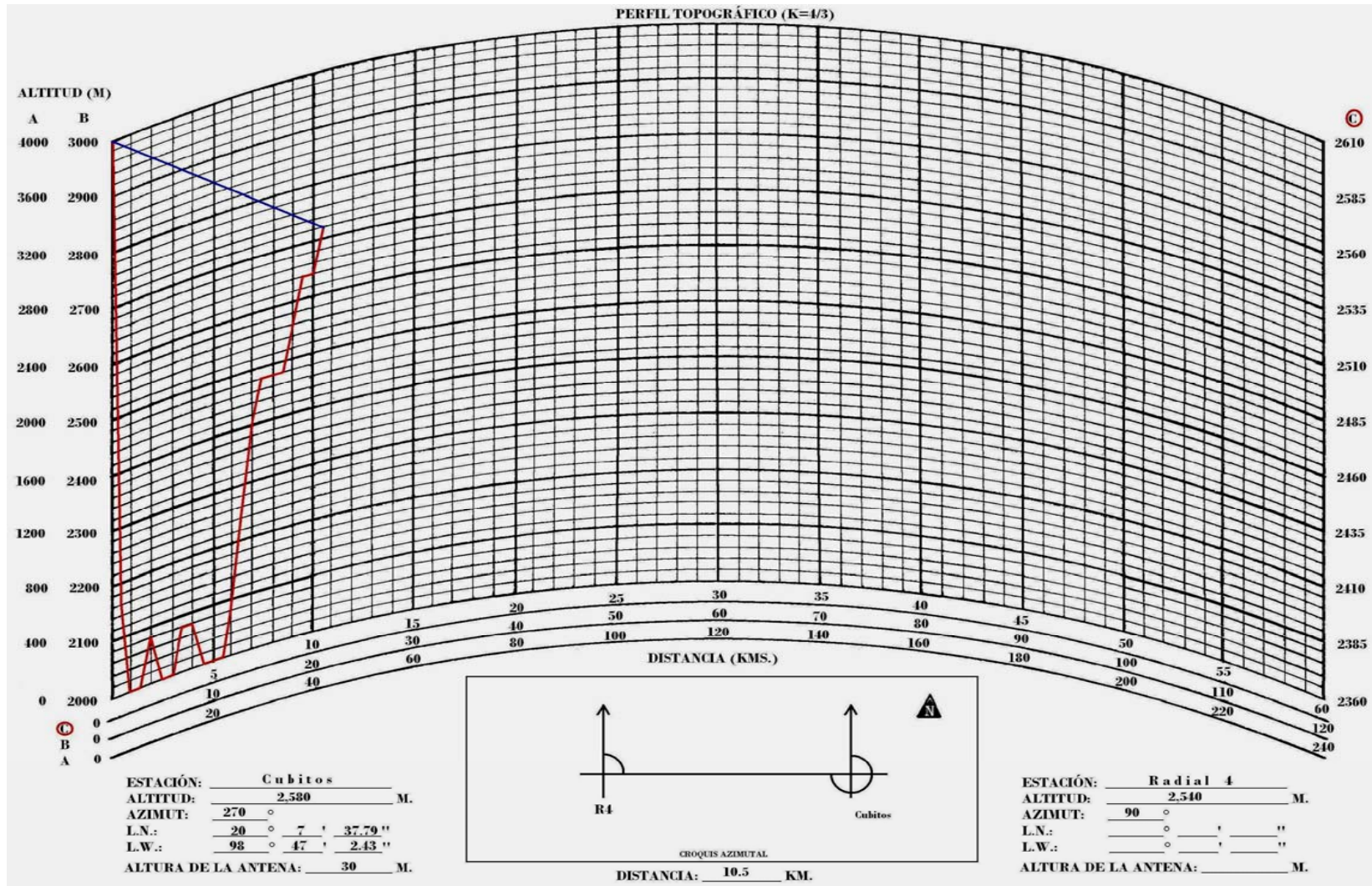


Figura A.6 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R4”

