

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO Y PROPUESTA DE BANDAS DE FRECUENCIAS QUE  
SEAN FACTIBLES PARA EL DESARROLLO DE LA  
TECNOLOGÍA WiMAX EN VENEZUELA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Solano P., Marcos A.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2006

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **ESTUDIO Y PROPUESTA DE BANDAS DE FRECUENCIAS QUE SEAN FACTIBLES PARA EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA WiMAX EN VENEZUELA**

Prof. Guía: Freddy Brito  
Tutor Industrial: Ing. Domenico Pirillo

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Solano P., Marcos A.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2006



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES**



---

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN**

Caracas, 26 de junio de 2006

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Solano P. Marcos A., titulado:

**“ESTUDIO Y PROPUESTA DE BANDAS DE FRECUENCIA QUE SEAN  
FACTIBLES PARA EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA WIMAX EN  
VENEZUELA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Zeldivar Bruzual  
Jurado

Prof. Rafael Arruebarrena  
Jurado

Prof. Freddy Brito  
Prof. Guía

**Solano P., Marcos A.**

ESTUDIO Y PROPUESTA DE BANDAS DE FRECUENCIAS QUE SEAN  
FACTIBLES PARA EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA WiMAX EN  
VENEZUELA

**Prof. Guía: Freddy Brito. Tutor Industrial: Ing. Domenico Pirillo.**  
**Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.**  
**Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. Institución: CONATEL.**  
**Año 2006. 106 h.+ anexos**

**Palabras Claves:** WiMAX, Sistemas Inalámbricos de Banda Ancha (BWA), Espectro Electromagnético.

**Resumen.** Este Trabajo Especial de Grado se inserta dentro de los planes que tiene la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), como ente regulador del sector de Telecomunicaciones, hacia el estudio de nuevos avances tecnológicos que impulsarán el desarrollo de las comunicaciones en Venezuela; y se vincula con el establecimiento de un estudio de bandas de frecuencias que sean factibles para el desarrollo y despliegue de los Sistemas Inalámbricos de Banda Ancha (BWA). Como objetivo general, se planteo determinar bandas de frecuencias factibles para que la tecnología WiMAX se desarrolle en el país y en función de propuestas de planificación se plantea una redistribución del espectro radioeléctrico de acuerdo a las tendencias internacionales, estándares, especificaciones y certificaciones de los equipos. Las bandas de frecuencias estudiadas presentaron estar ocupadas por operadores de telecomunicaciones, algunas de estas bandas no presentaron desarrollos significativos en al ámbito nacional por lo que se procedió a realizar una propuesta de redistribución y planificación del espectro radioeléctrico lo que permitirá al país estar acorde con los nuevos avances tecnológicos. Una de las bandas de frecuencias otorgada en concesión, banda 3.5 GHz licenciada, presenta actualmente procesos administrativos por parte de la Comisión, por lo tanto la propuesta de una nueva planificación a un corto plazo es viable para desarrollar WiMAX. También se encontró que la banda de 2.3 GHz y 5.8 GHz presentaron estar a la disposición para el cumplimiento de las obligaciones del Servicio Universal prevista en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones. Una rápida implementación de estas propuestas permitirá al país un acelerando acceso de banda ancha y consecuentemente un desarrollo de la Sociedad de la Información.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.1 Justificación.....	4
1.2 Planteamiento del Problema.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Alcance de la Investigación.....	7
1.5 Limitaciones en la Investigación.....	7
1.6 Marco Metodológico.....	8
1.6.1 Diseño de la Investigación.....	8
1.6.2 Área de la Investigación.....	8
1.6.3 Financiamiento e Instrumentos de Recolección de Datos.....	9
1.6.4 Fases de la Investigación.....	9

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. ¿Qué es la Tecnología WiMAX?.....	11
2.2. Los estándares IEEE 802.16.....	12
2.3. El grupo IEEE 802.16.....	14
2.4. WiMAX Forum.....	15
2.5. Sistemas BWA(Broadband Wireless Access).....	16
2.6. Técnicas de Modulación usadas en WiMAX.....	18
2.6.1. Modulación Digital de la señal banda base.....	18
2.6.1.1. PSK (Phase Shift Keying).....	18
2.6.1.2 QAM (Quadrature Amplitude Modulation).....	19
2.6.2. Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM).....	20
2.6.3. Access OFDM (OFDMA) y Scalable OFDMA (SOFDMA).....	24
2.7. Propagación LOS vs. NLOS.....	26
2.8. Soluciones Tecnológicas BWA NLOS para WiMAX.....	27
2.8.1. Tecnología OFDM.....	27
2.8.2. Duplexaje FDD y TDD.....	28
2.8.3. Sub-Canalización.....	30
2.8.4. Antenas Direccionales.....	31
2.8.5. Diversidad de Transmisión/ Recepción.....	31
2.8.6. Modulación Adaptativa.....	32
2.8.7. Control de Potencia.....	32
2.9. Bandas de Frecuencias de Trabajo.....	33
2.10. Arquitectura de los sistemas BWA.....	36
2.10.1. Sistemas BWA punto-multipunto.....	36
2.10.2. Sistemas BWA malla.....	38
2.11. Aplicaciones.....	40
2.12. Tendencias Futuras.....	41

### **CAPÍTULO III**

ESTATUS DE WiMAX EN LATINOAMÉRICA.....	42
3.1. Regulación en Colombia.....	42
3.1.1. Bandas Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Colombia.....	42
3.1.2. Bandas No Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Colombia.....	44
3.2. Regulación en Chile.....	45
3.2.1. Bandas Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Chile.....	45
3.3. Regulación en Perú.....	48
3.3.1. Bandas Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Perú.....	48
3.3.2. Bandas No Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Perú.....	50
3.4. Regulación en Brasil.....	51
3.4.1. Bandas Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Brasil.....	51

### **CAPÍTULO IV**

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN VENEZUELA.....	53
4.1. Situación actual de las bandas de operación WiMAX en Venezuela.....	53
4.1.1. Bandas para un despliegue inicial de la tecnología WiMAX.....	54
4.1.1.1. Situación de la banda de 2.5 GHz, licenciada.....	54
4.1.1.2. Situación de la banda de 3.5 GHz, licenciada.....	58
4.1.1.3. Situación de la banda de 5.8 GHz, no licenciada.....	61
4.2.2. Bandas para futuros desarrollos de la tecnología WiMAX.....	62
4.2.2.1. Situación de la banda de 2.3 a 2.4 GHz.....	62
4.2.2.2. Situación de la banda de 3.3 a 3.4 GHz.....	63
4.2.2.3. Situación de la banda de 3.6 a 3.7 GHz.....	64
4.2.2.4. Situación de la banda de 10.5 GHz.....	65
4.3. Consideraciones para migración de operadores. ....	67

## **CAPÍTULO V**

PROPUESTA DE DESARROLLO.....	69
5.1. Planificación y canalización de las bandas de frecuencias para WiMAX.....	69
5.1.1. Bandas para un despliegue inicial de la Tecnología WiMAX en Venezuela.....	69
5.1.1.1. Planificación de la banda de 2.5 GHz, licenciada.....	69
5.1.1.2. Planificación de la banda de 3.5 GHz, licenciada.....	73
5.1.1.3. Planificación de la banda de 5.8 GHz, no licenciada.....	77
5.2.2. Bandas para futuros desarrollos de la Tecnología WiMAX.....	79
5.2.2.1. Planificación de la banda de 2.3 a 2.4 GHz.....	79
5.2.2.2. Planificación de la banda de 3.6 a 3.7 GHz.....	80
5.2.2.3. Planificación de la banda de 10.5 GHz.....	82

## **CAPÍTULO VI**

CONSIDERACIONES PARA EL DESPLIEGUE DE WiMAX EN VENEZUELA.	85
6.1.- Situación de la Banda Ancha en Venezuela.....	85
6.2.- Bandas para armonizar en la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL).....	88
6.3.- Operadores interesados de desarrollar los Sistemas Inalámbrico de Banda Ancha en Venezuela.....	89
6.4.- Equipos Certificados por el WiMAX Forum.....	90
6.5.- Coexistencia de los Sistemas Fijos de Banda Ancha.....	90
6.5.1.- Pautas a seguir para el espaciamiento geográfico y en frecuencia.....	92
6.5.2.- Interferencia CoCanal entre dos operadores ubicados en zonas adyacentes o dentro de la línea de vista de uno de los dos.....	94
6.5.2.1.- Interferencia entre sistemas PMP.....	94
6.5.2.2.- Interferencia entre sistemas Mesh.....	97

6.5.3.- Interferencia de Canal Adyacente entre dos operadores ubicados en la misma área geográfica.....	98
CONCLUSIONES.....	99
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	104
ANEXOS.....	106
Anexo N° 1- Calculo de niveles tolerables de interferencia CoCanal-áreas adyacentes.	
Anexo N° 2- Consulta realizada a los miembros de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL)	
Anexo N° 3- Recomendaciones, Resoluciones y Estándares.	

## LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Disposición actual de la banda de 2.5 GHz en Venezuela.....	56
Tabla 2. Ocupación Espectral de la banda 2.5 GHz.....	57
Tabla 3. Resultados de la subasta de Wireless Local Loop (WLL).....	58
Tabla 4. Ocupación espectral de la banda 2300 a 2480 MHz en Venezuela, UIT-R Rec. F.746, anexo 2.....	62
Tabla 5. Ocupación espectral de la banda 3600 a 3700 MHz en Venezuela, UIT-R Rec. F.635-5.....	65
Tabla 6. CUNABAF, banda 10.5 GHz.....	66
Tabla 7. Ocupación espectral de la banda 10.5 a 10.68 MHz en Venezuela, UIT-R Rec. F.747, Anexo 1.....	66
Tabla 8. Recomendación UIT-R M.1036.....	70
Tabla 9. Propuesta de la canalización del WiMAX Forum.....	71
Tabla 10. Perfiles certificados del WiMAX Forum.....	73
Tabla 11. Propuesta Grupo WiMAX Forum.....	78
Tabla 12. Resumen de las pautas para el espaciamiento geográfico y frecuencia.....	93

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 2.1- Relación entre IEEE 802 y el modelo OSI de ISO.....	14
Figura 2.2- Señales adyacentes ortogonales.....	21
Figura 2.3- División de señales ortogonales.....	21
Figura 2.4- Modulación de 8 símbolos usando BPSK, en el dominio del tiempo.....	22
Figura 2.5- Datos antes de la transmisión (negro) y después de la transmisión (azul), con magnitud y fase afectada.....	23
Figura 2.6- Modulación OFDM y OFDMA.....	24
Figura 2.7- Uplink en OFDM y OFDMA.....	25
Figura 2.8- Duplexaje FDD.....	28
Figura 2.9- Eficiencia en la transmisión y recepción de cuatro usuarios en FDD.....	29
Figura 2.10- Ajustes del ancho de banda, dependiendo de la demanda de usuario.....	29
Figura 2.11- Transmisión y Recepción en un canal TDD.....	30
Figura 3.1- Estado de la banda 3.4 a 3.6 GHz, Colombia.....	42
Figura 3.2- Resolución 2064 y 2070 para el servicio fijo BWA.....	43
Figura 3.3- Planificación en Chile.....	46
Figura 3.4- Disposición de radiocanales bloque TDD, banda 2.5 GHz.....	47
Figura 3.5- Atribución de la banda de 3.5 en Chile.....	48
Figura 3.6- Atribución de la banda de 2.5 GHz.....	49
Figura 3.7- Atribución a la Banda de 5 GHz en Perú.....	50
Figura 3.8- Descripción gráfica de pares de bloques de 1.75 MHz, banda 3.5 GHz.....	52
Figura 3.9- Descripción gráfica de pares de bloques de 7 MHz, banda 10.5 GHz.....	52
Figura 4.1- Canalización de la banda de 2.5 GHz en Venezuela, propuesta de la FCC (Federal Communications Comisión) .....	54
Figura 4.2- Distribución de las sub-bandas otorgadas.....	59
Figura 4.3- Ocupación de la banda 2300 a 2480 MHz por estados.....	62
Figura 4.4- Ocupación de la banda 3600 a 3700 MHz por estados.....	64
Figura 4.5- Ocupación de la banda 3600 a 3700 MHz por estados.....	65
Figura 5.1- Canalización Sub-banda 2570 a 2620 MHz.....	72

Figura 5.2- Disposición de Radiocanales banda 2.5 GHz.....	72
Figura 5.3- Sub-bandas de la banda 3.5 GHz, Recomendación UIT-R F.1488.....	74
Figura 5.4- Equipos de Transmisión.....	74
Figura 5.5- Disposición de Radiocanales Sub-banda D-D', banda 3.5 GHz.....	75
Figura 5.6- Disposición de Radocanales Sub-banda C-C' y D-D', banda 3.5 GHz...	75
Figura 5.7- Disposición de Radiocanales de 5 MHz, banda 5.8 GHz.....	78
Figura 5.8- Disposición Radiocanales de 10 MHz TDD, banda 5.8 GHz.....	78
Figura 5.9- Disposición Radiocanales de 20 MHz TDD, banda 5.8 GHz.....	79
Figura 5.10- Disposición de Radiocanales, banda 2.3 a 2.4 GHz.....	79
Figura 5.11- Bloques de frecuencias, banda 3.6 a 3.7 GHz.....	80
Figura 5.12- Disposición de Radiocanales, banda 3.6 a 3.7 GHz.....	81
Figura 5.13- Disposición de Radiocanales, banda 10.5 GHz.....	84
Figura 6.1- Estimaciones al cierre del 2005, fuente CONATEL.....	86
Figura 6.2-Suscriptores y usuarios de Internet al cierre del 2005, fuente CONATEL.....	87
Figura 6.3- Figura 6.3 Limites del nivel de psfd.....	94

## LISTA DE ACRÓNIMOS.

AAS *Adaptive Antenna System*, Sistema de Antenas Adaptativas.

BS *Base Station*, Estación Base.

BWA *Broadband Wireless Access*, Acceso Inalámbrico de Banda Ancha.

CPE *Customer Premises Equipment*, Equipo de Abonado

CATV Red de Televisión por Cable

DSL *Digital Subscriber Line*, Línea de Abonado Digital.

ETSI *European Telecommunications Standards Institute*, Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.

FDD *Frequency Division Duplex*, Duplexaje por División de Frecuencia

FFT *Fast Fourier Transform*, Transformada Rápida de Fourier

FBWA *Fixed Broadband Wireless Access*, Acceso Fijo Inalámbrico de Banda Ancha.

IEEE *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

IFFT *Inverse FFT*, Transformada Rápida de Fourier Inversa.

IP *Internet Protocol*, Protocolo Internet.

ITFS *Instructional Television Fixed Service*

ISI *Inter Symbol Interference*, Interferencia entre Simbolos (Inter-Simbolica)

LOS *Line Of Sight*, Sin Línea de Vista.

LAN *Local Area Network*, Red de Área Local

MIMO *Multiple Input Multiple Output*, Múltiples Entradas Múltiples Salidas.

MAC *Medium Access Control*, Control de Acceso al Medio.

MAN *Metropolitan Area Network*, Red de Área Metropolitana.

MDS *Multipoint Distribution Service*, Servicio de Distribución Multipuntos.

NLOS *Non Line Of Sight*, Sin Línea de Vista.

OFDM *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, Multiplexión por División de Frecuencias Ortogonales.

OFDMA *Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*, Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales

PCMCIA *Personal Computer Memory Card International Association*, Asociación Internacional de Tarjetas de Memoria para Computadores Personales.

PDA *Personal Digital Asistan*, Asistente Personal Digital.

PFD *Power Flux Density*, Densidad de Potencia Equivalente

PIRE Potencia Efectiva Irradiada Isotropicamente.

PSFD *Power Spectral Flux Density*, Densidad Espectral de Potencia Equivalente

PMP *Point to Multi Point*, Punto a Multipunto.

PTP *Point To Point*, Punto a Punto

PSTN *Public Switched Telephone Network*, Red de Telefonía Pública Conmutada

PHY *Physical Layer*, Capa Física.

QoS *Quality of Service*, Calidad de Servicio.

RF *Radio Frequency*, Radio Frecuencia.

SLA *Service Level Agreement*

SOFDMA *Scalable OFDMA*, Escalable OFDMA

SS *Subscriber Station*, Estación Suscriptora.

SoHo *Small Office Home Office*

TE *Terminal Equipment*, Equipo Terminal

TDD *Time Division Duplex*, Duplexaje por División de Tiempo

TDM *Time-Division Multiplexed*, Multiplexión por División de Tiempo

TDMA *Time-Division Multiple Access*, Acceso Multiple por Division de Tiempo

VoIP *Voice over Internet Protoco*, Voz sobre el Protocolo Internet

Wi-Fi *Wireless Fidelity*, Fidelidad Inalámbrica.

WLL *Wireless Local Loop*, Lazo Local Inalámbrico.

WiMAX *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microondas.

## INTRODUCCIÓN

El hombre siempre ha buscado la evolución de las Telecomunicaciones para permitir el intercambio de idiomas, culturas y sobre todo eliminar la brecha digital existente entre países desarrollados y en vías de desarrollo. El principal motor de este desarrollo ha sido gracias a las comunicaciones digitales vía radio y a su constante evolución. Tecnologías que impactaron y aun siguen ofreciendo expectativa a nivel mundial como lo son GSM, UMTS, LMDS, CDMA, etc.; nos dan una idea del importante papel que han jugado las comunicaciones digitales vía radio en este mundo de las Telecomunicaciones.

Actualmente, está emergiendo una tecnología conocida como tecnologías complementarias dentro de ese mundo digital vía radio y que ha desarrollado expectativa a nivel mundial. Catalogada dentro de las Redes Inalámbricas de Área Metropolitana o mejor conocida como WirelessMAN, es creada para alcanzar un mayor acceso e interacción a distancia de forma rápida, económica y segura. Se trata de WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microondas), tecnología de banda ancha que surge para competir ó complementar a las actuales redes inalámbricas de área metropolitana en la modalidad fija y móvil.

Esta tecnología basada en el estándar IEEE 802.16x fue diseñada desde cero para dar acceso inalámbrico de banda ancha de última milla en la Red de Área Metropolitana (MAN). Su primer estándar creado por la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) en el año 2001 conocido como IEEE 802.16 es de modalidad fija operando en la banda de 11 a 66 GHz, que luego evolucionó a los estándares IEEE 802.16a, IEEE 802.16c y hasta la fecha el IEEE 802.16d o 802.16-2004 que tiene como principales ventajas entre los anteriores la optimización del consumo de energía; lo que permite reducir el tamaño de los equipos y una extensión de la banda de trabajo desde 2 a 66 GHz.

Otro de sus estándares es el IEEE 802.16e de modalidad móvil, operando en bandas por debajo de los 6 GHz, el cual le permite a WiMAX competir con las redes

móviles existentes en el mercado. Estos estándares han conseguido unos altos niveles de implantación, desbordando el ámbito de aplicaciones y servicios para los que fueron inicialmente concebido, ser un complemento poderoso a algunas tecnologías y representar una potencial amenaza al desarrollo de otras que requieren importantes infraestructuras y altos niveles de inversión.

Esta necesidad de evolucionar hacia unas comunicaciones inalámbricas más eficientes permitieron crear WiMAX ó estándar IEEE 802.16x como una de las jerarquías de estándares inalámbricas complementarias establecida por la IEEE, porque está incluida dentro de un conjunto de tecnologías que la IEEE estableció, como el IEEE 802.15 para Redes de Área Personal (PAN), el IEEE 802.11 para Redes de Área Local (LAN), IEEE 802.16 para Redes de Área Metropolitana (MAN), y el propuesto IEEE 802.20 para Redes de Área Amplia (WAN). Cada estándar mencionado representa una tecnología para un mercado y modelo de uso distinto y esta diseñado para complementar los otros, ofreciendo interoperabilidad.

Dada la importancia que está generando la tecnología WiMAX a nivel mundial, la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) como ente regulador del sector de las Telecomunicaciones en Venezuela; ha considerado por medio de este trabajo el estudio de nuevos avances tecnológicos que impulsarían el desarrollo del sector de Telecomunicaciones en el país, a través del despliegue de la infraestructura de telecomunicaciones necesaria para el beneficio de la sociedad.

Con tal propósito se pretende elaborar un informe de investigación de propuestas de desarrollo de esta tecnología en base a un estudio de factibilidad de bandas de frecuencias.

Este trabajo esta estructurado en 6 capítulos, 3 anexos y un conjunto de conclusiones y recomendaciones, en las que se resumen las ideas más relevantes y aquellas actuaciones que creemos necesarias para que la tecnología WiMAX se consolide y desarrolle con éxito en nuestro país.

- En el capítulo I se define el problema y justifica la importancia de la investigación, incluyendo el planteamiento del problema de forma clara y precisa; además de los objetivos y metodología que se persigue en este trabajo de investigación.
- El capítulo II se refiere al marco teórico, se definen y explican los conocimientos teóricos necesarios para la elaboración de este trabajo de investigación, en base a fuentes bibliográficas, documentos extraídos de Internet publicados por el Grupo IEEE y WiMAX Forum.
- En el capítulo III se muestra el estatus de WiMAX en Latinoamérica. Se realiza un estudio de la planificación de las bandas de frecuencias que fueron o serán implementadas en otros países, para el desarrollo de la tecnología WiMAX. Se presentan detalles de las bandas de frecuencias seleccionadas por estos países y la importancia de estos avances de redistribución del espectro.
- En el capítulo IV se muestra Espectro Electromagnético en Venezuela y la situación actual de las bandas de operación de WiMAX en el país. Se plantea la ocupación actual que tienen las principales bandas de frecuencias que apuntan los organismos internacionales para un despliegue inicial y futuro de WiMAX. Además, de la planificación actual para cada banda de frecuencias.
- En el capítulo V se propone la planificación de bandas de frecuencias para el desarrollo de la tecnología WiMAX en Venezuela. Esto en función del estudio previamente realizado cuyos parámetros más relevantes son las experiencias internacionales, estándares y recomendaciones
- En el capítulo VI se hacen algunas consideraciones para el despliegue de WiMAX en Venezuela. Se detallan los aspectos relevantes que tomará CONATEL para el estudio de factibilidad tecnológica.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones producto de la investigación, las referencias bibliográficas que permitió darle el fundamento teórico a la investigación y los respectivos anexos.

# CAPÍTULO I

## DEFINICIÓN DEL PLOBLEMA

### 1.1.- Justificación.

En primer lugar la razón que justifica esta investigación es el interés mostrado por CONATEL para el desarrollo de la tecnología WiMAX en nuestro país, dado que constituye una tecnología económica y de rápida implementación, que puede ser de gran beneficio para darle acceso de banda ancha a ciertas poblaciones que actualmente no tienen una posibilidad de tener servicios de banda ancha. Por tal motivo la Comisión propone un estudio de bandas disponibles en la que sea factible el desarrollo de esta tecnología a nivel nacional.

El logro de esta investigación permitirá a CONATEL tener conocimiento para evaluar el desarrollo de WiMAX en Venezuela. También serán beneficiadas las empresas públicas y privadas que estén vinculadas directa o indirectamente con esta tecnología, debido a que las decisiones tomadas por la Comisión serán elementos generadores de acciones particulares para el logro de metas finales.

Otra de las razones es el impacto y expectativa que la tecnología WiMAX esta causando a nivel mundial, por lo que se hace necesario un estudio de los beneficios que ofrece y ventajas que aportaría a cada ciudadano en Venezuela.

Por último se destaca la importancia de esta investigación en el ámbito académico exigido por la Universidad Central de Venezuela (UCV), en cuanto a su desarrollo y aprobación del Trabajo Especial de Grado, debido a que es un requisito indispensable para optar al Título de Ingeniero Electricista.

## 1.2.- Planteamiento del Problema.

La inclusión de WiMAX dentro del mercado de telecomunicaciones ha permitido la interconexión inalámbrica a tasas altas en áreas metropolitanas. La tecnología tiene la posibilidad de ubicarse dentro del espectro radioeléctrico en bandas de frecuencias licenciadas y no licenciadas, esto para un mejor desarrollo e implementación de la tecnología. En Venezuela existen bandas de frecuencias que ya fueron subastadas por la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) y que son bandas donde opera la tecnología WiMAX.

Dada la importancia que se está suscitando a escala mundial y de acuerdo a las reformas de nuevas normas y recomendaciones, la Comisión Nacional de Telecomunicaciones CONATEL; ha enfocado el desarrollo de nuevos avances tecnológicos y servicios, planteando un estudio, evaluación y propuesta de bandas de frecuencia donde la tecnología WiMAX pueda desarrollarse, orientado a la socialización del uso y aplicación de las comunicaciones en nuestro país. Es por esto que es necesario conocer la administración y regulación del espectro radioeléctrico; los sistemas, dispositivos y productos que operan en esas bandas, y de esta forma poder seleccionar las bandas de frecuencia más factibles para su desarrollo, la cual deberá cumplir con ciertas especificaciones técnicas y regulatorias.

### 1.3.- Objetivos.

Los objetivos propuestos para la elaboración de éste Trabajo de Grado son los siguientes:

#### 1.3.1.- Objetivo General.

Realizar un estudio, evaluación y propuesta que permita la interoperabilidad, incursión y desarrollo de la tecnología WiMAX para ser implementada en bandas de frecuencias que sean factibles en Venezuela.

#### 1.3.2.- Objetivos específicos.

1. Estudiar las especificaciones técnicas, recomendaciones y regulaciones que sustenten las bases teóricas de la Tecnología WiMAX.
2. Realizar el levantamiento de información acerca del estatus de la tecnología WiMAX a nivel de Latinoamérica.
3. Evaluar la planificación de las bandas de frecuencias que podrían ser utilizadas para el desarrollo de la tecnología WiMAX en Venezuela.
4. Determinar los diferentes sistemas, dispositivos y productos que operan en las bandas de frecuencias disponibles para el desarrollo de la tecnología WiMAX en Venezuela.
5. Realizar la propuesta de la(s) banda(s) de frecuencia(s) que mejor se adapte a la Tecnología WiMAX en Venezuela.
6. Elaborar un informe con las conclusiones y recomendaciones finales.

#### 1.4.- Alcance de la Investigación.

La presente investigación abarca la planificación y canalización de bandas de frecuencias que estén vinculadas directamente con la tecnología WiMAX, en función de las tendencias de organismos y fabricantes de equipos a nivel mundial.

Esta investigación no asegura el desarrollo de la tecnología WiMAX en Venezuela a un corto plazo, pero abre un camino en cuanto a las nuevas estrategias que se están tomando en otros países. Por ende, el alcance de la investigación se estará enfocando en la reutilización que se le pueda dar al espectro radioeléctrico venezolano para estar acorde con las actualizadas y futuras recomendaciones que se puedan estar suscitando para la introducción de nuevas tecnologías y servicios.

La iniciativa tecnológica que se aborda, se vincula directamente con el desarrollo de la competitividad por parte de las empresas ejecutoras. Esto permite afirmar que este estudio representa un aporte que no deja de tener carácter de abordaje preliminar, dado que CONATEL podría programar acciones puntuales que le permitan acercarse progresivamente y se aproximen a las metas deseadas.

#### 1.5.- Limitaciones en la Investigación.

Siendo la tecnología WiMAX relativamente reciente, son muchos los países que hoy están vinculados con su desarrollo. Sin embargo, el hecho de que no se dispongan de algunos estándares y certificaciones de equipos, como lo es el estándar 802.16e para el acceso móvil, no deja de ser un factor limitante cuando se trata de estudios de factibilidad de bandas de frecuencias como el que se presenta en este trabajo de investigación. Por tal motivo, hoy son muchos los países que adelantan proyectos en los que se incluyen múltiples estudios orientados hacia la determinación del modelo que mejor se adapte a las particularidades de la mayoría, tomando en cuenta las demandas que ofrecen los Sistemas Inalámbricos de Banda Ancha, en particular WiMAX.

Una limitación encontrada en este estudio, es la disposición actual de bandas de frecuencias factibles para el desarrollo de los Sistemas Inalámbricos de Banda Ancha, en especial WiMAX, en Venezuela. En este sentido, la no disponibilidad directa de bandas de frecuencias para el desarrollo de los sistemas BWA, no sería posible la implementación a un corto plazo la nueva planificación y canalización que se está adoptando en el trabajo de investigación para la introducción de nuevas tecnologías y servicios.

#### 1.6.- Marco Metodológico.

##### 1.6.1.- Diseño de la Investigación.

La elaboración de este trabajo de investigación plantea un estudio de factibilidad de bandas de frecuencias requerido por CONATEL para hacer efectiva la implementación y desarrollo de un sistema inalámbrico de banda ancha en Venezuela.

##### 1.6.2.- Área de la Investigación.

Esta se encuentra conformada sobre bases referentes a: En primer lugar, proveniente de los rasgos específicos que muestra esta tecnología en cuanto a los estándares conocidos hasta la fecha. Y un segundo, referente a las experiencias nacionales de los países que han incorporado la tecnología WiMAX, específicamente Suramérica.

La revisión y análisis de las bandas de frecuencias en Venezuela útiles para el despliegue de WiMAX, resultó de importancia para elaborar propuestas que aportan consideraciones técnicas notables, permitiendo abarcar la posibilidad de desarrollar esta tecnología con éxito en nuestro país.

### 1.6.3.- Financiamiento e Instrumentos de Recolección de Datos.

Este trabajo de grado se realizó en las instalaciones de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), en Caracas. La Comisión brindó los recursos necesarios para tal fin, entre los cuales se encuentran el suministro del material, espacio físico, bibliotecas y el asesoramiento técnico para el desarrollo y cumplimiento de este proyecto. La información básica requerida para sustentar teórica y técnicamente esta investigación, fue obtenida mediante documentos, publicaciones e Internet.

### 1.6.4.- Fases de la Investigación.

La elaboración de este trabajo de investigación contempló las siguientes fases:

Fase 1. Recopilación bibliográfica sobre:

- Estándar IEEE 802.16x para Banda Ancha Inalámbrica.
- Características técnicas y funciones.
- Técnicas de modulación y propagación en WiMAX.
- Aspectos regulatorios y estandarizaciones.
- Aplicaciones de WiMAX. Topologías
- Tendencias futuras.

Fase 2. Se realizó un levantamiento de información acerca del estatus de la tecnología WiMAX en Latinoamérica. Como por ejemplo, las bandas de frecuencias que son utilizadas para su desarrollo, tendencias futuras.

Fase 3. Se realizó un estudio y análisis de la disponibilidad del espectro radioeléctrico, dentro de las bandas de frecuencias que especifica la norma 802.16x de WiMAX.

Fase 4. Se realizó un levantamiento de información de todos los sistemas, dispositivos y productos que operan en las bandas de frecuencias que son utilizados por la tecnología WiMAX en Venezuela.

Fase 5. Se planteó la propuesta de desarrollo de la tecnología WiMAX dentro de la banda(s) de frecuencia(s) más acorde para su factible funcionamiento en base al estudio realizado.

Fase 6. Conclusiones y recomendaciones.

Fase 7. Redacción del informe final.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1.- ¿Qué es la tecnología WiMAX?

La tecnología WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microondas) es un estándar creado para complementar las redes inalámbricas de banda ancha. Es una tecnología que provee acceso de última milla (ó la primera milla, según de que lado se mire) en la red de Área Metropolitana. Como sucedió con Wi-Fi (*Wireless Fidelity*, Fidelidad Inalámbrica), la etiqueta WiMAX se asocia globalmente con el propio nombre del estándar, y es la marca que certifica que un producto está conforme con los estándares de acceso inalámbrico '802.16x'. Estos estándares permiten conexiones similares al xDSL o al cable modems, sin cables, y hasta una distancia de 70Km. Ofreciendo un rápido servicio en lugares pocos accesibles por las redes de cable y flexible ante costos por su rápida implementación.

La tecnología WiMAX será la base de las Redes Metropolitanas de acceso a Internet, servirá de apoyo para facilitar las conexiones en zonas rurales, y se utilizará en el mundo empresarial para implementar las comunicaciones internas. Además, su popularización supondrá el despegue definitivo de otras tecnologías, como VoIP (llamadas de voz sobre el protocolo IP).

WiMAX proporcionará conectividad de banda ancha inalámbrica fija, nómada, portátil y móvil sin la necesidad de línea de visión directa a una estación terminal o base. El WiMAX Forum certificó un despliegue típico de radio de celda de tres a diez kilómetros, estos sistemas entregarán la capacidad de hasta 40 Mbps por canal, para acceso fijo y nómada. Esto es bastante ancho de banda para apoyar simultáneamente centenares de negocios con conectividad T1 o E1 y millares de residencias con DSL.

## 2.2.- Los Estándares IEEE 802.16.

La tecnología WiMAX esta basada en los estándares IEEE 802.16 y ETSI HiperMAN. El organismo internacional de estandarización IEEE aprobó en abril de 2002 el estándar IEEE 802.16, un estándar que delimita las reglas tecnológicas que deben seguir los fabricantes de la infraestructura inalámbrica en banda ancha y que le permite operar en las bandas de frecuencias de 10 a 66 GHz. Un año después, en enero de 2003, la IEEE aprobó una extensión a este estándar, el 802.16a, que cubre las frecuencias inalámbricas de 2 a 11 GHz

El recién aprobado estándar para banda ancha inalámbrica IEEE 802.16a, orientado a las Redes de Área Metropolitana Inalámbricas (WMAN), utiliza una tecnología basada en OFDM con 256 sub-portadoras con una arquitectura punto a multipunto (PMP) que permite conexiones de hasta 50 kilómetros, sin necesidad de línea de visión directa (NLOS), con capacidad para transmitir datos a una velocidad de 70 Mbps con una tasa máxima de 5.0 bps/Hz y que podrá soportar usuarios en una escalabilidad de canales de 1.5 MHz a 20 MHz. Este estándar soporta niveles de servicio (SLA) y calidad de servicio (QoS).

La necesidad de realizar mejoras al consumo de potencia de los equipos, permitió al grupo IEEE realizar una actualización al estándar 802.16a, la última versión de los estándares IEEE 802.16 para el servicio fijo y nómada, es el 802.16-2004 (previamente conocido como revisión D, o 802.16d), siendo ratificado en julio de 2004. El 802.16-2004 es un robusto estándar, que incluye las versiones anteriores (802.16-2001, 802.16c en 2002, 802.16a en 2003) y cubre aplicaciones LOS y NLOS en la banda de frecuencias de 2 a 66 GHz. Como es de costumbre con los estándares de la IEEE, solo se especifican la capa física (PHY) y Control de Acceso al Medio (MAC). Los cambios introducidos en el estándar 802.16-2004 fueron centrados para aplicaciones fijas y nómadas en la banda de frecuencias de 2 a 66 GHz. Dos técnicas de modulación multi-portadoras se apoyan en este estándar: OFDM con 256 portadoras y OFDMA con 2048 portadoras. Los primeros perfiles de certificación del

WiMAX Forum están basados en OFDM según se definió en esta versión del estándar.

En cuanto para aplicaciones móviles, en diciembre de 2002 se creó una Comisión de Estudio para mejorar la operación combinada fija y móvil por debajo de los 6 GHz. El trabajo sobre la enmienda 802.16e se está acercando a su culminación y su ratificación se espera antes de mediados de 2006. La nueva versión del estándar introduce modulación SOFDMA, una variación de OFDMA, que permite un número variable de portadoras. La asignación de portadoras en el modo OFDMA se diseña para reducir al mínimo el efecto de la interferencia en los CPE con antenas omnidireccionales. Además, incorpora sistemas MIMO (Múltiples Entradas Múltiples Salidas), y Sistemas de Antenas Adaptativas (AAS). También se ha mejorado la capacidad de ahorro de energía para los dispositivos móviles y características más extensas de seguridad. Ambos, OFDM y OFDMA pueden aprovecharse de las capacidades nuevas y agregadas.

El estándar 802.16e agregará soporte para el acceso fijo y móvil. Sin embargo, el estándar 802.16e se utiliza a menudo para referirse a los cambios introducidos a la movilidad y en particular a SOFDMA.

En las dos últimas versiones del estándar 802.16 se referirán a que los perfiles de 802.16e (para acceso móvil) adoptarán SOFDMA, y para 802.16-2004 (acceso fijo) adoptará OFDM con 256 portadoras. Sin embargo, los modos de OFDM y de SOFDMA no son compatibles pues se basan en dos técnicas de modulación distintas. Consecuentemente, un OFDM CPE no trabajará dentro de una red de SOFDMA y viceversa.

### 2.3.- El grupo IEEE 802.16.

El grupo de trabajo IEEE 802.16 sobre el estándar de acceso inalámbrico de banda ancha, elabora estándares y recomendaciones prácticas para el desarrollo y despliegue de la red de área metropolitana inalámbrica de banda ancha. La IEEE 802.16 es una unidad del comité de estándares IEEE 802 LAN/MAN; primer foro transnacional para la estandarización de redes inalámbricas, encargado de desarrollar y publicar una serie de normas para redes locales y metropolitanas, adoptadas mundialmente incluso por ISO (*International Organization for Standardization*, Organización Internacional de Estándares), centrado en definir niveles mas bajos, según el modelo de referencia OSI, como se indica en la tabla 2.1.

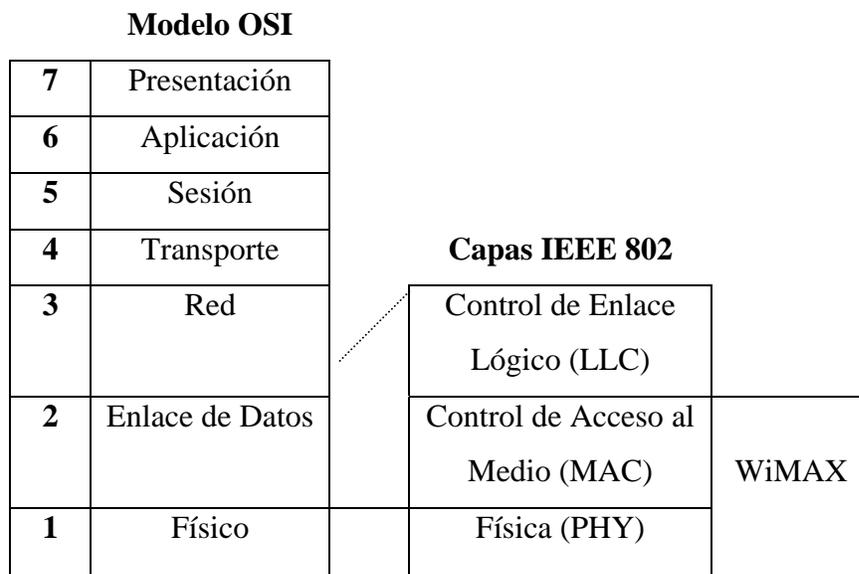


Figura 2.1 Relación entre IEEE 802 y el modelo OSI de ISO

Los dos niveles inferiores del modelo OSI, el nivel físico y el nivel enlace de datos, definen la forma en que múltiples equipos pueden utilizar la red simultáneamente sin que exista interferencia entre ellas.

El proyecto IEEE 802 incorporó las especificaciones a esos dos niveles para crear estándares que tengan definidos los entornos LAN/ MAN dominantes.

Mientras que en las redes de conmutación solo dos estaciones podían acceder en un momento dado al medio físico, lo que era fácilmente controlable por los protocolos de control de enlace, en otras redes (como son las redes de difusión) son varias las estaciones que en un momento dado pueden acceder al medio físico en un mismo tiempo, complicando considerablemente los procedimientos de control de ese proceso. Tras la decisión que se necesitan más detalles en el nivel de enlace de datos, el comité de estándares 802 dividió el nivel de enlace de datos en dos sub-niveles:

Control de enlace Lógico (LLC): El LLC especifica los mecanismos para el direccionamiento de estaciones conectadas al medio y para controlar el cambio de datos entre usuarios de la red.

Control de Acceso al Medio (MAC): La función del MAC es permitir que dispositivos compartan la capacidad de transmisión de una red. Él controla el acceso al medio de transmisión de modo a tenerse un uso ordenado y eficiente de este medio.

