



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E SCIENTIA HOMINIS SALUS "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA PARA UN CANAL
DE TELEVISIÓN EN LA BANDA UHF CON LA NORMA ISDB-Tb
PARA LA ZONA GEOGRÁFICA P**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

RODRIGO ARTURO JARRÍN ARBOLEDA
rodrigo_jarrin@hotmail.com
CARLOS SANTIAGO MOREJÓN GARCÍA
csmorejon@hotmail.com

DIRECTOR: Ph.D IVÁN BERNAL
ivan.bernal@epn.edu.ec

QUITO, MARZO 2012

DECLARACIÓN

Nosotros Rodrigo Arturo Jarrín Arboleda y Carlos Santiago Morejón García, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Carlos Santiago Morejón García

Rodrigo Arturo Jarrín Arboleda

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Rodrigo Arturo Jarrín Arboleda y Carlos Santiago Morejón García bajo mi supervisión.

Ph. D. Iván Bernal
DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

A mis padres por brindarme todas y cada una de las oportunidades que me han convertido en quien soy, por los sacrificios que han hecho por mi bienestar y por inculcarme, a través del ejemplo, la educación del esfuerzo, honestidad y bondad. A mi ñaño por ser más que un hermano corriente, por ser mi compañero, mi amigo y mi cómplice y por estar siempre de mi lado.

A mi familia por preocuparse e interesarse tanto por mí y mis circunstancias, a mis Abuelos por ser el árbol que ha dado frutos que han dejado huella en la historia, a mis Tíos y Tías por tratarme como a un hijo y demostrarme que con trabajo y sacrificio se llega a la meta, y a mis primos por ser mis mejores amigos.

A mis amigos porque haberlos conocido me ha hecho más feliz el mañana. Y a la Emi por escucharme, conversarme y compartir.

Y, finalmente, al fútbol, al básquet y a la bicicleta, que jamás se separan de mí, que bailando con mi estado de ánimo convierten la tristeza en pasado, la ira en paz y los errores en experiencia, dejando momentos divertidos junto a mi pa, a mi ñaño, a mis tíos, a mis primos y a mis amigos.

A todos los que se han cruzado en mi vida porque han hecho de mí lo que soy: feliz.

Rodrigo Arturo Jarrín arboleda

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a Dios, por bendecirme y permitirme alcanzar esta meta tan anhelada; a mi abuelito Jorge García, por bendecirme y enseñarme que con esfuerzo y dedicación se puede alcanzar cualquier meta; a mi abuelita Blanquita, por su apoyo y palabras de aliento para superarme cada día; a mis abuelitos Luis Antonio Morejón y Luz María Carrera, por las enseñanzas en cada etapa de mi vida; a mis padres, Carlos Morejón y Mónica García, por su ejemplo, apoyo incondicional y por inculcarme principios y valores para ser un hombre de bien. A mi hermana Mónica Morejón y a mi sobrino Nicholas Paz, para que sueñen y alcancen cualquier meta que se propongan con esfuerzo. A toda la familia García, Morejón, Suasnavas, Montalvo, Vela y Carrera por sus palabras de aliento y por apoyarme de cualquier forma a lo largo de mi vida. A mi novia Vanessa Coronel, por su amor, apoyo y paciencia a lo largo de mis estudios y por enseñarme a ver la vida de otra manera y fuera de mi entorno politécnico. A Sergio, Pepe, Sebas, Fabricio, Dave, Daniel y Rodrigo; por su apoyo y amistad incondicional, por todos los momentos que compartimos en estos años. A una persona que a más de ser mi profesor ha sido un amigo y que gracias a él he podido estar donde estoy, al Licenciado Rodríguez de mi colegio. A todos ustedes dedico mi trabajo.

Carlos Santiago Morejón García

AGRADECIMIENTO

Al Ser Divino por la vida, la salud y la cuna.

A mis padres por ser mi guía.

A mi hermano por ser mi apoyo.

A toda mi familia por el ejemplo.

A la Escuela Politécnica Nacional, en especial, a mis profesores, por compartir sus conocimientos y anécdotas, para convertirme en alguien más sabio cada día.

Al PhD. Iván Bernal por dirigir y acompañarme en este proyecto y por exigirme la excelencia.

A la Msc. María Soledad Jiménez por ser parte del tribunal para la calificación del proyecto de titulación, por ser mi profesora y por su amistad.

A la Superintendencia de Telecomunicaciones y a quienes conforman la Dirección Nacional de Gestión y Control de Radiodifusión y Televisión, especialmente al Ing. Gustavo Orna por considerarme como parte de esta Dirección y por conformar el tribunal para la calificación del proyecto de titulación; y a la Ing. Ivonne Vásquez por la ayuda incondicional que me ofreció para la realización de este proyecto.