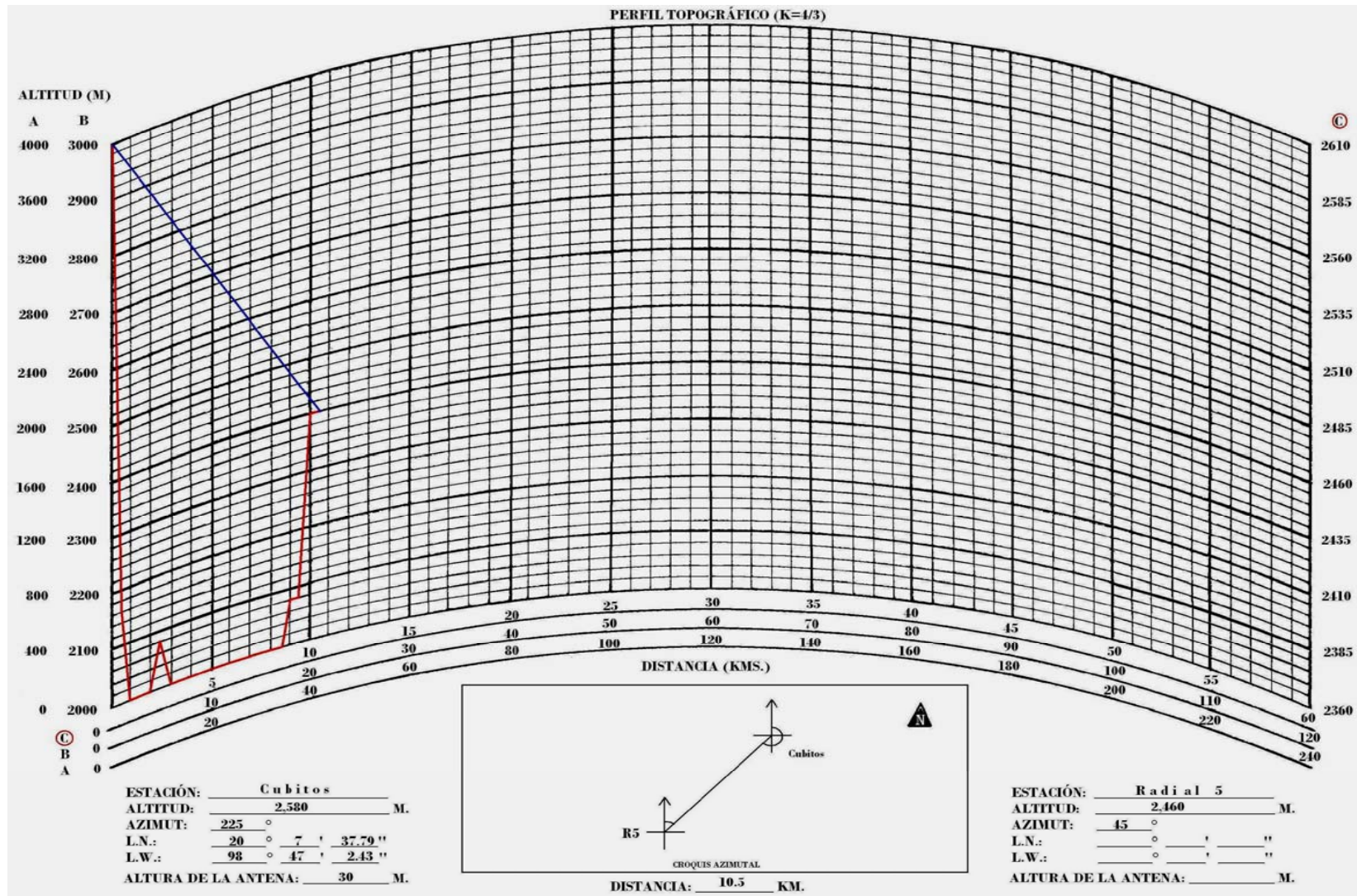


Figura A.7 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R5”