#### 2.4.- WiMAX Forum.

WiMAX Forum ([www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org)) es una organización sin fines de lucros, formadas por empresas fabricantes de equipos y componentes, y tiene como objetivo promover y certificar la compatibilidad y la interoperabilidad de los productos de acceso inalámbrico de banda ancha (BWA) usando las especificaciones inalámbricas para la red de área metropolitana de la IEEE 802.16 (Americana) y ETSI HiperMAN (Europeo). El WiMAX Forum es el equivalente, al Wi-Fi Alliance, responsable por el gran desarrollo y éxito del Wi-Fi en todo el mundo. El WiMAX Forum esta constituido por las empresas líderes del sector tecnológico, que están comprometidas con las interfaces abiertas e interoperabilidad entre los diversos productos utilizados en el acceso inalámbrico de banda ancha.

El WiMAX Forum pretende motivar un mercado de acceso de banda ancha más competitivo, a través de un conjunto mínimo de especificaciones de funcionamiento de la interfaz aérea entre los productos de los diversos fabricantes, certificando los productos que atienden a estas especificaciones. La meta del WiMAX Forum es acelerar la introducción de estos sistemas en el mercado; certificados estos, los productos serán completamente interoperables en aplicaciones de banda ancha fija y móvil. Esto significará:

- Para los operadores de redes, interoperabilidad entre equipos y la no dependencia de un proveedor para el desarrollo de su red.
- Para los fabricantes de equipos, pocas variaciones del producto a desarrollar y a producir.
- Para los fabricantes de componentes, una escala de productos mucho mayor.
- Para el usuario final, acceso de banda ancha más rápido y más económico, que se encuentre más extensamente disponible.

2.5.- Sistemas BWA(*Broadband Wireless Access*, Acceso Inalámbrico de Banda Ancha).

El acceso inalámbrico se define en la Recomendación UIT-R F.1399 como “conexiones radioeléctricas(s) entre el usuario final y una red básica”. Son redes básicas, por ejemplo, ATM, RDSI, CATV, etc. y el usuario final puede ser un solo usuario o un usuario que accede a los servicios en nombre de múltiples usuarios. Por lo tanto en la misma Recomendación se define los sistemas BWA, como “acceso inalámbrico en el que las capacidades de conexión(es) son superiores a las correspondientes a la velocidad primaria”. Velocidad primaria, se define, a la velocidad de transmisión de 1455Kbps(T1) ó 2048Kbps(E1).

El Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (BWA) garantiza una instalación rápida y sencilla, minimiza la inversión inicial y permite obtener una óptima

flexibilidad al expandir redes y la gama de servicios suministrados, ofreciendo soluciones a necesidades de transmisión de información de alta capacidad.

Este tipo de sistemas permite una alternativa de Última Milla a los actuales servicios de cable (xDSL, Coaxial, Fibra); ofreciendo un despliegue más rápido de redes de banda ancha por lugares pocos accesibles; y así, ofrecer múltiples servicios tales como voz, datos, video e Internet.

*Entre sus características tenemos:*

- **Continua Evolución:** Muchas organizaciones vienen acelerando rápidamente la planificación e instalación de sistemas de acceso al medio y otros servicios de relevados radioeléctricos de alta densidad. Esta aceleración obedece, en gran medida, a la tendencia hacia una demanda creciente y la competencia en el suministro de telecomunicaciones de alta velocidad y servicios de distribución de voz, datos y vídeo.
- **Atribución de algunos espacios radioeléctricos para su funcionamiento:** El uso de bandas licenciadas y no licenciadas dota a la tecnología de un gran potencial de mercado y le permite competir ó complementar con otro tipo de tecnologías de acceso inalámbrico de última generación como UMTS, LMDS, pues éstas requieren de grandes inversiones previas por parte de los operadores de servicios.
- **Sistemas desarrollados en forma propietaria (MMDS, MVDS, LMDS):** Durante muchos años los sistemas de banda ancha inalámbricos estaban basados en tecnologías propietarias de las compañías que las instalaban, tenían un rendimiento limitado y en muchos casos eran demasiados costosos para ser instalados de manera masiva.
- **Múltiples sistemas BWA (MMDS, MVDS, HiperLAN)**
- **Bajo costo de instalación y despliegue**
- **Local Multipoint Distribution System (LMDS), instalado en Venezuela.**
- **Altas velocidades de transmisión**

- Bajos volúmenes de clientes con muy alta demanda de ancho de banda
- Gran número de clientes potenciales tales como, usuarios de baja demanda, residenciales, pequeñas empresas.

## 2.6.- Técnicas de Modulación usadas en WiMAX

La modulación de una señal de comunicaciones es una técnica de mapeo que permite su acoplamiento al medio de transmisión [1]. Las técnicas de modulación adoptadas por la tecnología WiMAX son:

### 2.6.1.- Modulación Digital de la señal banda base.

#### 2.6.1.1.- PSK (*Phase Shift Keying*, Modulación por Desplazamiento de Fase ).

La modulación digital por desplazamiento de fase (PSK, por *Phase Shift Keying*) es una forma de modulación digital angular de amplitud constante. Se parece a la modulación convencional de fase, excepto que en la PSK la señal de entrada es una señal digital, y es posible tener cantidad limitada de fases de salida.

Las más usuales utilizando codificación M-aria, y aplicables en WiMAX son:

#### 1. Modulación por Desplazamiento Binario de Fase (BPSK).

En la modulación por desplazamiento binario de fase (BPSK, *Binary Phase Shift Keying*), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia portadora. Una fase de salida representa un “1” lógico, y la otra un “0” lógico. Cuando la señal de entrada digital cambia de estado, la fase de la portadora de salida varía entre dos ángulos que están desfasados 180°.

## 2. Modulación por Desplazamiento Cuaternario de Fase (QPSK).

La modulación por desplazamiento cuaternario de fase (QPSK, *Quaternary Phase Shift Keying*), es una forma de modulación digital angular y de amplitud constante. La QPSK es una técnica M-aria de codificación en la que  $M = 4$ . Con esta codificación son posibles cuatro fases de salida para una sola frecuencia de portadora.

### 2.6.1.2.- QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*, Modulación por Amplitud en Cuadratura).

La modulación por amplitud de cuadratura (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*) es una forma de modulación digital, donde la información digital está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

Las más usuales utilizando codificación M-aria son:

#### 1. 16-QAM.

La 16-QAM es un sistema M-ario en el que  $M = 16$ . Los datos de entrada se manejan en grupos de  $N = 4$  bits ( $2^N = M$ ). Como en QAM se varía la fase y amplitud de la portadora de transmisión.

#### 2. 64-QAM.

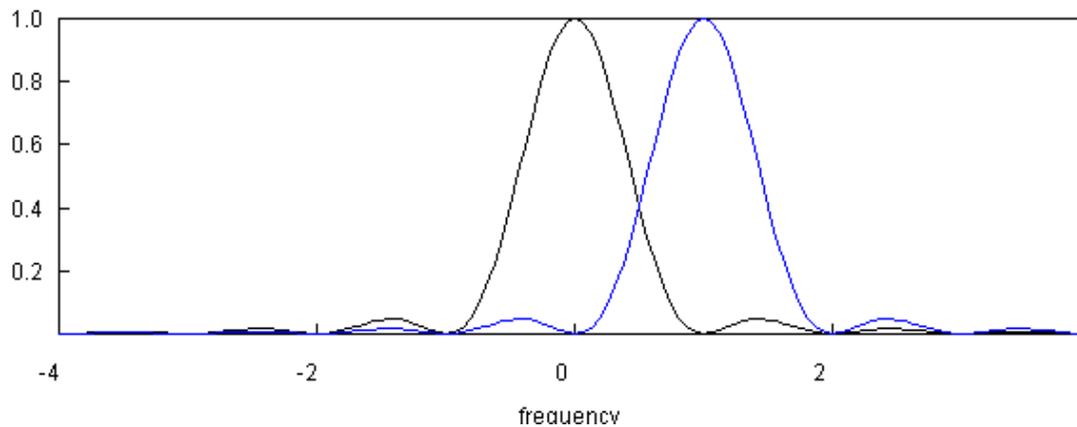
En el sistema 64-QAM, se toman grupos de datos binario a la entrada de 6 bits, lo cual mejora la eficiencia de ancho de banda.

### 2.6.2.- Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM).

La Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) es una técnica que transmite múltiples señales simultáneamente sobre una sola trayectoria de transmisión, tal como un cable o un sistema inalámbrico. Cada señal viaja dentro de su propio rango único de frecuencias o ancho de banda (la portadora), que es modulada por la información (voz, datos, vídeo, etc.).

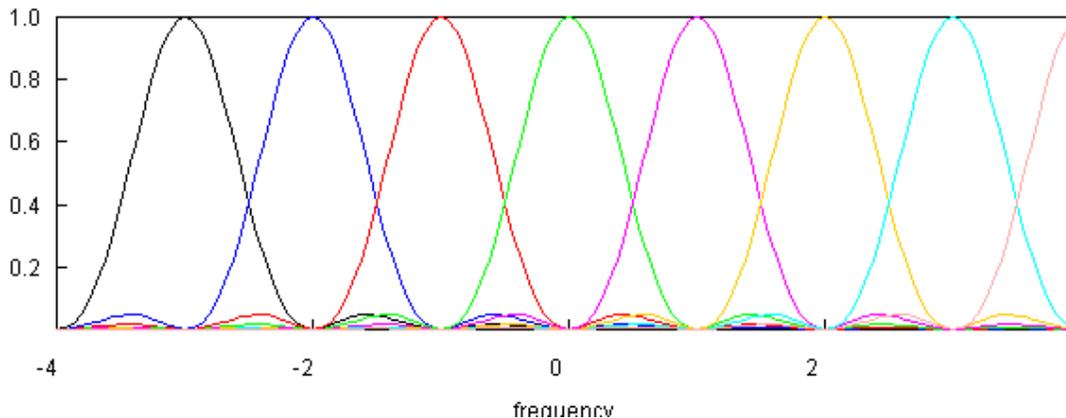
La técnica ortogonal FDM (OFDM) de espectro disperso es un método de modulación digital en el cual cada señal se separa en varios canales de banda angosta a diferentes frecuencias, es decir, distribuye los datos sobre una gran cantidad de sub-portadoras que son espaciados en frecuencias precisas. Este espaciamiento proporciona la “ortogonalidad” y evita que los demoduladores consideren frecuencias que no sean las propias. Entre las ventajas del OFDM están la alta eficacia espectral, elasticidad a la interferencia de RF y baja distorsión de multitrayecto. Esto es útil porque en un escenario típico de radiodifusión terrestre existe múltiples trayectorias (es decir la señal transmitida llega al receptor usando varios caminos de diferentes longitudes), por lo que resulta muy difícil extraer la información original.

En OFDM se supera el problema de Interferencia Intersimbólica (ISI) transmitiendo los datos en paralelo sobre múltiples portadoras. Esto aumenta la longitud del símbolo que causa el efecto de reducir símbolos adyacentes. Como estrechamente estas múltiples portadoras puedan espaciarse determinará la capacidad de los sistemas.



**Figura 2.2 Señales adyacentes ortogonales**

En la figura 2.2, se puede observar que si dos señales se colocan a una distancia de un múltiplo entero de la frecuencia del símbolo, el máximo valor pico del símbolo que corresponde al componente senoidal de ésta señal sólo se alinea con los componentes cero del otro símbolo. Éste puede ser extendido para permitir a un número grande de portadoras estar espaciadas a la frecuencia del símbolo que da la eficacia espectral máxima sin interferencia, produciendo la división de frecuencia ortogonal que se muestra en la figura 2.3.



**Figura 2.3 División de señales ortogonales**

Esta modulación multi-portadora de un sistema OFDM puede ser realizada usando un número grande de moduladores. Sin embargo, un acercamiento más eficaz es usar una IFFT(Transformada Rápida de Fourier Inversa) para crear una señal de banda base que puede entonces modularse usando un solo modulador de alta frecuencia.

Imaginémonos una modulación BPSK por Desplazamiento Binario de Fase una de las usadas por WiMAX, donde cada símbolo de dato modula la fase de una portadora a una frecuencia más alta. La figura 2.4 muestra la representación en el dominio del tiempo de 8 símbolos (10101010) que modulan un portador usando BPSK.

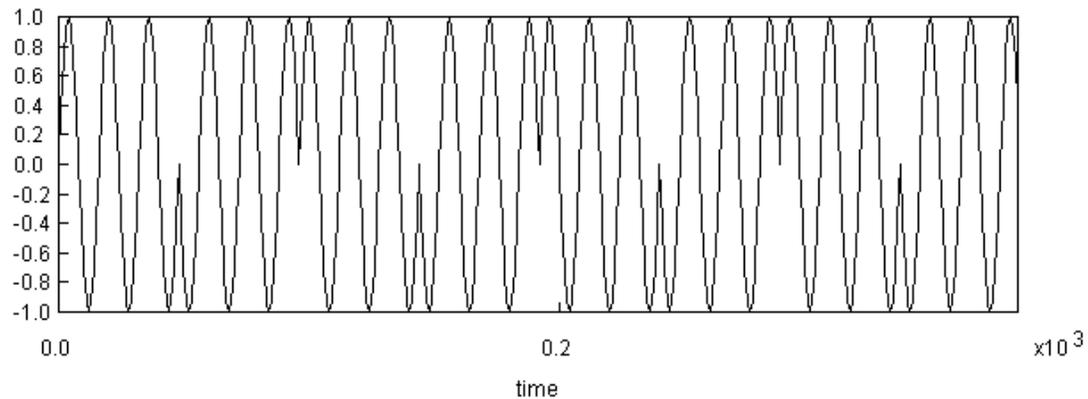


Figura 2.4 Modulación de 8 símbolos usando BPSK, en el dominio del tiempo.

En el dominio de la frecuencia, el efecto de los desplazamientos de fase en la portadora es ampliar el ancho de banda ocupado por la señal de BPSK a una función del sinc. Los ceros de la función del sinc ocurren a intervalos de la frecuencia del símbolo. Esta señal BPSK es pasada por un FFT inversa (IFFT) para producir la señal banda base OFDM.

La figura 2.5 muestra todos los 8 símbolos de datos, antes y después de la transmisión. Si se ajusta el canal se afecta la magnitud y la fase de las señales recibidas, sin embargo ajustando los valores de los datos, puede verse que la ortogonalidad se mantiene y todo lo que se requiere para la decodificación correcta es equilibrar el cambio de fase.

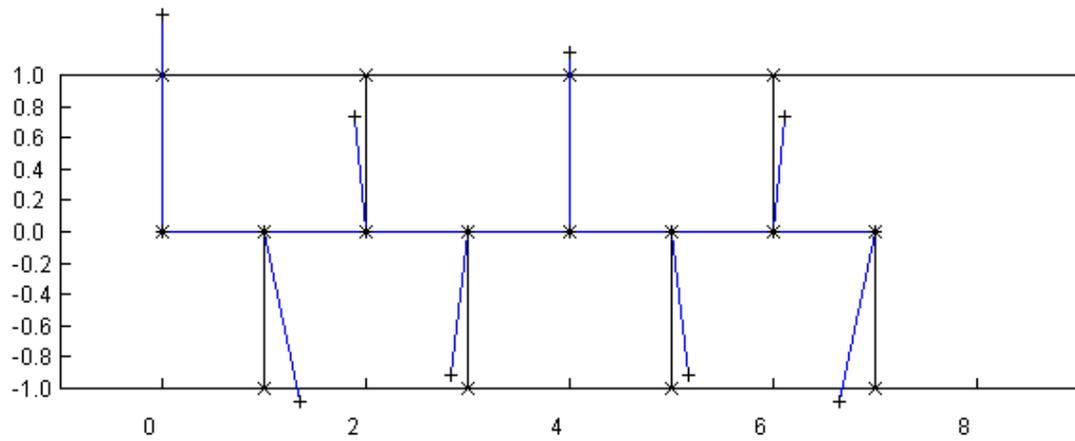


Figura 2.5 Datos antes de la transmisión (negro) y después de la transmisión (azul), con magnitud y fase afectada.

OFDM es conceptualmente simple, pero lo difícil está en los detalles. La aplicación confía en la alta velocidad del procesamiento digital de señales y esto ha hecho que sea disponible a un precio que la hace una tecnología competitiva en el mercado, sobre todo en el estándar 802.16x.

2.6.3.- Access OFDM (OFDMA) y Scalable OFDM (SOFDMA).

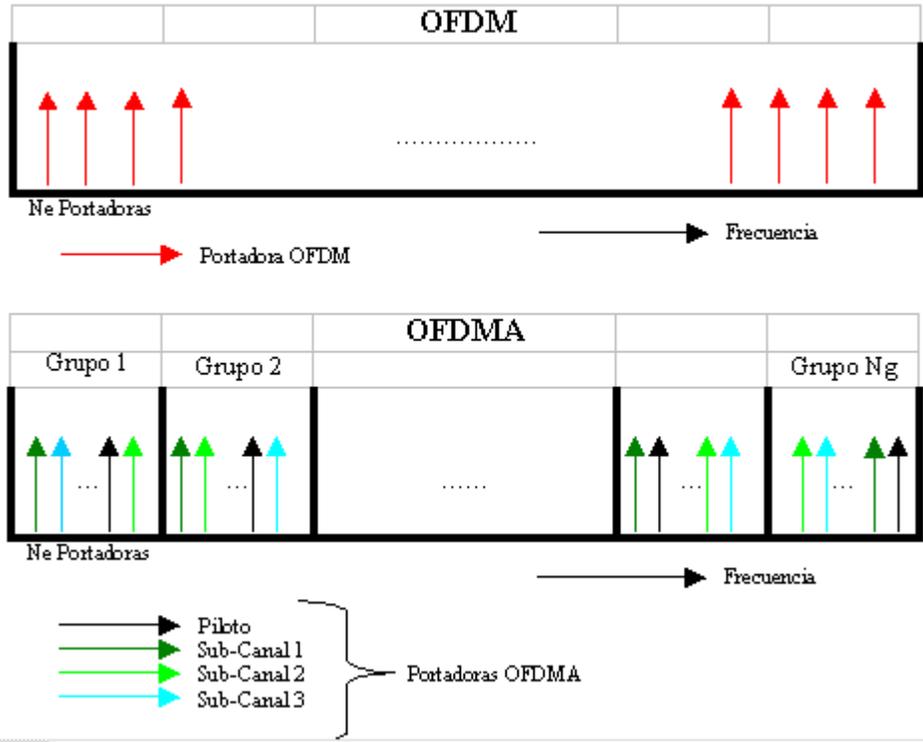


Figura 2.6 Modulación OFDM y OFDMA

En OFDM todas las portadoras son transmitidas en paralelo con la misma amplitud. OFDMA divide estas portadoras en espacios de portadoras en  $N_G$  grupos, cada grupo contiene  $N_E$  portadoras, ó  $N_E$  Sub-Canales, por lo cual una portadora (usuario) es asignada por cada grupo  $N_E$ . Por ejemplo, con OFDMA-2048 portadoras se traduce en  $N_E = 32$  portadoras y  $N_G = 48$  grupos ó Sub-Canales para el downlink; y  $N_E = 32$  portadoras y  $N_G = 56$  grupos ó Sub-Canales para el uplink. Las portadoras restantes se usan para bandas de guarda y portadoras pilotos. La modulación, codificación y amplitud son fijadas por separado por cada Sub-Canal basándose en las condiciones del canal de transmisión para optimizar el uso de los recursos de la red.

El Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA), permite que algunas Sub-portadoras sean asignadas a varios usuarios en un mismo tiempo. Por ejemplo, en la figura 2.7 las Sub-portadoras 1, 2 y 3 son asignados a los usuarios

2, 3 y 4; y las Sub-portadoras 4, 5, 6 y 7 a los usuarios 1, 3 y 4. Estos grupos de Sub-portadoras se conocen como Sub-Canales.

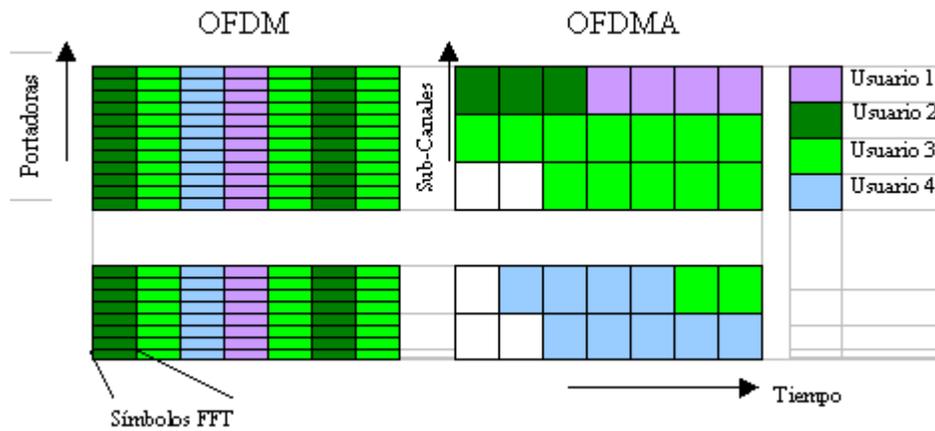


Figura 2.7 Uplink en OFDM y OFDMA

En OFDM, los dispositivos de usuario (CPE) se le asignan ranuras de tiempo para la transmisión, pero solamente un dispositivo de usuario podrá transmitir durante ese intervalo de tiempo. En OFDMA, Sub-Canales permite a varios dispositivos de usuario transmitir al mismo tiempo en el Sub-Canal asignado a cada uno, como es mostrado en la figura 2.7

SOFDMA (*Scalable OFDMA*, escalable OFDMA), permite ajustar el tamaño del símbolo FFT ó portadoras; lo que mejora su funcionamiento (eficiencia), para canales de menos demanda de ancho de banda. El estándar IEEE 802.16-2004 puede reducir el tamaño de portadoras a partir de 2048 a 128 FFT con ajustes del ancho de banda del canal que se extiende desde 1.25 MHz hasta 20 MHz. Esto permite que el espacio entre portadoras permanezca constante independientemente del ancho de banda del canal con lo cual se reduce su complejidad, recíprocamente también permite un símbolo FFT más grande incrementando el ancho de banda.

## 2.7.- Propagación LOS vs NLOS.

El canal de radio de un sistema de comunicaciones inalámbrico es descrito a menudo como con línea de vista (LOS) o sin línea de vista (NLOS). En un enlace LOS, la señal viaja a través de un camino directo y sin obstrucciones desde el transmisor hasta el receptor. Una conexión LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel esté libre de obstrucciones. Si no se cumple este requerimiento existirá una reducción significativa de la intensidad de la señal [2]. La zona de despeje de Fresnel requerida depende de la frecuencia de operación y de la distancia entre transmisor y localidades receptoras.

En un enlace NLOS, la señal alcanza al receptor por medio de reflexiones, difracciones y dispersiones. Las señales que alcanzan al receptor consisten en componentes del camino directo, multitrayectorias, energía de dispersión y caminos de propagación por difracción. Estas señales poseen distintos retardos, atenuaciones, polarizaciones y estabilidad relativa al camino directo.

El fenómeno de multitrayectorias puede también causar el cambio de la polarización de la señal. De esta manera usar polarización para re-uso de frecuencias, como es realizado normalmente en los sistemas LOS, puede ser problemático para los sistemas NLOS. La manera como los sistemas de radio usan estas señales de múltiples caminos como una ventaja, es la llave para proveer servicio en aplicaciones NLOS. Un producto que meramente incrementa la potencia para penetrar obstrucciones no es una tecnología NLOS puesto que este enfoque todavía cuenta con un camino directo fuerte sin el uso directo de energía presente en señales indirectas. Ambas condiciones de cobertura, LOS y NLOS son gobernadas por la características de propagación del medio ambiente, la pérdida del camino y el presupuesto del enlace de radio.

Existen grandes ventajas que hacen la propagación NLOS deseables. Por ejemplo, proyectos muy estrictos y restricciones de altura de antenas que a menudo no permiten a la misma estar posicionada para LOS. Para despliegues celulares contiguos de gran escala, donde el re-uso de frecuencia es crítico, bajar la antena es

ventajoso para reducir la interferencia co-canal entre celdas adyacentes. Esto fuerza a menudo la operación de las radio bases en condiciones NLOS. Los sistemas LOS no pueden reducir la altura de antena por que haciéndolo puede impactar en la línea de vista directa del equipo de abonado (CPE) a la estación base.

La tecnología NLOS también reduce los gastos de instalación del equipamiento de abonado (CPE), facilitando la instalación de los equipos. También reduce la necesidad de un sitio de pre-instalación mejorando la precisión de las herramientas de planificación de NLOS.

La tecnología NLOS y las funciones ampliadas en WiMAX hacen posible el uso de equipo de abonado (CPE) en interiores. Esto posee dos desafíos principales; en primer lugar la superación de las pérdidas de penetración por edificio y en segundo lugar, la cobertura de distancias razonables con la mínima potencia de transmisión y ganancia de antena que son usualmente asociadas a los equipos de interior de abonado. WiMAX hace esto posible y la cobertura NLOS puede ser además mejorada mediante la influencia de algunas de las capacidades opcionales de WiMAX.

## 2.8.- Soluciones Tecnológicas BWA NLOS para WiMAX.

La tecnología WiMAX soluciona o mitiga los problemas resultantes a la condición NLOS utilizando:

### 2.8.1.- Tecnología OFDM.

La tecnología OFDM provee de un medio eficiente para superar los desafíos de la propagación NLOS. La forma de onda WiMAX OFDM ofrece la ventaja de posibilitar la operación con un gran retardo de dispersión característico de los ambientes NLOS. Mediante la virtud de los símbolos de tiempo OFDM y el uso de los prefijos cíclicos, la onda OFDM elimina los problemas de la interferencia intersimbólica (ISI) y la complejidad de la ecualización adaptativa. Puesto que la

señal OFDM está compuesta de múltiples portadoras ortogonales, el desvanecimiento selectivo es localizado en sub-portadoras que son relativamente fáciles de ecualizar.

La habilidad de superar la dispersión de retardo, los multi-trayectos, y la ISI en una manera eficiente, permite tener mayores tasas de transferencias. Como ejemplo, es mucho más sencillo ecualizar las portadoras individuales de OFDM que ecualizar una señal de portadora simple más extensa; como las señales de microondas moduladas en FM.

### 2.8.2.- Duplexaje FDD y TDD.

#### 1. FDD (Frequency Division Duplexing, Duplexaje por División en Frecuencias).

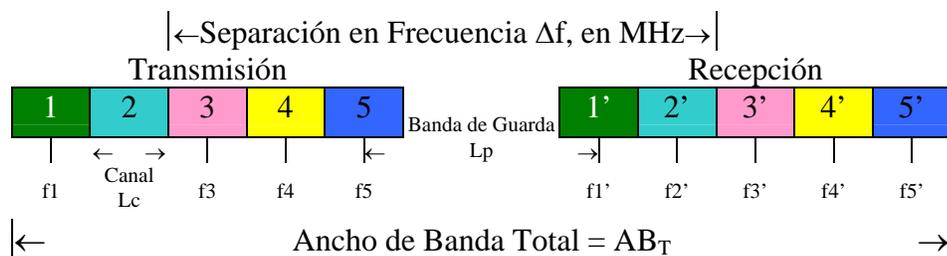


Figura 2.8 Duplexaje FDD.

$L_p$ : Banda de Guarda;  $L_c$ : Separación entre portadoras consecutivas.

$f_1, f_2, \dots, f_N$ : Frecuencias portadoras Semibanda inferior.

$f_{1'}, f_{2'}, \dots, f_{N'}$ : Frecuencias portadoras Semibanda superior.

$F_c$ : Frecuencia Central;  $N_c$ : Número de Canales.

$\Delta f$ : Separación entre dos canales bidireccionales.

FDD divide el espectro de frecuencias en dos bloques una para la transmisión y otro para la recepción, por lo cual requiere una banda de guarda entre el canal de transmisión y el canal de recepción.

El sistema FDD no puede realizar tráfico asimétrico, esto trae como consecuencia que porciones de ancho de banda no se utilicen completamente al

momento de que un usuario reduzca la demanda de ancho de banda en una dirección, como se muestra en la figura 2.9.

Esto hace que el sistema ofrezca tráfico fijo, y no permita al equipo tomar el ancho de banda excedente.

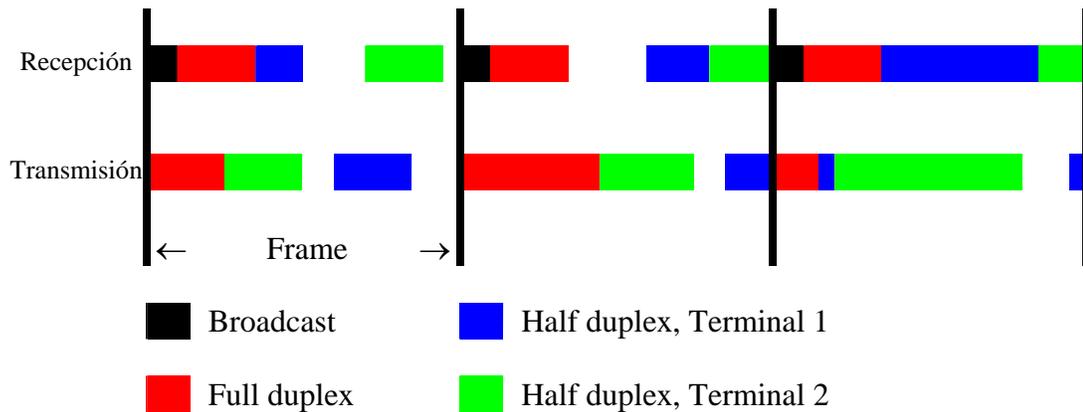


Figura 2.9 Eficiencia en la transmisión y recepción de cuatro usuarios en FDD

## 2. TDD (Time Division Duplexing, Duplexaje por División en Tiempo).

TDD utiliza tiempo en vez de frecuencia para proveer tanto los enlaces de bajada y de subida. Provee dos ranuras de tiempo simples en el mismo bloque de frecuencias. Por lo que se requiere de un tiempo de guarda entre la Transmisión y Recepción pero no bandas de guarda. De esta forma puede manejar tráfico simétrico como asimétrico dependiendo de la demanda del usuario, como se muestra en la figura 2.10.

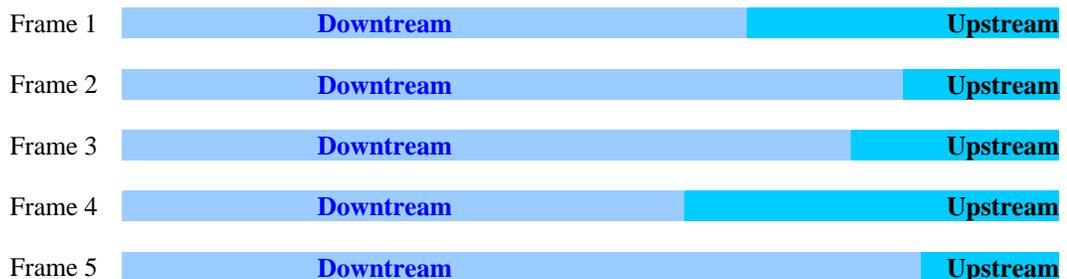


Figura 2.10 Ajustes del ancho de banda, dependiendo de la demanda de usuario.

Cada canal asignado (desde 1 hasta N canales, en un ancho de banda TDD) lleva datos ascendentes ó descendentes. Los datos son transferidos en una dirección y luego de transcurrir un tiempo de guarda ( $T_f$ , típicamente 50 a 200  $\mu$ S), el canal podrá transmitir de la forma inversa, como se muestra en la figura 2.11.

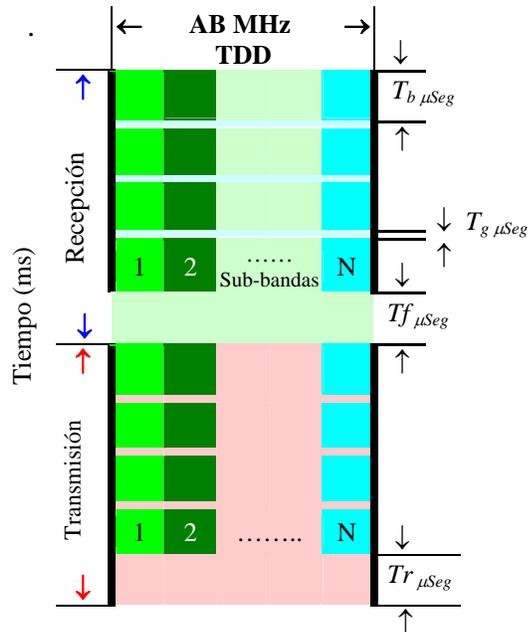


Figura 2.11 Transmisión y Recepción en un canal TDD

El sistema TDD ofrece eficiencia espectral, reduciendo los costos y dotado con una flexibilidad de tráfico asimétrico, que carece el sistema FDD.

### 2.8.3.- Sub-Canalización.

La sub-canalización en el enlace ascendente es una opción de WiMAX. Sin la sub-canalización, las restricciones regulatorias y la necesidad de costo efectivo en el equipo de abonado, típicamente causan que el presupuesto de enlace sea asimétrico, originando que el rango del sistema sea limitado en el enlace de subida. La sub-canalización permite que el presupuesto de enlace sea balanceado tal que las

ganancias del sistema de enlace ascendente y descendente sean similares. La sub-canalización concentra la potencia transmitida en algunas portadoras OFDM, incrementando la ganancia del sistema, pudiendo esto ser usado tanto para extender el alcance del mismo, superar las pérdidas de penetración de construcciones y/o reducir el consumo de potencia del equipo de abonado. El uso de sub-canalización se encuentra más expandido en el acceso OFDM (OFDMA), para permitir un uso más flexible de los recursos que puedan soportar la operación móvil.

#### 2.8.4.- Antenas direccionales para aplicaciones fijas.

Las antenas direccionales incrementan el margen de desvanecimiento mediante la adición de mayor ganancia. Esto incrementa la disponibilidad del enlace, demostrado en comparaciones del factor K para antenas omnidireccionales vs. direccionales [2]. La dispersión de retardo es reducida en antenas direccionales en las estaciones base y equipos de abonados. El patrón de antena suprime cualquier señal multi-trayecto que arriba en los lóbulos laterales.

Los sistemas de antenas adaptativas (AAs) son una parte opcional del estándar 802.16. estas tienen la propiedad de dirigir su foco a una particular dirección o direcciones. Esto significa que durante la transmisión, la señal puede ser limitada a la dirección requerida del receptor, como un reflector. Recíprocamente durante la recepción, el sistema de antenas adaptativas puede ser realizado para enfocar solamente en la dirección desde la cual viene la señal deseada. También poseen la propiedad de supresión de interferencia co-canal de otras localidades. Los sistemas de antenas adaptativas son consideradas para un desarrollo futuro que podrá, eventualmente, mejorar el re-uso del espectro y la capacidad de la red WiMAX.

#### 2.8.5.- Diversidad de Transmisión/ Recepción.

Las antenas de diversidad son usadas para tomar ventaja de las señales multi-trayecto y reflexiones que ocurren en condiciones NLOS. La diversidad es opcional

en WiMAX. El algoritmo de diversidad ofrecido por WiMAX en el transmisor y receptor incrementa la habilidad del sistema. La opción de diversidad en WiMAX Tx utiliza codificación de tiempo espacial para proporcionar independencia de la fuente de transmisión, esto reduce el requerimiento de margen de desvanecimiento y combate la interferencia. Para diversidad en recepción, existen varias técnicas de combinación para mejorar la disponibilidad del sistema. Por ejemplo, la combinación de relación máxima (MRC) toma ventaja de dos cadenas de recepción separadas para ayudar a superar el desvanecimiento y reducir las pérdidas de trayecto. La diversidad ha demostrado ser una herramienta efectiva para la propagación NLOS.

#### 2.8.6.- Modulación Adaptativa.

La modulación adaptativa permite al sistema WiMAX ajustar el sistema de modulación dependiendo de la condición de relación señal/ ruido (SNR) del enlace de radio. Cuando el enlace de radio tiene alta calidad, es usado el esquema de modulación más alto, dando al sistema mayor capacidad. Durante desvanecimiento de señal, el sistema WiMAX puede cambiarse a un esquema de modulación menor para mantener la calidad de conexión y estabilidad del enlace. Esta característica permite al sistema superar el desvanecimiento de tiempo selectivo. La característica clave de la modulación adaptativa es que esta incrementa el rango sobre el cual puede ser usado un esquema de modulación superior, como situación opuesta a tener un esquema fijo diseñado para la condición de peor caso.

#### 2.8.7.- Control de Potencia.

Los algoritmos de control de potencia son usados para mejorar el rendimiento global del sistema. Se encuentra implementado por la estación base enviando información de control de potencia a cada estación de abonado para regular el nivel de potencia transmitido, de esta manera el nivel recibido en la estación base está a un nivel predeterminado. En un ambiente dinámico de desvanecimiento cambiante, este

nivel predeterminado significa que el equipo de abonado solo transmite suficiente potencia para cumplir tal requerimiento. El caso opuesto puede ser que el nivel de transmisión del equipo de abonado está basado en las condiciones de peor caso. El control de potencia reduce el consumo de potencia global y la interferencia potencial con las otras estaciones bases adyacentes.

Para LOS la potencia de transmisión del equipo de abonado es aproximadamente proporcional a la distancia desde la estación base, para NLOS es también muy dependiente del despeje y de las obstrucciones.

## 2.9.- Bandas de Frecuencia de Trabajo.

Uno de los obstáculos a superar por el WiMAX Forum para acelerar el acceso inalámbrico de banda ancha (BWA) es el costo. Aunque el costo total de despliegue incluye un gran número de factores (licencias, espacio físico para las torres, costos de mantenimiento), el costo del equipo real es un componente importante, y es el tema clave a tratar por los proveedores de servicios y fabricantes implicados en el WiMAX Forum [3]. La armonización global, o la asignación uniforme del espectro radioeléctrico por todo el mundo, son cruciales para bajar los costos de equipos. Para minimizar estos costos, los sistemas de radio se deben optimizar para cada una de las principales bandas del espectro radioeléctrico identificadas como convenientes para los despliegues de la tecnología WiMAX.

Durante estos últimos tres años, el WiMAX Forum cree que un nivel razonable de la armonización global para los sistemas BWA se puede alcanzar en las bandas siguientes del espectro:

*Banda licenciada de 10 a 66GHz:* Para esta banda la línea de vista es requerida (LOS) y el fenómeno multi-trayectoria es insignificante. El Ancho de banda de los canales es de 25 o 28MHz con 120Mb/s. Esta banda es principalmente para aplicaciones SOHO (*Small Office/Home Office*).

Coexistencia de los sistemas fijos BWA en la banda de 23.5 y 43.5 GHz:

Permite la interoperabilidad con los sistemas fijos BWA existente en el mercado, como es el caso de Venezuela con la tecnología LMDS (Local Multipoint Distribution System) que opera dentro de esa banda. Además, la atenuación por absorción atmosférica (lluvia, gases) es mínima dentro del rango 23.5 a 43.5 MHz.

*Banda licenciada por debajo de 11 GHz:* El estándar puede trabajar con línea de vista (LOS) o sin ella (NLOS), para esta última se requieren funcionalidades en la capa PHY(Física) como el manejo de potencia, mitigación de interferencias, múltiples antenas, entre otras; el fenómeno “múltiples trayectorias” es muy significativo.

Banda Licenciada 3.5 GHz: El principal espectro asignado para aplicaciones BWA se encuentra entre las bandas de 3.4 y 3.6 GHz, aunque hay nuevas asignaciones entre las bandas de 3.3-3.4 GHz y 3.6-3.8 GHz. Las bandas entre 3.4 y 3.6GHz se han asignado para los sistemas fijos BWA en la mayoría de los países, a excepción de los Estados Unidos. En estas bandas, el objetivo del WiMAX Forum será reducir al mínimo los requisitos técnicos y los requerimientos regulatorios que pudieran inhibir los modelos típicos de los sistemas BWA, aplicaciones nómadas ó fijas, y el desarrollo del mercado global.