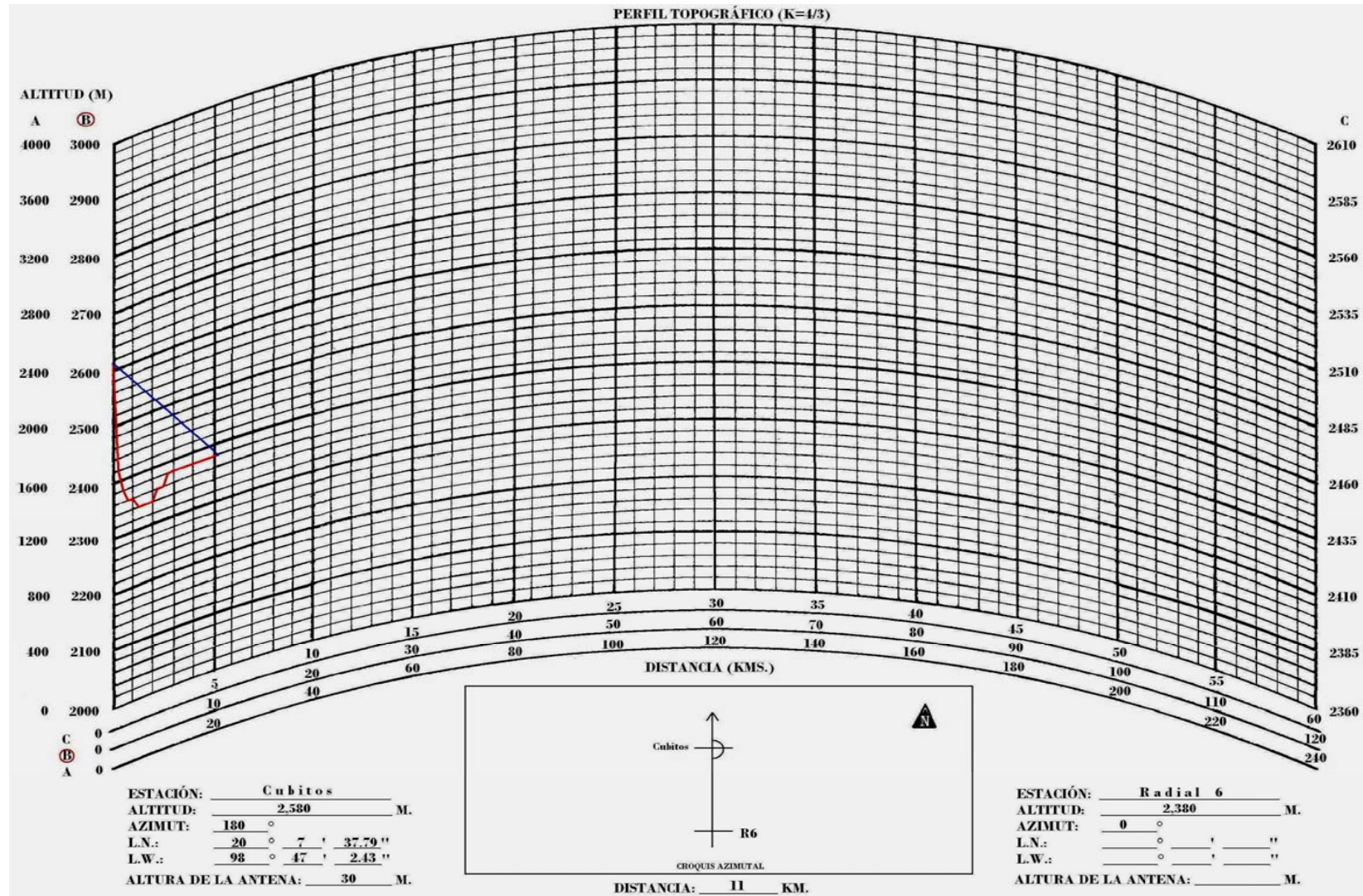


Figura A.8 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – R6”

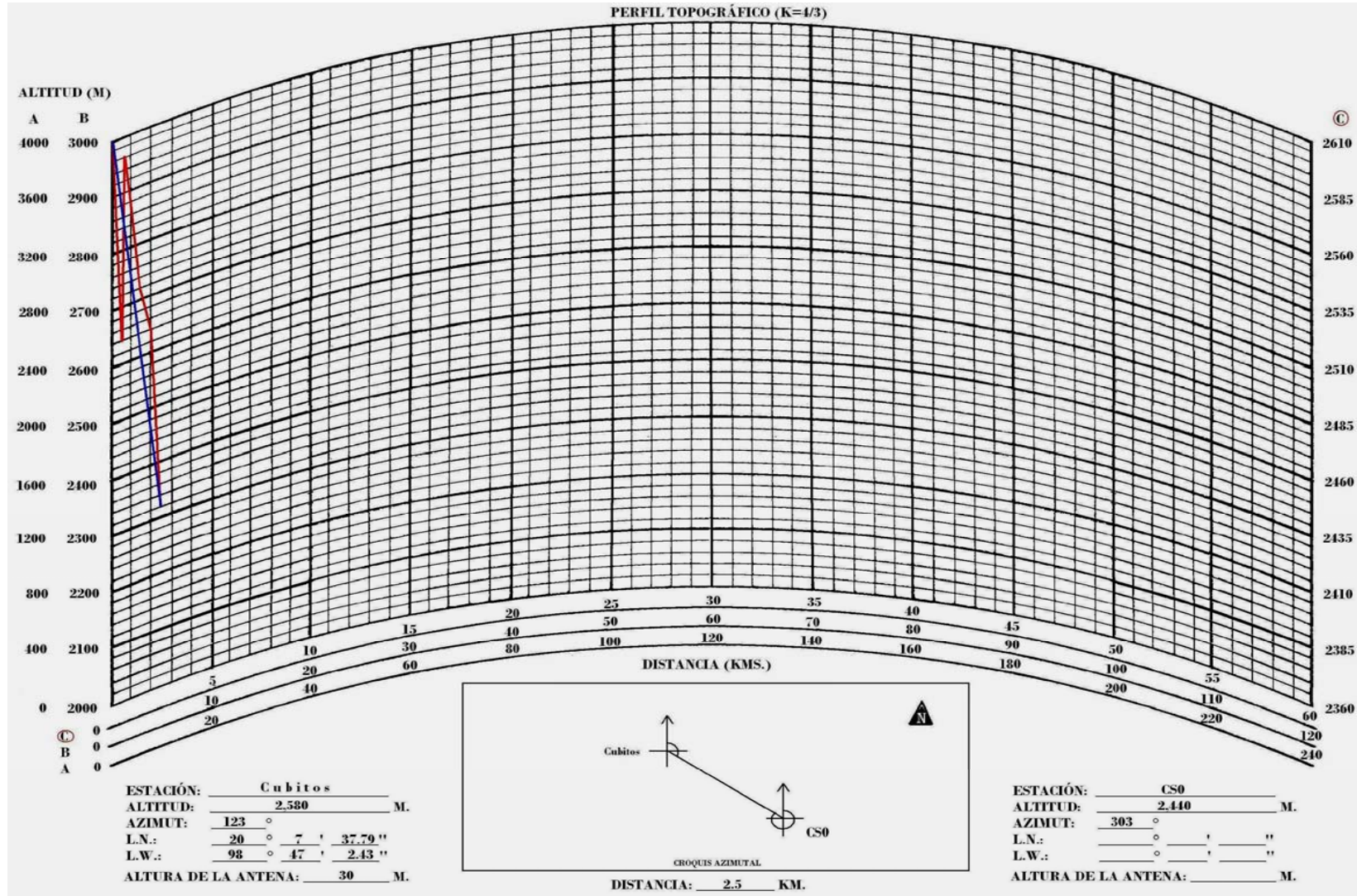


Figura A.10 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – CS0”

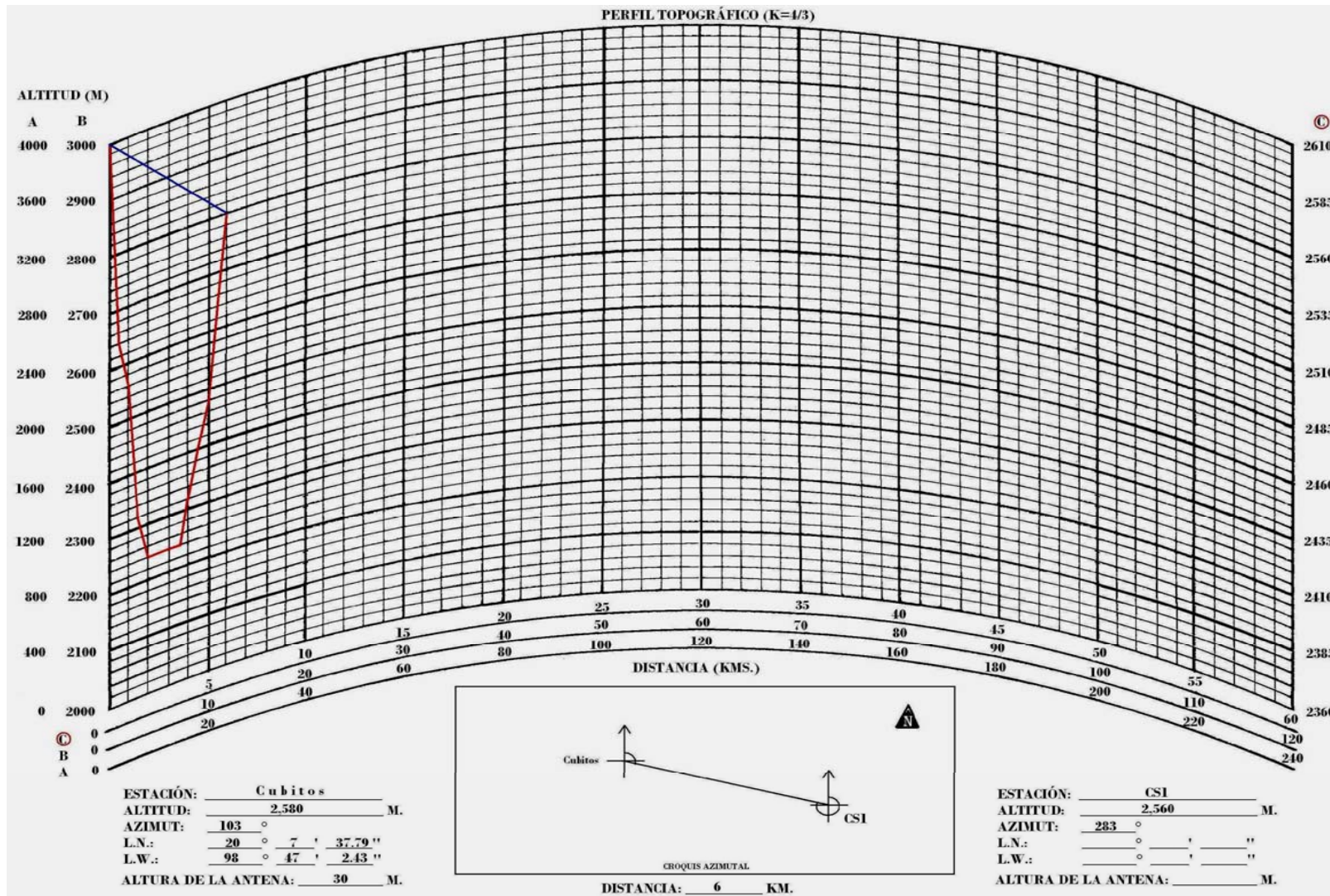


Figura A.11 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – CS1”