Banda Licenciada 2.5 GHz: Las bandas entre 2.5 y 2.7 GHz se han asignado a los Estados Unidos, México, Brasil y algunos de los países asiáticos sur orientales. El WiMAX Forum está participando en los esfuerzos globales en curso, tomadas de recomendaciones que surgieron de la Conferencia Mundial de Radio (CMR-00), con el objetivo de ampliar la disponibilidad de estas bandas para aplicaciones de banda ancha fija, portable y móviles.

*Bandas No licenciadas por debajo de 11 GHz:* por ejemplo 5 a 6 GHz, tienen las mismas especificaciones que las licenciadas por debajo de 11 GHz, pero tienen en cuenta las interferencias y coexistencias con otros operadores.

Banda No Licenciada 5 GHz: El rango de frecuencias de interés incluye bandas entre 5.25 y 5.85 GHz (las bandas entre 5.15 y 5.25 GHz está comúnmente designada para baja potencia y aplicaciones en interiores). En la mayoría de los países el espectro no licenciado es “libre” para ser usado. Estas bandas son estratégicas para mercados rurales y alejados de baja densidad poblacional. A diferencia del Wi-Fi que se enfoca sobre todo en aplicaciones para la red de área local en interiores, WiMAX se enfoca para aplicaciones de la red de área metropolitana en un rango más extenso (de interiores y exteriores). En la banda superior de 5 GHz (5.725-5.850 GHz), muchos países permiten una salida de potencia más alta de 4 watts contra 1 watt o menos de PIRE en las bandas más bajas de 5 GHz, lo que hace a esta banda más atractiva a los usos de WiMAX.

*Nuevas bandas de interés en frecuencias bajas:*

Las ondas de radio se propagan más lejos cuando más baja es la frecuencia de operación, creando una relación directa entre el número de las estaciones bases requeridas para cubrir un área de servicio dada. Específicamente, cuando más baja es la banda de frecuencia, se requiere pocas estaciones bases. Puesto que el costo de despliegue es uno de los factores dominantes para la aceleración de los sistemas BWA, el acceso a bandas de frecuencias más bajas lo hace difícil. No cabe la menor duda de que la disponibilidad de bandas de frecuencias más bajas para el acceso de banda ancha inalámbrica aumentará considerablemente la penetración de los sistemas BWA.

El WiMAX Forum trabaja con los estándares y regulaciones mundiales con el fin de acelerar la asignación de bandas licenciadas y no licenciadas en bandas de frecuencias más bajas. Bandas que se encuentran por debajo de 1 GHz, actualmente

vacantes o en uso en el rango de frecuencias de la TV analógica, rango menor a 800 MHz. Se espera llegar a esta disponibilidad mientras que la televisión analógica migre a la TV digital. Por ejemplo en los Estados Unidos, la FCC (Comisión Federal de las Comunicaciones) ha licenciado ya el espectro para el acceso inalámbrico de banda ancha en los canales de TV en la banda de frecuencia UHF 52- 59 (699-741 MHz) y está considerando la subasta de los canales en la banda de frecuencia UHF 60-69 (747-801 MHz). La FCC también ha publicado una consulta para el uso de bandas no licenciadas de canales de TV vacantes por debajo de los 700 MHz. El rango entre 512 y 698 MHz (canales 21-51) son los más aplicables debido a que frecuencias por debajo de 500 MHz (canales 2-20) hacen que las antenas sean voluminosas.

## 2.10.- Arquitectura de los sistemas BWA.

### 2.10.1.- Sistemas BWA punto-multipunto.

El downlink desde la estación base (BS) al usuario opera en la base PMP (punto-multipunto). El link inalámbrico IEEE 802.16 opera con BS central y una antena sectorizada la cual es capaz de manejar múltiples sectores independientes simultáneamente. Dentro de un canal de frecuencia dado y un sector de antena, todas las estaciones reciben la misma transmisión o parte de la misma. La BS es el único transmisor funcionando en esta dirección, de manera que transmite sin necesidad de coordinar con otras estaciones, excepto por la duplexión por división de tiempo que puede dividir en períodos de transmisión de uplink y downlink. El downlink es generalmente broadcast.

Las estaciones suscriptoras (SS) comparten el uplink hacia la BS bajo demanda. Dependiendo de la clase de servicio utilizada, la SS puede mantener los derechos de transmisión o el mismo puede ser garantizado por la BS luego de recibir el pedido por parte del usuario. Dentro de cada sector, los usuarios adhieren a un protocolo de transmisión que controla la contención entre usuarios y faculta al

servicio a ser acomodado a los requerimientos de ancho de banda y retardo de cada aplicación de usuario. Esto está implementado usando garantías de ancho de banda no solicitados, interrogación y procedimientos de contención. Estos procedimientos son definidos en los protocolos para posibilitar a los proveedores optimizar el desempeño del sistema, usando diferentes combinaciones de técnicas de asignación de ancho de banda mientras se mantienen definiciones de interoperabilidad consistentes. Por ejemplo, la contención puede ser usada para evitar la interrogación individual de estaciones abonado que han estado inactivas por un largo período de tiempo. El uso de la interrogación simplifica la operación de acceso y garantiza que aplicaciones reciban servicio de manera determinística, si es requerido. En general las aplicaciones de datos son tolerantes al retardo, pero las de tiempo real como video y voz requieren servicio de manera uniforme y a veces en un esquema muy rígido.

El MAC (Acceso al Medio) es orientado a conexión. Para el propósito de mapeo de servicios en SS's y QoS variables de asociación, todas las comunicaciones de datos están en el contexto de conexión. El flujo de servicio puede ser provisionado cuando una SS es instalada en el sistema. Rápidamente luego del registro de la SS, las conexiones son asociadas con este flujo de servicio (una conexión por flujo de servicio) para proveer una referencia contra quien requiere el ancho de banda. Adicionalmente, pueden ser establecidas conexiones nuevas cuando un servicio de cliente necesite cambios. Una conexión define el mapeo entre el proceso de convergencia que utiliza el MAC y el flujo de servicio. El flujo de servicio define los parámetros de QoS que son intercambiados en la conexión.

El concepto de flujo de servicio en una conexión es central en la operación del protocolo MAC. El flujo de servicio provee un mecanismo para el manejo de QoS del uplink y downlink. Una SS requiere ancho de banda uplink en la conexión. El ancho de banda es garantizado por la BS a la SS como un agregado de garantías en respuesta a requerimientos de conexión de SS.

Una vez establecidas las conexiones, puede ser requerido mantenimiento activo. Los requerimientos de mantenimiento varían dependiendo del tipo de servicio conectado. Por ejemplo, un servicio T1 no canalizado, virtualmente no requiere servicio de

mantenimiento dado que posee ancho de banda constante por cada frame (tamaño de trama). Los servicios T1 canalizados necesitan algún mantenimiento debido al requerimiento dinámico (pero relativamente de variación lenta) de ancho de banda, acoplado con el requerimiento de ancho de banda total disponible bajo demanda. Los servicios IP pueden necesitar una cantidad sustancial de mantenimiento prolongado debido a su naturaleza 'bursty' y debido a la alta posibilidad de fragmentación. Finalmente, las conexiones pueden ser terminadas. Esto ocurre generalmente cuando un contrato de servicio a un usuario cambia. La terminación de la conexión es estimulada por la BS o la SS.

Estas tres funciones de manejo de conexiones son soportadas a través del uso de configuraciones estáticas y adiciones dinámicas, modificaciones y borrado de conexiones.

#### 2.10.2.- Sistemas BWA malla (Mesh).

La diferencia principal entre los modos Mesh y PMP radica en que en el modo PMP el tráfico sólo ocurre entre la BS y SS, mientras que en el modo Mesh el tráfico puede ser ruteado a través de SSs y puede ocurrir directamente entre SSs. Dependiente del algoritmo del protocolo de transmisión, esto puede ser realizado en base a uniformidad usando programación distribuida o en base a superioridad de la malla BS, la cual efectivamente resulta en programación centralizada o una combinación de ambas. Dentro de una red Mesh, un sistema que posee conexión directa a los servicios de backhaul afuera de la red Mesh es denominado un Mesh BS. Todos los otros sistemas de la red Mesh son denominados Mesh SS. En general, los sistemas de la red Mesh son denominados nodos. Dentro de un contexto Mesh, el uplink y downlink son definidos como tráfico en la dirección de la Mesh BS y fuera de tráfico desde la Mesh BS respectivamente.

Los otros tres términos importantes en un sistema Mesh son vecino, vecindario y vecindario extendido. Las estaciones con las que el nodo tiene vínculo directo son llamadas vecinas. Los vecinos de un nodo deben formar un vecindario. Un vecino de

nodo es considerado estar a un hop o salto del nodo. Un vecindario extendido contiene, adicionalmente todos los vecinos de un vecindario.

En un sistema Mesh no sólo la Mesh BS puede transmitir sin tener que coordinar con los otros nodos. Usando programación distribuida, todos los nodos incluido la BS Mesh debería coordinar sus transmisiones en su vecindario a 2 saltos y podría difundir sus programaciones (recursos disponibles, requerimientos y garantías) a todos sus vecinos. Opcionalmente la programación puede ser establecida por requerimiento directo no coordinado y garantías entre 2 nodos. Los nodos deberían lograr que las transmisiones resultantes no causen colisiones con la programación de datos y control de tráfico por ningún otro nodo en el vecindario a 2 saltos. No hay diferencia en el mecanismo usado en determinar la programación para el downlink y uplink. Usando programación centralizada, los recursos son garantizados de una manera mas centralizada. La Mesh BS debe coleccionar los requerimientos de recursos desde todos los Mesh SS dentro de cierto rango de salto. Debe determinar la cantidad de recursos garantizados para cada enlace en la red en el downlink y uplink, comunican estas garantías a todas las SS MESH dentro del rango de salto. Los mensajes de garantía no contienen la programación actual pero cada nodo debe computarlo usando el algoritmo predeterminado dentro de un rango de parámetros dados.

Todas las comunicaciones están en el contexto de enlace, el cual es establecido entre dos nodos. Un enlace debe ser usado por todas las transmisiones de datos entre dos nodos. El QoS es provisionado a través de los enlaces por los mensajes. Los parámetros del QoS o no servicio son asociados con enlace pero cada mensaje unicast tiene parámetros de servicio en el encabezado. La clasificación de tráfico y regulación de flujo son implementados al ingreso de nodo por clasificación de capa alta/regulación de protocolo. Los parámetros de servicios asociados para cada mensaje deben ser comunicados juntos con el contexto de mensaje vía la MAC.

Los sistemas Mesh son típicamente omnidireccionales o para antenas dirigidas de 360°.

### 2.11.- Aplicaciones.

Las primeras versiones de WiMAX están pensadas para comunicaciones punto a punto o punto a multipunto, típicas de los radioenlaces por microondas. Las próximas ofrecerán total movilidad, por lo que competirán con las redes celulares. Los primeros productos que están comenzando a aparecer en el mercado se enfocan a proporcionar un enlace de alta velocidad para conexión a las redes fijas públicas o para establecer enlaces punto a punto. Así, WiMAX puede resultar muy adecuado para unir *hot spots* Wi-Fi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. El equipamiento Wi-Fi es relativamente económico pero un enlace E1 o DSL resulta costoso y a veces no se puede desplegar, por lo que la alternativa radio parece muy razonable. WiMAX extiende el alcance de Wi-Fi y provee una seria alternativa o complemento a las redes 3G, según como se observe.

Para las empresas, es una alternativa a contemplar, ya que el costo puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1. Se habla de WiMAX para el acceso residencial, pero en un futuro podría ser una realidad, sustituyendo con enorme ventaja a las conexiones ADSL, o de cable, y haciendo que la verdadera revolución de la banda ancha llegue a todos los hogares.

Otra de sus aplicaciones encaja en ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas. Es una tecnología muy adecuada para establecer radioenlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un coste muy competitivo frente a otras alternativas.

En los países en desarrollo resulta una buena alternativa para el despliegue rápido de servicios, compitiendo directamente con las infraestructuras basadas en redes de satélites, que son muy costosas y presentan una alta latencia.

Para los operadores móviles WiMAX es un arma de doble filo. Por una parte la instalación de estaciones base WiMAX es sencilla y económica, utilizando un hardware que llegará a ser estándar, por lo que puede ser visto como una amenaza, pero por otra parte, es una manera fácil de extender sus redes y entrar en un nuevo negocio en el que ahora no están presentes, lo que se presenta como una gran

oportunidad. Al mismo tiempo, nuevos operadores, fijos o móviles, o los tradicionales ISPs pueden ver una oportunidad para ofrecer servicios a ciertos nichos de mercado.

#### 2.12.- Tendencias Futuras.

La nueva generación de productos certificados por el WiMAX Forum ofrecerán redes de gran capacidad para aplicaciones que no requieren línea de vista entre equipos a precios económicos. Esto será posible debido a las ventajas técnicas del estándar IEEE 802.16, la disponibilidad masiva de chips y componentes WiMAX, y el alto volumen esperado de dispositivos y equipos certificados por el WiMAX Forum. La tecnología WiMAX evolucionará con el transcurso del tiempo. La primera generación de productos certificados WiMAX serán para unidades exteriores que podrán funcionar en aplicaciones con línea de vista entre equipo o sin ella. La segunda generación de equipos será para unidades interiores, con modems auto instalables similares a los modems de cable o DSL.

Para entonces, las redes WiMAX ofrecerán portabilidad, permitiendo el uso nómada, donde los clientes serán capaces de llevar su modem WiMAX o su computadora portátil con uno incorporado a cualquier lugar donde haya cobertura por parte de la red.

El grupo IEEE 802.16e está trabajando en la extensión del estándar 802.16d (estándar actualizado de sistemas fijos BWA) que añadirá la oferta de aplicaciones móviles. Una vez que el proceso de estandarización esté completado, la movilidad pasará a ser el paso natural para la tecnología WiMAX. En este sentido, la visión del WiMAX Forum es que la tecnología WiMAX no reemplazará las redes existentes 3G y Wi-Fi sino que será construida como una extensión u superposición de esas redes

Podemos esperar que la evolución de la tecnología vaya de la mano con un incremento en la demanda de redes de mayor capacidad que apoyen calidad de servicio y una amplia gama de aplicaciones corporativas y móviles. Los servicios evolucionarán de la simple oferta de Internet a ofertas más sofisticadas y diversas.

# CAPÍTULO III

## ESTATUS DE WiMAX EN LATINOAMÉRICA

### 3.1.- Regulación en Colombia.

#### 3.1.1.- Bandas Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Colombia.

Se considero atractivas bandas de frecuencias para el desarrollo y despliegue de la tecnología WiMAX la banda de 2.5 GHz y 3.5 GHz, por sus características de propagación y por su popularización internacional. Sin embargo la banda de 2.5 GHz de acuerdo a las Recomendaciones de la UIT y al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, se encuentra atribuida a titulo primario, a los Servicios Fijos Radioeléctricos, al Servicio Fijo por Satélite, al Servicio Móvil (salvo Móvil Aeronáutico), y al Servicio Móvil por Satélite (Espacio-Tierra). Muchos operadores utilizan esta banda de frecuencias en Colombia, lo que hizo difícil una atribución a corto o largo plazo para permitir el acceso a los sistemas BWA.

En Colombia, de acuerdo a las Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT y al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, la banda de frecuencia de 3.4 a 3.6 GHz se encuentra atribuida, a titulo primario, a los Servicios Fijos Radioeléctricos. Parte de la banda fue asignada en el país a los sistemas de acceso fijo inalámbricos (FWA/ WLL) que permiten conectar radio bases con centros de conmutación, para servicios de telefonía pública básica local (PSTN), local extendida o móvil rural como es mostrada en la figura 3.1.

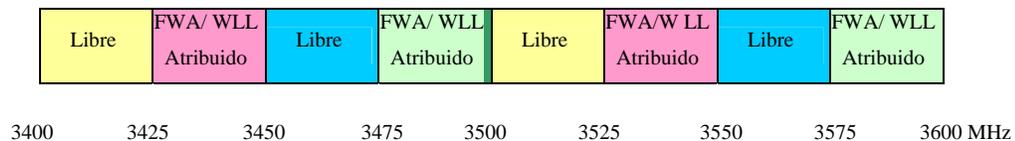


Figura 3.1 Estado de la banda 3.4 a 3.6 GHz, Colombia

La atribución presentada en la figura 3.1 fue entregada a nivel municipal, lo que significa una atribución nacional del 4,36% (fuente Ministerio de Comunicaciones). Esto implica que la banda de 3.5 GHz está muy poco utilizada, para lo cual se inicio un proceso de limpieza para la incursión de los sistemas fijos BWA.

La limpieza y nueva atribución de la banda de 3.5 GHz fue expedida por el Ministerio de Comunicaciones de Colombia mediante las Resoluciones 2064 publicada en el Diario Oficial del 15 de septiembre de 2005 y Resolución 2070 publicada el Diario Oficial del 16 de septiembre de 2005, donde se definió la atribución y adjudicación del espectro radioeléctrico para los sistemas de acceso de banda ancha BWA, mostrada en la figura 3.2.

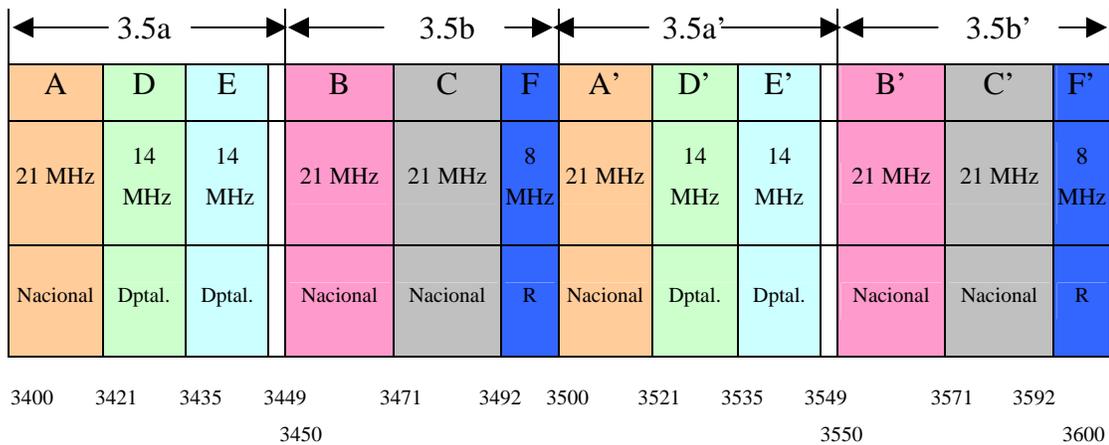


Figura 3.2 Resolución 2064 y 2070 para el servicio fijo BWA

La política adoptada por Colombia para las concesiones de la banda de 3.5 GHz son:[4]

- El otorgamiento de tres permisos de uso con área de operación nacional en la banda 3.5 GHz, cada una con canales de 21 MHz en los canales A, B y C, con el estándar FDD (Duplexión por División de Frecuencias).

Estos tres permisos se otorgarán a los operadores que cuenten con los siguientes requisitos:

1. Habilitación para prestar servicio de Larga Distancia y Valor Agregado.
  2. 1.000.000 de líneas fijas en el país.
  3. Ingresos operacionales superior a \$500.000 millones.
- El otorgamiento de dos permisos adicionales de área de operación departamental, cada uno de 14 MHz en los canales D y E. Para el momento de la adjudicación si el número de operadoras interesadas es mayor al número de bandas atribuidas, se adjudicará mediante concurso público y mediante criterios que tomen en cuenta planes de expansión tales como: capacidad técnica y operativa, capacidad financiera, presencia geográfica, calidad de los servicios ofrecidos, tiempo de ejecución, entre otros. Para estas bandas departamentales se tendrán en cuenta los requisitos establecidos para el otorgamiento de permisos nacionales, para efecto de fijar unos afines o similares siempre y cuando los mismos sean aplicables.
  - Una banda de reserva en el canal F para los fines que determine el Ministerio de Comunicaciones, en atención a las necesidades nacionales.

### 3.1.2.- Bandas No Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Colombia.

Las bandas de 2.4 GHz y 5.8 GHz ya fueron atribuidas para su libre utilización dentro el territorio nacional mediante sistemas de acceso inalámbricos y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por la Resolución 689 del Ministerio de Comunicaciones, publicada en el Diario Oficial del 28 de abril de 2.004. Estas operarán sobre una base de no interferencia y

no protección de interferencia, en aplicaciones de Telecomunicaciones que por su baja potencia puedan ser operadas sin que logren causar interferencia perjudicial a servicios de Telecomunicaciones primarios ó secundarios, con el fin de facilitar la coexistencia con otros servicios de Telecomunicaciones, y ejercer un control efectivo sobre el uso del espectro radioeléctrico, para lo cual son atribuidas las bandas dentro del territorio nacional, a título secundario: [5]

Banda de 902 a 928 MHz.

Banda de 2400 a 2483,5 MHz.

Banda de 5150 a 5250 MHz.

Banda de 5250 a 5350 MHz.

Banda de 5470 a 5725 MHz.

Banda de 5725 a 5850 MHz. para uso del estándar 802.16x

Estas bandas permitirán el libre desarrollo de la infraestructura nacional inalámbrica de banda ancha, a través de pequeñas y medianas empresas, y por entidades, corporaciones públicas y privadas, que puedan realizar aplicaciones de Red Inalámbrica de Área Local para facilitar sus necesidades de comunicación. La banda de 5725 a 5850 MHz, se aplicará para radiocomunicaciones puntuales de última milla, que permitirá conexiones de banda ancha a pequeñas poblaciones o centros poblados similar a las ofrecidas por el estándar 802.16x.

### 3.2.- Regulación en Chile.

#### 3.2.1.- Bandas Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Chile.

*Banda 2.5 GHz (2.5 a 2.7 GHz).*

Chile está adoptando nuevas normas técnicas para el uso de bandas de frecuencias que cumplan con las especificaciones de nuevos adelantos tecnológicos que permita

incentivar a pequeñas, medianas y grandes empresas al desarrollo de tecnologías emergentes.

Tecnologías como el estándar 802.16x, será desarrollada por Chile y formará parte de la red WiMAX más extensa del mundo. Esta será desarrollada inicialmente en 14 ciudades de Arica y Puerto Montt y contará con 22 estaciones bases. Para esto fue necesario hacer modificaciones al espectro radioeléctrico, así como también reubicaciones de operadores que estaban operando en bandas de frecuencias atribuidas para el desarrollo de la tecnología WiMAX

Las bandas de 2.5 GHz y 3.5 GHz están siendo modificadas por la Subsecretaria de Telecomunicaciones para permitir un desarrollo inicial de los sistemas fijos BWA, para lo cual se están modificando Resoluciones que permita una administración eficiente de la utilización del espectro radioeléctrico.

La Resolución 479 del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, publicada en el Diario Oficial del 03 de mayo de 2.005, fija normas técnicas para el uso de las bandas de frecuencias de 2.5 a 2.7 GHz, utilizando como base la propuesta realizada por el WiMAX Forum del uso de 70 MHz al comienzo y 70 MHz al final de la banda para operación FDD (Duplexaje por División de Frecuencias), y 50 MHz en la mitad de la banda para operación TDD (Duplexaje por División de Tiempo). Para lo cual se fija la siguiente norma técnica para el uso de las bandas: [6]

Banda 2.496 a 2.572 MHz

Banda 2.572 a 2.614 MHz.

Banda 2.614 a 2.690 MHz.

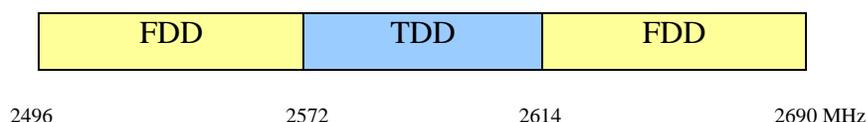


Figura 3.3 Planificación en Chile, banda 2.5 GHz

La canalización de las bandas FDD se hará de acuerdo a la evolución tecnológica y recomendaciones o acuerdos de organismos internacionales. Los permisos y concesiones serán otorgados mediante concurso público en dichas bandas y será expedida por futuras resoluciones.

La canalización TDD ha sido distribuida en bloques de frecuencias para la operación de equipos de radiocomunicaciones del servicio fijo, que empleando tecnología digital de libre elección, permita transportar varios programas de TV en un canal de 6 MHz o transportar señales de voz, datos y vídeo como se muestra en la figura 3.4.

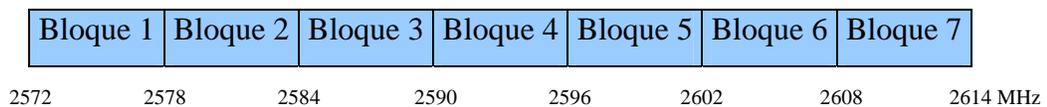


Figura 3.4 Disposición de Radiofrecuencias bloque TDD, banda 2.5 GHz

#### *Banda 3.5 GHz (3.4 a 3.6 GHz)*

Chile al querer introducir sistemas inalámbricos de banda ancha en la banda de 3.5 GHz, se vio en la necesidad de realizar modificaciones a la Resolución 1498 del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, publicada en el Diario Oficial del 22 de octubre de 1.999; mediante las Resoluciones 1496 del 12 de diciembre de 2.000 y posteriormente por la Resolución 901 del 01 de agosto de 2.003, que por medio de la Resolución 584 de 2.000 de la Honorable Comisión Resolutiva; hizo presente la necesidad de modificar la norma técnica establecida por la Resolución 1498, dado a que en el concurso público para el otorgamiento de concesiones en la banda de 3.5 GHz hubieron muy pocos interesados y las concesionarias que se adjudicaron no pudieron llevar a efecto sus proyectos técnicos, renunciando a sus respectivas concesiones.

Por esta razón, la nueva resolución en Chile para la banda de 3.5 GHz permite incentivar a nuevos operadores a incursionar en los sistemas BWA, tales como el estándar 802.16x.

La nueva canalización de la banda de 3.5 GHz es la mostrada en la figura 3.5.

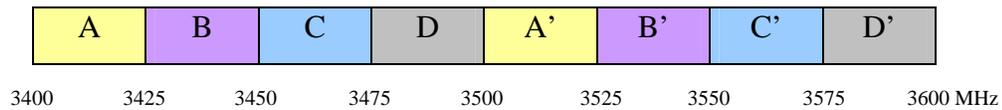


Figura 3.5 Atribución de la banda de 3.5 en Chile.

Cabe mencionar que la atribución de esta banda de frecuencia fue llevada a cabo por la propuesta hecha por el WiMAX Forum y el ETSI, donde se especifican Bloques de 25 MHz en la banda de 3.4 a 3.6 GHz. Además, si se emplea Duplexaje por División de Tiempo (TDD), no se aplicará la división de frecuencias para transmisión y recepción mostrada en la figura 3.5.

Estos bloque de frecuencias entrarán a concurso público hasta enero de 2.006 según Resolución 696 del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, publicada en el Diario Oficial del 28 de junio de 2.005.

### 3.3.- Regulación en Perú.

#### 3.3.1.- Bandas Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Perú.

La nota P58 del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, establece que la banda de 2.5 a 2.7 GHz se mantendrá en reserva. Esta situación de reserva fue establecida por el Ministerio como consecuencia de los resultados de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2000, por lo cual el Ministerio dejó de realizar asignaciones a esta banda por considerar un potencial uso a las nuevas tendencias internacionales en Telecomunicaciones, a fin de darle una administración eficiente al espectro radioeléctrico, acorde a los avances tecnológicos.



operadores existentes y hacia que banda. Estas opiniones y contribuciones ayudaran a la evaluación y futuras resoluciones por parte del Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú.

### 3.3.2.- Bandas No Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Perú

Mediante Resolución Ministerial 626-2004, publicada en El Peruano el 19 de agosto de 2004, se aprobó en Perú las condiciones de operación cuyos equipos utilizan las bandas:

Banda de 902 a 928 MHz.

Banda de 2400 a 2483,5 MHz.

Banda de 5150 a 5250 MHz.

Banda de 5250 a 5350 MHz.

Banda de 5470 a 5725 MHz.

Banda de 5725 a 5850 MHz. para uso del estándar 802.16x

Todas las bandas están atribuidas a título secundario para los servicios fijos y/o móvil, público y/o privado; operando sobre una base de no interferencia y no protección de interferencia [7]. En la figura 3.7 se muestra la atribución de la banda de 5 GHz separada en bloques que cumplan con las recomendaciones, especificaciones y estándares internacionales para el desarrollo de los sistemas fijos y móviles de banda ancha.



Figura 3.7 Atribución a la Banda de 5 GHz en Perú.

La banda comprendida entre 5725 a 5850 MHz es utilizada para comunicación de ultima milla, mediante el estándar TDD (Duplexion por División de Tiempo), operando con una potencia máxima irradiada de 4 W, con una potencia pico máxima de salida de un transmisor de 1 W. Esta banda se encuentra bajo la condición de aceptar interferencias resultantes de las aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas, y que bajo ningún caso estos pueden causar interferencias a éstas, según Resolución 777/ 2005 del Ministerio de Transporte de Comunicaciones, publicada en El Peruano el 31 de octubre de 2.005.

### 3.4.- Regulación en Brasil.

#### 3.4.1.- Bandas Licenciadas por debajo de 11 GHz atribuidas en Brasil.

El Ministerio de Comunicaciones de Brasil a través de su ente Regulador en Telecomunicaciones ANATEL, elaboro nueva normativa la cual se sometió a consulta pública y fue aprobada por los operadores involucrados en querer adquirir concesiones para el desarrollo de los sistemas inalámbricos de banda ancha. Las modificaciones son para el uso de las bandas de 3.5 GHz y 10.5 GHz, ambas licenciadas, las cuales serán subastadas para un despliegue inicial de WiMAX.

ANATEL, elaboro la canalización de las bandas de 3.5 GHz y 10.5 GHz, en función de las recomendaciones, estandarizaciones y normas de organismos internacionales. Las mismas se clasificaron para ser otorgadas por regiones y tipo de Área de Numeración identificadas en el Plano General de Códigos Nacionales (PGCN).

Para la banda de 3.5 se utilizó una canalización de 1.75 MHz y para la de 10.5 MHz se utilizo una canalización de 7 MHz, ambas con el estándar de Duplexaje por División de Frecuencias (FDD). Este tipo de administración del espectro electromagnético le permite a Brasil armonizar con las nuevas tendencias tecnológicas sobre los sistemas inalámbricos de banda ancha y estar bajo los lineamientos establecido por el WiMAX Forum.

En la figura 3.8 y figura 3.9 se muestran la canalización realizada por ANATEL a la banda de 3.5 GHz y 10.5 GHz respectivamente, donde se ofrece a licitación N° 003/SPV- ANATEL.

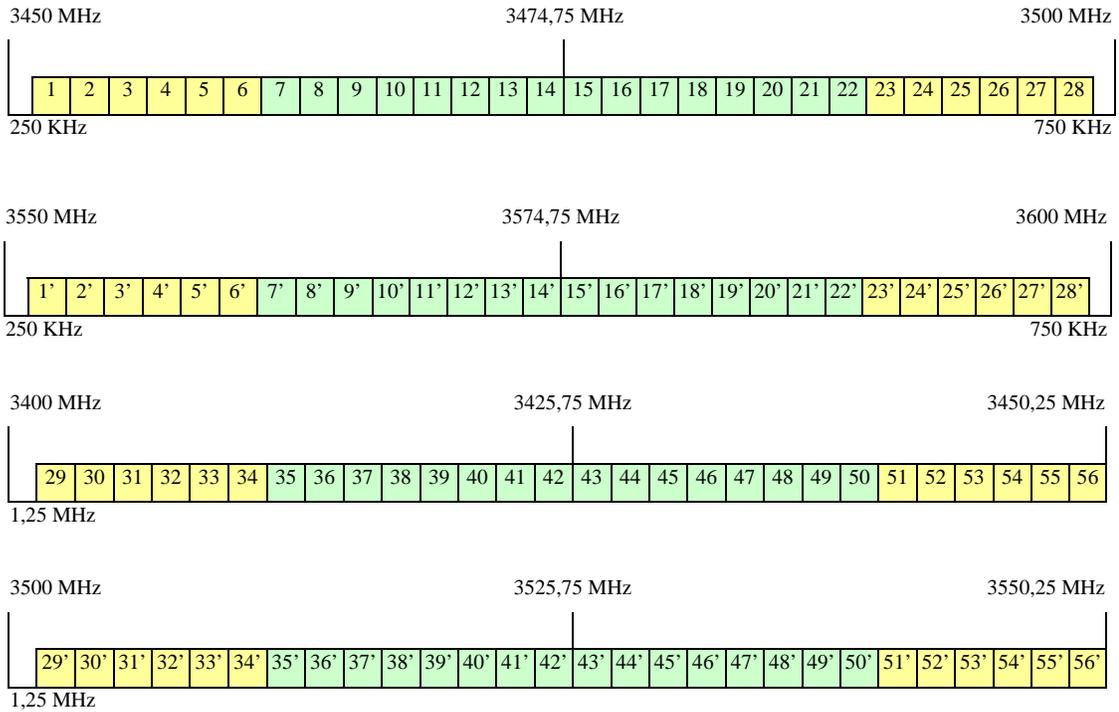


Figura 3.8 Descripción gráfica de pares de bloques de 1.75 MHz, banda 3.5 GHz.

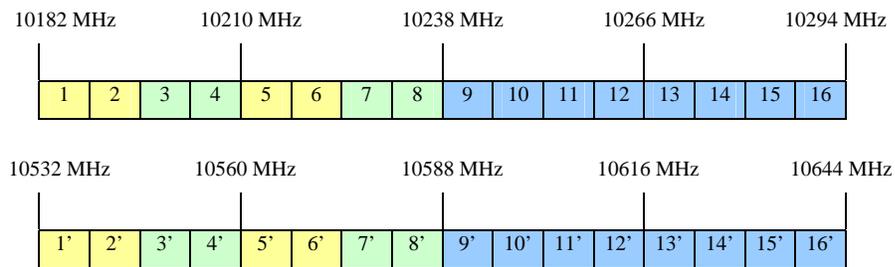


Figura 3.9 Descripción gráfica de pares de bloques de 7 MHz, banda 10.5 GHz.

Leyenda:

- Pares de bloques destinados a uso Regional
- Pares de bloques destinados a uso en Áreas de Numeración
- Licitación Oportuna

## CAPÍTULO IV

### ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN VENEZUELA

#### 4.1.- Situación actual de las bandas de operación de WiMAX en Venezuela.

Muchas de las bandas de frecuencias que el estándar 802.16x propone para un despliegue inicial o desarrollos futuros, están siendo utilizadas por otros operadores a nivel nacional en Venezuela. En algunos países estas bandas de frecuencias fueron depuradas y planificadas para permitir acceder a tecnologías emergentes y así estar a la disposición de los diferentes servicios de banda ancha que se encuentran disponible a nivel mundial.

En Venezuela, esta depuración y planificación de las bandas de frecuencias aún no se ha realizado. La mayoría de las bandas de operación para el desarrollo de los sistemas BWA como WiMAX, fueron subastadas y otorgadas en concesión a algunas de las más importantes empresas en Telecomunicaciones a nivel nacional y regional; para ofrecer servicios de difusión por suscripción, servicios de telefonía básica local, servicios de Internet, transporte y acceso a redes de datos.

Algunos operadores no han podido desarrollar a nivel nacional los servicios que fueron previstos al momento que se le otorgó la banda de frecuencia; por no disponer de una importante inversión inicial para su desarrollo. El despliegue de tecnologías como lo son WLL, LMDS, MMDS necesitaban grandes inversiones para ser instaladas de manera masiva, debido a que estas tecnologías son propietarias de las compañías que las instalaban, ofreciendo un rendimiento limitado. Además, el incremento de los gastos para modernizar sus redes y los gastos de inversión para la habilitación de las licencias contribuyó a la reducción de las inversiones, como es el caso en la banda de 3.5 GHz donde se pagaron grandes sumas de dinero para obtener en concesión las bandas solicitadas; lo que redujo la relación beneficio costo que muchas de las empresas tenían previsto.

Todos estos factores contribuyeron a que en Venezuela no se le haya dado un uso adecuado a algunas bandas de frecuencias. En tal sentido, en función de las tendencias internacionales respecto al potencial uso que se le dan a estas bandas de frecuencias, a fin de otorgar un uso eficiente al espectro radioeléctrico, sería conveniente estar acorde con los avances tecnológicos y así ofrecer un mejor servicio de banda ancha al usuario.

#### 4.1.1.- Bandas para un despliegue inicial de WiMAX.

##### 4.1.1.1.- Situación de la banda de 2.5 GHz, licenciada.

La FCC (*Federal Communications Comisión*, Comisión Federal de Comunicaciones) atribuye la banda de 2.5 GHz para las asignaciones de los Sistemas Multicanales de Distribución Multipunto (MMDS) en siete Grupos: Grupo A, Grupo B, Grupo C, Grupo D, Grupo E, Grupo F y Grupo G. Estos Grupos ocupan los valores de frecuencias que van de 2.5 GHz hasta 2.7 GHz con ancho de banda de los canales de 6 MHz.

La atribución de banda de frecuencia de 2.5 GHz consta de 31 canales de 6 MHz, distribuidos en bloques de cuatro canales intercalados; para evitar la interferencia co-canal entre sistemas adyacentes, como se muestra en la figura 4.1.

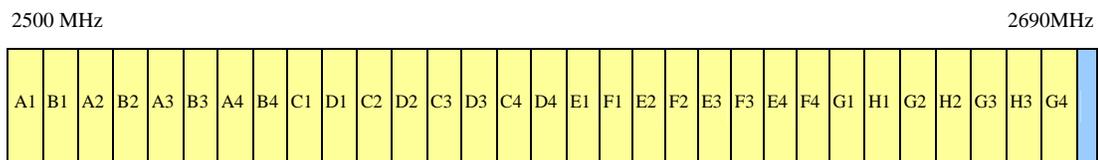


Figura 4.1 Canalización de la banda de 2.5 GHz en Venezuela, propuesta de la FCC (Federal Communications Comisión)

En Venezuela se atribuyó la planificación de la FCC para el desarrollo de los Sistemas Multicanales de Distribución Multipunto (MMDS) establecido en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CUNABAF), específicamente en su nota V.22: “La porción del espectro radioeléctrico comprendida entre 2500-2686 MHz está atribuida, entre otros, al atributo de difusión por suscripción, con ancho de banda por canal de 6 MHz” [8].

La tabla 1, muestra la asignación actual en Venezuela de los servicios de difusión por suscripción que operan con tecnología MMDS (Sistema de Distribución Multipunto por Microondas).

<b>Operador</b>	<b>Canales Reservados (MHz)</b>	<b>Área de Concesión</b>
<b>OMNIVISIÓN</b>	8 canales: D2 2566-2572 C3 2572-2578 D3 2578-2584 C4 2584-2590 D4 2590-2596 E1 2596-2602 F1 2602-2608 E2 2608-2614	Caracas Valencia Maracay Barquisimeto Maracaibo Pto. La Cruz Puerto Ordaz
<b>TMS Trasmisiones Multisatelitales (Cablevisión)</b>	10 canales: A1 2500-2506 B1 2506-2512 A2 2512-2518 B2 2518-2524 A3 2524-2530 B3 2530-2536 A4 2536-2542 B4 2542-2548 C1 2548-2554 D1 2554-2560	Cobertura a nivel nacional

<p style="text-align: center;"><b>TVS, C.A.</b>  <b>Venezolana de Transmisión y Satélites</b>  <b>(Cablevisión)</b></p>	<p>10 canales:  E3 2620-2626  F3 2626-2632  E4 2632-2638  F4 2638-2644  G1 2644-2650  H1 2650-2656  G2 2656-2662  H2 2662-2668  G3 2668-2674  H3 2674-2680</p>	<p>Cobertura a nivel nacional</p>
<p style="text-align: center;"><b>Servicio de Comunicación Internacional, C.A.</b></p>	<p>11 canales:  2560-2566  2566-2572  2572-2578  2578-2584  2584-2590  2590-2596  2596-2602  2602-2608  2608-2614  2614-2620  2680-2686</p>	<p>Porlamar, Estado Nueva Esparta</p>

Tabla 1. Disposición actual de la banda de 2.5 GHz en Venezuela.