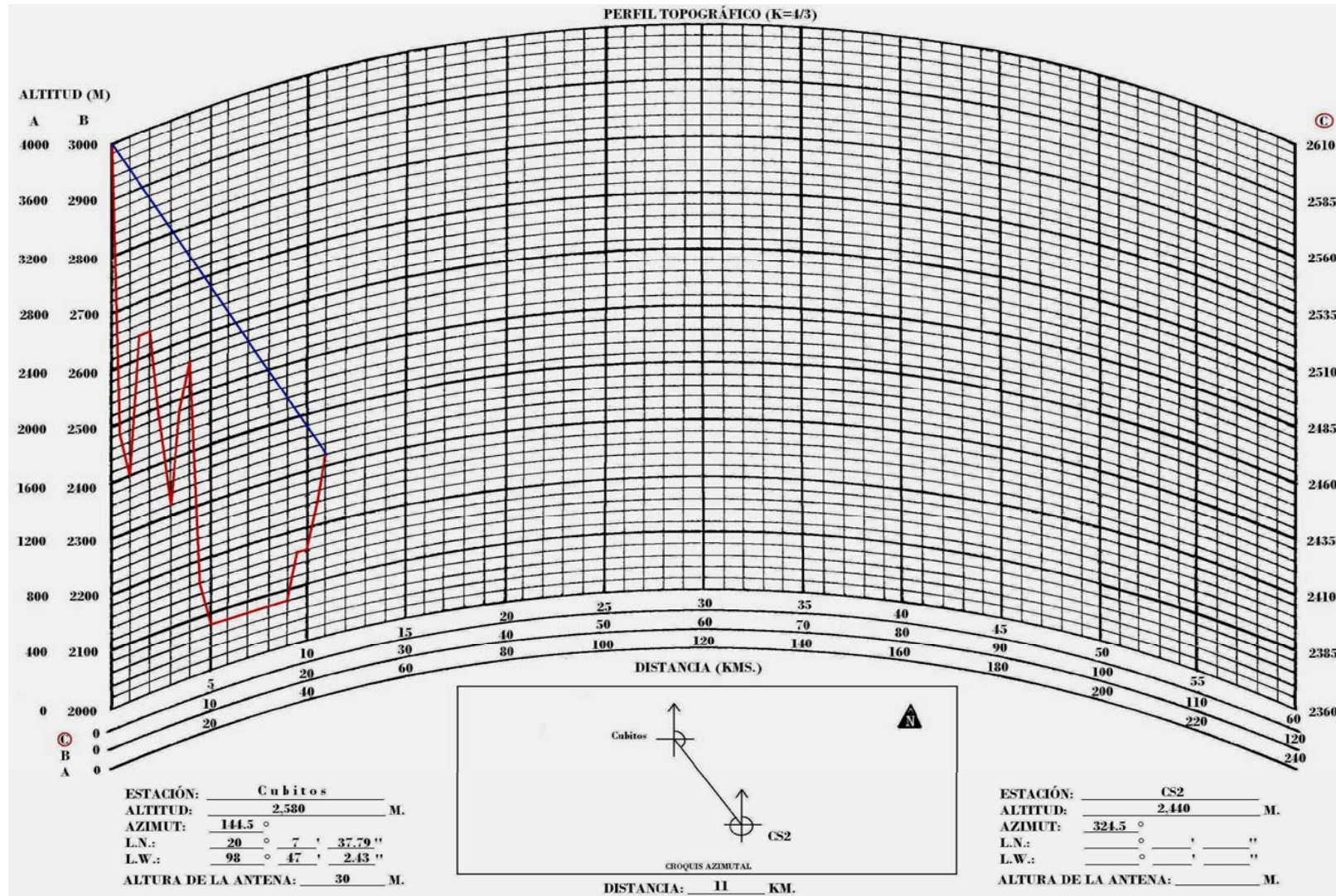


Figura A.12 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – CS2”

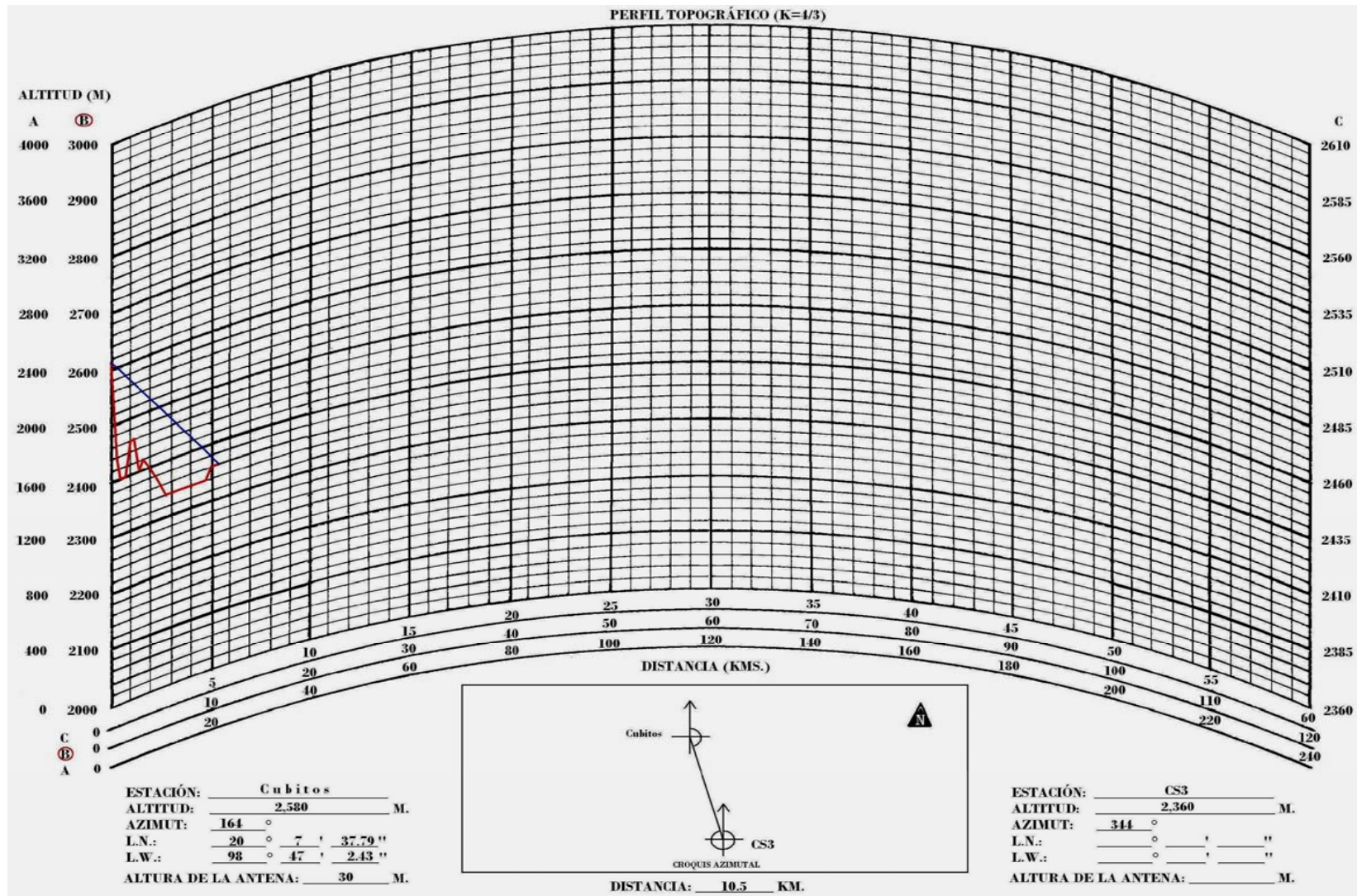


Figura A.13 Perfil Topográfico (K=4/3) “Cubitos – CS3”

Acrónimos

AAA	Autenticación, Autorización y Contabilidad
AAS	Adaptive Antenna Systems
AC	Autoridad Certificadora
ACK	Asentamiento de Trama
ADC	Conversor Analógico/Digital
AES	Advanced Encryption Standard
ANSI	American National Standards Institute
AP	Access Point
ARQ	Automatic Repeat Request
AS.MAX	Línea de productos de Airspan
ATCA	Advanced Telecommunications Computing Architecture
ATM	Modo de Transmisión Asíncrona
AWGN	Ruido Gaussiano y Blanco
BE	Best Effort
BER	Bit Error Rate
C/N	Carrier/Noise
CAG	Control Automático de Ganancia
CANIETI	Cámara Nacional de la Industria Electrónica y Telecomunicaciones e Informática
CBC	Cipher Block Chaining
CBR	Constant Bit Rate
CCIR	Co-Channel Interference Rejection
CCITT	Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico
CD	Corriente Directa
CDMA	Code Division Multiple Access
CITEL	Comisión Interamericana de Telecomunicaciones
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de bandas de Frecuencia
CPE	Customer Premises Equipment
COFDM	Coded OFDM

COFETEL	Comisión Federal de Telecomunicaciones
CP	Prefijo Cíclico
CPC	Códigos Convolutionales Completamente Perforados
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DES	Data Encryption Standard
DOF	Diario Oficial de la Federación
DSL	Dial Service Line
DSP	Digital Signal Processing
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EAP	Protocolo de Autenticación Extensible
ECMA	European Computer Manufacturers Association
EHF	Extremely High Frequency
EIA	Asociación de Industrias en Electrónica
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDD	Frequency Division Duplex
FDDI	Interface de Datos Distribuida por Fibra Óptica
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FHSS	Frequency Hopped Spread Spectrum
FM	Frequency Modulated
FSK	Frequency Shift Keying
GPIO	General Purpose Input/Output
GPS	Global Positioning System
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HF	High Frequency
HFDD	Half Frequency Division Duplex
ICI	Interferencia entre Portadoras
ICM	Banda de uso Industrial Científica y Médica
IEC	International Electrotechnical Commission

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IF	Intermediate Frequency
IFFT	Inversa de la Transformada Rápida de Fourier
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
IP	Internet Protocol
ISI	Interferencia entre Subportadoras
ISO	International Standards Organization
ITEL	Indicador de la productividad del Sector Telecomunicaciones
LF	Low Frequency
LFT	Ley Federal de Telecomunicaciones
LLC	Control de Enlace Lógico
LNA	Low Noise Amplifier
LNSC	Local Network Standars Comite
LoS	Line of Sight
MAC	Capa de Control de Acceso al Medio
MBWA	Mobile Broadband Wireless Access
MCM	Multicarrier Modulation
MF	Medium Frequency
MIMO	Multiple In Multiple Out
NLoS	No Line of Sight
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
nrtPS	Non Real Time Polling Services
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconexion
PHY	Capa Física
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA	Personal Digital Assistant
PMP	Punto-Multi-Punto

POS	Personal Operating Space
PSK	Phase Shift Keying
PWM	Pulse Width Modulation
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RF	Radifrecuencia
RNSN	Radio Network Serving Node
RR-UIT	Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones
RSA	Algoritmo de encriptado Rivest, Shamir, Adleman
rtPS	Real Time Polling Services
SA	Asociación de Seguridad
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transporte
SDMA	Space Division Multiple Access
SDR	Software Defined Radio
SHF	Super High Frequency
SIM	Suscriber Identity Module
SISO	Single In Single Out
SLA	Service Level Agreement
SLB	Sidelobe Blanking Antenna
SLC	Sidelobe Canceller Antena
SOFDMA	OFDMA escalable
STBC	Códigos Espacios-Temporales Bloque
STC	Space Time Coding
STCM	Códigos espacios-temporales trellis convolucionales
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicaciones
UGS	Unsolicited Grant Services
UHF	Ultra High Frequency

UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
U-NII	Unlicensed National Information Infrastructure
UPS	Uninterruptible Power Supply
VHF	Very High Frequency
VLAN	Virtual Local Area Network
VLf	Very Low Frequency
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

Bibliografía

ABHAYAWARDHANA V.S., WASSELL I.J. , *Frequency Scaled Time Domain Equalization for OFDM in Wireless Communication*, University of Cambridge, Department of Engineering, UK,

http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/publications/public/vsa23/EWC02_vsa23.pdf

ALMARZA HERNÁN-PÉREZ FERNANDO, *El DRM (Digital Radio Mondiale) utilizando OFDM*, <http://www.ofdmradio.com/DRM.html>