En la base de datos que posee la División de Planificación y Administración del Espectro Radioeléctrico en CONATEL, se encuentra reservados todos los posibles canales a ser asignados en la banda de 2.5 GHz. Los canales libres dentro de esta banda no podrán ser asignados, debido a que estos son canales de guarda para evitar interferencias entre las operadoras que poseen la reserva. En la tabla 2 se muestra la distribución de los canales en la referida base de datos:

<b>OPERADOR</b>	<b>CANALES (MHz)</b>		<b>COBERTURA</b>
TMS	A1	2500-2506	CCS, PLC, PLM, MBO, *MCY, PO, *BAR, *VAL, GNS
TMS	B1	2506-2512	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, PO, BAR, VAL, GNS
TMS	A2	2512-2518	CCS, PLC, PLM, MBO, *MCY, PO, BAR, VAL, GNS
TMS	B2	2518-2524	CCS, *PLC, PLM, MBO, MCY, PO, *BAR, VAL, GNS
TMS	A3	2524-2530	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, PO, BAR, VAL, GNS
TMS	B3	2530-2536	CCS, PLC, PLM, MBO, *MCY, PO, *BAR, *VAL, GNS
TMS	A4	2536-2542	CCS, *PLC, PLM, MBO, MCY, PO, BAR, VAL, GNS
TMS	B4	2542-2548	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, PO, BAR, VAL, GNS
TMS	C1	2548-2554	CCS, PLC, PLM, MBO, *MCY, PO, BAR, VAL, GNS
TMS	D1	2554-2560	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, PO, BAR, VAL, GNS
	C2	2560-2566	<b>CANAL DE GUARDA</b>
OMNIVISIÓN	D2	2566-2572	CCS, VAL, MCY, BAR, MBO, PLC, PO
OMNIVISIÓN	C3	2572-2578	CCS, VAL, MCY, BAR, MBO, PLC, PO
OMNIVISIÓN	D3	2578-2584	CCS, VAL, MCY, BAR, MBO, PLC, PO
OMNIVISIÓN	C4	2584-2590	CCS, VAL, MCY, BAR, MBO, PLC, PO
OMNIVISIÓN	D4	2590-2596	CCS, VAL, MCY, BAR, MBO, PLC, PO
OMNIVISIÓN	E1	2596-2602	CCS, VAL, MCY, BAR, MBO, PLC, PO
OMNIVISIÓN	F1	2602-2608	CCS, VAL, MCY, BAR, MBO, PLC, PO
OMNIVISIÓN	E2	2608-2614	CCS, VAL, MCY, BAR, MBO, PLC, PO
	F2	2614-2620	<b>CANAL DE GUARDA</b>
TVS	E3	2620-2626	CCS, PLC, PLM, MBO, *MCY, *VAL, PO, BAR, GNS
TVS	F3	2626-2632	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, VAL, PO, BAR, GNS
TVS	E4	2632-2638	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, VAL, PO, BAR, GNS
TVS	F4	2638-2644	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, VAL, PO, BAR, GNS
TVS	G1	2644-2650	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, VAL, PO, BAR, GNS
TVS	H1	2650-2656	CCS, PLC, PLM, MBO, *MCY, *VAL, PO, BAR, GNS
TVS	G2	2656-2662	CCS, *PLC, PLM, MBO, MCY, VAL, PO, BAR, GNS
TVS	H2	2662-2668	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, VAL, PO, BAR, GNS
TVS	G3	2668-2674	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, VAL, PO, BAR, GNS
TVS	H3	2674-2680	CCS, PLC, PLM, MBO, MCY, VAL, PO, BAR, GNS
	G4	2680-2686	<b>CANAL DE GUARDA</b>
	H4	2686-2692	NO SE UTILIZA
	I1	2690-2698	NO SE UTULIZA

Tabla 2. Ocupación Espectral de la banda 2.5 GHz.

#### 4.1.1.2.- Situación de la banda de 3.5 GHz, licenciada.

La oferta pública de la tecnología Wireless Local Loop (WLL), que fue realizada por la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) entre los días 28 de noviembre de 2.000 y 21 de febrero de 2.001, estuvo enmarcada dentro del Proceso de Apertura de los Servicios de Telefonía Básica, y generó resultados sumamente positivos para Venezuela.

A través de esta Oferta Pública, por primera vez en la historia de las Telecomunicaciones del país se elimina el carácter discrecional que hasta el momento se había tenido en la entrega de concesiones para la explotación de porciones del Espectro Radioeléctrico. Por ello, la subasta de la porción del Espectro perteneciente a la tecnología WLL (3.4 a 3.6 GHz) constituyó un proceso inédito y exitoso por demás [9]. En la tabla 3, se muestra las empresas que obtuvieron las bandas de frecuencias que fueron subastadas y otorgadas por CONATEL.

Regiones	Banda A-A'	Banda B-B'	Banda C-C'
<b>Región 1</b> Distrito Capital, Vargas, Miranda y Dependencias Federales	<b>TELCEL</b> US\$ 2.500.000	<b>GENESIS</b> US\$ 3.800.000	<b>ENTEL CHILE</b> US\$ 1.500.000
<b>Región 2</b> Mérida, Táchira Trujillo, Zulia	<b>TELCEL</b> US\$ 1.500.000	<b>GENESIS</b> US\$ 860.000	<b>MILLICOM</b> US\$ 800.000
<b>Región 3</b> Apure, Aragua, Barinas, Carabobo, Cojedes, Guárico	—————	<b>TELCEL</b> US\$ 4.300.000	<b>GENESIS</b> US\$ 1.200.000
<b>Región 4</b> Amazonas, Anzoátegui, Bolívar, Delta Amacuro, Monagas, Nueva Esparta, Sucre	<b>TELCEL</b> US\$ 800.000	<b>GENESIS</b> US\$ 560.000	<b>DIGICEL</b> US\$ 300.000
<b>Región 5</b> Falcón, Lara, Portuguesa, Yaracuy.	<b>TELCEL</b> US\$ 1.000.000	<b>GENESIS</b> US\$ 400.000	<b>DIGITEL</b> US\$ 720.000
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b> <b>5.800.000</b>	<b>US\$</b> <b>9.920.000</b>	<b>US\$</b> <b>4.520.000</b>
<b>FIANZA NETSAT</b>	<b>US\$</b> <b>250.000</b>		

Tabla 3. Resultados de la subasta de Wireless Local Loop (WLL)

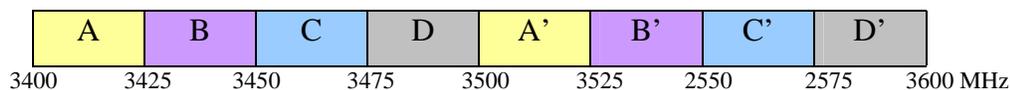


Figura 4.2 Distribución de las sub-bandas otorgadas.

Sin embargo, no es un secreto que los fabricantes de tecnologías inalámbricas estaban pasando por tiempos difíciles debido, por una parte a la reducción de las inversiones que los operadores establecidos, en el ámbito mundial, estaban poniendo en práctica después de pasar un período de gastos intensos para modernizar las redes; en segundo lugar a la agitación que los operadores entrantes estaban experimentando en el mercado de valores y, por último, a las grandes inversiones producto de la constante evaluación de nuevas tecnologías para llevar los servicios a los usuarios finales de la forma más lucrativa posible.

En tal sentido, las promesas de algunos fabricantes en cuanto al desarrollo de tecnologías inalámbricas WLL en la banda mencionada, que hicieran posible el despliegue de servicios de banda ancha a usuarios a través de medios inalámbricos, no se cumplió en los años subsiguientes. Los operadores en Venezuela no escaparon de esta realidad, y a pesar de las expectativas que produjo el éxito de la oferta pública realizada, la prestación de servicios en esta banda es escasa.

Básicamente, uno de los problemas tecnológicos fundamentales radica en que las soluciones inalámbricas existentes al momento de la subasta, sólo operaban utilizando línea de vista (LOS), lo cual introducía las limitaciones de cobertura mencionadas anteriormente.

A pesar de las dificultades mencionadas, el incremento sostenido en la demanda del ancho de banda, relacionado con un mejor acceso a Internet y a las redes de datos en general, permite intuir que se debe esperar un incremento, tanto de los servicios de telecomunicaciones como de la necesidad de equipos de lazo local. En otras palabras, los suscriptores residenciales y comerciales de todo el mundo están requiriendo de conexiones más rápidas para satisfacer sus necesidades. Aunque DSL y Cable son tecnologías que buscan mantenerse en posición de dominio para el

acceso de banda ancha, las tecnologías de acceso inalámbrico son cada vez más frecuente, la mejor o única alternativa de proveer acceso a servicios de voz y datos.

**TELCEL C.A.(Actualmente Movistar):** En el mes de diciembre de 2.000, CONATEL otorgó a la empresa TELCEL concesiones para uso y explotación del espectro en la sub-banda A-A' (regiones 1,2,4,5) y en la sub-banda B-B' (región 3).

**GÉNESIS TELECOM, C.A.:** En el mes de mayo de 2.001, CONATEL otorgó a la empresa GÉNESIS concesiones para el uso y explotación del espectro en la sub-banda B-B' (regiones 1,2,4,5) y en la sub-banda C-C' (región 3).

**ENTEL VENEZUELA, C.A.:** En el mes de marzo de 2.001, CONATEL otorgó a la empresa ENTEL una concesión para uso y explotación del espectro en la sub-banda C-C' (región 1)

**DIGICEL, C.A.:** En el mes de julio de 2.001, CONATEL otorgó a la empresa DIGICEL una concesión para uso y explotación del espectro en la sub-banda C-C' (región 4).

**DIGITEL, C.A.:** En el mes de agosto de 2.003, CONATEL otorgó a la empresa DIGITEL una concesión para uso y explotación del espectro en la sub-banda C-C' (región 5).

**MILLICOM, C.A.:** En el mes de diciembre de 2.000, CONATEL otorgó a la empresa MILICOM la buena pro para el uso y explotación del espectro en la sub-banda C-C' (región 2). Esta empresa solicitó la renuncia a la misma.

#### 4.1.1.3.- Situación de la banda de 5.8 GHz, no licenciada.

El Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CUNABAF) establece en su nota V.26 lo siguiente; “La porción del espectro radioeléctrico comprendida entre 5725-5850 MHz está atribuida a los atributos de telefonía fija local, servicios de Internet, transporte y acceso a redes de datos, para el cumplimiento de las obligaciones de Servicio Universal previstas en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones. Asimismo, se destina esta porción del espectro radioeléctrico para uso gubernamental.”[8]

Asimismo, la Resolución N° 236, contentiva de las condiciones para la calificación de los Equipos de Uso Libre, establece que los transmisores de espectro esparcido, dispositivos para redes inalámbricas y sistemas de modulación digital serán calificados como equipos de uso libre en la banda de 5.725 a 5.850 GHz siempre que operen con una Potencia Efectiva Irradiada Isotrópicamente (PIRE) que no supere 1 Watt. Es decir, en estas circunstancias, tales equipos nunca requerirán de concesión de uso y explotación del espectro radioeléctrico ni tampoco se requerirá de habilitación administrativa para su instalación u operación, excepto cuando se realice la prestación de servicios a terceros, en cuyo caso se requerirá de la obtención de la habilitación administrativa con el atributo respectivo.

De lo expuesto en el CUNABAF, se interpreta que sólo se podrán otorgar títulos de concesión en la banda de 5.8 GHz a los operadores que estén cumpliendo obligaciones derivadas del Servicio Universal, razón por la cual sólo estos tendrán expectativas de derecho sobre la utilización de las frecuencias en la banda mencionada.



El Cuadro Nacional de Bandas de Frecuencias (CUNABAF) establece en su nota V.21: “La sub-banda de frecuencias comprendida entre 2300-2450 MHz está atribuida a los atributos de telefonía fija local, servicios de Internet, transporte y acceso a redes de datos, para el cumplimiento de las obligaciones de Servicio Universal previstas en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones. Asimismo, se destina esta sub-banda de frecuencias para uso gubernamental”[8]

El total de operadores que prestan servicio en la sub-banda 2.3 a 2.4 GHz es de cuatro operadores, el que presenta mayor servicio a nivel nacional es PDVSA (Petróleos de Venezuela), donde el mayor número de concentración de enlaces de microondas están contenido en el estado Anzoátegui.

**CONATEL, en miras de alcanzar el desarrollo socializando el uso y aplicación de las telecomunicaciones ve factible la utilización de esta sub-banda de frecuencia para la aplicación y desarrollo del Servicio Universal, definido en el artículo 49 de la LOTEL. En tal sentido CONATEL está realizando un estudio de esta banda para el despliegue y desarrollo de los servicios inalámbricos de banda ancha para garantizar la prestación del Servicio Universal de Telecomunicaciones.**

#### 4.2.2.2.- Situación de la banda de 3.3 a 3.4 GHz.

La porción de espectro radioeléctrico comprendida entre 3.3 a 3.4 GHz no se encuentra asignada a ningún operador, es decir, se encuentra libre para su uso y explotación. El CUNABAF establece esta porción del espectro radioeléctrico al servicio de Radiolocalización, Aficionado, Fijo y Móvil en Venezuela.

En tal sentido una canalización a corto plazo permite a CONATEL adecuar esta porción a los sistemas móviles y fijos inalámbricos de banda ancha.

4.2.2.3.- Situación de la banda de 3.6 a 3.7 GHz.

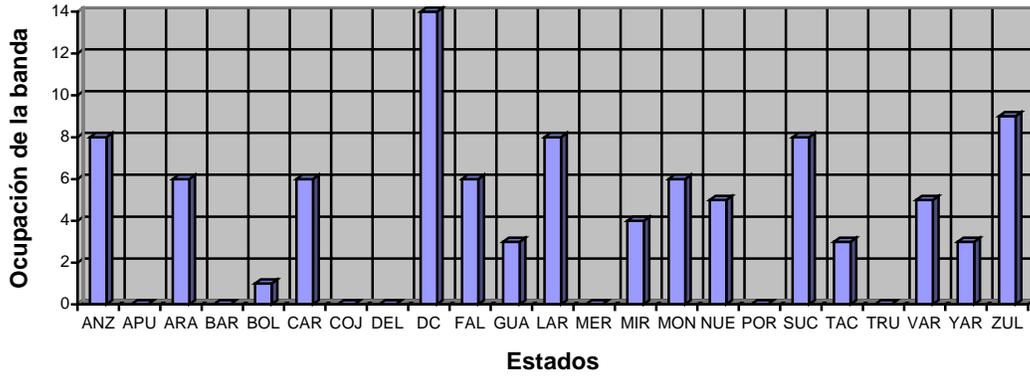


Figura 4.4 Ocupación de la banda 3600 a 3700 MHz por estados



Tabla 5. Ocupación espectral de la banda 3600 a 3700 MHz en Venezuela, UIT-R

La sub-banda 3.6 a 3.7 GHz está incluida en la canalización de la Recomendación UIT-R F.635-2, que establece canales de 40 MHz con separación FDD de 320 MHz en Venezuela. El CUNABAF atribuye la porción comprendida entre 3.6 a 3.7 GHz al servicio Fijo y Fijo por Satélite en Venezuela.; y la porción 3.7 a 4.2 GHz al Servicio Fijo, Fijo por Satélite (espacio-tierra) y móvil salvo móvil Aeronáutico para los sistemas punto a punto especificado en la nota V.24 del CUNABAF “De conformidad con la Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones N° UIT-R 635-5, la banda de frecuencias comprendida entre 3700-4200 MHz es utilizada para la operación de sistemas de microondas punto a punto”.

4.2.2.4.- Situación de la banda de 10.5 GHz.

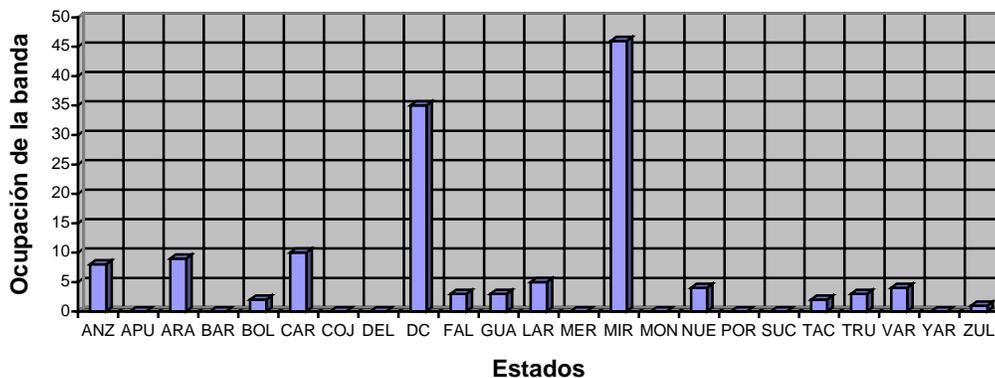


Figura 4.5 Ocupación de la banda 10.5 GHz por estados

La porción de banda de frecuencia entre 10 a 11 GHz esta distribuida en tres sub-bloques dentro del CUNABAF como se especifica en la tabla 6.

BANDA	ATRIBUCUÓN UIT REGIÓN 2	ATRIBUCIÓN VENEZUELA	NOTA
10-10,45 GHz	RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados 5.479 5.480	FIJO MOVIL RADIOLOCALIZACION Aficionados	V32
10,45-10,5 GHz	RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Aficionados por satélite 5.481	FIJO Radioaficionados por satélite	V32

10,5-10,55 GHz	FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN	10,5 – 10,68 GHz FIJO
10,55-10,6 GHz	FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	
10,6-10,68 GHz	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Radiolocalización 5.149 5.482	

Tabla 6. CUNABAF, banda 10.5 GHz

V32: “Las porciones del espectro radioeléctrico comprendidas entre 10,15-10,30 GHz y 10,50-10,65 GHz están atribuidas al servicio fijo, para la operación de sistemas punto a multipunto”.

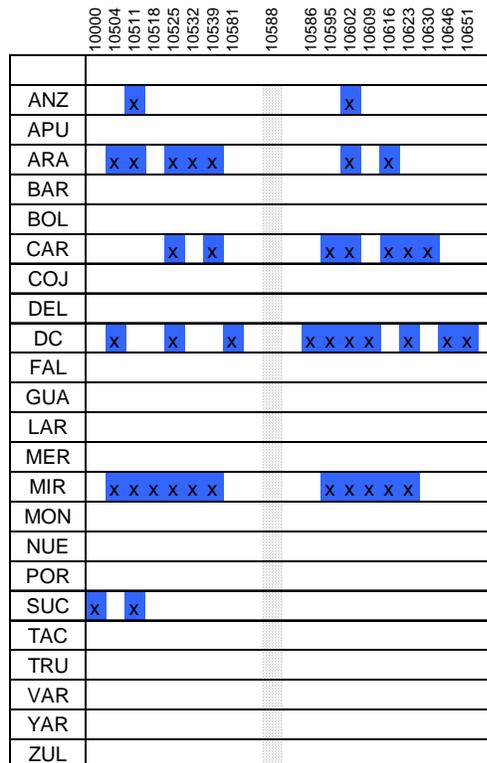


Tabla 7. Ocupación espectral de la banda 10.5 a 10.68 MHz en Venezuela, UIT-R

El mayor número de operadores están concentrados en la zona de Caracas y Miranda con ocho y trece respectivamente. En el resto del país no son muchos los operadores que tienen esta banda otorgada. En tal sentido, la banda comprendida entre 10 y 11 GHz es factible para una redistribución del espectro radioeléctrico y despliegue de los servicios fijos de banda ancha. Además los canales asignados en esta banda de frecuencias son múltiplos de 1.75 MHz de tal manera que estos canales podrían ser compatibles con la canalización que se adoptará para los sistemas fijos de banda ancha, puesto que los canales existentes para el servicio fijo de microondas son canales de 7 y 28 MHz.

#### 4.3.- Consideraciones para migración de operadores.

Con independencia del procedimiento que haya que suscitarse para la asignación de una determinada porción del espectro ó el órgano encargado de su asignación, esta deberá en todo caso, estar disponible. Basándonos en el artículo 107 de la LOTEL (Ley Orgánica de Telecomunicaciones), se entenderá que una porción del espectro está disponible cuando se cumpla en forma concurrente lo siguiente: cuando sea susceptible de ser asignada en concesión de uso a un particular o ente público, de conformidad con lo establecido en el CUNABAF; y cuando no esté ocupada por un concesionario, sin perjuicio de la potestad de cambio de frecuencias que tiene CONATEL. Adicionalmente, para los casos de procedimientos de adjudicación directa, a los fines de verificar la disponibilidad del espectro solicitado en concesión CONATEL deberá, además de dar cumplimiento a los extremos del artículo 107, determinar si la misma ha sido solicitada previamente en concesión de uso y explotación por otro interesado.

Visto, que se ha determinado que las bandas objeto de estudio son susceptibles de asignación y que además se determinó la condición de nueva planificación de las bandas; en función de las tendencias internacionales, en especial la CMR-2000 y la CMR-2003, se debe proceder al estudio de migración de servicios en las bandas en cuestión, basando esta migración en lo que establece la

LOTEL en su artículo 74, citando lo siguiente: “La Comisión Nacional de Telecomunicaciones podrá, mediante acto motivado, cambiar la asignación de una frecuencia o una banda de frecuencia que haya sido otorgada en concesión, en los siguientes casos: Por razones de seguridad nacional; Para la introducción de nuevas tecnologías y servicios; Para solucionar problemas de interferencias; Para dar cumplimiento a las modificaciones de Cuadro Nacional de Bandas de Frecuencias (CUNABAF)”. [10]

En tal sentido, CONATEL prevé en aras del interés general, la introducción de nuevos servicios y tecnologías de telecomunicaciones por medio de la utilización de bandas del espectro radioeléctrico previa y validamente otorgadas en concesión, dado que uno de los objetivos de la ley es el de promover el desarrollo y la utilización de nuevos servicios, redes y tecnologías cuando estén disponibles, y el acceso a éstos, en condiciones de igualdad de personas e impulsar la integración del espacio geográfico y la cohesión económica y social, Artículo 2 de la LOTEL.

El espectro disponible deberá estar atribuido y planificado para la prestación de los servicios originalmente ofrecidos por el concesionario, en fin de garantizar la continuidad en la prestación de los servicios originalmente ofrecidos.

Para realizar las migraciones de concesionarios deberá elaborarse el plan de migración respectivo, el cual procurará la menor afectación de los usuarios del servicio, la menor interrupción en la prestación del servicio y la disminución de los perjuicios que puedan sufrir los concesionarios migrados. A efectos del procedimiento se oír a la parte afectada a los fines de establecer los mecanismos, términos y condiciones en que se efectuará la migración, incluyendo los lapsos para la migración y las indemnizaciones a las que haya lugar. Una vez ordenada la migración y luego de emitir el plan, la administración deberá realizar las actuaciones necesarias para su ejecución: retomar las porciones del espectro requeridas y otorgar aquellas que las sustituyan, modificando así las concesiones respectivas.

## **CAPÍTULO V**

### **PROPUESTA DE DESARROLLO EN VENEZUELA.**

#### **5.1.- Planificación y canalización de las bandas de frecuencias para WiMAX.**

En función de las referencias internacionales como la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2000 y 2003 (CMR-00, CMR-03), Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) y específicamente la Comisión de Estudio 8F de la UIT-R; se ha venido realizando una serie de enmiendas, resoluciones y recomendaciones en función de los nuevos adelantos tecnológicos suscitados hasta la fecha. Estas reuniones permiten hacer modificaciones orientadas a una mejor distribución del espectro radioeléctrico, para armonizar bandas de frecuencias que permitan el uso y explotación de todas las tecnologías emergentes (tales como UMTS, IMT-2000, El WiMAX Forum); y que coexistan sin interferencias dentro de un mismo entorno geográfico. Además, en estas reuniones se busca discutir la distribución (atribución y/o canalización) adecuada de potenciales bandas para asegurar la coexistencia tecnológica.

#### **5.1.1.- Bandas para un despliegue inicial de la Tecnología WiMAX en Venezuela.**

##### **5.1.1.1.- Planificación de la banda de 2.5 GHz, licenciada.**

De acuerdo con la Carta Circular 8/LCC/124 y el plan de trabajo del Grupo de Trabajo 8F/UIT-R (GT8F: “IMT-2000 y Sistemas más allá de IMT-2000), durante la CMR-2003 no se contaba con suficiente información acerca de las disposiciones de frecuencias para la banda de 2500 a 2690 MHz. Por ese motivo, el GT 8F/UIT-R solicitó la contribución de las administraciones respecto de las disposiciones de frecuencias para las IMT-2000 terrenales que trabajen en esa banda. Con ese objeto, la UIT envió un cuestionario a sus miembros, solicitando documentos para la 12°

reunión de GT 8F, a fin de que pueda reanudarse el trabajo para definir las disposiciones de la Recomendación M.1036 del UIT-R. Con base a las respuestas del cuestionario, de la 13° reunión del GT 8F, las administraciones llegaron a un acuerdo preliminar sobre una disposición de frecuencias para el uso de la banda de 2.5 GHz, para la armonización tecnológica de los diferentes servicios de banda ancha.

En la 14° reunión de GT 8F, se revisó la Recomendación UIT-R M.1036 y se acordó la segmentación de 2 x 70 MHz (bloques) de espectro apareado (2500 – 2570 MHz y 2620 – 2690 MHz) y la identificación de la banda 2570 – 2620 MHz de espectro no apareado. Esta distribución se encuentra incorporada en los escenarios C1 y C2 de las disposiciones de frecuencias con una separación dúplex de 120 MHz. La parte central podrá ser utilizada para aplicaciones TDD en el escenario C1 o para el downstream en aplicaciones FDD, en base al escenario C2.

La Recomendación UIT-R M.1036, en anexo N° 3, establece la siguiente disposición de escenarios en la banda de 2.5 GHz.

<b>Escenarios</b>	<b>2500</b>	<b>2570</b>	<b>2620</b>	<b>2690 MHz</b>
<b>C1</b>	FDD uplink (internal)	TDD	FDD downlink (internal)	
<b>C2</b>	FDD uplink (internal)	FDD downlink (external)	FDD downlink (internal)	
<b>C3</b>	Flexibilidad FDD/ TDD			

Tabla 8. Recomendación UIT-R M.1036

La canalización propuesta por el WiMAX Forum establece canales de 5 MHz y 5.5 MHz en esta banda de frecuencia en aplicaciones TDD o FDD, ajustado a la Recomendación UIT-R M.1036, como se muestra en la tabla 9.

<b>FDD Tx</b> <b>70 MHz</b>	<b>TDD</b> <b>50 MHz</b>	<b>FDD</b> <b>70 MHz</b>
Aplicaciones en FDD o TDD en cualquier parte de la banda Múltiples canales de 5 MHz o de 5.5 MHz de ancho de banda		

Tabla 9. Propuesta de la canalización del WiMAX Forum.

En el caso de Venezuela se plantea proponer, la canalización TDD, con una distribución de bloques de frecuencias de canales de 6 MHz en la mitad de la banda para la migración de operadores con tecnología MMDS, en la operación de Radiocomunicaciones del servicio fijo, lo cual permita transportar varios programas de TV o transportar señales de voz, datos y vídeo. Además, estos canales de 6 MHz permiten introducir los sistemas inalámbricos de banda ancha y desarrollar WiMAX en el bloque TDD, con canales de 5 MHz en aplicaciones TDD y banda de guarda de 1 MHz repartidos en ambos lados inferior y superior; y con canales de 5.5 MHz con una banda de guarda de 0.5 MHz.

En muchos países la canalización FDD no se ha realizado, esto obedece a que aún quedan muchas interrogantes en cuanto a equipos y estándares que aún no se han ratificado para el servicio fijo y móvil, ó que la disposición actual de la banda no es muy factible para cambios debido a la cantidad de operadores que están ofreciendo su servicio. Sin embargo, se están dividiendo bloques de frecuencias múltiplos de 5 MHz o 5.5 MHz como es el caso de Estados Unidos, que dividió cuatro bloques de 16.5 MHz consistente con canales de 5.5 MHz con separación entre portadoras de 122 MHz [11].

En Venezuela, la primera canalización propuesta es la banda comprendida entre 2570 hasta 2620 MHz. La Recomendación UIT-R M.1036 especifica aplicaciones TDD en el escenario C1 y además se recomienda que entre sistemas TDD y FDD debe existir una banda de guarda.

El número de canales de 6 MHz repartidos en la sub-banda 2570 a 2620 MHz es de 8 canales, se recomienda tomar un canal para banda de guarda y dejar siete

canales para operadores MMDS y desarrollos de WiMAX, como se muestra en la figura 5.1.

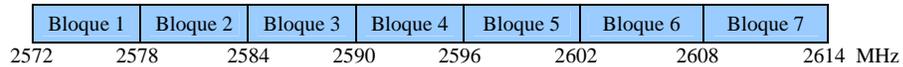


Figura 5.1 Canalización Sub-banda 2570 a 2620 MHz

Para la banda FDD con separación de 120 MHz no se tiene un canalización específica debido a que ningún equipo de banda ancha en la modalidad fija y móvil ha sido certificado en esta sub-banda, aunque estándares como el WiMAX apuntan canales de 5 MHz para la modalidad fija y canales de 1.25 MHz ajustables hasta 20 MHz para la modalidad móvil.

Una propuesta para Venezuela es la de dividir en cuatro bloques la banda FDD, estos sub-bloques cada uno de 17 MHz permitirán por lo menos licitar a cuatro operadores diferentes. De esta forma la planificación de la banda 2.5 sería la mostrada en la figura 5.2.

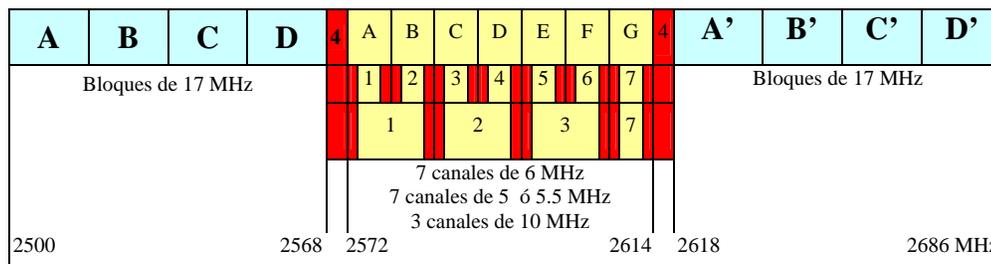


Figura 5.2 Disposición de Radiocanales banda 2.5 GHz

Dada esta planificación de bandas de frecuencias, se tendría que modificar el CUNABAF. Esto debido a que la introducción de sistemas móviles implicaría que no solo el servicio fijo competiría en esta banda como se especifica en nota V.22 del CUNABAF.

#### 5.1.1.2.- Planificación de la banda de 3.5 GHz, licenciada.

La banda de 3.5 MHz es la que apunta a mayores equipos certificados a nivel mundial para el servicio fijo, la propuesta hecha por el WiMAX Forum son canales de 3.5 MHz y 7 MHz para duplexaje TDD y FDD [12], como es mostrada en la tabla 10.

<b>Frecuencia (MHz)</b>	<b>Duplexaje</b>	<b>Canales (MHz)</b>	<b>Estándar IEEE</b>
3400 - 3600	TDD	3.5	802.16-2004
3400 - 3600	FDD	3.5	802.16-2004
3400 - 3600	TDD	7	802.16-2004
3400 - 3600	FDD	7	802.16-2004

Tabla 10. Perfiles certificados del WiMAX Forum

Adicionalmente, el WiMAX Forum recomienda que para desarrollos de banda ancha real, se atribuyan por operador entre 2 y 6 canales, que permita impulsar la tecnología con todas las ventajas previstas. También se recomienda tener las dos formas de duplexación en estas bandas [12].

De acuerdo con estas recomendaciones, es posible contar con varias distribuciones del espectro radioeléctrico, de acuerdo con las necesidades propias de cada país.

La Recomendación UIT-R F.1488 (Anexo 1), se establece la disposición de bloques de frecuencias (Sub-bandas) de 25 MHz. Se pueden emparejar dos cualquiera de estos bloques para el funcionamiento Dúplex por División de Frecuencia (FDD) y se puede utilizar cualquier bloque para el funcionamiento TDD.

En el Anexo 2 de la UIT-R F.1488, se establece para disposiciones de frecuencias basadas en bloques formados a partir de la agregación de intervalos de 0.25 MHz

Por lo tanto la banda de 3400 a 3600 MHz es dividida en cuatro bloques con separación dúplex FDD de 100 MHz, correspondiente a la actual disposición de Radiocanales en Venezuela, como se muestra en la figura 5.3:



Figura 5.3 Sub-bandas de la banda 3.5 GHz, Recomendación UIT-R F.1488

Basados en esta recomendación, la fabricación de los componentes de los equipos de transmisión ha sido dividida, a su vez, en dos modelos:

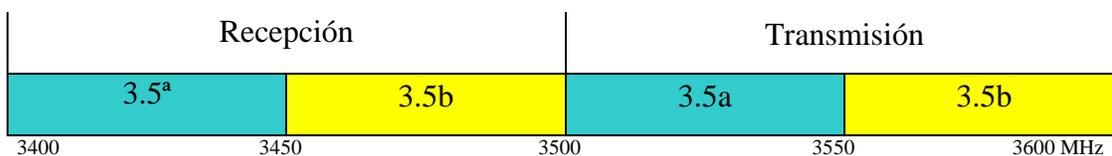


Figura 5.4 Equipos de Transmisión

Dado que esta banda entró en oferta pública en el año 2.000, posiblemente la migración de los operadores que ganaron la licitación no sería muy factible en un corto plazo. Sin embargo, la sub-banda D-D' no fue considerada en el concurso público y se encuentra en reserva. En tal sentido, como una primera propuesta se puede considerar la canalización de la sub-banda D-D' (tomando el criterio del Anexo 2 de la Recomendación UIT-R F.1488) para que los operadores interesados en desarrollar WiMAX en esta banda incursionen en la tecnología y se cercioren de los beneficios que trae a la sociedad como un incentivo a corto plazo.

En este sentido, la sub-banda D-D, sería canalizada por canales de 1,75 MHz múltiplo de 3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz y 28 MHz. Esta canalización mínima permite la asignación de uno o más canales por operadores.

El estándar IEEE 802.16 establece canales de 3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz y 28 MHz con pasos de 1.75 MHz, es decir, los equipos certificados por el WiMAX Forum son equipos cuyos canales serán múltiplos de 1.75 MHz y podrán funcionar en toda la banda. Siguiendo la canalización propuesta por el estándar el cual recomienda para la banda de 3.5 GHz, los siguientes parámetros.

Separación entre portadoras en modo FDD  $\Delta f = 100$  MHz, y mínima 50 MHz.  
Pasos de 1.75 MHz para formar canales de 3.5, 7, 14 y 28 MHz.

Adoptando el perfil R7 (Anexo N° 3) del estándar IEEE 802.16 correspondientes a esta banda de frecuencias los canales asignados de 1.75 MHz son de trece canales en la sub-banda D-D', con bandas de guarda inferior de 1.5 MHz y 0.75 MHz de guarda superior. En este sentido la ecuación que rige los canales de la sub-banda D-D' es:

$F_{\text{inicio}}$ : Frecuencia de inicio para una banda específica = 3411.75 MHz

$\Delta f$ : Pasos de frecuencias = 1.75 MHz

$N_{\text{rango}}$ : Rango de valores (37....49)

$$F_n = F_{\text{inicio}} + N_{\text{rango}}\Delta f$$

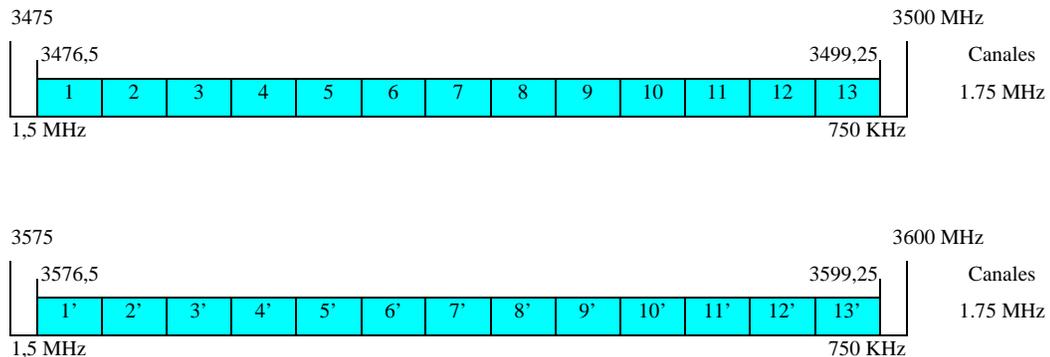


Figura 5.5 Disposición de Radiocanales Sub-banda D-D', banda 3.5 GHz

Los parámetros de este plan de frecuencias para dúplex FDD son los siguientes:

$L_c = 1.75 \text{ MHz}$ ;  $L_p = 79 \text{ MHz}$ ;  $N_c = 13 \text{ canales}$ ;  $F_c = 3537.875 \text{ MHz}$ ;  $\Delta f = 100 \text{ MHz}$ .

$f_{N'} = 3498.375 \text{ MHz} - (13-n)*1.75\text{MHz}$ , portadoras banda inferior.

$f_N = 3577.375 \text{ MHz} + (n - 1)*1.75\text{MHz}$ , portadoras banda superior.

Una segunda propuesta se planea entorno a la sub-banda C-C' otorgada en concesión a operadores de telecomunicaciones. Esta banda fue liberada y devuelta a CONATEL (fuente: División de Espectro, CONATEL). En tal sentido, se tendría dos sub-bandas para la nueva planificación.

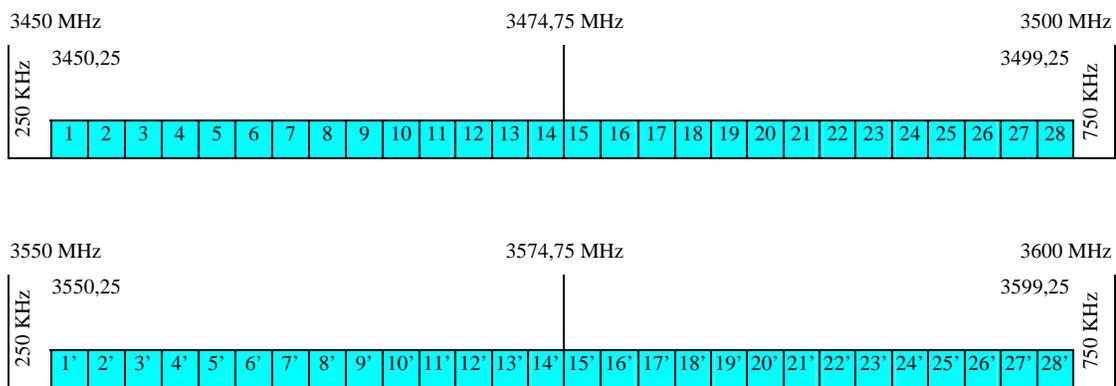


Figura 5.6 Disposición de Radiocanales Sub-banda C-C' y D-D', banda 3.5 GHz

*Canales de 1.75 MHz.*

$L_c = 1.75 \text{ MHz}$ ;  $L_p = 52.75 \text{ MHz}$ ;  $N_c = 28 \text{ canales}$ ;  $F_c = 3524.75 \text{ MHz}$ ;

$\Delta f = 100 \text{ MHz}$ .

$f_{N'} = 3498.375 \text{ MHz} - (28-n)*1.75\text{MHz}$ , portadoras banda inferior.

$f_N = 3551.125 \text{ MHz} + (n - 1)*1.75\text{MHz}$ , portadoras banda superior.