CAMPANELLA H., COMAS A., ALBA Y., *Antenas inteligentes con aplicación en SDMA*, Universidad del Norte Arranquilla, Colombia, Grupo de Telecomunicaciones y Señales, <http://cita2003.fing.edu.uy/articulosvf/17.pdf>

CISCO SYSTEMS INC., *Quality of Service-Fact or Fiction?*, por Geoff Huston, Internet Protocol Journal Vol. 3 N° 1.

http://www.cisco.com/warp/public/759/ipj_3-1/ipj_3-1_qos.html

COFETEL 2006, Resolución por medio de la cual la Comisión Federal de Telecomunicaciones expide las condiciones técnicas de operación de la banda 5 725 a 5 850 MHz, DOF Viernes 14 de abril 2006, pags. 25-27 http://www.cft.gob.mx/cofetel/html/9_publica/indc

COFETEL http://www.cft.gob.mx/cofetel/html/la_era/info_tel/it27.shtml

COFETEL, *Administración del espectro radioeléctrico*,

http://www.cft.gob.mx/cofetel/html/1_cft/informe3/cofetel_08.pdf

COFETEL, julio 2005, Resolución del pleno de la comisión federal de telecomunicaciones para clasificar ciertas bandas de frecuencias conforme a la ley federal de telecomunicaciones; México, D.F.,

<http://www.cft.gob.mx/cofetel/html/anteproyecto/ESPECTRODISPERSO.doc>

CORNEJO VELÁSQUEZ GASTÓN ARMANDO 2005, Un sistema de comunicación móvil con multiplexación por división de Frecuencia ortogonal, Tesis, Junio 2005, UAEH, ICBI pags. 17-19

CORNEJO VELÁSQUEZ GASTÓN ARMANDO 2005, Un sistema de comunicación móvil con multiplexación por división de Frecuencia ortogonal, Tesis, Junio 2005, UAEH, ICBI pags. 22-27

CORNEJO VELÁSQUEZ GASTÓN ARMANDO 2005, Un sistema de comunicación móvil con multiplexación por división de Frecuencia ortogonal, Tesis, Junio 2005, UAEH, ICBI pags. 36-39

CORNEJO VELÁSQUEZ GASTÓN ARMANDO 2005, Un sistema de comunicación móvil con multiplexación por división de Frecuencia ortogonal, Tesis, Junio 2005, UAEH, ICBI pags. 63-71

EXPOCOMM 2005, *Lo nuevo: WiMAX*, México 2005 Daily, 9 de Febrero 2005, pag. 2

GARCÍA FEDERICO, Certificados X. 509.

www.alu.ua.es/f/fgc10/CERTIFICADOS%20X.509.ppt

GROSS FRANK 2005, *Introduction to Smart Antennas for Wireless Communications*, Mac Graw Hill pags. 1-6,

http://www.blockmyip.com/fdcgi/cgiproxy/nph-proxy.pl/010110A/http/www.techonline.com/profile/userPreferences.jhtml?user=tol&_requestid=150294

HALSALL FRED Comunicación de datos, redes de computadores y sistemas Abiertos, Fred Halsall Cuarta Ed., 1998, Pearson Educación pag. 536

HALSALL FRED, Comunicación de datos, redes de computadores y sistemas Abiertos, Fred Halsall Cuarta Ed., 1998, Pearson Educación pags. 63-68

INTEL 2004, Adaptive Modulation QPSK QAM por Ho W. Sam,

<http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/303788.pdf>

INTEL 2004, *WIMAX*, Journal Intel Volume 08 Issue 03 Published, August 20, 2004 ISSN 1535-864X pag. 19,

http://www.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/vol8_iss03.pdf

INTEL 2004, *WIMAX*, Journal Intel Volume 08 Issue 03 Published, August 20, 2004 ISSN 1535-864X pag. 54

http://www.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/vol8_iss03.pdf

INTEL 2004, *WIMAX*, Journal Intel Volume 08 Issue 03 Published, August 20, 2004 ISSN 1535-864X pags. 66-75 ,

http://www.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/vol8_iss03.pdf

INTEL 2004, *WIMAX*, Journal Intel Volume 08 Issue 03 Published, August 20, 2004 ISSN 1535-864X pags. 78,79

http://www.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/vol8_iss03.pdf

INTEL 2004, *WIMAX*, Journal Intel Volume 08 Issue 03 Published, August 20, 2004 ISSN 1535-864X pags.38-45

http://www.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/vol8_iss03.pdf

INTEL 2004, *WIMAX*, Journal Intel Volume 08 Issue 03 Published, August 20, 2004 ISSN 1535-864X pags. 10,11,

http://www.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/vol8_iss03.pdf

INTEL 2004, *WIMAX*, Journal Intel Volume 08 Issue 03 Published, August 20, 2004 ISSN 1535-864X pags. 27-35,

http://www.intel.com/technology/itj/2004/volume08issue03/vol8_iss03.pdf

INTERNATIONAL ENGINEERING CONSORTIUM, Smart Antenna Systems, http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/smart_ant.pdf

KLERER MARK 2003, Introduction to IEEE 802.2 Technical and Procedural Orientation, http://www.ieee802.org/20/P_Docs/IEEE%20802.20%20PD-04.pdf

LATHI B.P., Introducción a la teoría y sistemas de comunicación, Limusa, 2001 pags. 362,363

LLORET ARJONA PATRICIA 2005, *Diseño y verificación de un amplificador para IEEE802.16*, Universidad politécnica de catalunya pags. 5-9