*Formación de canales de 3.5 MHz a partir de pasos de 1.75 MHz.*

$L_c = 3.5 \text{ MHz}$ ;  $L_p = 54.5 \text{ MHz}$ ;  $N_c = 14 \text{ canales}$ ;  $F_c = 3524.75 \text{ MHz}$ ;

$\Delta f = 100 \text{ MHz}$ .

$f_N = 3497.5 \text{ MHz} - (14-n)*3.5\text{MHz}$ , portadoras banda inferior.

$f_N = 3552 \text{ MHz} + (n - 1)*3.5\text{MHz}$ , portadoras banda superior.

*Formación de canales de 7 MHz a partir de pasos de 1.75 MHz.*

$L_c = 7 \text{ MHz}$ ;  $L_p = 52.75 \text{ MHz}$ ;  $N_c = 28 \text{ canales}$ ;  $F_c = 3524.75 \text{ MHz}$ ;

$\Delta f = 100 \text{ MHz}$ .

$f_N = 3498.375 \text{ MHz} - (28-n)*1.75\text{MHz}$ , portadoras banda inferior.

$f_N = 3551.125 \text{ MHz} + (n - 1)*1.75\text{MHz}$ , portadoras banda superior.

5.1.1.3.- Planificación de la banda de 5.8 GHz, no licenciada.

La banda 5.8 GHz es de uso libre según se especifica en el CUNABAF en la nota V.26 y en la Resolución N° 236. En tal sentido estos operadores nunca requerirán de concesión de uso y explotación del espectro radioeléctrico como tampoco de habilitación administrativa para su instalación u operación, es decir operaran a título secundario. La atribución de esta banda solo podrá ser otorgada a operadores que cumplan con el Servicio Universal, esto es, un despliegue en zonas rurales donde lo difícil es dar comunicación para una población con un bajo poder adquisitivo. Esto hace a esta banda un potencial para el desarrollo de WiMAX en zonas rurales. Además, por ser una banda de uso libre, sin licencia, CONATEL no asegura una protección ante posible interferencia de otros operadores, por lo que su desarrollo en zonas aledañas a ciudades reduciría estos inconvenientes.

El estándar recomienda canales de 10 MHz y 20 MHz en el modo TDD, dado que la utilización en FDD la separación entre portadoras dúplex es muy limitada por lo estrecho de la banda.

Frecuencia (MHz)	Duplexaje	Canales (MHz)	Estándar IEEE
5725 - 5850	TDD	10	802.16-2004
		20	802.16-2004

Tabla 11. Propuesta Grupo WiMAX Forum

Los equipos que trabajen en esta banda deben ser diseñados de tal manera que los canales de 10 y 20 MHz deben estar formados por la agregación de intervalos de 5 MHz [13]. Como se muestra en la figura 2

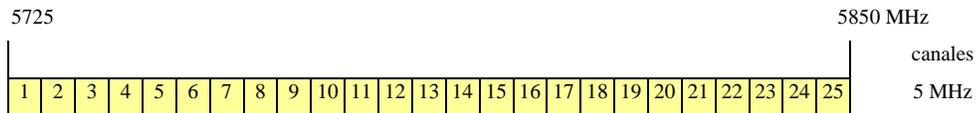


Figura 5.7 Disposición de Radiocanales de 5 MHz, banda 5.8 GHz

El perfil 28 para OFDM y OFDMA del estándar IEEE 802.16 en la capa física, establece canales de 10 MHz con la siguiente disposición:

$F_{\text{inicio}}$ : Frecuencia de inicio para una banda específica = 5000 MHz

$\Delta f$ : Pasos de frecuencias = 5 MHz

$N_{\text{rango}}$ : Rango de valores (147,149,151,153,155,157,159,161,163,165, 167,169)

$$F_n = F_{\text{inicio}} + N_{\text{rango}}\Delta f$$

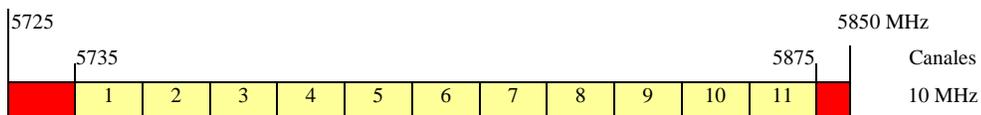


Figura 5.8 Disposición Radiocanales de 10 MHz TDD, banda 5.8 GHz

Y para radiocanales utilizando el perfil 28 del estándar IEEE 802.16 para canales de 20 MHz, como se muestra en la figura 3.



### Canales de 1.25 MHz

$F_{\text{inicio}}$ : Frecuencia de inicio para una banda específica = 2300,625 MHz

$\Delta f$ : Pasos de frecuencias = 1.25 MHz

$N_{\text{rango}}$ : Rango de valores (0,1,2,...,79)

$$F_n = F_{\text{inicio}} + N_{\text{rango}}\Delta f$$

### *Formación de canales de 8.75 MHz a partir de pasos de 1.25 MHz.*

$F_{\text{inicio}}$ : Frecuencia de inicio para una banda específica = 2304,375 MHz

$\Delta f$ : Pasos de frecuencias = 1.25 MHz

$N_{\text{rango}}$ : Rango de valores (0,1,2,...,10)

$$F_n = F_{\text{inicio}} + N_{\text{rango}}\Delta f$$

### *Formación de canales de 10 MHz a partir de pasos de 1.25 MHz.*

$F_{\text{inicio}}$ : Frecuencia de inicio para una banda específica = 2304,375 MHz

$\Delta f$ : Pasos de frecuencias = 1.25 MHz

$N_{\text{rango}}$ : Rango de valores (0,1,2,...,9)

$$F_n = F_{\text{inicio}} + N_{\text{rango}}\Delta f$$

### 5.2.2.2.- Planificación de la banda de 3.6 a 3.7 GHz

Para la banda 3600 a 3700 MHz sería conveniente utilizar los dos modos de duplexaje, esto permite flexibilidad en la elección del sistema. Se propone una distribución de canales TDD en la banda 3.6 a 3.7 MHz y ofrecer servicio FDD con la atribución de los bloques 1 y 3; y los bloques 2 y 4 con separación dúplex de 50 MHz. Esta planificación ofrece a los operadores la elección de multiplexaje que más se adecuó a las necesidades de los distintos tipos de mercado que cada operador determine atender. Además, los operadores tendrán la opción de elegir entre varios proveedores e incluso tener más de uno, lo que resultaría en una reducción de los costos.

Junto con la banda 3.4 a 3.6 para duplexaje FDD con separación dúplex de 100 MHz y la banda 3.6 a 3.7 MHz para operación TDD y FDD con separación de 50 MHz permitirá a los operadores utilizar el esquema más apropiado para el tipo de región geográfica que se pretenda cubrir.

Cabe mencionar que aquellos bloques designados como FDD pueden también ser utilizados con un sistema TDD. Lo contrario no es posible. Esto permite que haya mayor flexibilidad en cuanto a la tecnología que se implemente en la banda.

En tal sentido la canalización propuesta son canales de 1,75 MHz distribuidos en cada bloque y definidos por el estándar IEEE el cual se utiliza como base por el WiMAX Forum, organismo principal que busca unificar a proveedores y operadores a nivel mundial en la tecnología a utilizar para el acceso inalámbrico de banda ancha.

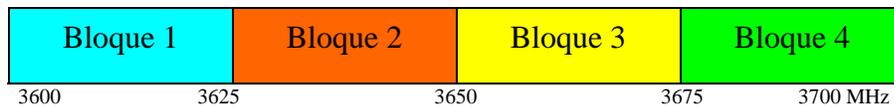


Figura 5.11 Bloques de frecuencias, banda 3.6 a 3.7 GHz.

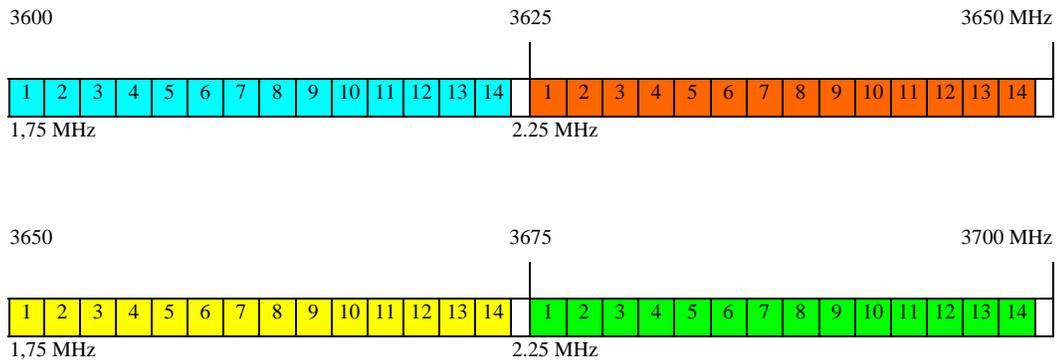


Figura 5.12 Disposición de Radiocanales, banda 3.6 a 3.7 GHz

*Formación de canales de 3.5 MHz a partir de pasos de 1.75 MHz.*

$f_N = 3621 \text{ MHz} - (6-n)*3.5 \text{ MHz}$ , portadora sub-banda 3600-3625 MHz.

$f_N = 3646 \text{ MHz} - (6-n)*3.5 \text{ MHz}$ , portadora sub-banda 3625-3650 MHz.

$f_N = 3671 \text{ MHz} - (6-n)*3.5 \text{ MHz}$ , portadora sub-banda 3650-3675 MHz.

$f_N = 3696 \text{ MHz} - (6-n)*3.5 \text{ MHz}$ , portadora sub-banda 3675-3700 MHz.

*Formación de canales de 7 MHz a partir de pasos de 1.75 MHz.*

$f_N = 3621 \text{ MHz} - (3-n)*7 \text{ MHz}$ , portadora sub-banda 3600-3625 MHz.

$f_N = 3646 \text{ MHz} - (3-n)*7 \text{ MHz}$ , portadora sub-banda 3625-3650 MHz.

$f_N = 3671 \text{ MHz} - (3-n)*7 \text{ MHz}$ , portadora sub-banda 3650-3675 MHz.

$f_N = 3696 \text{ MHz} - (3-n)*7 \text{ MHz}$ , portadora sub-banda 3675-3700 MHz.

#### 5.2.2.3.- Planificación de la banda de 10.5 GHz.

El estándar IEEE 802.16 recomienda canales de 7, 14 y 28 MHz apareados con separación dúplex de 350 MHz, tomando como referencia la Recomendación CEPT/ERC/RECOMENDACIÓN 12-05 E [13].

Los canales de radiofrecuencias en la banda 10 a 10.68 GHz están basados en pasos de 0,5 MHz como se indica en la siguiente ecuación.

$$f_p = f_0 - 1701 + 0.5p \quad (MHz) \quad \text{donde,}$$

$f_p$  : Limite inferior del canal de radiofrecuencias.

$f_0$ : Frecuencia central de referencia.

$p$  : Rango de valores (0...1359)

El CUNABAF establece en su nota V.32 “Las porciones del espectro radioeléctrico comprendidas entre 10.15 a 10.30 GHz y 10.50 a 10.65 GHz están atribuidas al servicio fijo, para la operación de sistemas punto a multipunto”.

En tal sentido la Rec. 12-05E de la CEPT, establece que para la sub-banda 10.15 a 10.30 GHz ( $p = 300$  hasta 599) debe estar apareado con la sub-banda 10.50 a 10.65 ( $p = 1000$  hasta 1299) con espaciamento dúplex de 350 MHz.

Para sistemas con canales de 7, 14 y 28 MHz se podrán derivar con la agregación de pasos de 0,5 MHz como se indica a continuación.

$f_0$ : Frecuencia central de referencia = 11701 MHz

$f_n$ : Frecuencia central del canal de la semibanda inferior.

$f_n'$ : Frecuencia central del canal de la semibanda superior.

Para sistemas con espaciamento entre portadoras de 28 MHz

Semibanda inferior :  $f_n = (f_0 - 1561 + 28n)MHz$

Semibanda superior :  $f_n' = (f_0 - 1211 + 28n)MHz$

Donde,  $n = 1,2...5$

Para sistemas con espaciamento entre portadoras de 14 MHz

Semibanda inferior :  $f_n = (f_0 - 1554 + 14n)MHz$

Semibanda superior :  $f_n' = (f_0 - 1204 + 14n)MHz$

Donde,  $n = 1,2...10$

Para sistemas con espaciamento entre portadoras de 7 MHz

Semibanda inferior :  $f_n = (f_0 - 1550,5 + 7n)MHz$

Semibanda superior :  $f_n' = (f_0 - 1200,5 + 7n)MHz$

Donde,  $n = 1,2...20$

Una canalización de 7 MHz se propone en Venezuela dado que agrupando canales de 7 MHz se pueden obtener canales de más ancho de banda, además para los sistemas de microondas punto a punto operando en la banda 10.5 GHz con la canalización de la Recomendación UIT-R F.747 Anexo 1, estos equipos armonizarían con la planificación propuesta y para evitar interferencias es necesario no atribuir canales que ya están en operación por estados, la ocupación espectral por estados que están siendo explotados en la canalización propuesta son los ubicados en la semibanda superior 1',2',3',4',5',6' y 14',15',16',17',18',19'

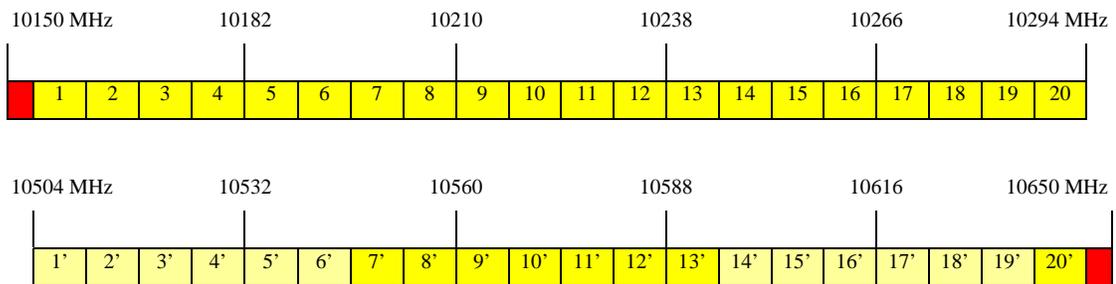


Figura 5.13 Disposición de Radiocanales, banda 10.5 GHz

## CAPÍTULO VI

### CONSIDERACIONES PARA EL DESPLIEGUE DE WiMAX EN VENEZUELA.

#### 6.1.- Situación de la banda ancha en Venezuela.

En Venezuela diversas instituciones y organismos del Estado han impulsado una serie de políticas y proyectos que conducen al desarrollo de la Sociedad de la Información, la cual ha sido definida en la Declaración de Principios de la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información en su primera fase como aquella *“centrada en la persona, integradora y orientada al desarrollo, en que todos puedan crear, consultar, utilizar y compartir la información y el conocimiento, para que las personas, las comunidades y los pueblos puedan emplear plenamente sus posibilidades en la promoción de su desarrollo sostenible y en la mejora de su calidad de vida, sobre la base de los propósitos y principios de la Carta de las Naciones Unidas y respetando plenamente y defendiendo la Declaración Universal de Derechos Humanos.”* [14]

Se trata pues de una sociedad en la que las tecnologías de información y comunicación (TIC) han impactado sustancialmente la forma en que las personas interactúan, y logran su sustento.

En este marco, se ha identificado a Internet como un elemento central de la infraestructura de la Sociedad de la Información.

Como se sabe el desarrollo de la red de redes, Internet, está íntimamente ligado al desarrollo de tecnologías de banda ancha, pues cada día se requiere de mayor capacidad para lograr la transmisión de voz, datos y videos, así como también para el uso de aplicaciones interactivas, de allí la importancia en el desarrollo de tecnologías de banda ancha, en especial las que son de carácter inalámbrico, pues estas son particularmente útiles para llegar a lugares que por su distancia a los centros poblados principales se han visto desasistidos de los beneficios que brinda las TIC.

Una de esas tecnologías de vanguardia que coadyuva en el desarrollo de las comunidades rurales o distantes, al permitirles comunicación, tele-trabajo, tele-educación, tele-salud, etc., es WiMAX, la cual es el objeto de estudio de este trabajo de grado.

Venezuela presenta una penetración (por cada 100 habitantes) a Internet del 12.27 % cifras del año 2005, con un total de 639.006 de suscriptores y 3.289.164 de usuarios[15]. La figura 6.1 muestra el total de suscriptores de telefonía fija, móvil, acceso a Internet, difusión por suscripción y centros de Telecomunicaciones en Venezuela.

**Ingresos operativos <sup>(1)</sup> (ene-dic 2005) 10.491.408 millones Bs (4.951 millones de USD)**

**Inversiones (ene-dic 2005) 1.644.669 millones Bs (771 millones de USD)**

*\* Cifra preliminares  
(1) Sin interconexión*

Indicadores		IV - Trim 2005*	IV - Trim 2004*	Variación absoluta	Variación relativa
Suscriptores Telefonía fija local		3.650.502	3.346.462	304.040	9,09%
	Penetración (por cada 100 hab)	13,62%	12,78%		
Suscriptores Telefonía móvil		12.495.721	8.420.980	4.074.741	48,39%
	Penetración (por cada 100 hab)	46,62%	32,17%		
Suscriptores Difusión por suscripción		1.101.232	972.973	128.259	13,18%
	Penetración (por cada 100 hogares)	17,72%	16,90%		
Suscriptores Servicio de Internet		639.006	458.675	180.331	39,32%
	Usuarios de Internet	3.289.164	2.312.683	976.481	42,22%
Centros de Telecomunicaciones		2.090	1.642	448	27,28%

Fuente: CONATEL

\* Cifra preliminares

Figura 6.1. Estimaciones al cierre del 2005, fuente CONATEL

Como ha de esperarse, el acceso a Internet presenta el menor índice de penetración en Venezuela, esto se traduce en un subdesarrollo de las TICs. La figura 6.2, muestra que aunque el número de usuarios de Internet se ha incrementado en los últimos años, la oferta de servicios sobre acceso de banda ancha se ofrece a un número limitado de ciudades en Venezuela. En especial los accesos de banda ancha; cable MODEM y xDSL se han concentrado en ciudades importantes dejando de un

lado al sector rural y a los pequeños municipios que comúnmente en su totalidad no cuentan con este servicio.

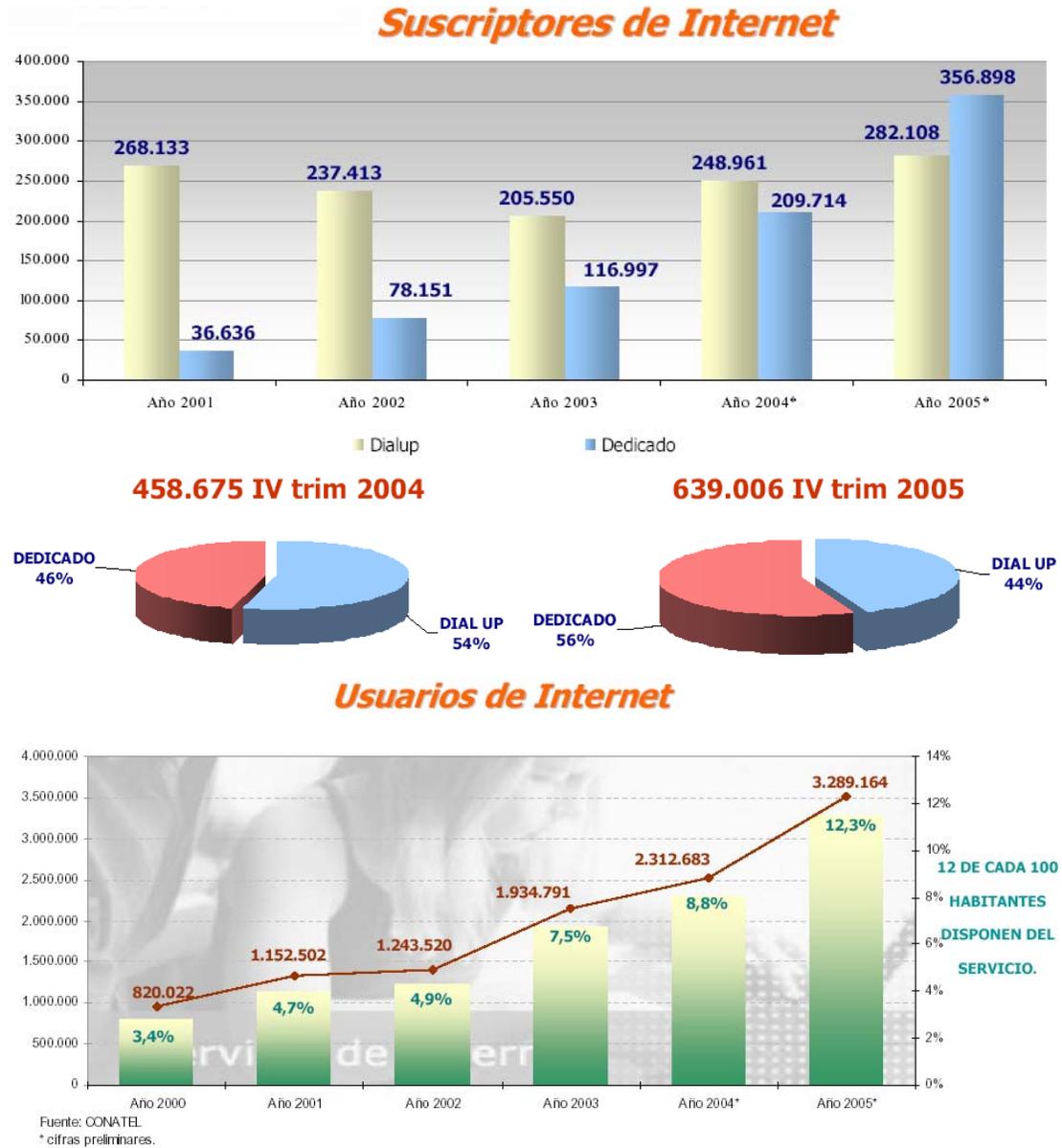


Figura 6.2. Suscriptores y usuarios de Internet al cierre del 2005, fuente CONATEL.

Estas cifras muestran que no existe la infraestructura ni los desarrollos de los temas de la Sociedad de la Información que justifiquen una masificación de los

servicios sobre accesos de banda ancha por parte de los operadores. Por lo tanto, la introducción de nuevas tecnologías y servicios que complemente o sustituya los actuales servicios de banda ancha ofrecidos en Venezuela para el acceso a Internet a bajos costos, permitirá un incremento considerable a los servicios de banda ancha y subsecuentemente al desarrollo de la Sociedad de la Información. Actualmente, un solo operador, CANTV, está habilitado en Venezuela para proveer servicios sobre la plataforma xDSL y ofrecerá el servicio de banda ancha, si y solo si, el usuario tiene una línea telefónica activa.

## 6.2.- Bandas para armonizar en la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL).

Venezuela como miembro activo de la CITEL, trabaja junto con las demás administraciones miembros en el tema de armonización de bandas de frecuencias para tecnologías de acceso de banda ancha en la región. Venezuela a través de la Comunidad Andina lidera el grupo de armonización de bandas de frecuencias razón por la cual tiene como responsabilidad realizar los estudios, consultas respectivas para ser presentado en las próximas reuniones. Dentro de las actividades realizadas por Venezuela, se han preparado documentos que permitan impulsar el desarrollo de las tecnologías de acceso de banda ancha en la región, dentro de los cuales destaca la tecnología WiMAX también conocida como estándar IEEE 802.16. En tal sentido, se envió a cada país una encuesta donde se especifican ciertos parámetros que permitirá a Venezuela, en especial a CONATEL, tener una visión de cuales son las bandas que se están utilizando por otras administraciones para el desarrollo de los sistemas inalámbricos de banda ancha, y así poder escoger la banda de frecuencia que mejor se adapte; de acuerdo a los resultados que arroje la investigación.

En el anexo N° 2, se detalla el cuestionario enviado a los países miembros de la CITEL (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones). En el mismo anexo se detalla las respuestas al cuestionario que algunos miembros han contestado hasta la fecha.

### 6.3.- Operadores interesados en desarrollar los Sistemas Inalámbrico de Banda Ancha en Venezuela.

Dentro de los operadores que están interesados en desarrollar sistemas de banda ancha WiMAX, tenemos:

- Génesis.
- Movistar.
- CANTV.
- ONMIVISION.
- Multiphone.

Todos estos operadores le han solicitado a CONATEL, la disponibilidad de espectro radioeléctrico que existe actualmente en el territorio venezolano para desarrollar la tecnología WiMAX. CONATEL por su parte está realizando todas las pautas administrativas para liberar algunas de las potenciales banda de frecuencias para el desarrollo de los sistemas BWA. En febrero de 2006, CONATEL publico una posible liberación de la banda 3.5 GHz, otorgada en concesión en el año 2001, dado que los operadores que ganaron la licencia no han hecho desarrollos significativos en esta banda.

Hay que tomar en cuenta la tendencia que puede tener para un operador el desarrollo y despliegue de WiMAX. Lo que sucedió con WLL en la banda de 3.5 GHz, no puede suceder con WiMAX. Una de las tantas ventajas que tiene WiMAX y que carecía WLL, es que WiMAX es una tecnología no propietaria; son muchas las compañías que actualmente ofrecen equipos y servicios que a su vez son interoperables entre si, existe una gran expectativa a nivel mundial sobre esta tecnología, los deferentes productos de distintos fabricantes reducen significativamente los costos de despliegue, ofrece enlaces con línea de vista y sin línea de vista, características que carecía WLL.

CONATEL está trabajando en la nueva planificación que se le pueda dar al espectro radioeléctrico para ofrecer un mejor servicio y incentivar a operadores a desarrollar nuevas tecnologías. Estas modificaciones se estarán realizando en función de consultas públicas a operadores en Venezuela, y mediante las investigaciones, trabajos, presentaciones que la Comisión haya realizado hasta la fecha.

#### 6.4.- Equipos Certificados por el WiMAX Forum.

Hasta la fecha el WiMAX Forum, encargado de unificar a fabricantes de equipos para permitir interoperabilidad y reducir los costos de despliegue, esta realizando certificaciones de equipos en la banda de 3.5 GHz, aunque existen equipos en otras bandas se espera realizar todas las certificaciones a finales de año para los equipos fijos de banda ancha para la banda 3.5 y 5.8 GHz. Actualmente existen equipos certificados para la banda 3.5 GHz con canales de 1.75, 3.5, 7 y 14 MHz para operación FDD y TDD. Las pruebas de interoperabilidad se están realizando en los laboratorios CETECOM, ubicado en Malaga España.

Los equipos certificados son Estaciones Bases y Estaciones Suscriptoras que cumplen con las normas y recomendaciones establecidas por el estándar IEEE 802.16 y ETSI HyperMAN. En la dirección electrónica [www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org), se detallan las empresas miembros del WiMAX Forum y los equipos certificados por esta organización.

#### 6.5.- Coexistencia de los Sistemas Fijos de Banda Ancha.

Como punto de partida para niveles tolerables de interferencias en sistemas FBWA, la Recomendación F.758-2 de la UIT-R detalla dos valores generalmente aceptados para la relación de interferencia al nivel de ruido térmico del receptor (I/N), para interferencias externas a largo plazo máxima permitida en receptores del servicio fijo. Al considerar interferencias de otros servicios, el valor aceptable de interferencias/ ruido térmico es I/N de -6 dB ó I/N de -10 dB. Estos valores permiten

proporcionar un método para definir un límite tolerable que sea independiente de la mayoría de las características de los receptores víctimas de interferencias, aparte de la figura de ruido, y en el cual se ha adoptado en la práctica para la recomendación del análisis de coexistencia del estándar IEEE 802.16.

La aceptabilidad de cualquier valor de  $I/N$  necesita ser evaluada contra la naturaleza estadística del ambiente de interferencias. En las simulaciones y prácticas de interferencias, esta evaluación se ha realizado para una relación interferencia a ruido térmico de  $I/N = -6$  dB con degradación resultante en margen de desvanecimiento de 1 dB.

Para el análisis de interferencias CoCanal y Canal Adyacente el Grupo IEEE 802.16.2 estableció una serie de recomendaciones en las cuales se incluyen los parámetros a seguir para definir el método de un límite tolerable de interferencias, en las que tenemos:

Rec. 1: Adoptar el criterio de 6 dB de ruido por debajo del umbral de recepción, es decir, una relación interferencia a ruido térmico de  $I/N = -6$  dB en el receptor víctima de interferencias. Una vez adoptado este valor, los siguientes son algunas consecuencias importantes.

- a. Cada operador aceptará 1 dB de Degradación (es la diferencia en decibeles entre  $C/N$  y  $C/(N+Interferencia)$ ) en la sensibilidad del receptor. La misma naturaleza de los sistemas Punto a Punto y Punto a Multipunto, indican que los receptores deben aceptar las interferencias de transmisiones intersistemas (mismo sistema), aunque sería bueno reducir el nivel de interferencia intersistema para estar por debajo del nivel de ruido.
- b. Dependiendo de la zona geográfica de despliegue, el receptor víctima puede tener contribuciones de interferencias de múltiples operadores de CoCanal y Canal Adyacente. Cada operador deberá incluir un margen de diseño capaz de aceptar el efecto compuesto de interferencias del resto de los operadores. Este margen se incluirá

incluso para operadores en ser el primero en desplegar su red y no experimentar interferencia alguna.

Rec. 2: Cada operador deberá tomar la iniciativa para colaborar con otros operadores antes de su despliegue inicial y antes de modificaciones relevantes del sistema e introducir el concepto de psfd (power spectral flux density, densidad espectral de potencia equivalente), que es la energía radiada por unidad de ancho de banda para determinar sus márgenes de protección.

Rec. 3: No se necesitará de ninguna coordinación entre los sistemas PMP en una dirección específica, si un transmisor esta ubicado a 80 Km del límite del área de servicio o límite de un operador vecino en esa dirección. Tampoco se necesitará de ninguna coordinación entre sistemas Mesh en una dirección específica, si un transmisor esta ubicado a una distancia mayor a 6 Km del límite del área de servicio o del límite de un operador vecino en esa dirección. Y por último no se necesitará ninguna coordinación entre un sistema PMP y Mesh en una dirección específica si un transmisor esta ubicado a una distancia mayor a 50 Km del límite del área de servicio o límite de un operador vecino en esa dirección.

Rec. 4: Solo para interferencia CoCanal: En la recomendación 2 se introdujo el concepto de psft como estímulo para que un operador tome ciertas iniciativas para colaborar con operadores vecinos. Se recomienda que los ente reguladores de cada país especifiquen los valores aceptables para cada banda de frecuencia, de no tener un valor especifico se recomienda los siguientes valores de psfd: Valor de  $-125dB\left(\frac{W}{m^2}\right)$  en 1 MHz para la banda de 3.5 GHz y  $-126dB\left(\frac{W}{m^2}\right)$  en 1 MHz para la banda de 10.5 GHz.

#### 6.5.1.- Pautas a seguir para el espaciamiento geográfico y en frecuencia.

A continuación se resumen todas las pautas totales a seguir, considerando todos los mecanismos identificados como interferencia. Los dos panoramas principales de despliegue son:

- Sistemas CoCanal que están espaciados geográficamente.
- Sistemas que se solapan en cobertura y (en general) se requieran diferentes frecuencias de operación.

En la tabla 12, se determina las pautas de espaciamiento para la operación TDD/TDD ó TDD/FDD. En el caso donde ambos están interfiriendo y los sistemas victimas son FDD y operan con el mismo uplink y downlink con el mismo plan de asignación de canales, puede ser posible reducir los requerimientos de banda de guarda para el escenario de misma área/ canal adyacente.

<b>Trayectoria dominante de interferencia</b>	<b>Escenario</b>	<b>Espaciamiento en el cual la interferencia esta por debajo del nivel permitido (generalmente 6 dB por debajo del umbral de ruido del receptor)</b>
PMP BS a PMP BS	3.5 GHz, área adyacente; mismo canal.	Espaciamiento necesario de por lo menos la distancia horizontal (típicamente 80 Km)
PMP BS a PMP BS	3.5 GHz, misma área; canal adyacente.	Espaciamiento físico requerido, típicamente de 0.1 a 2 Km y poseer características de aislamiento (NFD, discriminación neta del filtro de recepción, que limita la energía transmitida interferente). Típicamente una banda de guarda en requerida
PMP BS a PMP BS	10.5 GHz, área adyacente; mismo canal.	Espaciamiento necesario de por lo menos la distancia horizontal (típicamente 80 Km)
PMP BS a PMP BS	10.5 GHz, misma área; canal adyacente.	Aislamiento de interferencias (NFD, Discriminación neta del filtro receptor) y espaciamiento físico es requerido
Mesh cell a Mesh cell	3.5 GHz, misma área; canal adyacente.	Espaciamiento necesario de por lo menos el radio de la celda.
Mesh cell a Mesh cell	3.5 GHz, misma área; canal adyacente.	Espaciamiento en unos pocos cientos de metros es suficiente.

Tabla 12. Resumen de las pautas para el espaciamiento geográfico y frecuencia.

6.5.2.- Interferencia CoCanal entre dos operadores ubicados en zonas adyacentes o dentro de la línea de vista de uno de los dos.

La coordinación recomienda entre áreas de servicio licenciados donde ambos sistemas están operando CoCanal, es decir, sobre la misma frecuencia de FBWA y donde las áreas de servicio se encuentren en una proximidad cercana; y la distancia de separación sea menor a la establecida por la coordinación (menor a 80 Km). Se recomienda que cada operador calcule el psfd en su propio contorno de servicio. El psfd se debe calcular considerando factores como pérdidas de propagación, pérdidas atmosféricas, directividad de la antena hacia el límite del área de servicio y la curvatura de la tierra. El nivel de psfd en el límite del área de servicio se debe evaluar para que altura es razonable es que interferirá a los dispositivos sobre el radio horizonte, como se muestra el la figura 6.3

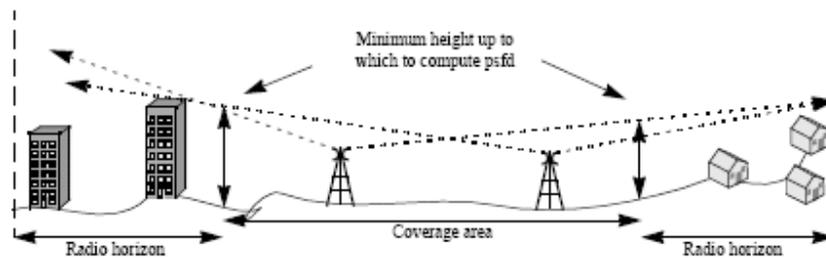


Figura 6.3 Límites del nivel de psfd.

Los límites aceptables de psfd son:

Banda 3.5 GHz =  $-125dB\left(\frac{W}{m^2}\right)$  en 1 MHz y Banda 10.5 GHz =  $-126dB\left(\frac{W}{m^2}\right)$

en 1 MHz

6.5.2.1.- Interferencia entre sistemas PMP:

Se sugiere la distancia de separación como primer mecanismo a evaluar por la coordinación entre dos operadores licenciados adyacentes. Si los límites de las áreas de servicio esta por debajo de los 80 Km, entonces el proceso de coordinación es recomendado.

En caso de sitios de muy alta elevación relativa a un terreno local, las áreas de servicio de más allá de 80 Km puede ser afectado. En este caso el operador deberá coordinar con los afectados.

El análisis razonable de 80 Km se basa sobre varias consideraciones, incluyendo cálculos del radio horizonte, efectos de propagación, y niveles del pfd.

El radio horizonte, definido como la distancia LOS (con línea de vista) entre dos radios, se define como sigue:

$$R_h = \frac{\sqrt{2KxR_e} x (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})}{\sqrt{1000}} = 4.12 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \rightarrow (1)$$

Donde,

$R_h$ : Radio horizonte (Km)

$h_1$ : Altura del radio 1 sobre el promedio del terreno

$h_2$ : Altura del radio 2 sobre el promedio del terreno

$K$ : Índice troposferico = 4/3

$R_e$ : Radio de la tierra.

Para calcular la densidad espectral de potencia equivalente (psfd), tolerable en la apertura de la antena receptora, se utiliza la siguiente ecuación:

$$psfd_{BS} = P_r - 10 \log \lambda^2 - G_{ant} + 10 \log 4\pi \rightarrow (2)$$

Donde:

$P_r$ : Nivel de interferente admisible en el receptor, dBW en 1MHz.

$\lambda$ : Longitud de onda, mts

$G_{ant}$ : Ganancia de antena, dBi

La  $P_r$ , se calcula adoptando en nivel tolerable de interferencia a nivel de ruido térmico (I/N) igual a - 6dB, adoptado en la Recomendación UIT-R F.758-2, y recomendado por la metodología del estándar IEEE 802.16.

Bajo este valor, la densidad de potencia espectral de la interferencia admisible

así calculada, dependerá solamente del factor de ruido del receptor y será independiente del esquema de modulación del sistema inferido.

Asumiendo un valor de Figura de Ruido típica de 6 dB, entonces el ruido térmico psd (power flux density, densidad de potencia radiada por unidad de área) del receptor es calculado de la siguiente forma:

$$N_0 = FKT_0B \Rightarrow \frac{N_0}{B} = FKT_0 \Rightarrow 10\log\left(\frac{N_0}{B}\right) = 10\log KT_0 + 10\log F; B = 1MHz$$

$$N_0 = 10\log KT_0 + F = -138dBW / MHz; \text{ Ruido Térmico.}$$

Donde:

$N_0$ : Ruido térmico recibido psd (dBW en 1MHz).

$$10\log KT_0 = 10\log(1.38^{-23} J/K * 300K) + 10\log 1e6 = -144dBW \text{ en } 1 \text{ MHz.}$$

$F$ : Figura de ruido del receptor, típicamente igual a 6dB.

A 6 dB por debajo de  $N_0$ , el nivel de interferencia total,  $I_{total}$ , en el receptor es -144 dBW en 1MHz. Como se demuestra a continuación:

$$\frac{I}{N} = -6dB = I(dBW/MHz) - N_0(dBW/MHz) = I(dBW/MHz) - (-138dBW/MHz)$$

$$\text{Donde: } \Rightarrow I(dBW/MHz) = P_r = -6dB - 138dBW/MHz = -144dBW/MHz$$

Por lo que queda determinado el limite tolerable de interferencia psd<sub>BS</sub> en el receptor a distintas longitudes de onda, para la banda de 3.5 GHz es 125 dBW en 1MHz y para la banda de 10.5 GHz es 126 dBW en 1 MHz.

Ahora bien para determinar la densidad espectral de potencia equivalente en un receptor victima de interferencia, se calcula mediante la siguiente relación:

$$psfd_{VICTIMA} = P_{TX} + G_{TX} - 10\log 4\pi - 20\log R_h - A_{am} \rightarrow (3)$$

Donde:

$P_{TX}$ : Potencia de la antena transmisora, dBW.

$G_{TX}$ : Ganancia de la antena transmisora en dirección del receptor víctima, dBi.

$R_h$ : distancia entre la señal interferente y receptor víctima, radio horizonte (mts).

$A_{atm}$ : Pérdidas atmosféricas  $\approx 0.1$  dB/Km

Para que los sistemas interferentes y víctimas puedan coexistir el valor de densidad espectral de potencia equivalente víctima ( $psfd_{víctima}$ ) tiene que ser inferior al valor tolerable de densidad espectral de potencia equivalente del sistema de recepción víctima ( $psfd_{BS}$ ) para un valor de radio horizonte dado ( $R_h$ ). También se puede determinar el valor de radio horizonte para que se cumpla la desigualdad establecida, bajo este método se determinó el límite de los 80 Km de separación para coexistencia establecido en una de las recomendaciones del estándar de coexistencia, detallado en el anexo N° 1.

#### 6.5.2.2.- Interferencia entre sistemas MP-MP (Mesh)

Para un despliegue Mesh, generalmente no existe un enlace LOS (con línea de vista) sobre el área de servicio. Observando que el  $psfd$  tolerable en el receptor debería exceder el  $psfd$  agregado de la contribución producida por todos los transmisores (incluyendo pérdidas de trayecto), y asumiendo por simplicidad que la contribución de todos los nodos contribuye igualmente a interferencias, se proporciona la siguiente relación en el peor de los casos:

$$pathloss > P_{TX} - 10\log(BW) + G_{TX} + G_{RX} - 10\log(KT_0) + F - \frac{I}{N} + \log(Nodos) \rightarrow (4)$$

Donde:

$pathloss$ : Pérdidas de trayecto.

$10\log(KT_0)$ : -144 dBW en 1 MHz.

$F$ : Figura de Ruido del receptor, dB.

$P_{TX}$ : Potencia Transmitida, desde la antena, dBw.

$BW$ : Ancho de banda ocupado, en MHz.

$G_{TX}$ ,  $G_{RX}$ : Ganancias de la antena transmisora y receptora.

$I/N$ : Nivel de interferencia/ ruido térmico del receptor.

$Nodos$ : Número de nodos que transmiten simultáneamente, sobre el área de servicio.

Las pérdidas de trayecto (pathloss) esta compuesto por varios componentes. El primer componente se especifica por la atenuación de espacio libre  $20 \log \frac{4\pi}{\lambda}$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda, los componentes restantes siguen el modelo de propagación. En el caso de sistemas Mesh, el modelo de propagación es 50 mts para LOS, seguido por  $d^3$  para los próximos 500 mts, y seguido por  $d^4$  para distancia que se excedan de 500 mts, por lo tanto:

$$pathloss(d) = 20 \log \frac{4\pi}{\lambda} + 20 \log 50 + 30 \log \frac{50}{500} + 40 \log \frac{d}{500} = 40 \log(d) - 1 \rightarrow (5)$$

dB,  $\forall d > 500m$

6.5.3.- Interferencia de Canal Adyacente entre dos operadores ubicados en la misma área geográfica.

Para los despliegues de estos sistemas generalmente se necesitará un canal de guarda entre transmisiones cercanas. En donde el ente reguladores no podrá asignar canales de guarda, los operadores afectados necesitarán realizar acuerdos en como el canal de guarda es el apropiado entre ellos. Donde existen diferentes tamaños de canal, el canal de guarda debería ser igual al canal de mayor ancho de banda. Esta recomendación práctica no considera el caso donde un operador despliega múltiples tamaños de canales dentro de la banda de frecuencia otorgada.

Si ambos sistemas interferentes y victima son FDD; y operan con el mismo arreglo uplink y downlink de frecuencias, entonces puede ser posible reducir o eliminar los requerimientos de banda de guarda. Sin embargo, si alguno de estos sistemas es TDD una banda de guarda es requerida.

## CONCLUSIONES

Considerando la evolución de los servicios y tecnologías a través de las mejoras en las técnicas de acceso y digitalización, se ha desarrollado este trabajo con el fin de proponer a la Comisión Nacional de Telecomunicaciones CONATEL; la planificación y administración del espectro radioeléctrico, de acuerdo a la clasificación de bandas de frecuencias sugeridas; para promover el acceso inalámbrico de banda ancha fijo y móvil en toda Venezuela. Todo esto con el fin de lograr un mayor desarrollo y despliegue de la infraestructura de telecomunicaciones de redes públicas y privadas, orientadas a proveer alternativas de comunicaciones a la población en general y en base al estudio realizado acerca de la tecnología WiMAX y la planificación de bandas de frecuencias se concluye lo siguiente.

- Muchos países a escala mundial han establecido una nueva planificación y canalización de bandas de frecuencias en función de los estándares y recomendaciones para el desarrollo y despliegue de los Sistemas Inalámbricos de Banda Ancha, WiMAX.
- En Latinoamérica, países como Chile, Colombia, Perú y Brasil establecieron nuevas normas técnicas y regulaciones mediante la formulación de Resoluciones, permitiendo así definir bandas de frecuencias para tecnologías emergentes, logrando un desarrollo muy importante orientado a un uso más eficiente del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones.
- De acuerdo a las bandas de frecuencias que fueron estudiadas para el desarrollo y despliegue de la tecnología WiMAX en Venezuela, la que presenta mayor posibilidad para una limpieza y nueva planificación a corto plazo, es la banda de 3.5 GHz licenciada.

- El desarrollo y despliegue de los Sistemas Inalámbricos de Banda Ancha a corto plazo, repercutirá significativamente en los indicadores anuales del sector, que muestran el nivel de desarrollo de la Sociedad de la Información en el país.
- La investigación realizada, comprueba que la compatibilidad e interoperabilidad de los equipos son elementos muy importantes, por lo que organizaciones como WiMAX Forum, se están encargando de asegurar a los operadores y usuarios, que los equipos certificados presentes en el mercado, son de la mejor calidad y ofrecen óptimas soluciones de banda ancha.
- Al definir ciertas bandas de frecuencias para el desarrollo de los sistemas inalámbricos de banda ancha como WiMAX, permitirá que estas bandas sean utilizadas de una manera eficiente por los agentes económicos, ofreciendo a los usuarios satisfacer sus requerimientos de acceso a banda ancha; al adquirir equipos a precios accesibles.
- Con este estudio, CONATEL tendrá una referencia a ser considerada para la futura implementación de la tecnología WiMAX en el país, debido a que hasta la fecha no se había realizado un estudio de la planificación de bandas de frecuencias para este servicio, que permita a operadores el desarrollo y despliegue de los sistemas inalámbricos de banda ancha.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a CONATEL realizar los procedimientos administrativos que se consideren necesarios, con el fin de adelantar los trabajos en cuanto a la limpieza y nueva planificación de las bandas de frecuencias que se presentan en este trabajo de investigación.
- Se recomienda a CONATEL establecer un manual de procedimiento para la planificación y canalización de bandas de frecuencias en Venezuela, esto debido a que actualmente no se cuenta con una metodología específica.
- Se recomienda a CONATEL realizar consultas, foros, estudios socioeconómicos, y de mercado que permitan conocer el interés de los operadores y público en general respecto a la tecnología WiMAX.
- Se recomienda a CONATEL trabajar en el desarrollo y despliegue de los Sistemas Inalámbricos de Banda Ancha (BWA) en bandas de uso libre, a fin de implementar la prestación de servicios con esta tecnología a través del Servicio Universal de Telecomunicaciones en toda el área geográfica del país.
- En base al estatus de la situación actual de las bandas de frecuencias utilizadas en la tecnología WiMAX, se recomienda a CONATEL que realice un estudio de las licencias en estas bandas para evaluar las condiciones y desarrollos futuros que están tomando los operadores para la introducción de nuevas tecnologías y servicios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tomasi, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, (Libro).--México: Ed. Prentice-Hall, 1996. p.54.
- [2] WiMAX Forum, *WiMAX's technology for LOS and NLOS environments*, (White Paper).—Ginebra, 2004, p.1.
- [3] WiMAX Forum, *Regulatory position and goals of the WiMAX Forum*, (White Paper).—Ginebra, 2004, p.2.
- [4] Ministerio de Comunicaciones, *Resolución número 2070*.—Colombia, 2005, p.2.
- [5] Ministerio de Comunicaciones, *Resolución número 689*.—Colombia, 2004, p.2.
- [6] Ministerio de Transporte y Comunicaciones, *Resolución número 479*.—Chile, 2005, p.3.
- [7] Ministerio de Transporte y Comunicaciones, *Resolución número 626*.—Perú, 2005, p.3.
- [8] CONATEL, *Cuadro Nacional de Bandas de Frecuencias CUNABAF*, (Documento).--Caracas: publicada en Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela No. 5.590 de fecha 10 de junio de 2002.
- [9] Consulta realizada al Ing. Rubén Arena, Jefe de División de la Gerencia de Espectro. CONATEL, febrero de 2006.

[10] CONATEL, Ley Orgánica de Telecomunicaciones, (Ley).—Venezuela:Caracas, 2000.p.107.

[11] Federal Communications Commission (FCC), *NOTICE OF PROPOSED RULE MAKING AND MEMORANDUM OPINION AND ORDER*, (documento).—Washington: 2003. p.12.

[12] WiMAX Forum, *Regulatory Working Group*, (White Paper).—Ginebra: 2004. p.1.

[13] Estándar IEEE 802.16-2004, *Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*. (Estándar).--USA, 2004. p.307.

[14] Naciones Unidas, *Declaración de principios de la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información, párrafo 1*, (documento WSIS-03/GENEVA/4-S).-- Túnez, 2004

[15] CONATEL, Indicadores anuales del sector, (Internet).—Venezuela: Caracas: [www.conatel.gov.ve/indicadores/indicadores2005/indicadores/indice\\_anual.htm](http://www.conatel.gov.ve/indicadores/indicadores2005/indicadores/indice_anual.htm).

## **BIBLIOGRAFÍAS**

Tomasi, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas, 2da. Ed. México: Prentice-Hall, 1996.

Carlson, Bruce. Sistemas de Comunicación. Editorial Mc Graw-Hill. México, 1980.

Estándar IEEE 802.16.2-2004: Revisión de la IEEE 2001. Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems. IEEE, 2004. 169 p.

Estándar IEEE 802.16-2004: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. IEEE, 2004. 1000 p.

Itzik Kitroser (IEEE P802.16-REVd Chief Technical Editor), Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems (Draft Revision), Año 2004

INTEL Corporation , White Paper: Broadband Wireless Access – Año 2003

WiMAX Forum, White Paper: WiMAX Deployment Considerations for Fixed Wireless Access in the 2.5 GHz and 3.5 GHz licensed bands, Año 2005

WiMAX Forum, White Paper: Regulatory Position and Goals of the WiMAX Forum, Año 2004

WiMAX Forum, White Paper: WiMAX's technology for LOS and NLOS environments, Año 2004

WiMAX Forum, White Paper: Regulatory Working Group, Año 2004

Senza Fili, White Paper: Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks, WiMAX Forum – Año 2005

Senza Fili, White Paper: The WiMAX Forum Certified, WiMAX Forum – Año 2006

Eugene Crozier , White Paper: WiMAX NLOS Features, WiMAX Forum – Año 2004

Michael F. Finneran, WiMAX versus Wi-Fi, dBrn Associates Inc., Año 2004

WiMAX Forum, Internet. <http://www.wimaxforum.org> [Consulta 2006]

UIT, Internet. <http://www.itu.int> [Consulta 2006]

IEEE, Internet. <http://www.ieee.org> [Consulta 2006]

FCC, Internet. <http://www.fcc.gov> [Consulta 2006]

CONATEL, Internet. <http://conatel.gov.ve> [Consulta 2006]

## **ANEXOS**

## [ANEXO N° 1]

Calculo de niveles tolerables y permisible de interferencia.

2.1.- Parámetros de los sistemas y ecuaciones asumidos en los Cálculo de interferencia Inter.-Sistema CoCanal- áreas adyacentes.

Los parámetros asumidos en los cálculos de interferencia están basados en datos provenientes de los documentos de Whitehead, P. “*System parameters for 2-11 GHz coexistence simulations, (revision 2)*” Draft 12, 2001. y resumidos en las tablas 1, 2 y 3. Las ecuaciones a emplear son ecuaciones de propagación, cuyo objetivo es determinas el nivel tolerable de interferencia que una estación receptora puede percibir de estaciones transmisoras.

### Sistemas Punto a multi-punto:

Radio Horizonte, distancia entre dos estaciones bases ó base - suscriptor

$$R_h = \frac{\sqrt{2KxR_e} x (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})}{\sqrt{1000}} = 4.12 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \rightarrow (1)$$

Densidad espectral de potencia equivalente (psfd), tolerable en la apertura de la antena receptora, se utiliza la siguiente ecuación:

$$psfd_{BS} = P_r - 10 \log \lambda^2 - G_{ant} + 10 \log 4\pi \rightarrow (2)$$

Densidad espectral de potencia equivalente en un receptor victima de interferencia, se calcula mediante la siguiente relación:

$$psfd_{VICTIMA} = P_{TX} + G_{TX} - 10 \log 4\pi - 20 \log R_h - A_{atm} \rightarrow (3)$$

**Sistemas Mesh:** Se debe cumplir la siguiente desigualdad

$$pathloss > P_{TX} - 10 \log(BW) + G_{TX} + G_{RX} - 10 \log(KT_0) + F - \frac{I}{N} + \log(Nodos) \rightarrow (4)$$

$$pathloss(d) = 20 \log \frac{4\pi}{\lambda} + 20 \log 50 + 30 \log \frac{50}{500} + 40 \log \frac{d}{500} = 40 \log(d) - 1 \rightarrow (5) [dB]$$

$\forall d > 500m$

Tabla 1. Parámetros en la banda 3.5 GHz para sistemas con arquitectura PMP

	Características	Valores Típicos
Despliegues	Diseño de sistema(s) incluyendo diagramas	Multiceldas (Distribuidas uniformemente)
	Arreglos y frecuencias, típico por sector	Típicamente 4 sectores por celdas, 4 frecuencias. Polarización Vertical y Horizontal ambas son usadas.. Algunos sistemas usarían AAs (Antenas Adaptativas), señalando a cada usuario. Uso de FDD y TDD.
	Propagación	Trayectorias asignadas parcialmente obstruidas. Para propósitos de coexistencia dos modelos son considerados: El primero usa enlace LOS sobre la trayectoria interferente, y el segundo usa LOS hasta 7 Km y luego $d^4$ más allá de ese punto. Desvanecimiento por lluvia se asume insignificante. Pérdidas atmosféricas de multitrayecto ignorada en el trayecto interferente
	Tamaño de Celda	Típico 7 Km
	Disponibilidad	99.9 a 99.99 % del tiempo para 80-90 % de la celula en el área de cobertura.
	Número de celda por sistemas	1 a 25 (Rango típico)
	Número de estaciones terminales por megahertz por transmisión-recepción por celulas	Hasta 70
	Distribución de estaciones terminales	Uniforme por unidad de área
	Frecuencia de operación (por cada variante que se estudiará)	3.4 a 3.8 GHz (use 3.6 GHz para el cálculo de coexistencia)
	Método de Duplexaje	TDD, FDD, Half Duplex
	Ancho de banda del Canal	1.5, 3, 6, 12, 25 MHz (Solo en USA); 1.75, 3.5, 7 y 14 MHz (Europa, use 7 MHz para el calculo de coexistencia)
	Característica de la antena (BS)-No adaptativa.	ETSE RPE para 90° por sector o similar Ganancia 14.5 dBi
	Característica de la antena (SS)-No adaptativa.	ETSE RPE o similar Ganancia 18 dBi
	Característica de la antena (RS)	Asumir lo mismo que en BS y SS
	Backhaul links	Asignación de separación de frecuencias
NFD (Discriminación Neta del Filtro de Recepción)	Ver CEPT/ ERC Reporte 009 (2002).	
Recepto	Figura de ruido	4 dB para el upstream 5dB para el downstream
	Nivel aceptable de interferencia CoCanal	I/N = -6 dB (para todas las interferencias)
Transmisor	Mascara de emisión	Ver ETSI EN 301 021 (2002-02), "Fixed Radio Systems; Point-to-multipoint equipment; Time Division Multiple Access (TDMA); Point-to-multipoint digital radio systems in frequency bands in the range 3 GHz to 11 GHz."
	PIRE máxima	No especifica
	Típica potencia Transmitida	3 W para la BS, 1 W para la SS
	Uso de ATPC(Automatic Transmit Power Control)	Solo uplink, 2 dB por pasos, 40 dB de rango.
	Respuesta del filtro	Root Nyquist con 25 % de factor roll-off es asumido

Tabla 2. Parámetros en la banda 3.5 GHz para despliegues Mesh

	Características	Valores Típicos
Despliegues	Diseño de sistema(s) incluyendo diagramas	Multiceldas (Distribuidas uniformemente)
	Arreglos y frecuencias típico por sector	Típicamente 4 sectores por celdas, 4 frecuencias. Solo polarización Vertical. Los sistemas pueden usar AAs (Antenas Adaptativas).
	Propagación	Parcialmente obstruidos trayectorias asignadas. Para propósitos de coexistencia, En enlace LOS es asumido para los primeros 50 mts y $d^{2.3}$ para el resto del enlace. Atenuación Nonlink es asumido para ser LOS sobre los primeros 50 mts, $d^3$ para para los siguientes 500 mts, y $d^4$ para una distancia subsiguiente.
	Tamaño de Celda	3.2 Km
	Disponibilidad	97 % del enlace disponible, aproximadamente igual al 99.9 % del sistema disponible (para el 90 % del área de cobertura de la celula)
	Distancia del enlace	
	Número de nodos por sector	Hasta 100
	Distribución de estaciones terminales	Uniforme por unidad de área
	Frecuencia de operación	2 a 6 GHz (use 3.6 GHz para el cálculo de coexistencia)
	Método de Duplexaje	TDD.
	Ancho de banda del Canal	6, 7, 12, 14 MHz (use 7 MHz para el calculo de coexistencia)
	Ganancia de Antena	9 dBi
	Backhaul links	Asignación de separación de frecuencias
Receptor	Respuesta de Filtro y	Ver Van Waess, N.J.M, "Stuff", Draft 84 rl, 2002
	Figura de Ruido	5 dB
	Nivel aceptable de interferencia CoCanal	I/N = -6 dB (para todas las interferencias)
Transmisor	Mascara de emisión	Ver ETSI EN 301 021 (2002-02), "Fixed Radio Systems; Point-to-multipoint equipment; Time Division Multiple Access (TDMA); Point-to-multipoint digital radio systems in frequency bands in the range 3 GHz to 11 GHz."
	Potencia Transmitida (en el puerto de la antena)	-12 dBW
	Uso de ATPC(Automatic Transmit Power Control)	2 dB por pasos, 20 dB de rango.

Tabla 3. Parámetros en la banda 10.5 GHz para sistemas con arquitectura Celular

	Características	Valores Típicos
Despliegues	Diseño de sistema(s) incluyendo diagramas	Multiceldas (Distribuidas uniformemente)
	Arreglos y frecuencias típico por sector	Típicamente 4 sectores por celdas, 4 frecuencias. Polarización Vertical y Horizontal ambas son usadas.
	Propagación	Solo trayecto LOS. El Desvanecimiento por lluvia es significativo; usar ecuaciones de la UIT. Desvanecimiento por multitrayectoria considerar insignificante para propósitos de coexistencia.
	Tamaño de Celda	Típico 7 Km
	Disponibilidad	99.9 a 99.99 % del tiempo para aproximadamente 50 % de la celula en el área de cobertura.
	Número de celda por sistemas	1 a 25 (Rango típico)
	Número de estaciones terminales por megahertz por transmisión-recepción por celulas	Hasta 70
	Distribución de estaciones terminales	Uniforme por unidad de área
	Frecuencia de operación (por cada variante que se estudiará)	10.5 a 10.68 GHz
	Método de Duplexaje	TDD, FDD, Half Duplex
	Ancho de banda del Canal	1.5, 3, 6, 12, 25 MHz (Solo en USA); 3.5, 7 y 14 MHz (Europa, use 7 MHz para el calculo de coexistencia)
	Característica de la antena (BS)-No adaptativa.	ETSE RPE para 90° por sector o similar Ganancia 16 dBi
	Característica de la antena (SS)-No adaptativa.	ETSE RPE o similar Ganancia 25 dBi
	Característica de la antena (RS)	Asumir lo mismo que en BS y SS
	Rece	Backhaul links
NFD (Discriminación Neta del Filtro de Recepción)		Ver CEPT/ ERC Reporte 099 (2002), The analysis of the coexistence of two FWA cells in the 24.5 - 26.5 GHz and 27.5 - 29.5 GHz bands.
Transmisor	Figura de ruido	6 dB
	Nivel aceptable de interferencia CoCanal	I/N = -6 dB (para todas las interferencias)
	Mascara de emisión	Ver ETSI EN 301 021 (2002-02), "Fixed Radio Systems; Point-to-multipoint equipment; Time Division Multiple Access (TDMA); Point-to-multipoint digital radio systems in frequency bands in the range 3 GHz to 11 GHz."
	PIRE máxima	No especifica
	Típica potencia Transmitida	1 W para la BS, 1 W para la SS
	Uso de ATPC(Automatic Transmit Power Control)	Solo uplink, 2 dB por pasos, 40 dB de rango.
	Respuesta del filtro	Root Nyquist con 25 % de factor roll-off es asumido

2.2.- Calculo del límite mínimo de interferencia Intersistema para una red Mesh, CoCanal-áreas adyacentes.

Combinando la ecuación (4) y (5), y usando los parámetros de la tabla 2 se llega al resultado de 6 Km como distancia mínima de separación entre sistemas Mesh-Mesh para que no exista interferencia alguna. Esto es:

$$pathloss(d) = 20 \log \frac{4\pi}{\lambda} + 20 \log 50 + 30 \log \frac{50}{500} + 40 \log \frac{d}{500} = 40 \log(d) - 1 \rightarrow (5) [dB]$$

$$\forall d > 500m$$

$$pathloss > P_{TX} - 10 \log(BW) + G_{TX} + G_{RX} - 10 \log(KT_0) + F - \frac{I}{N} + \log(Nodos) \rightarrow (4)$$

donde:

$10 \log(KT_0)$ : -144 dBW en 1 MHz.

$F$ : 5 dB.

$P_{TX}$ : -12 dBW.

$BW$ : 7 MHz.

$G_{TX}, G_{RX}$  = 9 dBi.

$I/N$ : -6 dB.

$Nodos$ : 100.

$$\Rightarrow pathloss > -12dBW - 10 \log(7) + 9dBi + 9dBi - (-144dBW/MHz) + 5 - (-6dB) + \log(100)$$

$$\Rightarrow pathloss > 150,0459dB$$

$$\text{donde: } 40 \log(d) - 1 > 150,0459dB \Rightarrow d >_{10} \left( \frac{(150,0459 + 1)}{40} \right) > 5972,38mts.$$

De aquí la condición establecida por la recomendación del estándar de coexistencia de que si un transmisor está ubicado a una distancia mayor a 6 Km del límite del área de servicio no se necesitará coordinación alguna por parte de los operadores.

2.3.- Calculo de interferencia Intersistema entre una BS PMP y una BS PMP victima en la banda de 3.5 GHz, CoCanal- áreas adyacentes.

Asumiendo una frecuencia de operación de 3.6 GHz ( $\lambda = 0.09$  m), una Figura de Ruido de 5 dB y una Ganacia típica de BS de 14.5 dBi, tabla 1, el nivel tolerable de interferencia de una estación base es:

$$N_0 = 10 \log KT_0 + F = -139 \left( \frac{dBW}{MHz} \right), \text{ Ruido Térmico.}$$

$$\begin{aligned} \frac{I}{N} &= -6dB = I \left( \frac{dBW}{MHz} \right) - N_0 \left( \frac{dBW}{MHz} \right) = I \left( \frac{dBW}{MHz} \right) - (-139dBW/MHz) \\ \Rightarrow I \left( \frac{dBW}{MHz} \right) &= P_r = -5dB - 139dBW/MHz = -144dBW/MHz, \text{ Interferencia} \\ & \hspace{15em} \text{Tolerable} \end{aligned}$$

$$psfd_{BS} = P_r - 10 \log \lambda^2 - G_{ant} + 10 \log 4\pi$$

$$psfd_{BS} = -144dBW/MHz - 10 \log (0.09)^2 - 14.5dBi + 10 \log 4\pi$$

$$psfd_{BS} = -125dB \left( \frac{W}{m^2} \right) \text{ en } 1 \text{ MHz; Nivel Tolerable de Interferencia.}$$

Ahora para una estación Base transmitiendo a una distancia de 60 Km (menor a 80 Km), con una potencia de -25 dBW en 1 MHz y una Ganancia de 18 dBi, en dirección de la estación Base Victima, con unas perdidas atmosféricas de 0.1 dB/Km. El nivel de densidad espectral de potencia equivalente captado en la estación Base victima de interferencia es:

$$psfd_{VICTIMA} = P_{TX} + G_{TX} - 10 \log 4\pi - 20 \log R_h - A_{atm}$$

$$psfd_{VICTIMA} = -25 + 18 - 10 \log 4\pi - 10 \log 60000 - 0.1 * 60 = -120 \left( \frac{dBW}{m^2} \right) / MHz$$

Nótese que el nivel de  $-120 \left( \frac{dBW}{m^2} \right) / MHz$  está por encima de el nivel tolerable de interferencia de la Estación Base victima  $-125 \left( \frac{dBW}{m^2} \right) / MHz$ . Por lo tanto, existirá la posibilidad de interferencia CoCanal.

## [ANEXO N° 2]

Consulta realizada a miembros de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL).

3.1.- Cuestionario enviado a países miembros de la CITEL.

### **Armonización de bandas de frecuencias**

La Administración de la República Bolivariana de Venezuela ha planteado el poder trabajar de manera conjunta para establecer principios generales sobre la armonización de bandas de frecuencias, en especial, las que puedan permitir e impulsar el desarrollo de las tecnologías de acceso de banda ancha en la región. Asimismo ha resaltado la importancia de conocer el despliegue de nuevas tecnologías en bandas que puedan ser armonizadas, con el objeto de promover la introducción de nuevos servicios que serán utilizadas como herramientas de desarrollo dentro de la sociedad.

En los últimos meses se ha notado el interés del sector telecomunicaciones en el despliegue de soluciones de acceso de banda ancha utilizando el estándar IEEE 802.16, también conocido como WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

El grupo de trabajo sobre Aspectos Regulatorios (RWG) del WiMAX Forum ha identificado, para el despliegue inicial de esta tecnología, las bandas 2500-2690 MHz, 3400-3600 MHz y 5725-5850 MHz. Sin embargo, es cada vez más notorio que los proveedores se encuentran desarrollando productos en otras bandas como 2300-2400 MHz, 3300-3400 MHz y 3600-3800 MHz.

Es por ello que Venezuela presenta a nivel Andino este documento con el fin de consultar a las Administraciones, acerca de las bandas atribuibles para el acceso inalámbrico de banda ancha (BWA), específicamente WiMAX, lo cual puede servir de insumo para futuros estudios de armonización de bandas.

**CUESTIONARIO SOBRE BANDAS ATRIBUIBLES  
A SISTEMAS DE ACCESO DE BANDA ANCHA (WiMAX)**

1) Datos Generales:

- a) Administración \_\_\_\_\_
- b) Institución que aporta la Información solicitada \_\_\_\_\_

- 2) ¿Cuáles son las bandas previstas en su país para el despliegue de sistemas de acceso de banda ancha (WiMAX)?
- 3) ¿Qué tipo de sistema (Punto a Punto, Punto a Multipunto, Punto a Zona) se planea utilizar en cada banda?
- 4) ¿Posee la administración planes para el despliegue de sistemas de acceso de banda ancha (WiMAX) en las bandas 2300-2400 MHz, 3300-3400 MHz ó 3600-3800 MHz?
- 5) Datos sobre la asignación: Indique el tipo o tipos de sistema que actualmente operan en su país en las bandas mencionadas (marque con una X).

SISTEMA	BANDAS (MHz)		
	2300-2400	3300-3400	3600-3800
SISTEMAS PUNTO A PUNTO (PTP)			
SISTEMAS PUNTO A MULTIPUNTO (PTMP)			
SISTEMAS PUNTO A ZONA (PTZ)			
Otros (especifique):			

- 6) Datos sobre la disponibilidad: Indique si existe disponibilidad actual en su país para la utilización de uno o varios de los sistemas mencionados de acuerdo a la banda indicada (marque con una X).

<b>SISTEMA</b>	<b>BANDAS (MHz)</b>		
	<b>2300-2400</b>	<b>3300-3400</b>	<b>3600-3800</b>
SISTEMAS PUNTO A PUNTO (PTP)			
SISTEMAS PUNTO A MULTIPUNTO (PTMP)			
SISTEMAS PUNTO A ZONA (PTZ)			
Otros (especifique):			

2.2.- Respuesta de los países miembros.

**1.- Institución que aporta la Información solicitada:**

<b>COLOMBIA</b>	<b>ECUADOR</b>	<b>PERÚ</b>
Ministerio de Comunicaciones	SENATEL	Ministerio de Transporte y Comunicaciones

**2.- ¿Cuáles son las bandas previstas en su país para el despliegue de sistemas de acceso de banda ancha?**

<b>COLOMBIA</b>	<b>ECUADOR</b>	<b>PERÚ</b>
3400 - 3600 MHz (*)	2400 - 2483.5 MHz (**)	411.675 - 416.675 MHz
2400 - 2483 MHz (**)	5150 – 5250 MHz (**)	421.675 - 426.675 MHz
5725 - 5850 MHz (**)	5250 – 5350 MHz (**)	452.5 – 457.5 MHz
	5470 – 5725 MHz (**)	462.5 – 467.5 MHz
(*) Atribuidas para desarrollo de WiMAX a través de las Resoluciones 2064 y 2070 de 2005	5725 - 5850 MHz (**)	1 910 - 1 930 MHz
	3400 - 3800 MHz (*)	2 200 - 2 400 MHz
(**) Atribuidas a título secundario FWA para uso libre, a través de la Resolución 689 de 2003	(*) Atribuidas para desarrollo de WiMAX a título primario en la banda de 3400 a 3700 MHz	3 400 – 3 600 MHz
	(**) Atribuidas a título secundario	10.15 - 10.28 GHz

		10.50 - 10.63 GHz
		25.25 - 27.5 GHz
		27.5 - 28.35 GHz
		29.10 - 29.25 GHz
		31.00 - 31.30 GHz
		37.35 - 37.55 GHz
		38.05 - 38.25 GHz
		38.6 - 40 GHz
		40.5 - 42.5 GHz
		42.5 - 43.5 GHz

3.- ¿Qué tipo de sistema (Punto a Punto, Punto a Multipunto, Punto a Zona) se planea utilizar en cada banda?

COLOMBIA	ECUADOR	PERÚ
<p><b>Punto a Punto y Punto a Multipunto</b> en todas las bandas en la pregunta 2.</p>	<p><b>Punto a Punto y Punto a Multipunto en las bandas de:</b>                      2400 - 2483.5 MHz;                      5150 – 5250 MHz;                      5250 – 5350 MHz;                      5470 – 5725 MHz;                      5725 - 5850 MHz.  <b>Punto a Zona en la banda de:</b>                      3400 - 3800 MHz</p>	<p>En todas las bandas mencionadas en la pregunta 2. Se tienen aplicaciones <b>Punto a Multipunto</b></p>

4.- ¿Posee la Administración planes para el despliegue de sistemas de acceso de banda ancha en las bandas 2300 - 2400 MHz, 3300 -3400 MHz o 3600 - 3800 MHz ?

COLOMBIA	ECUADOR	PERÚ
<p>La administración de Colombia estudia la ocupación, posible migración, planeación y atribución de la banda de <b>2500 - 2690 MHz</b>.</p>	<p><b>Banda 2300 - 2400 MHz:</b> Ninguno, debido a que en esta banda operan exclusivamente Sistemas de Seguridad Pública.</p> <p><b>Banda 3300 - 3400 MHz:</b> No se tiene previsto un despliegue. Esta banda está atribuida a RADIOLOCALIZACIÓN.</p> <p><b>Banda 3600 - 3800 MHz:</b> En el rango de 3600-3700 MHz y 3700 - 3800 MHz se está analizando la posibilidad a futuro.</p>	<p>La banda <b>2300 - 2400 MHz</b> está destinada para aplicaciones de acceso inalámbrico., como parte de la banda <b>2200 - 2400 MHz</b>, donde ya existen asignaciones a operadores de servicios públicos de telecomunicaciones.</p> <p>Respecto a las bandas <b>3300 - 3400 MHz ó 3600 - 3800 MHz</b>, no hay planes para el despliegue de sistemas de acceso de banda ancha, pero se está estudiando su uso.</p>

**5. - Datos sobre la asignación: Indique el tipo o tipos de sistema que actualmente operan en su país en las bandas mencionadas**

COLOMBIA	ECUADOR	PERÚ
<p><b>SISTEMAS PUNTO A PUNTO:</b> 2300 - 2400 MHz, 3300 - 3400 MHz, 3600 - 3800 MHz.</p> <p><b>SISTEMAS PUNTO A MULTIPUNTO:</b> 3600 - 3800 MHz</p>	<p><b>Banda 2300 - 2400 MHz</b> Está atribuida a los servicios FIJO, MOVIL y RADIOLOCALIZACIÓN, operan exclusivamente Sistemas de Seguridad Pública.</p> <p><b>Banda 3300 - 3400 MHz</b> Está atribuida para: RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados Fijo Móvil.</p> <p><b>Banda 3600 - 3800 MHz</b> 3600 - 3700 MHz está Concesionada para sistemas FWA.</p>	<p><b>SISTEMAS PUNTO A MULTIPUNTO:</b> 2300 – 2400 MHz</p>

**6.- Datos sobre disponibilidad: Indique si existe disponibilidad actual en su país para la utilización de uno o varios de los sistemas mencionados de acuerdo a la banda indicada**

COLOMBIA	ECUADOR	PERÚ
<p><b>No tiene información</b></p>	<p><b>Banda 3600 - 3800 MHz</b> SISTEMAS PUNTO A ZONA en el segmento de 3700 a 3800 MHz.</p>	<p><b>Banda 3300 - 3400 MHz</b> SISTEMAS PUNTO A PUNTO, SISTEMAS PUNTO A MULTIPUNTO, SISTEMAS PUNTO A ZONA</p> <p><b>Banda 3600 - 3800 MHz</b> SISTEMAS PUNTO A PUNTO, SISTEMAS PUNTO A MULTIPUNTO, SISTEMAS PUNTO A ZONA</p>



## [ANEXO N° 3]

### Recomendaciones, Resoluciones y Estándares.

#### 4.1.- Recomendaciones.

- Recomendación UIT-R F.283-5 “Disposición de radiocanales para sistemas de relevadores radioeléctricos analógicos o digitales de baja y media capacidad que funcionan en la banda de 2 GHz”.
- Recomendación UIT-R F.635-5 “Disposición de radiocanales basada en un plan homogéneo para sistemas de radioenlaces que funcionan en la banda de 4 GHz”.
- Recomendación UIT-R F.746-5 “Disposición de radiocanales para sistemas del servicio fijo”.
- Recomendación UIT-R F.747 “Disposición de radiocanales para sistemas de relevadores radioeléctricos que funcionan en la banda de 10 GHz”.
- Recomendación UIT-R F.758-2 “Consideraciones relativas a la elaboración de criterios para la compartición entre el servicio fijo terrenal y otros servicios”.
- Recomendación UIT-R F.1488 “Disposiciones de bloques de frecuencias para sistemas de acceso inalámbrico fijo (FWA) en la gama 3 400-3 800 MHz”.
- Recomendación UIT-R M.1036
- Recomendación CEPT/ERC 12-05E

#### 4.2.- Estándar IEEE 802.16-2004

##### 4.2.1.- Perfiles del Sistema.

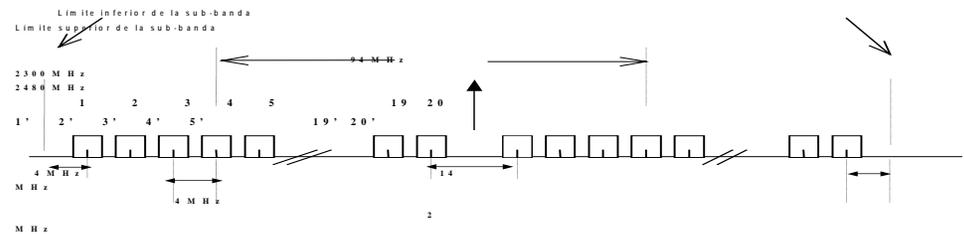
4.2.2.- Bandas de frecuencias como objetivo inicial para las diferentes interfaces de aire (WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA).

## Banda de 2 GHz. Sub-banda de 2,300 a 2,480 GHz. Rec. 746,

PORTADORA DE TX	FRECUENCIA (MHz)	PORTADORA DE RX	FRECUENCIA (MHz)
0	2304	0'	2398
1	2308	1'	2402
2	2312	2'	2406
3	2316	3'	2410
4	2320	4'	2414
5	2324	5'	2418
6	2328	6'	2422
7	2332	7'	2426
8	2336	8'	2430
9	2340	9'	2434
10	2344	10'	2438
11	2348	11'	2442
12	2352	12'	2446
13	2356	13'	2450
14	2360	14'	2454
15	2364	15'	2458
16	2368	16'	2462
17	2372	17'	2466
18	2376	18'	2470
19	2380	19'	2474
20	2384	20'	2478

### OBSERVACION

**Capacidad de los Sistemas: 4 Mbps**  
**AB = 4 MHz**  
**Separación Tx-Rx: 94 MHz.**



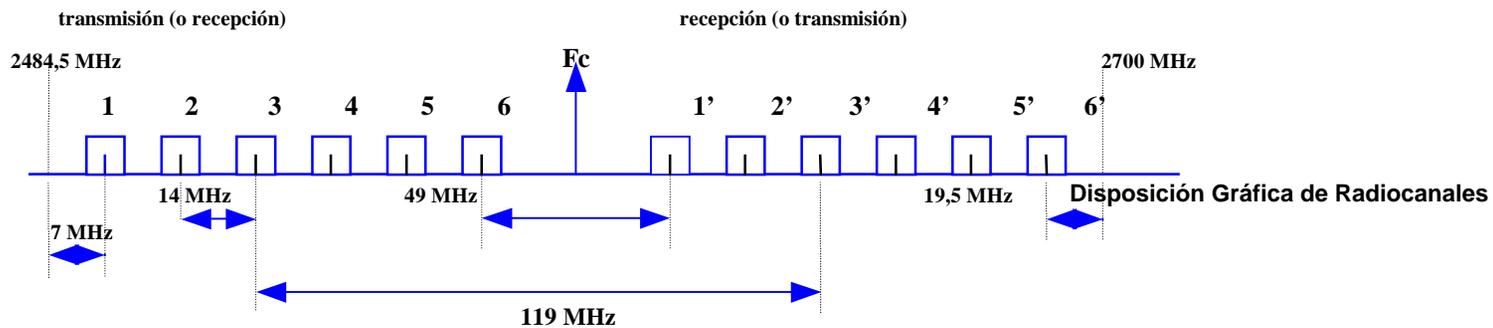
Disposición Gráfica de Radio Canales

## Banda de 2 GHz. Sub-banda de 2,480 a 2,700 GHz. Rec.

PORTADORA DE TX	FRECUENCIA (MHz)	PORTADORA DE RX	FRECUENCIA (MHz)
1	2491,5	1'	2610,5
2	2505,5	2'	2624,5
3	2519,5	3'	2638,5
4	2533,5	4'	2652,5
5	2547,5	5'	2666,5
6	2561,5	6'	2680,5

### OBSERVACION

**Capacidad de los Sistemas:**  
**70 Mbps**  
**AB = 14 MHz**  
**Separación Tx-Rx: 119 MHz.**



Los grupos que la FCC atribuye en esta sub-banda para las asignaciones de los Sistemas Multicanales Distribución Multipunto (MMDS) son siete: Grupo A, Grupo B, Grupo C, Grupo D, Grupo E, Grupo F, Grupo G.