<http://biblioteca.upc.es/PFC/arxiu/migrats/40382-2.pdf>

LÓPEZ ORTIZ FRANCISCO, *El estándar IEEE 802.11 Wireless LAN*, <http://greco.dit.upm.es/~david/TAR/trabajos2002/08-802.11-Francisco-Lopez-Ortiz-res.pdf>

MARTÍNEZ EVELIO, Mayo 2002, Lo que hay que saber sobre redes, Revista RED Número 138, Mayo 2002 pags. 14-16

MITRE 2006, Preliminary Analysis of the Spectral Requirements of Future ANLE Networks, March 2006, por Izabela Gheorghisor Yan-Shek Hoh.

http://www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_06/06_0547/06_0547.pdf

MONTAÑA ROGELIO, *Calidad de Servicio (QoS)*, Universidad de Valencia, Departamento de Informática www.uv.es/~montanan/ampliacion/amplif_3.ppt

NORTEL 2006, *Considerations for deploying mobile WiMAX at various frequencies* <http://www.nortel.com/solutions/wimax/collateral/nn115440.pdf>

PRASAD, RAMJEE. *Technology Trends in Wireless Communications*. Norwood, MA, USA: Artech House, Incorporated, 2003. pags. 178-181

QUALCOMM, junio 2006, *IEEE 802.20: Mobile Broadband Wireless Access A Technical Overview*, http://www.itu.int/ITU-D/imt-2000/documents/Algiers2006/Presentations/Day%202/Algiers_Presentation_15_LGasparollo.pdf

ROLDÁN MARTÍNEZ DAVID, *Comunicaciones inalámbricas*, Alfaomega, 2005 pags. 195-207

SCT 2006, Acuerdo por el que se establece la política para servicios de banda ancha y otras aplicaciones en las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico 902 a 928 MHz; 2,400 a 2,483.5 MHz; 3,600 a 3.700 MHz; 5,150 a 5,250 MHz; 5,250 a 5,350 MHz;

SERRA MOISÉS, RAFAEL XAVIER, ORDEIX JULIO, MARTÍ PERE, CARRABINA JORDI, *Prototipo demostrador de OFDM: Transmisor*, Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Telecomunicaciones

<http://www.uvic.cat/eps/recerca/codisseny/docs/publicacions/prototipo>

SIGNALS RESEARCH GROUP, LLC, Julio 2005, *WiMAX Oportunidades y desafíos en un mundo inalámbrico*, Whitepaper, por Thelander Michael W., http://www.cdg.org/resources/white_papers/files/WiMAX%20FINAL%20Spanish.pdf

STREMLER FERREL G. 1985, *Sistemas de Comunicaciones*, Fondo Eduvativo Interamericano ed. en español pags. 234, 235

TANENBAUM ANDREW S. 1997, *Computer Networks*, Third Edition, Prentice Hall, pags. 94-100

TOMASI WAYNE, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, Prentice Hall, Cuarta Edición 2003 pag. 177

TOMASI WAYNE, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, Prentice Hall, Cuarta Edición 2003 pag. 348

TOMASI WAYNE, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, Prentice Hall, Cuarta Edición 2003 pags. 351-359

TOMASI WAYNE, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, Prentice Hall, Cuarta Edición 2003 pags. 377-410

WIMAX FORUM, *WiMAX's technology for LOS and NLOS environments*, whitepaper pags. 4, 5.

<http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>

WIMAX FORUM, Noviembre 2005, *Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks*, por Senza Fili.

http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Applications_for_802.16-2004_and_802.16e_WiMAX_networks_final.pdf

<http://ieee802.org/802%20overview.pdf>

<http://tesatel.netfirms.com/prod/arrio.html>

<http://wirelessman.org/pub/background.html>

<http://www.adquisiciones.chiapas.gob.mx/Descrip.asp>

<http://www.canariaswireless.net/modules.php?name=News&file=print&sid=804>

[\[murcia.es/informas/abr05/articulos/WiMAX_y_WiFi_competidores_o_aliados.php\]\(http://murcia.es/informas/abr05/articulos/WiMAX_y_WiFi_competidores_o_aliados.php\)](http://www.cii-</p></div><div data-bbox=)

<http://www.frecuenciaonline.com/espanol/mostrarcontenido.php?id=132&contenidoid=458>

<http://www.intel.com/cd/ids/developer/asmona/eng/microprocessors/pca/tools/94553.htm>

<http://www.intel.com/cd/personal/computing/emea/spa/wireless/245838.htm>

<http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax>

<http://www.srtelecom.com/en/products/whitepapers/IEEE80216e-Standard.pdf>

<http://www.umtsforum.net/wimax.asp>

http://www.unicrom.com/tut_filtroPasaBanda.asp

<http://www.wel.atr.jp/~sun/SmartAntennas.html>

http://www.wi-fi.org/certification_programs.php

<http://www.wimaxforum.org/about/roster>

<http://www.accessnet.com.mx/paquetes/>

<http://www.mexline.com/servicios/provedorisp.html>

http://www.cft.gob.mx/cofetel/html/4_tar/alestra/4720b.pdf

http://www.telmex.com/mx/hogar/ai_pdgyInfinitumInicio.html

http://www.telmex.com/mx/hogar/ai_pdgyDialupInicio.html

Google Earth. Las imágenes mostradas son con fines ilustrativos.