Los grupos ocupan los valores de frecuencias que van de **2,5 GHz hasta 2,7 GHz** con ancho de banda de los canales de **6 MHz**. A continuación se muestran tales Grupos:

# Frecuencias para signaciones a los Sistemas MMDS en la banda de 2,5-2,7

**Grupo A**

<b>A1</b>	2500 - 2506
<b>A2</b>	2512 - 2518
<b>A3</b>	2524 - 2530
<b>A4</b>	2536 - 2542

**Grupo C**

<b>C1</b>	2548 - 2554
<b>C2</b>	2560 - 2566
<b>C3</b>	2572 - 2578
<b>C4</b>	2584 - 2590

**Grupo E**

<b>E1</b>	2596 - 2602
<b>E2</b>	2608 - 2614
<b>E3</b>	2620 - 2626
<b>E4</b>	2632 - 2638

**Grupo B**

<b>B1</b>	2506 - 2512
<b>B2</b>	2518 - 2524
<b>B3</b>	2530 - 2536
<b>B4</b>	2542 - 2548

**Grupo D**

<b>D1</b>	2554 - 2560
<b>D2</b>	2566 - 2572
<b>D3</b>	2578 - 2584
<b>D4</b>	2590 - 2596

**Grupo F**

<b>F1</b>	2602 - 2608
<b>F2</b>	2614 - 2620
<b>F3</b>	2626 - 2632
<b>F4</b>	2638 - 2644

**Grupo G**

<b>G1</b>	2644 - 2650
<b>G2</b>	2656 - 2662
<b>G3</b>	2668 - 2674
<b>G4</b>	2680 - 2686

## Banda de 4 GHz. Sub-banda de 3,600 a 4,200 GHz. Rec.

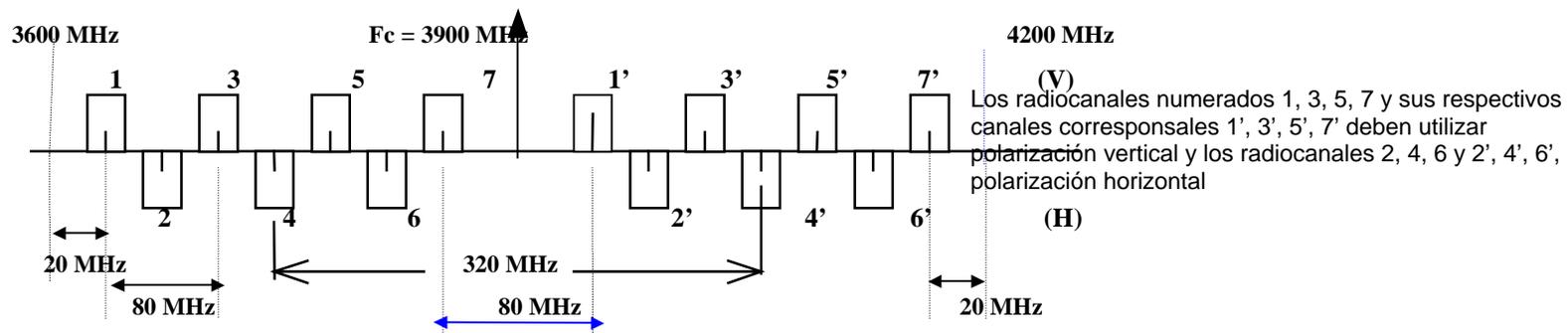
PORTADORA DE TX	FRECUENCIA (MHz)	PORTADORA DE RX	FRECUENCIA (MHz)
1	3620	1'	3940
2	3660	2'	3980
3	3700	3'	4020
4	3740	4'	4060
5	3780	5'	4100
6	3820	6'	4140
7	3860	7'	4180

### OBSERVACION

**Capacidad de los Sistemas: 140 - 2x155 Mbps**

**AB = 40 MHz**

**Separación Tx-Rx: 320 MHz.**



Disposición Gráfica de Radiocanales

## Banda de 4 GHz. Sub-banda de 3,800 a 4,200 GHz. Rec.

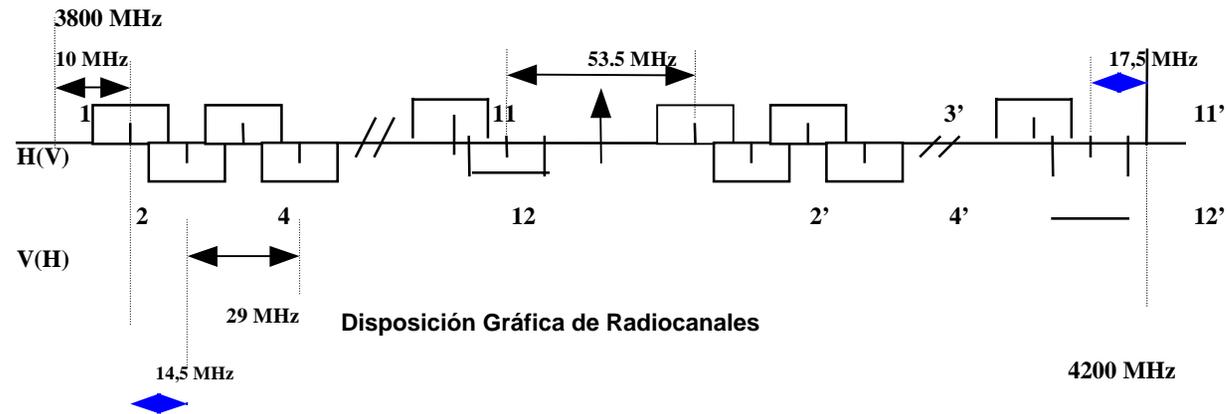
PORTADORA DE TX	FRECUENCIA (MHz)	PORTADORA DE RX	FRECUENCIA (MHz)
1	3810,0	1'	4023,0
2	<b>3824,5</b>	2'	<b>4037,5</b>
3	3839,0	3'	4052,0
4	<b>3853,5</b>	4'	<b>4066,5</b>
5	3868,0	5'	4081,0
6	<b>3882,5</b>	6'	<b>4095,5</b>
7	3897,0	7'	4110,0
8	<b>3911,5</b>	8'	<b>4124,5</b>
9	3926,0	9'	4139,0
10	<b>3940,5</b>	10'	<b>4153,5</b>
11	3955,0	11'	4168,0
12	<b>3969,5</b>	12'	<b>4182,5</b>

### OBSERVACION

**Capacidad de los Sistemas: 34 - 140 Mbps**  
**AB = 14,5 MHz**  
**Separación Tx-Rx: 213 MHz.**

Los radiocanales impares deben utilizar polarización horizontal y los pares polarización vertical de tal manera de que no haya interferencia con los radiocanales de la sub-banda de 3,6 a 4,2 GHz.

**Radiocanales intercalados**

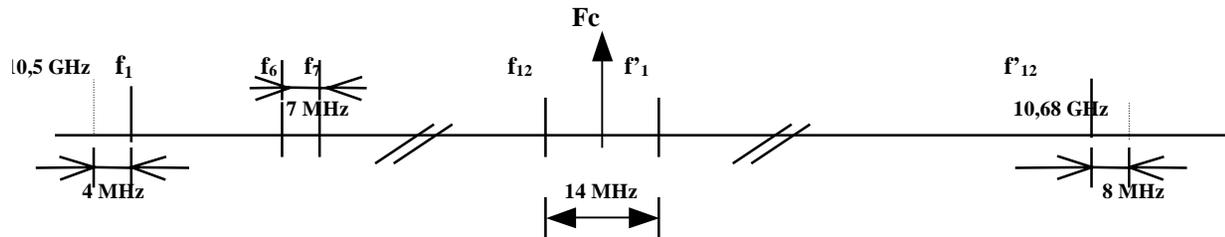


**Banda de 10 GHz. Sub-banda de 10,50 a 10,68 GHz. Rec. 747,**

Portadora de Tx	Frecuencia (MHz)	Portadora de Rx	Frecuencia (MHz)
1	10504	1'	10595
2	10511	2'	10602
3	10518	3'	10609
4	10525	4'	10616
5	10532	5'	10623
6	10539	6'	10630
7	10546	7'	10637
8	10553	8'	10644
9	10560	9'	10651
10	10567	10'	10658
11	10574	11'	10665
12	10581	12'	10672

**OBSERVACION**

**Capacidad de los Sistemas: 8 Mbps**  
**AB = 7 MHz**  
**Separación Tx-Rx: 91 MHz.**



**Disposición Gráfica de**

## Banda de 10 GHz. Sub-banda de 10,15 a 10,65 GHz. Rec CEPT 12-

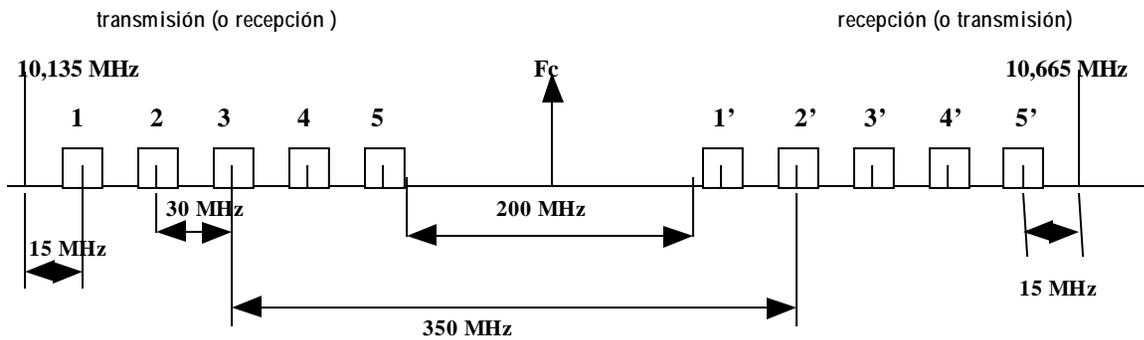
Número de Bloque	Frecuencia (MHz)	Número de Bloque	Frecuencia (MHz)
1	10,15-10,18	1'	10,50-10,53
2	10,18-10,21	2'	10,53-10,56
3	10,21-10,24	3'	10,56-10,59
4	10,24-10,27	4'	10,62-10,65
5	10,27-10,30	5'	10,65-10,68

### OBSERVACION

Capacidad de los Sistemas: 34 Mbit/s

AB = 30 MHz

Separación Tx-Rx: 350 MHz.



Disposición Gráfica de



#### 4.3.- Resoluciones:

- Resolución 2064 del Ministerio de Comunicaciones de Colombia, publicada en el Diario Oficial del 15 de septiembre de 2.005
- Resolución 2070 del Ministerio de Comunicaciones de Colombia, publicada el Diario Oficial del 16 de septiembre de 2005
- Resolución 689 del Ministerio de Comunicaciones de Colombia, publicada en el Diario Oficial del 28 de abril de 2.004
  
- Resolución 479 del Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Chile, publicada en el Diario Oficial del 03 de mayo de 2.005
- Resolución 1498 del Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Chile, publicada en el Diario Oficial del 22 de octubre de 1.999
  - Resoluciones 1496 del 12 de diciembre de 2.000
  - Resolución 901 del 01 de agosto de 2.003
  
- Resolución Ministerial 626-2004, publicada en El Peruano el 19 de agosto de 2.004
- Resolución 777/ 2005 del Ministerio de Transporte de Comunicaciones, publicada en El Peruano el 31 de octubre de 2.005



MINISTERIO DE COMUNICACIONES

**RESOLUCIÓN NÚMERO 2064 DE SEPTIEMBRE 15 DE 2005**

Por la cual se atribuyen y planifican unas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica y se dictan otras disposiciones.

**LA MINISTRA DE COMUNICACIONES**

En ejercicio de sus facultades legales y en especial las que le confiere la Ley 72 de 1989, El Decreto-Ley 1900 de 1990, el Decreto 1620 de 2003, y

**CONSIDERANDO:**

Que el artículo 75 de la Constitución Política establece que el espectro electromagnético es un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado y que se garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso;

Que los artículos 101 y 102 de la Constitución Política establecen que el espectro radioeléctrico es un bien público que forma parte de Colombia y pertenece a la Nación;

Que el artículo 1º de la Ley 72 de 1989 determina que el Gobierno Nacional por medio del Ministerio de Comunicaciones, adoptará la política general del sector de comunicaciones y ejercerá las funciones de planeación, regulación y control de todos los servicios del sector;

Que el artículo 4º de la Ley 72 de 1989 estipula que los canales radioeléctricos y demás medios de transmisión que Colombia utiliza o pueda utilizar en el ramo de las telecomunicaciones son propiedad exclusiva del Estado.

Que el artículo 18 del Decreto 1900 de 1990 establece que el espectro electromagnético es de propiedad exclusiva del Estado, cuya gestión, administración y control corresponden al Ministerio de Comunicaciones;

Que el artículo 19 del Decreto 1900 de 1990 señala que las facultades de gestión, administración y control del espectro electromagnético comprenden, entre otras, las actividades de planeación y coordinación, la fijación del cuadro de frecuencias, la asignación y verificación de frecuencias, el otorgamiento de permisos para su utilización, la protección y defensa del espectro radioeléctrico, la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas, el establecimiento de condiciones técnicas de equipos terminales y redes que utilicen en cualquier forma el espectro radioeléctrico, la detección de irregularidades y perturbaciones, y la adopción de medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico, y a restablecerlo en caso de perturbación o irregularidades;

Página 2 de la Resolución: "Por el cual se atribuyen y planifican unas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica y se dictan otras disposiciones".

Que el artículo 20 del Decreto 1900 de 1990 estipula que el uso de frecuencias radioeléctricas requiere permiso previo otorgado por el Ministerio de Comunicaciones y dará lugar al pago de los derechos que correspondan;

Que el Decreto 1972 de 2003 establece el régimen unificado de contraprestaciones, por concepto de concesiones, autorizaciones, permisos y registros en materia de telecomunicaciones y los trámites para su liquidación, cobro, recaudo y pago;

Que el Documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES 3371, recomendó encargar al Ministerio de Comunicaciones la definición de los procedimientos de asignación de la banda de 3.5 GHz, conforme a los lineamientos de política enunciados en dicho documento,

Que en razón a los adelantos tecnológicos, se hace necesario atribuir y planificar unas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica.

#### RESUELVE:

**Artículo 1º. OBJETO.** La presente Resolución tiene por objeto atribuir y planificar unas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación de los servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de Distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica.

**Artículo 2º. DEFINICIONES.** Para los efectos de la presente Resolución, se adoptan las definiciones que en materia de telecomunicaciones ha expedido la Unión Internacional de telecomunicaciones, UIT, a través de sus Organismos Reguladores, y las definiciones que se establecen a continuación:

**BANDA ANCHA:** Técnica de transmisión que mediante el uso de tecnologías digitales permite la telecomunicación, entre otras, de voz, sonidos, datos, imágenes y video, por un mismo canal, con velocidades que garantizan calidad de servicio, y que proporciona la integración de facilidades de telecomunicación y el acceso a la información.

**PUNTO A PUNTO:** Comunicación proporcionada por un enlace, por ejemplo por medio de un radioenlace, entre dos estaciones situadas en unos puntos fijos determinados.

**PUNTO MULTIPUNTO:** Comunicación proporcionada por enlaces, por ejemplo por medio de radioenlaces, entre una estación situada en un punto fijo determinado y un número de estaciones situadas en unos puntos fijos determinados.

**SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PUNTO A PUNTO Y PUNTO MULTIPUNTO PARA ACCESO DE BANDA ANCHA INALÁMBRICA:** Sistemas que permiten la radiocomunicación entre puntos fijos determinados, punto a punto y punto multipunto, y que utilizan la radiocomunicación de banda ancha para la transmisión, recepción y distribución de señales con fines específicos de telecomunicación.

Página 3 de la Resolución: "Por el cual se atribuyen y planifican unas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica y se dictan otras disposiciones".

**ÁREA DE SERVICIO:** Zona geográfica determinada dentro de la cual el beneficiario del permiso puede utilizar la frecuencia o frecuencias radioeléctricas que se le han asignado y operar los equipos destinados a la telecomunicación, de acuerdo con la concesión, el permiso otorgado y los parámetros técnicos de operación autorizados.

**Artículo 3°. ATRIBUCIÓN.** Se atribuye dentro del territorio nacional, a título primario al servicio fijo radioeléctrico, para la operación de los sistemas de Distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica, la banda de frecuencias radioeléctricas comprendida entre los 3 400 MHz a los 3 600 MHz, en las condiciones establecidas por esta Resolución, y se ordena su inscripción en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias.

**Artículo 4°. DISTRIBUCIÓN.** La banda de frecuencias radioeléctricas atribuida y comprendida entre los 3 400 MHz a los 3 600 MHz, se distribuye en rangos de frecuencias radioeléctricas de conformidad con la siguiente tabla:

BANDA	RANGO	BANDA	RANGO
A	3 400 MHz a 3 421 MHz	A'	3 500 MHz a 3 521 MHz
D	3 421 MHz a 3 435 MHz	D'	3 521 MHz a 3 535 MHz
E	3 435 MHz a 3 449 MHz	E'	3 535 MHz a 3 549 MHz
B	3 450 MHz a 3 471 MHz	B'	3 550 MHz a 3 571 MHz
C	3 471 MHz a 3 492 MHz	C'	3 571 MHz a 3 592 MHz
F	3 492 MHz a 3 500 MHz	F'	3 592 MHz a 3 600 MHz

Para la operación por Separación Duplex por División de Frecuencia, las bandas o rangos de frecuencias distribuidos seorean con separación de 100 MegaHertz entre frecuencias de transmisión y recepción.

**Artículo 5°. ÁREAS DE SERVICIO.** Las bandas de frecuencias radioeléctricas distribuidas, se planifican para su operación dentro del territorio nacional, conforme al área de servicio, de la siguiente forma:

5.1. **ÁREA DE SERVICIO NACIONAL.** Se planifican y disponen para su operación en área de servicio nacional, las bandas de frecuencias: AA', BB' y CC'.

5.2. **ÁREA DE SERVICIO DEPARTAMENTAL.** Se planifican y disponen para su operación en área de servicio departamental, las bandas de frecuencias: DD' y EE'.

5.3 El ancho de banda para la operación por Separación Duplex por División de Frecuencia, las bandas y su correspondiente área de servicio, se señalan en la siguiente Tabla:

BANDAS	ÁREA DE SERVICIO	ANCHO DE BANDA
AA'	Nacional	2 x 21 MHz = 42 MHz
BB'	Nacional	2 x 21 MHz = 42 MHz
CC'	Nacional	2 x 21 MHz = 42 MHz
DD'	Departamental	2 x 14 MHz = 28 MHz
EE'	Departamental	2 x 14 MHz = 28 MHz
FF'	Reservada	2 x 8 MHz = 16 MHz

Página 4 de la Resolución: "Por el cual se atribuyen y planifican unas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica y se dictan otras disposiciones".

---

**Parágrafo:** La banda de frecuencias FF', queda reservada para los fines que determine el Ministerio de Comunicaciones, en atención a las necesidades nacionales.

**Artículo 6°. ASIGNACIÓN.** El Ministerio de Comunicaciones asignará el espectro radioeléctrico atribuido y planificado por la presente Resolución, de conformidad con las áreas de servicio, siguiendo los siguientes principios y políticas:

- a). El espectro atribuido debe utilizarse exclusivamente para la prestación al público de servicios de telecomunicaciones, con tecnologías que permitan aplicaciones de banda ancha inalámbrica.
- b). Las características técnicas para el uso del espectro radioeléctrico atribuido para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de Distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica, implican una limitación en el número de asignaciones del mismo, por consiguiente, el espectro entre los 3 400 MHz a los 3 600 MHz, se considera escaso y limitado.
- c). Para su asignación deben seguirse las políticas trazadas por el Consejo Nacional de Política Económica y Social en el documento CONPES 3371 del 18 de agosto de 2005.
- d). Para garantizar la asignación eficiente del espectro, los adjudicatarios de permisos para el área de servicio nacional, en las bandas de frecuencias señaladas en los artículos 4° y 5° de la presente Resolución, no podrán tener asignada más de una banda. De igual forma, los beneficiarios de permisos para el área de servicio departamental, no podrán tener asignada más de una banda, en un mismo departamento.

**Artículo 7°. USO EFICIENTE DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.** El espectro radioeléctrico atribuido y asignado, deberá ser utilizado de manera eficaz y eficiente, sin que se lleguen a producir interferencias que perjudiquen la operación de las redes de telecomunicaciones, y que mediante los procedimientos de planeación y coordinación de frecuencias, y de compatibilidad entre estaciones radioeléctricas, permitan acomodar el máximo número de usuarios en las redes, el conveniente cubrimiento radioeléctrico de las áreas geográficas de servicio, y la adecuada prestación de los servicios de telecomunicaciones, de conformidad con las normas de telecomunicaciones nacionales, el Reglamento de Radiocomunicaciones y las Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT.

El Ministerio de Comunicaciones podrá recuperar el espectro radioeléctrico asignado, que se encuentre sin utilizar en uno ó más municipios o áreas geográficas del país, y podrá modificar el área de servicio otorgada en el permiso.

**Artículo 8°. REUBICACIÓN.** El Ministerio de Comunicaciones podrá reubicar en otras bandas de frecuencias a aquellos operadores que tengan asignadas frecuencias o bandas de frecuencias radioeléctricas en cualquiera de las bandas distribuidas en el presente acto administrativo

Página 5 de la Resolución: "Por el cual se atribuyen y planifican unas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica y se dictan otras disposiciones".

---

**Artículo 9º. VIGENCIA.** La presente Resolución rige a partir de la fecha de su publicación, modifica y deroga las normas y disposiciones que le sean contrarias.

**PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE**

Dado en Bogotá, D. C., a los 15 días del mes de septiembre de 2005

**LA MINISTRA DE COMUNICACIONES**

*Original firmado por*

**MARTHA ELENA PINTO DE DE HART**



MINISTERIO DE COMUNICACIONES

**RESOLUCIÓN NÚMERO 2070 DE SEPTIEMBRE 16 DE 2005**

Por la cual se adoptan medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico en la banda de 3 400 MHz a 3 600 MHz y se dictan otras disposiciones.

**LA MINISTRA DE COMUNICACIONES**

En ejercicio de sus facultades constitucionales y legales y en especial de las que le confiere los artículos 75, 101 y 102 de la Constitución Política, los artículos 1º y 4º de la Ley 72 de 1989, los artículos 18, 19 y 20 del Decreto-Ley 1900 de 1990, el Decreto 1620 de 2003, y

**CONSIDERANDO:**

Que el Ministerio de Comunicaciones y la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones publicaron en sus páginas WEB el documento "Promoción y Masificación de la Banda Ancha en Colombia Versión II", uno de cuyos objetivos es el *"Fomento al uso de nuevas tecnologías, tanto alámbricas como inalámbricas y sus consideraciones normativas y regulatorias, como es el caso del estándar 802.16 (WiMAX) y PLC entre otros"*

Que el Consejo Nacional de Política Económica y Social expidió el pasado 18 de agosto el Documento CONPES 3371 "Lineamientos de Política para la Utilización Eficiente de Tecnologías de Banda Ancha Inalámbricas en la Banda de 3.5 GHz";

Que en desarrollo del CONPES 3371, la Dirección de Desarrollo del Sector del Ministerio de Comunicaciones formuló a través del documento *"Propuesta de Atribución, Asignación y Valoración de la banda de 3,5 GHz,"* la política de atribución y asignación de dicho espectro;

Que la Resolución 2064 del 15 de septiembre de 2005 atribuyó y planificó la banda de frecuencias radioeléctricas comprendida entre los 3 400 MHz a los 3 600 MHz para la prestación de los servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de Distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica.

Que en mérito de lo expuesto,

Página 2 de la Resolución: "Por la cual se adoptan medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico en la banda de 3 400 MHz a 3 600 MHz y se dictan otras disposiciones".

---

**RESUELVE:**

**CAPITULO I  
DISPOSICIONES GENERALES**

**Artículo 1º. OBJETO.** La presente Resolución tiene por objeto adoptar medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico, así como determinar la forma de otorgamiento de los permisos para el uso del espectro radioeléctrico, para la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica, en la banda de 3 400 MHz a 3 600 MHz.

**Artículo 2º. PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES.** Los sistemas de Distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica, deben utilizarse para la prestación de servicios de telecomunicaciones, para lo cual se deberá contar con la concesión, autorización o licencia respectiva.

**CAPITULO II  
GENERALIDADES DE LOS PERMISOS**

**Artículo 3º. PERMISOS PARA USAR EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.** Los permisos para el uso del espectro radioeléctrico en la prestación de servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica, serán otorgados por el Ministerio de Comunicaciones atendiendo los principios de la función administrativa

**Parágrafo.** El permiso para el derecho al uso del espectro radioeléctrico no constituye por sí mismo, título habilitante para la prestación de servicios de telecomunicaciones.

**Artículo 4º. DE LOS REQUISITOS PARA SER TITULAR DEL PERMISO**

- a) Ser persona jurídica debidamente constituida en Colombia para lo cual deberá adjuntar el Certificado de Cámara de Comercio
- b) No estar incurso en ninguna causal de inhabilidad, incompatibilidad o prohibición de orden constitucional o legal para lo cual deberá adjuntar declaración juramentada
- c) Ser operador de telecomunicaciones,

Página 3 de la Resolución: "Por la cual se adoptan medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico en la banda de 3 400 MHz a 3 800 MHz y se dictan otras disposiciones".

- d) Ser legalmente capaz de acuerdo con las disposiciones vigentes, para lo cual se deberá adjuntar el Certificado de Cámara de Comercio, y
- e) Acreditar que la duración de la empresa no sea inferior a la del plazo de la concesión o licencia con el que se cuente, y un año más.

**Artículo 5°. DURACIÓN Y RENOVACIÓN DEL PERMISO.** El permiso para el uso de frecuencias radioeléctricas tendrá un plazo definido, el cual podrá renovarse hasta por un término igual al inicial que no podrá exceder de veinte años.

El titular del permiso deberá comunicar por escrito al Ministerio de Comunicaciones, mínimo con tres (3) meses de antelación a la ocurrencia del vencimiento del término, su intención de continuar como titular del mismo. La no comunicación escrita, dará por entendido la terminación del permiso.

**Artículo 6°. MODIFICACIÓN DEL PERMISO.** Cualquier ampliación, extensión, renovación o modificación de las condiciones, requiere de nuevo permiso, previo y expreso, otorgado por el Ministerio de Comunicaciones

### **CAPITULO III DEL OTORGAMIENTO DE PERMISOS PARA EL ÁREA NACIONAL**

**ARTÍCULO 7°. REQUISITOS PARA EL OTORGAMIENTO DE LOS PERMISOS.** Para el otorgamiento de permisos por el derecho al uso del espectro radioeléctrico para la prestación de los servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de Distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica, en el área de cubrimiento nacional, los operadores deberán cumplir la totalidad de los siguientes requisitos:

- a) Contar con título habilitante para la prestación de servicios de Valor Agregado y Telemáticos.
- b) Estar autorizado o contar con título habilitante para la prestación del servicio de Larga Distancia.
- c) Operar directa o indirectamente, a través de empresas vinculadas, socios, accionistas al menos un (1) millón de las líneas telefónicas fijas instaladas, en el país.
- d) Que los ingresos operacionales del 2004, reportados ante la superintendencia de servicios públicos domiciliarios sean superiores a \$500.000 millones de pesos colombianos.

**ARTÍCULO 8°. SOLICITUD DEL PERMISO.** El permiso se solicitará de conformidad con lo establecido en el Capítulo III del Libro I del Código Contencioso Administrativo.

Página 4 de la Resolución: "Por la cual se adoptan medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico en la banda de 3 400 MHz a 3 800 MHz y se dictan otras disposiciones".

#### **CAPITULO IV DEL OTORGAMIENTO DE PERMISOS PARA LAS ÁREAS DEPARTAMENTALES**

**ARTÍCULO 9º. REQUISITOS PARA EL OTORGAMIENTO DE LOS PERMISOS.** Los requisitos para el otorgamiento de permisos por el derecho al uso del espectro radioeléctrico para la prestación de los servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de Distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica, en el área de cubrimiento departamental, serán determinados por el Ministerio de Comunicaciones. Se tendrán en cuenta los requisitos establecidos para el otorgamiento de permisos nacionales, para efectos de fijar unos afines o similares siempre y cuando los mismos sean aplicables.

Los permisos se otorgarán a aquellos interesados que acrediten el cumplimiento de los requisitos. En el evento en el cual el número de interesados supere el número de bandas atribuidas se hará un proceso de selección.

**ARTÍCULO 10º. INICIO DE LA ACTUACIÓN.** Las actuaciones de las que habla el artículo anterior se iniciarán de oficio por el Ministerio de Comunicaciones, atendiendo en lo pertinente lo dispuesto en el artículo 28 del Código Contencioso Administrativo y demás normas concordantes.

Dicha actuación se iniciará por decisión del Ministerio o a solicitud de parte en ejercicio del derecho de petición en interés general. En este último caso, el objeto de la petición deberá encaminarse a proponer al Ministerio la iniciación de oficio del procedimiento dirigido a otorgar los respectivos permisos y el interés que asiste a quien formula la petición.

**ARTÍCULO 11º. DEBIDA COMPETENCIA.** Los beneficiarios de permisos por el derecho al uso del espectro radioeléctrico para la prestación de los servicios de telecomunicaciones que utilicen sistemas de Distribución Punto a Punto y Punto Multipunto para Acceso de Banda Ancha Inalámbrica, en el área de cubrimiento nacional, no podrán participar en el proceso de selección para las áreas de servicio departamental.

#### **CAPITULO V DISPOSICIONES FINALES**

**Artículo 12º. POSICIÓN DOMINANTE SOBRE EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.** Los titulares de permisos por el derecho al uso del espectro radioeléctrico establecido en esta Resolución no podrán tener asignado, más de 42 MHz del espectro radioeléctrico atribuido por la Resolución 2064 del 15 de septiembre de 2005.

Página 5 de la Resolución: "Por la cual se adoptan medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico en la banda de 3 400 MHz a 3 600 MHz y se dictan otras disposiciones".

---

**Artículo 13°. SANCIONES.** Las infracciones al ordenamiento de las telecomunicaciones darán lugar a las sanciones previstas por el Decreto-Ley 1900 de 1990.

**Artículo 14°. CONTRAPRESTACIONES.** El derecho al uso de frecuencias radioeléctricas da lugar sin excepción alguna, a la liquidación, cobro, recaudo y pago de contraprestaciones por concepto del permiso y su título habilitante, de conformidad con el Decreto 2925 de 2005, el Decreto 1972 de 2003 ó Régimen Unificado de Contraprestaciones, o las normas que los sustituyan, aclaren, modifiquen o adicionen.

**Artículo 15°. VIGENCIA.** La presente Resolución rige a partir de la fecha de su publicación.

**PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE**

Dado en Bogotá, D. C., a los 16 días del mes de septiembre de 2005

**LA MINISTRA DE COMUNICACIONES**

*Original firmado por*

**MARTHA ELENA PINTO DE DE HART**

DIARIO OFICIAL 45.533 MIÉRCOLES 28 de ABRIL de 2004

**RESOLUCION NUMERO 000689 DE 2004**

por la cual se atribuyen unas bandas de frecuencias para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de bandaancha y baja potencia, y se dictan otras disposiciones.

**La Ministra de Comunicaciones,**

en el ejercicio de sus facultades legales, en especial de las que le confieren la Ley 72 de 1989, el Decreto-ley 1900 de 1990, el Decreto 1620 de 2003, y el Decreto 1972 de 2003, y

**CONSIDERANDO:**

Que el inciso 1° del artículo 75 de la Constitución Política establece: "El espectro electromagnético es un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado. Se garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley";

Que el artículo 1° de la Ley 72 de 1989 establece que el Gobierno Nacional, por conducto del Ministerio de Comunicaciones, adoptará la política general del sector de comunicaciones y ejercerá las funciones de planeación, regulación y control de todos los servicios del sector;

Que el artículo 18 del Decreto 1900 de 1990 establece que el espectro electromagnético es de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inenajenable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponden al Ministerio de Comunicaciones;

Que según lo dispuesto en el artículo 19 del Decreto 1900 de 1990, las facultades de gestión, administración y control del espectro electromagnético comprenden, entre otras, las actividades de planeación y coordinación, la fijación del cuadro de frecuencias, la asignación y verificación de frecuencias, el otorgamiento de permisos para su utilización, la protección y defensa del espectro radioeléctrico, la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas, el establecimiento de condiciones técnicas de equipos terminales y redes que utilicen en cualquier forma el espectro radioeléctrico, la detección de irregularidades y perturbaciones, y la adopción de medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico, y a restablecerlo en caso de perturbación o irregularidades;

Que el numeral 32.6 del artículo 32 del Decreto 1972 de 2003 establece que "El uso del espectro radioeléctrico para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM), así como para aparatos, equipos o sistemas cuya instalación y operación sean autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Comunicaciones en las bandas y frecuencias atribuidas nacionalmente para el efecto, es libre";

Que el Comité Consultivo Permanente III de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones CITEL, en su Recomendación CCP.III/REC.67 (XIX-2001) examinó el tema de los dispositivos de radiocomunicaciones de baja potencia,

e instó a las administraciones de los países miembros a armonizar sus reglamentaciones sobre dichos dispositivos de radiocomunicaciones;

Que el Comité Consultivo Permanente III de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones CITEL, en su Recomendación CCP.III/Res.122 (XVII-2001), reconoció el interés de sus Estados miembros armonizar el desarrollo de los dispositivos WLAN en las bandas de frecuencias de 5150-5250 MHz, 5250-5350 MHz y 5725-5825 MHz, y que su introducción internacional sería facilitada por la armonización de los países miembros, e instó a las Administraciones a considerar acciones apropiadas para que estas aplicaciones estén sujetas a procedimientos reconocidos de certificación y verificación;

Que la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones CMR-03, decidió mediante la resolución COM 5/16-CMR-03, efectuar una atribución primaria para sistemas de acceso inalámbrico WAS incluidas las RLAN en las bandas de 5 150-5 250 MHz, 5 250-5 350 MHz y 5 470-5 725 MHz, e invitó a las Administraciones a adoptar la reglamentación apropiada para que los equipos funcionen de conformidad con dichas protecciones y a proseguir el trabajo sobre mecanismos reglamentarios y otras técnicas de atenuación, con el fin de evitar las incompatibilidades que pudieran resultar de la interferencia combinada como resultado de una posible proliferación del número de sistemas de acceso inalámbrico WAS/RLAN;

Que en razón de los adelantos tecnológicos, se hace necesario atribuir, dentro del territorio nacional, para la operación sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia, unas bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización, en aplicaciones de telecomunicaciones que por su baja potencia puedan ser operadas sin que logren causar interferencia perjudicial a servicios de telecomunicaciones primarios o secundarios, con el fin de facilitar la coexistencia con otros servicios de telecomunicaciones, y ejercer un control efectivo sobre el uso del espectro radioeléctrico;

En consecuencia,

## **RESUELVE:**

### **TÍTULO I**

#### **DISPOSICIONES GENERALES**

Artículo 1°. Objeto. La presente resolución tiene por objeto atribuir unas bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por esta resolución.

Artículo 2°. Definiciones. Para los efectos de la presente resolución, se adoptan las definiciones que en materia de telecomunicaciones ha expedido la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, a través de sus Organismos Reguladores, y las definiciones que se establecen a continuación:

Aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas (ICM). Utilización de equipos destinados a producir y utilizar en un espacio reducido, energía radioeléctrica con fines industriales, científicos y médicos, domésticos o similares, con exclusión de todas las aplicaciones de telecomunicación.

Comunicación punto a punto. Comunicación proporcionada por un enlace radioeléctrico, entre dos estaciones situadas en unos puntos fijos determinados.

Comunicación punto multipunto. Comunicación proporcionada por enlaces radioeléctricos, entre una estación situada en un punto fijo determinado y un número de estaciones situadas en unos puntos fijos determinados.

Espectro ensanchado por salto de frecuencia (Frequency Hopping). Técnica de estructuración de la señal que conmuta automáticamente la frecuencia portadora transmitida; proceso que se realiza en forma pseudoaleatoria a partir de un conjunto de frecuencias que ocupa un ancho de banda mucho mayor que el ancho de banda de información. El receptor correspondiente realiza el "salto" de frecuencia en sincronismo con el código del transmisor para recuperar la información deseada.

Espectro ensanchado por secuencia directa (Direct Sequence). Técnica de estructuración de la señal que utiliza una secuencia pseudoaleatoria digital o código, con una velocidad de transmisión, muy superior a la velocidad de la señal de información. Cada bit de información de la señal digital se transmite como una secuencia pseudoaleatoria de datos codificados, que produce un espectro semejante al ruido.

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

Modulación digital. Proceso por el cual las características de una onda portadora son variadas entre un sistema de valores discretos predeterminados de acuerdo con una función de modulación digital según lo especificado en el documento ANSI C63.17.1998.

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE). Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia, con relación a una antena isotrópica en una dirección dada.

Sistemas de Baja Potencia. Acorde con la Recomendación CCP.III/REC.67 (XIX-2001) de la CITEI, son de baja potencia los dispositivos, aparatos o equipos transmisores de radiocomunicación que cuentan con poca capacidad para provocar interferencia en otro equipo de radiocomunicación y que operan sobre una base de no-interferencia, y no protección de interferencia.

Sistemas de Corto Alcance Radioeléctrico. Para los efectos de la presente resolución se consideran sistemas de corto alcance radioeléctrico los sistemas transmisores intencionales cuyo radio de cobertura de la señal guarda relación directa con la baja potencia de salida emitida por los transmisores sin que lleguen a producir interferencia a otras radiocomunicaciones.

Sistemas de Modulación Digital. Sistemas electrónicos que utilizan para el procesamiento de la señal la modulación digital.

Sistemas de Espectro Ensanchado. Sistemas de radiocomunicación en el que la energía media de la señal transmitida se reparte sobre un ancho de banda mucho mayor del ancho de banda de la información, con una densidad

espectral de potencia más baja, y un mayor rechazo a las señales interferentes que operan en la misma banda de frecuencias, empleando un código independiente al de los datos, ofreciendo una capacidad de direccionamiento selectiva y la alternativa de compartir el espectro con otros sistemas de radiocomunicación. Los sistemas de espectro ensanchado presentan modalidades de funcionamiento, los sistemas de secuencia directa (direct sequence -DS), los de salto de frecuencia (frequency hopping-FH-), y los sistemas híbridos (FH/DS), que son una combinación de los anteriores.

Radiocomunicación. Toda telecomunicación transmitida por medio de las ondas radioeléctricas.

RLAN (Radio Local Area Network). Red inalámbrica de área local, que constituye una radiocomunicación entre ordenadores, aparatos y dispositivos físicamente cercanos.

U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure). Radiadores intencionales de energía electromagnética de baja potencia que funcionan en las bandas de frecuencia de 5 150 a 5 350 MHz y de 5 470 a 5 825 MHz, que utilizan técnicas de modulación digital de banda ancha con alta transmisión de datos y proporcionan una amplia gama de comunicaciones móviles y fijas en beneficio general.

Uso libre del espectro. Uso sin necesidad de contraprestación o pago, de algunas frecuencias o bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, atribuidas, permitidas y autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Comunicaciones.

WAS Wireless Access Systems, Forma de acceso en que los usuarios obtienen un servicio de telecomunicaciones mediante enlaces de radiofrecuencias. El término de sistemas de acceso inalámbrico se aplicará en adelante a todas las tecnologías de radiocomunicación de banda ancha y baja potencia que operen sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia.

Selección Dinámica de Frecuencia, DFS. Mecanismo que detecta dinámicamente señales de otros sistemas de radiocomunicación y evita la operación cocanal con estos sistemas, especialmente con sistemas de radar.

Control de Transmisión de Potencia, TPC. Característica que permite a un dispositivo U-NNI cambiar dinámicamente entre varios niveles de potencia de transmisión en el proceso de la transmisión de datos.

Artículo 3°. Campo de aplicación. La presente norma aplica a los sistemas de radiocomunicación de acceso inalámbrico y a las redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia.

Para los efectos de la presente norma, a los sistemas que utilicen tecnologías de espectro ensanchado por secuencia directa les serán aplicables las disposiciones y condiciones operativas establecidas para los sistemas de modulación digital.

Artículo 4°. Habilitación general. La utilización del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias atribuidas en el artículo 5° y bajo las condiciones establecidas en esta norma, no requiere habilitación distinta a la conferida de manera general por la presente resolución, sin perjuicio de la obligatoriedad de

obtener la concesión respectiva cuando con este espectro radioeléctrico se pretenda prestar servicios de telecomunicaciones a terceros.

## TÍTULO II

### DISPOSICIONES TÉCNICAS

Artículo 5°. Bandas de frecuencias. Se atribuyen dentro del territorio nacional, a título secundario, para operación sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia, los siguientes rangos de frecuencias radioeléctricas, para su libre utilización por sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que empleen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por esta resolución.

- a) Banda de 902 a 928 MHz;
- b) Banda de 2 400 a 2 483,5 MHz;
- c) Banda de 5 150 a 5 250 MHz;
- d) Banda de 5 250 a 5 350 MHz;
- e) Banda de 5 470 a 5 725 MHz;
- f) Banda de 5 725 a 5 850 MHz.

Artículo 6°. Condiciones Operativas en las bandas de 902 a 928 MHz, 2 400 a 2 483,5 MHz y de 5 725 a 5 850 MHz. Son condiciones operativas para los sistemas de espectro ensanchado por salto de frecuencia y de modulación digital, en las bandas de 902 a 928 MHz, de 2 400 a 2 483,5 MHz, y de 5 725 a 5 850 MHz, las siguientes:

A.1. Los sistemas de salto de frecuencia tendrán frecuencias portadoras por canal de intercalamiento separadas como mínimo por el mayor valor entre 25 KHz y el ancho de banda del canal a 20 dB. El sistema saltará a los canales de frecuencias que son seleccionados, a la rata de salto del sistema, de una lista de frecuencias de salto ordenada pseudoaleatoriamente. Cada frecuencia se debe utilizar igualmente en promedio, por cada transmisor. Los receptores del sistema harán coincidir sus anchos de banda de entrada con los anchos de banda del canal de salto de sus transmisores correspondientes y cambiarán frecuencias en sincronización con las señales transmitidas.

A.2. Los sistemas de salto de frecuencia en la banda de 902 a 924 MHz deben operar de la siguiente forma: si el ancho de banda del canal de salto a 20 dB es menor que 250 KHz, el sistema utilizará por lo menos 50 frecuencias de salto y el tiempo medio de la ocupación de cualquier frecuencia no será mayor a 0.4 segundos dentro de un período de 20 segundos. Si el ancho de banda del canal de salto a 20 dB es de 250 KHz o mayor, el sistema utilizará por lo menos 25 frecuencias de salto y el tiempo medio de la ocupación de cualquier frecuencia no será mayor a 0.4 segundos dentro de un período de 10 segundos. El ancho de banda máximo permitido del canal de saltos, a 20 dB, es 500 KHz.

A.3. Los sistemas de salto de frecuencia que operan en la banda de 5 725 a 5 850 MHz, deben usar por lo menos 75 frecuencias de intercalamiento. El ancho de banda máximo permitido a 20 dB del canal de intercalamiento corresponde a 1 MHz. El tiempo promedio de ocupación de cualquier

frecuencia no deberá ser mayor que 0.4 segundos dentro de un período de 30 segundos.

A.4. Los sistemas de Salto de Frecuencia en la banda de 2 400 a 2 483,5 MHz deberán utilizar al menos 15 canales no superpuestos. El tiempo promedio de ocupación de cualquier canal no deberá ser mayor a 0.4 segundos dentro de un período de 0.4 segundos multiplicado por el número de canales de salto empleados. Los sistemas de salto de frecuencia que utilicen menos de 75 frecuencias de salto pueden emplear técnicas inteligentes de salto para evitar interferencias a otras transmisiones. Los sistemas de salto de frecuencia pueden evitar o suprimir transmisiones en una frecuencia particular de salto siempre y cuando se emplee un mínimo de 15 canales no superpuestos.

A.5. Los sistemas que utilizan técnicas de modulación digital pueden operar en las bandas de 902 a 928 MHz, de 2 400 a 2 483,5 MHz, y de 5 725 a 5 850 MHz. El ancho de banda mínimo a 6 dB debe ser de por lo menos 500 kHz;

B. Potencia. La potencia de salida máxima del transmisor no excederá de lo siguiente:

B.1. Para los sistemas de salto de frecuencia en la banda de 2 400 a 2 483,5 MHz que empleen al menos 75 canales de salto, y para todos los sistemas de salto de frecuencia en la banda 5 725 a 5 850 MHz: 1 Vatio. Para los demás sistemas de salto de frecuencia en la banda 2 400 a 2 483,5 MHz: 0.125 Vatios;

B.2. Para sistemas de saltos de frecuencia que funcionan en la banda de 902 a 928 MHz:

Para los sistemas que emplean por lo menos 50 canales de saltos de frecuencia: 1 vatio.

Para los sistemas que emplean menos de 50 canales de saltos de frecuencia, pero por lo menos 25 canales, según lo permitido bajo el numeral A2 de este artículo: 0.25 vatios.

B.3. Para sistemas que utilicen modulación digital en las bandas de 902 a 928 MHz, de 2 400 a 2 483,5 MHz, y de 5 725 a 5 850 MHz: 1 Vatio.

B.4. Si se emplean antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia pico de salida de un transmisor debe ser reducida por debajo de los valores establecidos en los numerales B1, B2 y B3 de este artículo, como sea apropiado, por la cantidad en dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.

B.4.1. Los sistemas que operen en la banda de 2 400 a 2 483,5 MHz que se an utilizados exclusivamente para operaciones fijas punto a punto, pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional mayor a 6 dBi siempre y cuando la máxima potencia pico de salida del transmisor sea reducida en un 1 dB por cada 3 dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.

B.4.2. Los sistemas que operen en la banda de 5 725 a 5850 MHz que sean utilizados exclusivamente para operaciones fijas punto a punto, pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional mayor a 6 dBi sin la correspondiente reducción en la potencia pico de salida del transmisor.

B.4.3. La operación fija punto a punto, como se utiliza en los numerales B.4.1 y B.4.2 de este artículo, excluye el uso de sistemas punto a multipunto, aplicaciones omnidireccionales, y emisores colocalizados transmitiendo la misma información.

B.5. Los sistemas deben ser operados de tal forma que se asegure que el público no sea expuesto a niveles de energía de radiofrecuencia que exceda las normas que expida el Ministerio de Comunicaciones o el organismo estatal pertinente.

C.1. En cualquier ancho de banda de 100 kHz fuera de la banda de frecuencias en la cual está operando el transmisor de espectro ensanchado o de modulación digital, la potencia de radiofrecuencia que es producida por el transmisor deberá ser al menos 20 dB menor que en los 100 KHz de ancho de banda dentro de la banda que contiene el más alto nivel de la potencia deseada, basado en una medición de RF bien sea conducida o radiada.

D.1. Para sistemas modulados digitalmente, la densidad espectral de potencia conducida desde el transmisor a la antena no debe ser mayor a 8 dBm en cualquier segmento de 3 kHz durante cualquier intervalo de tiempo de transmisión continua.

E.1. En la presente resolución no se aplicará el parámetro denominado Ganancia del Proceso.

F.1. Para los propósitos de esta norma, sistemas híbridos son aquellos que emplean una combinación de técnicas de salto de frecuencia y de modulación digital. La operación de salto de frecuencia del sistema híbrido, con la operación en secuencia directa o modulación digital interrumpida, deberá tener un tiempo promedio de ocupación de cualquier frecuencia que no exceda 0.4 segundos dentro de un período de tiempo en segundos igual al número de frecuencias de salto empleadas multiplicado por 0.4. La operación en modulación digital del sistema híbrido, con la operación en salto de frecuencia interrumpida, cumplirá con los requerimientos de densidad de potencia del numeral D1 de este artículo.

G.1. Los sistemas del espectro ensanchado por saltos de frecuencia no requieren emplear todos los canales disponibles durante cada transmisión. Sin embargo, el sistema debe diseñarse conforme las normas de la presente resolución si el transmisor se presenta como una corriente continua de datos o información. Además, un sistema que emplee cortas ráfagas de transmisión debe cumplir con la definición de un sistema de saltos de frecuencia y debe distribuir sus transmisiones sobre el número mínimo de canales de salto especificado en esta resolución.

H.1 Es permitida la incorporación de inteligencia dentro de un sistema de espectro ensanchado por saltos de frecuencia que posibilite al sistema reconocer a otros usuarios dentro de la banda del espectro de modo que elija y adapte individual e independientemente sus puntos de salto para evitar caer en los canales ocupados. La coordinación de sistemas de salto de frecuencia de cualquier otra forma, con el propósito expreso de evitar que múltiples transmisores ocupen simultáneamente frecuencias individuales de salto, no es permitida.

Artículo 7°. Condiciones Operativas en las bandas de 5 150 a 5 250 MHz; 5 250 a 5 350 MHz, 5 470 a 5 725 MHz y DE 5 725 a 5 825 MHz, para Sistemas U-NII. Son condiciones operativas de los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen técnicas de modulación digital, para el correcto funcionamiento de los llamados sistemas para el desarrollo de la infraestructura de la información U-NII, en las bandas de 5 150 a 5 250 MHz, de 5 250 a 5 350 MHz, 5 470 a 5 725 MHz y de 5 725 a 5 825 MHz, las siguientes:

#### A. Límites de potencia

A.1 Para la banda de 5 150 a 5 250 MHz, la potencia de transmisión pico sobre la banda de frecuencia de operación no debe exceder el menor valor entre  $50 \text{ mW}$  ó  $4 \text{ dBm} + 10 \log B$ , donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB. Además, la densidad espectral de potencia pico no debe exceder 4 dBm en cualquier banda de 1 MHz. Si son utilizadas antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.

A.2 Para las bandas de 5 250 a 5 350 MHz y de 5 470 a 5 725 MHz, la potencia de transmisión pico sobre la banda de frecuencia de operación no debe exceder el menor valor entre  $250 \text{ mW}$  ó  $11 \text{ dBm} + 10 \log B$ , donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB. Además, la densidad espectral de potencia pico no debe exceder 11 dBm en cualquier banda de 1 MHz. Si son utilizadas antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.

A.3 Para la banda de 5 725 a 5 825 MHz, la potencia de transmisión pico sobre la banda de frecuencia de operación no debe exceder el menor valor entre  $1 \text{ W}$  ó  $17 \text{ dBm} + 10 \log B$ , donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB. Además, la densidad espectral de potencia pico no debe exceder 17 dBm en cualquier banda de 1 MHz. Si son utilizadas antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi. Sin embargo, los dispositivos U-NII en operación fija punto-a-punto en esta banda pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional hasta de 23 dBi sin la correspondiente reducción de la potencia de salida pico del transmisor, ni en la densidad espectral de potencia pico.

Para transmisores U-NII fijos punto-a-punto que empleen una ganancia direccional de la antena mayor a 23 dBi, será requerida una reducción de 1 dB en la potencia pico del transmisor y en la densidad espectral de potencia pico por cada dB que la ganancia de la antena exceda los 23 dBi. La operación fija punto-a-punto excluye el uso de sistemas punto-a-multipunto, aplicaciones omnidireccionales, y transmisores múltiples colocalizados transmitiendo la misma información. El operador de un dispositivo U-NII, es responsable de asegurar que los sistemas que emplean antenas con alta ganancia direccional sean utilizados exclusivamente para operaciones fijas punto-a-punto.

A.4 La potencia de transmisión pico debe ser medida sobre cualquier intervalo de transmisión continua utilizando instrumentación calibrada en términos de un voltaje rms equivalente.

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

B.1 Para transmisores que operen en la banda de 5 150 a 5 250 MHz: todas las emisiones fuera de la banda de 5 150 a 5 350 MHz no deberán exceder una PIRE de -27 dBm/MHz.

B.2 Para transmisores que operen en la banda de 5 250 a 5 350 MHz: todas las emisiones fuera de la banda de 5 150 a 5 350 MHz no deberán exceder una PIRE de -27 dBm/MHz. Dispositivos que operen en la banda de 5 250 a 5 350 MHz que generen emisiones en la banda de 5 150 a 5 250 MHz deben cumplir todos los requerimientos técnicos aplicables para la operación en la banda de 5 150 a 5 250 MHz (incluyendo el uso en interiores o recintos cerrados) o como alternativa, cumplir con una PIRE límite de emisión fuera de banda de -27 dBm/MHz en la banda de 5 150 a 5 250 MHz.

B.3.1 Para transmisores que operen en la banda de 5 470 a 5 725 MHz: todas las emisiones fuera de la banda de 5 470 a 5 725 MHz no deberán exceder una PIRE de -27 dBm/MHz.

B.3.2 Para transmisores que operen en la banda de 5 725 a 5 825 MHz: todas las emisiones dentro del rango de frecuencia comprendido desde el borde de la banda hasta 10 MHz por encima o por debajo del borde de la banda, no deberán exceder una PIRE de -17 dBm/MHz; para frecuencias 10 MHz o más, por encima o por debajo del límite de la banda, las emisiones no deberán exceder una PIRE de -27 dBm/MHz.

B.4 Las mediciones de emisión deberán ser efectuadas utilizando una resolución mínima de ancho de banda de 1 MHz. Una resolución de ancho de banda más baja puede ser empleada cerca del borde de la banda, cuando sea necesario, siempre y cuando la energía medida sea integrada para mostrar la potencia total sobre 1 MHz.

B.5 Emisiones indeseadas por debajo de 1 GHz deben presentar límites generales de intensidad de campo menores a 500 micro-voltios/metro a 3 metros de distancia.

B.6 Cuando se midan los límites de emisión, la frecuencia portadora nominal deberá ser ajustada tan cerca de los bordes de los bloques de frecuencia superior e inferior como el diseño del equipo permita.

C.1 El dispositivo deberá interrumpir automáticamente la transmisión en caso de ausencia de información a transmitir o en caso de falla operacional. Estas disposiciones no tienen la intención de impedir la transmisión de la información de control o señalización o el uso de códigos repetitivos utilizados por ciertas tecnologías digitales para completar los intervalos entre tramas o ráfagas.

D.1 Cualquier dispositivo U-NII que opere en la banda de 5 150 a 5 250 MHz deberá utilizar una antena de transmisión que sea parte integral del dispositivo.

E.1 Dentro de la banda de 5 150 a 5 250 MHz, los dispositivos U-NII estarán restringidos a operaciones en interiores o recintos cerrados para reducir cualquier potencial de producir interferencias perjudiciales a las operaciones del servicio móvil por satélite MSS co-canal.

F.1 Todos los dispositivos U-NII deberán ser considerados para operar en un ambiente público e incontrolado. Los dispositivos deben ser operados de tal forma que se asegure que el público no sea expuesto a niveles de energía de radio frecuencia que exceda las normas que expida el Ministerio de Comunicaciones o el organismo estatal pertinente

G.1 Los operadores y fabricantes de dispositivos U-NII son responsables de asegurar una estabilidad de frecuencia tal que una emisión sea mantenida dentro de la banda de operación bajo todas las condiciones de operación.

H. Control de Transmisión de Potencia (TPC) y Selección Dinámica de Frecuencia (DFS)

H.1 Control de Transmisión de Potencia TPC. Los dispositivos U-NII que operen en la banda de 5 250 a 5 350 MHz y de 5 470 a 5 725 MHz deberán emplear un mecanismo de TPC. Los dispositivos U-NNI deberán tener capacidad para operar al menos 6 DB por debajo del valor medio PIRE de 30 dBm. no se requiere mecanismo de TPC para sistemas con una PIRE menor a 500 mW.

H.2 Función de detección de radar de DFS. Los dispositivos U-NII que operen en la banda de 5 250 a 5 350 MHz y de 5 470 a 5 725 MHz deberán emplear un mecanismo de detección de radar de dfs para detectar la presencia de sistemas de radar y evitar la operación co-canal con estos sistemas. El umbral de detección del DFS para dispositivos con una PIRE entre 200 mW a 1 W es de -64 dBm. El umbral de detección es la potencia promedio recibida en 1 microsegundo a una antena de referencia de 0 dBi.

H.2.1 Modos de operación. El requisito de Selección dinámica de frecuencia DFS aplica a los siguientes modos de operación:

A. El requisito de comprobación del tiempo de disponibilidad del canal aplica en el modo maestro de operación;

B. El requisito del tiempo de cambio del canal aplica en ambos modos, en los modos de operación maestro y esclavo.

H.2.2 Comprobación del tiempo de disponibilidad del canal. El dispositivo U-NNI deberá comprobar si existe un sistema de radar operando alrededor del canal, antes de poder iniciar una transmisión en ese canal y, cuando este ha de ser trasladado a un nuevo canal. El dispositivo U-NII puede comenzar a usar el canal si no se detecta ninguna señal de radar con un nivel de la potencia mayor que los valores de umbral de interferencia, enunciados, en el plazo de 60 segundos.

H.2.3 Tiempo de cambio del canal. Después de ser detectada la presencia de un radar, todas las transmisiones cesarán en la operación de canal dentro de los 10 segundos. Las transmisiones durante este período consistirán de un tráfico normal, de máximo 200 milisegundos después de ser detectada la señal del radar.

Adicionalmente una señal de gestión y control intermitente puede ser enviada durante el tiempo remanente para facilitar la liberación del canal.

H.2.4 Período de no-ocupación. Un canal que ha sido advertido de la presencia de un sistema de radar, bien sea por verificación de disponibilidad del canal ó bajo un servicio de monitoreo, está sujeto a un período de no-ocupación de por lo menos 30 minutos. El período de no-ocupación empieza en el momento en que el sistema de radar sea detectado.

Artículo 8°. Banda de 2 300 A 2 400 MHz. Se permite, a título secundario, el uso de la banda de 2 300 a 2 400 MHz para aplicaciones de sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, previo registro ante el Ministerio de Comunicaciones, bajo las condiciones operativas generales y particulares de los sistemas de acceso inalámbrico en la banda de 2 400 a 2 483,5 MHz, establecidas por la presente resolución.

Parágrafo. A los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en la banda de 2 300 a 2 400 MHz, les será aplicable el artículo 39.2 del decreto 1972 de 2003, por el cual se establece el régimen unificado de contraprestaciones, por concepto de concesiones, autorizaciones, permisos y registros en materia de telecomunicaciones y los trámites para su liquidación, cobro, recaudo y pago.

Artículo 9°. Antenas omnidireccionales. La utilización de antenas omnidireccionales solo será permitida en sistemas inalámbricos cuya potencia radiada sea menor o igual a 100 mW. Los sistemas que excedan esta potencia deberán emplear antenas direccionales con un ancho de lóbulo no mayor a 90 grados.

Artículo 10. Interferencias. La utilización de sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, está condicionada al cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.
2. No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.

Si un dispositivo ocasiona interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada a título primario, aunque el aparato cumpla con las normas técnicas establecidas en los reglamentos de radiocomunicación o los requisitos de autorización de equipo, se deberá suspender la operación del dispositivo. La utilización no podrá reanudarse hasta que se haya subsanado el conflicto interferente, de comprobarse la continua interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada, el Ministerio de Comunicaciones podrá ordenar la suspensión definitiva de las operaciones, sin perjuicio de las sanciones previstas en las normas legales.

Artículo 11. Referencia a normas técnicas. Para la correcta operación de los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, sólo se aceptarán equipos de conformidad con las normas técnicas de la Federal Communications Commission FCC, CFR 47 Part 15 Subpart C § 15.247 y CFR 47 Part 15 Subpart E, la presente norma, y otros estándares internacionales que se ajusten a estas especificaciones.

### **TITULO III**

#### **DISPOSICIONES FINALES**

Artículo 12. Transición. A partir de la entrada en vigencia de la presente resolución, quedan sin efectos los títulos habilitantes expedidos para el uso del espectro radioeléctrico mediante la utilización de equipos de espectro ensanchado o sistemas U-NII, en las bandas de frecuencias atribuidas en el artículo 5° de esta norma.

Quienes cuenten con título habilitante para el uso del espectro radioeléctrico mediante la utilización de equipos de espectro ensanchado en la banda de 2 025 MHz a 2 400 MHz, obtenido de acuerdo con las disposiciones de la Resolución 5927 de 1996, deberán hacer uso de la banda de 2 300 MHz a 2 400 MHz, a la que se refiere el artículo 8° de esta norma. Los respectivos títulos habilitantes quedan modificados por lo aquí dispuesto.

Los trámites en curso para registrar sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las bandas de frecuencias atribuidas en el artículo 5° de esta norma, se entenderán concluidos a la fecha de ejecutoria de la presente resolución.

Artículo 13. Infracciones y sanciones. El incumplimiento de las normas previstas en la presente resolución constituye una infracción al ordenamiento de las telecomunicaciones, y generará las sanciones previstas en las normas legales.

Artículo 14. Vigencia. Esta resolución rige a partir de su publicación y deroga en su totalidad las Resoluciones 3382 de 1995; 5927 de 1996; 1833 de 1998; la Tabla número 3.6 del artículo 3° de la Resolución 0797 de 2001, y las normas que le sean contrarias.

Publíquese y cúmplase.

Dada en Bogotá, D. C., a 21 de abril de 2004.

La Ministra de Comunicaciones,

Martha Elena Pinto de De Hart.

RESOLUCIÓN EXENTA N° 479

SANTIAGO, ~~03~~ **03 MAYO 2005**

VISTOS:

- a) El Decreto Ley N° 1.762, de 1977, que creó la Subsecretaría de Telecomunicaciones,
- b) La Ley N° 18.168, General de Telecomunicaciones;
- c) El Decreto Supremo N° 15, de 1983, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que aprobó el Plan General de Uso del Espectro Radioeléctrico;
- d) La Resolución Exenta N° 479, de 1988, de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, que aprobó la norma de las características técnicas del servicio limitado de televisión multicanal en la banda de 2,6 GHz;
- e) La Resolución N° 55, de 1992, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado por la Resolución N° 520, de 1996, ambas de la Comptoría General de la República, y

CONSIDERANDO:

La necesidad de administrar eficientemente la utilización del espectro radioeléctrico; y, en uso de mis atribuciones legales,

RESUELVO:

**FÉJASE** la siguiente norma técnica para el uso de las bandas de frecuencias 2.496 - 2.572 MHz; 2.572 - 2.614 MHz y 2.614 - 2.690 MHz.

- Artículo 1°** Destínase las bandas de frecuencias 2.496 - 2.572 MHz y 2.614 - 2.690 MHz para la operación de equipos de radiocomunicaciones del servicio fijo, que empleando tecnología digital de libre elección, permiten transportar señales, tales como, voz, datos e imágenes, autorizados mediante concesión.
- Artículo 2°** Destínase la banda de frecuencias 2.572 - 2.614 MHz, para la operación de equipos de radiocomunicaciones del servicio fijo, que empleando tecnología digital de libre elección, permiten transmitir varios programas de televisión en un canal de 6 MHz autorizados mediante permiso de servicio limitado de televisión, o transportar señales, tales como, voz, datos e imágenes autorizados mediante concesión de servicio intermedio de telecomunicaciones.

**Artículo 3º** Los respectivos permisos y concesiones serán otorgados mediante concurso público. La cantidad de permisos y concesiones a asignar en la banda de frecuencias 2.496 – 2.690 MHz se establecerá en las bases del concurso respectivo.

**Artículo 4º** La zona de servicio de cada concesión o permiso podrá abarcar el territorio de una comuna o de un conjunto de comunas, según lo disponga las bases de cada concurso.

**Artículo 5º** Para el caso de las bandas de frecuencias 2.496 - 2.572 MHz y 2.614 - 2.690 MHz, la distribución de bloques de frecuencias se definirá dependiendo de la evolución tecnológica y recomendaciones o acuerdos de organismos internacionales. El tipo de servicio será definido en las bases del respectivo concurso público.

**Artículo 6º** Para la banda 2.572 - 2.614 MHz la distribución de bloques de frecuencias es la siguiente:

Bloques	Frecuencias (MHz)
1	2.572 - 2.578
2	2.578 - 2.584
3	2.584 - 2.590
4	2.590 - 2.596
5	2.596 - 2.602
6	2.602 - 2.608
7	2.608 - 2.614

**Artículo 7º** Para los servicios que operen en la banda 2.572 - 2.614 MHz la potencia máxima radiada isotropa equivalente no deberá exceder 33 dBW y la zona de servicio quedará delimitada por el contorno en que la densidad de flujo de potencia es de  $-75$  dBW/m<sup>2</sup>.

**Artículo 8º** Las emisiones deberán estar contenidas en la respectiva banda de frecuencias autorizada, con exclusión de los límites de dicha banda, siendo obligación de la respectiva permisionaria o concesionaria tomar las medidas que correspondan para no causar interferencias.

En caso de eventuales interferencias en los contornos de las zonas de servicio, las respectivas permisionarias o concesionarias deberán coordinarse, en primera instancia entre ellas, para efectos de eliminarlas.

**Artículo 9º** Las concesionarias podrán ubicar las estaciones terminales en cualquier parte dentro de la zona de servicio autorizada y podrán reubicarlas de acuerdo a la demanda, por lo que constituyen radioestaciones móviles para efectos del numeral 2 del inciso segundo del artículo 14º de la Ley General de Telecomunicaciones. Para el caso de las modificaciones de concesión, en forma previa a la instalación de las estaciones base, se requerirá de una autorización otorgada mediante resolución exenta de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, en adelante la Subsecretaría.

**Artículo 10º** Derégase la Resolución Exenta N° 479, de 1988, de la Subsecretaría. Las autorizaciones del servicio limitado de televisión multicanal en la banda de 2,6 GHz otorgadas al amparo de la citada Resolución, mantendrán el plazo de vigencia por el cual fueron otorgadas y deberán ajustarse a lo establecido para el servicio limitado de la televisión en la presente resolución.



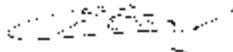
GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y  
TELECOMUNICACIONES

## DISPOSICIONES TRANSITORIAS

- Artículo 1º** La Subsecretaría, mediante resolución, establecerá las frecuencias de reemplazo dentro de la banda 2.572 - 2.614 MHz en que deberán operar con tecnología digital las actuales titulares de autorizaciones de servicio limitado de televisión multicanal en la banda de 2,6 GHz y el plazo a partir del cual deberán adecuar sus equipos, el cual no será inferior a 18 meses, período durante el cual podrán continuar operando sus equipos analógicos. Para tal efecto, la asignación de las frecuencias de reemplazo podrá disminuir el ancho de banda autorizado, no obstante permitirá operar, a lo menos, la cantidad de programas de televisión que actualmente transmite.
- Artículo 2º** Establécese un plazo de 6 meses para que las actuales titulares de autorizaciones del servicio limitado de televisión multicanal en la banda de 2,6 GHz remitan a la Subsecretaría un plan de adecuación en que señale la forma y plazo, que no excederá los 3 años, en que se dará efectivo cumplimiento a lo establecido en la presente resolución. Ambos plazos contados a partir de la fecha de publicación de la presente resolución en el Diario Oficial. El plazo para la readecuación no implica una modificación del plazo para inicio del servicio ni una alteración de la vigencia de la respectiva autorización.
- Artículo 3º** La adecuación de las actuales titulares de autorizaciones del servicio limitado de televisión multicanal en la banda de 2,6 GHz, a lo dispuesto en la presente resolución deberá formalizarse mediante una solicitud de modificación de la autorización de servicio limitado de televisión o la respectiva solicitud de concesión de servicio intermedio de telecomunicaciones, según corresponda, de acuerdo al carácter de las emisiones.
- Artículo 4º** Para los demás servicios que operan en la banda 2.495 - 2.690 MHz la Subsecretaría mediante resolución asignará nuevas frecuencias en reemplazo de las frecuencias actualmente asignadas.
- Artículo 5º** La Subsecretaría sólo llamará a concurso público para la asignación de concesiones o permisos en la banda 2.572 - 2.614 MHz una vez que haya concluido el proceso de reasignación de frecuencias de las actuales titulares del servicio limitado de televisión multicanal en la banda de 2,6 GHz. Para el caso de asignación de concesiones para el uso de las bandas 2.496 - 2.572 MHz y 2.614 - 2.690 MHz se llamará a concurso cuando se haya definido la respectiva canalización y se haya concluido el proceso de reasignación de frecuencias asignadas en estas bandas con anterioridad a la fecha de publicación de la presente resolución.

ANÓTESE Y PUBLÍQUESE EN EL DIARIO OFICIAL

CRISTIAN NICOLAI ORELLANA  
SUBSECRETARIO DE TELECOMUNICACIONES



REF. FIJA NORMA TÉCNICA PARA EL  
SERVICIO PÚBLICO TELEFÓNICO  
INALÁMBRICO EN LA BANDA DE  
FRECUENCIAS 3.400-3.700 MHz./

RESOLUCIÓN EXENTA N° 1498

SANTIAGO, 22 OCT. 1999

VISTOS:

- a) El Decreto Ley N° 1.762 de 1977, que creó la Subsecretaría de Telecomunicaciones;
- b) La Ley N° 18.163, Ley General de Telecomunicaciones;
- c) El Decreto Supremo N° 15, de 1983, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que aprobó el Plan General de Uso del Espectro Radioeléctrico;
- d) La Resolución N° 55, de 1992, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado por la Resolución N° 520, de 1996, ambas de la Contraloría General de la República y,

CONSIDERANDO:

Que la normativa que se aprueba tiene por objeto introducir competencia en los medios de acceso al usuario final, de manera que éstos no se encuentren limitados a los que en la actualidad utilizan las concesionarias de servicio público telefónico.

RESUELVO:

Fijase la siguiente norma técnica para el servicio público telefónico inalámbrico en la banda de frecuencias 3.400-3.700 MHz.

TÍTULO I

Descripción

- Artículo 1° El servicio público telefónico inalámbrico, en la banda de frecuencias 3.400-3.700 MHz, en adelante el servicio, es un servicio de telecomunicaciones que opera mediante radiocanales fijas en la citada banda, sin perjuicio del empleo de otros medios de transmisión.

## **TÍTULO II** **De las frecuencias**

**Artículo 2º** El ancho de banda disponible es de 300 MHz y la atribución de bloques de frecuencias es la siguiente:

Bloques	Frecuencias Recepción Bases	Frecuencias Transmisión Bases
A	3.400 3.450 MHz	3.500 3.550 MHz
B	3.450 3.500 MHz	3.550 3.600 MHz
C	3.600 – 3.700 MHz	

**Artículo 3º** Las concesiones para el servicio, serán asignadas por concurso público.

**Artículo 4º** Se asignará sólo un bloque de frecuencias por concesión y por zona geográfica. Un mismo bloque de frecuencias podrá ser asignado a diferentes empresas, en distintas zonas geográficas.

## **TÍTULO III** **De la operación**

**Artículo 5º** En una misma zona geográfica el servicio podrá ser suministrado hasta por tres concesionarias. La zona de servicio de cada concesión podrá abarcar todo el territorio nacional.

**Artículo 6º** La tecnología de los sistemas será de libre elección y transparente para los usuarios, debiendo cumplir con la normativa aplicable al servicio público telefónico.

**Artículo 7º** Las emisiones deberán estar contenidas en la respectiva banda de frecuencias autorizada, con exclusión de los límites de dicha banda, siendo obligación de la concesionaria tomar las medidas del caso para no causar interferencias en bloques de frecuencias adyacentes.

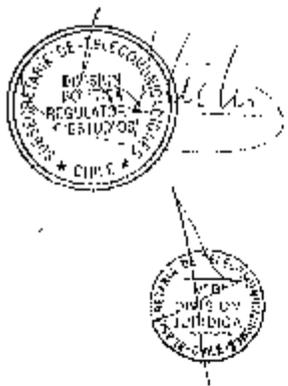
**Artículo 8º** Las radioestaciones terminales de usuario se podrán ubicar en cualquier parte dentro de la zona de servicio autorizada y podrán reubicarse de acuerdo a la demanda, por lo que constituyen radioestaciones móviles para efectos del numeral 2 del inciso segundo del artículo 14º de la Ley General de Telecomunicaciones.

**TÍTULO IV**  
**Disposiciones Transitorias**

Artículo 1º. Mientras se encuentren en operación sistemas en la banda 3.403 - 3.430 MHz, autorizados con anterioridad a la fecha de publicación en el Diario Oficial de la presente norma, la Subsecretaría de Telecomunicaciones podrá restringir el uso de dicha banda para el servicio en algunas zonas de las comunas de Iquique, Antofagasta, Puerto Montt y Punta Arenas, si existiera probabilidad de interferencia.

**ANÓTESE Y PUBLÍQUESE EN EL DIARIO OFICIAL.**

  
REPUBLICA DE CHILE  
SUBSECRETARÍA DE TELECOMUNICACIONES  
SUBSECRETARÍA DE TELECOMUNICACIONES



REF. MODIFICA LA RESOLUCIÓN  
EXENTA Nº 1498 DE 1999 DE LA  
SUBSECRETARÍA DE  
TELECOMUNICACIONES

RESOLUCIÓN EXENTA Nº **1496**

SANTIAGO, 12 DIC. 2000

Que este hecho se ha resuelto lo siguiente:

VISTOS:

- a) El Decreto Ley Nº 1.762 de 1977, que creó la Subsecretaría de Telecomunicaciones;
- b) La Ley Nº 18.168, General de Telecomunicaciones;
- c) El Decreto Supremo Nº 15, de 1983, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que aprobó el Plan General de Uso del Espectro Radioeléctrico;
- d) La Resolución Exenta Nº 1.498 de 1999, de la Subsecretaría de Telecomunicaciones;
- e) La Resolución Nº 55, de 1992, cuyo texto refundido, consolidado y sistematizado fue fijado por la Resolución Nº 520, de 1996, ambas de la Contraloría General de la República y,

CONSIDERANDO:

- a) Que la normativa que se aprueba tiene por objeto introducir competencia en los medios de acceso al usuario final, de manera que éstos no se encuentren limitados a los que en la actualidad utilizan las concesionarias de servicio público telefónico local;
- b) Que es necesario promover el desarrollo de Internet para insertar al país en la nueva economía;
- c) Que las tecnologías inalámbricas constituyen un instrumento apropiado para lograr estos propósitos;
- d) Que mediante la Resolución Nº 584, de 27 de septiembre del año en curso la honorable Comisión Resolutiva hizo presente a esta Subsecretaría la necesidad de modificar la norma técnica establecida por la Resolución Exenta Nº 1.498 de 1999 y las bases del concurso público para asignar concesiones en la banda de frecuencias 3.400 - 3.700 MHz, observando los criterios e instrucciones técnicas y económicas que se indican en la parte resolutiva del fallo;
- e) Que es necesario para la implementación del servicio que operará en la banda 3.400 - 3.700 MHz, la dictación inmediata de la modificación de la norma técnica establecida para este servicio de modo de impedir mayores dilaciones en el acceso de la población a nuevos servicios de telecomunicaciones; y
- f) Que de acuerdo a lo señalado en la letra g) del artículo 6º del Decreto Ley Nº 1.762, de 1977, corresponde al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, a través de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, dictar las normas técnicas sobre telecomunicaciones, por lo cual, en uso de mis facultades.

**RESUELVO:**

Artículo Único. Modifíquese la Resolución Excmra N° 1.498 de 1999, de la Subsecretaría de Telecomunicaciones como se indica a continuación:

1. Donde dice "servicio público telefonía inalámbrica", debe decir "servicio público telefónico local inalámbrico".
2. Reemplázase la tabla del artículo 2° por la siguiente:

Bloques	Frecuencias (MHz)	
	Tx terminales	Rx terminales
A	3.400 - 3.425	3.500 - 3.525
B	3.425 - 3.450	3.525 - 3.550
C	3.450 - 3.475	3.550 - 3.575
D	3.475 - 3.500	3.575 - 3.600
E	3.600 - 3.625	3.650 - 3.675
F	3.625 - 3.650	3.675 - 3.700

Si se emplea dúplex por división de tiempo (TDMA), no es aplicable la especificación de frecuencias de transmisión y recepción señalada en la tabla anterior."

3. Reemplázase el texto del artículo 4° por el siguiente: "En una misma zona geográfica el servicio podrá ser suministrado hasta por seis concesionarias. La zona de servicio de las concesiones podrá ser nacional o regional según lo disponga las bases del concurso".
4. El artículo 5° pasa a formar parte del TÍTULO II.
5. Reemplázase el texto del artículo 5° por el siguiente: "Un mismo bloque de frecuencias podrá ser asignado a diferentes empresas, en distintas zonas geográficas".
6. En el artículo 7° elimínase el texto "en bloques de frecuencias adyacentes".
7. Agrégase al artículo 7° el siguiente inciso:  
"En caso de eventuales interferencias en los contornos de las zonas de servicio, las respectivas concesionarias deberán coordinarse, en primera instancia directamente entre ellas, para efectos de eliminarlas."
8. En el artículo 1° de las Disposiciones Transitorias, donde dice "Iquique, Antofagasta, Puerto Montt y Punta Arenas", debe decir "Iquique, Calama, Antofagasta, Puerto Montt, Coyhaique, Punta Arenas y Porvenir".

REPÚBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES  
SUBSECRETARÍA DE TELECOMUNICACIONES

9. Modifíquese la numeración de los artículos 6º al 8º por los números de artículo 7º al 9º respectivamente e insértese un nuevo artículo 6º dentro del TÍTULO II, con el texto siguiente: "Una empresa o grupo de empresas relacionadas o coligadas no podrá acumular más de 100 MHz en una misma zona geográfica."

ANÓTESE Y PUBLÍQUESE EN EL DIARIO OFICIAL

CHRISTIAN NICOLAI ORELLANA  
SUBSECRETARIO DE TELECOMUNICACIONES

Lo que transcribo para su conocimiento  
Saluda atentamente, Ud

ROBELLA COMINETTI COMIT-COMETTI  
Cabe División Política Regulatoria y Estudios  
Subrogante

REF: MODIFICA RESOLUCIÓN EXENTA  
Nº 1.498 DE 1999 DE LA  
SUBSECRETARÍA DE  
TELECOMUNICACIONES.

RESOLUCIÓN EXENTA Nº 901 /

SANTIAGO, 11 Mayo 2002

**VISTOS:**

- a) El Decreto Ley Nº 1.762, de 1977, que creó la Subsecretaría de Telecomunicaciones;
- b) La Ley Nº 18.168, General de Telecomunicaciones;
- c) El Decreto Supremo Nº 15, de 1985, del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, que aprobó el Plan General de Uso del Espectro Radioeléctrico;
- d) La Resolución Exenta Nº 1.498, de 1999, modificada por la Resolución Exenta Nº 1.496 de 2000, ambas de la Subsecretaría de Telecomunicaciones;
- e) La Resolución Nº 55, de 1992, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado por la Resolución Nº 520, de 1996, ambas de la Contraloría General de la República y,

**CONSIDERANDO:**

- a) Que en el concurso público para el otorgamiento de concesiones de servicio público telefónico local inalámbrico en la banda de frecuencias 3.400 a 3.700 MHz hubo pocos interesados;
- b) Que producto de las condiciones existentes en el mercado internacional una de las concesionarias que se adjudicó bloques de frecuencias en la banda 3.400 a 3.700 MHz no pudo llevar a efecto sus proyectos técnicos, viéndose obligada a renunciar a sus respectivas concesiones;
- c) Que aun reduciendo el ancho de banda para el servicio en 100 MHz sería posible atender, mediante concurso público, nuevas solicitudes de concesión;
- d) La necesidad de administrar eficientemente la utilización del espectro radioeléctrico; y en uso de mis atribuciones legales,

**RESUELVO:**

**Artículo Único.** Modifícase la Resolución Exenta Nº 1.498 de 1999 de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, en el siguiente sentido:

1. Reemplázase la expresión "3.400 - 3.700 MHz" por "3.400 - 3.600 MHz"



13  
11 Mayo 2002

2. Reemplázase el artículo 2° por el siguiente.

"Artículo 2°: El ancho de banda disponible es de 200 MHz y la distribución de bloques de frecuencias es la siguiente.

Bloques	Frecuencias (Tx)	Frecuencias (Rx)
	Terminales	Terminales
A	3.400 - 3.425	3.500 - 3.525
B	3.425 - 3.450	3.525 - 3.550
C	3.450 - 3.475	3.550 - 3.575
D	3.475 - 3.500	3.575 - 3.600

Si se emplea duplex por división de tiempo (TDD), no es aplicable la especificación de frecuencias de transmisión y recepción señalada en la tabla anterior."

3. En el artículo 4°, reemplázase la expresión "seis" por "cuatro".

**ANÓTESE Y PUBLÍQUESE EN EL DIARIO OFICIAL.**

**CHRISTIAN NICOLAI ORELLANA**  
**SUBSECRETARIO DE TELECOMUNICACIONES**

SUBSECRETARÍA DE TELECOMUNICACIONES