A mis compañeros de aula porque juntos trabajamos por un sueño y porque con ellos las horas pasaron más rápido. A Santiago Morejón, mi compañero en este proyecto, por su constancia.

Rodrigo Arturo Jarrín Arboleda

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme sabiduría y perseverancia para culminar esta etapa de mi vida; a mis padres Carlos y Mónica, por ser el pilar fundamental de mi existencia; a mi director de tesis Ph.D. Iván Bernal, intachable en su accionar, su ayuda en el proceso de elaboración de la tesis fue esencial, cada minucioso detalle hizo de mi trabajo una obra cabal; gracias por haber confiado en mi palabra desde un inicio. Agradezco también a los funcionarios de la Dirección Nacional de Gestión y Control de Radiodifusión y Televisión de la Superintendencia de Telecomunicaciones: Ing. Gustavo Orna (Director), Ing. Ivonne Vásquez, Ing. Jhonny, Ing. Edwin Panchi, Ing. Hugo Yépez, Geovita y a todos los que estuvieron presentes cuando los necesité, quienes a más de ser profesionales exitosos saben el significado de ser personas de bien; les agradezco por brindarme el espacio para desarrollar mi tesis y por haber compartido su conocimiento y experiencia despejando las dudas que durante la elaboración del proyecto se presentaban, gracias por su amabilidad y entrega. A la Licenciada Katya Artieda, por sus consejos y ayuda en la redacción y corrección de este proyecto de titulación.

A mis amigos, por las veces que nos apoyamos en las amanecidas de estudio, por tornar esos momentos tensionantes en una carcajada de dispersión; juntos aprendimos que la tenacidad y la unión nos llevarán lejos.

Finalmente, a la Escuela Politécnica Nacional, sus eternas enseñanzas y modalidad de estudio me brindarán en un futuro la facilidad para enfrentar retos en cualquier parte del mundo.

Gracias infinitas.

Carlos Santiago Morejón García

ÍNDICE

RESUMEN	XVII
PRESENTACIÓN	XX
CAPÍTULO 1	1
FUNDAMENTOS DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb Y DE LAS REDES DE FRECUENCIA ÚNICA	1
1.1 OFDM	1
1.1.1 FUNCIONAMIENTO	1
1.1.2 MODULACIÓN MULTIPORTADORA	3
1.1.3 ORTOGONALIDAD	4
1.1.4 INTERVALO DE GUARDA CON PREFIJO CÍCLICO O RELLENO CON CEROS	5
1.1.5 TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER FFT/IFFT	6
1.1.6 OFDM EN EL ESTANDAR ISDB-Tb	8
1.2 ESTÁNDAR ISDB-Tb	10
1.2.1 CODIFICACIÓN	10
1.2.2 INTERACTIVIDAD	10
1.2.3 TRANSMISIÓN SEGMENTADA	11
1.3 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA	11
1.3.1 DEFINICIÓN DE RED DE FRECUENCIA ÚNICA	11
1.3.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA	11
1.3.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA	13
1.3.4 TIPOS DE REDES DE FRECUENCIA ÚNICA	14
1.3.4.1 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA DE ÁMBITO EXTENSO	15
1.3.4.2 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA DE ÁMBITO REDUCIDO	15
1.3.4.3 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA CENTRALIZADAS	15
1.3.4.4 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA DESCENTRALIZADAS	15
1.3.5 VENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA	17
1.3.6 DESVENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA	19
1.4 GAP-FILLERS	20
1.4.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS	20
1.4.2 TIPOS DE GAP-FILLERS	22
1.5 REFERENCIAS	23

CAPÍTULO 2	26
SITUACIÓN ACTUAL DE LA TELEVISIÓN ANALÓGICA EN LA ZONA GEOGRÁFICA P Y DE LA TDT EN LA REGIÓN	26
2.1 MARCO REGULATORIO PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ABIERTA EN EL ECUADOR	26
2.1.1 DEFINICIONES	26
2.1.2 ZONAS GEOGRÁFICAS	27
2.1.3 BANDAS DE FRECUENCIA	27
2.1.4 GRUPOS DE CANALES	29
2.1.5 ÁREA DE COBERTURA	29
2.1.6 INTENSIDAD DE CAMPO MÍNIMA A PROTEGER	30
2.1.7 RELACIONES DE PROTECCIÓN: SEÑAL DESEADA / SEÑAL NO DESEADA	30
2.1.8 CÁLCULO DE LA PER	31
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE TELEVISIÓN QUE SIRVEN A LA ZONA GEOGRÁFICA P	33
2.2.1 EXPERIENCIAS EN LA TV ANALÓGICA DE LA SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES	39
2.3 SIMULACIÓN	40
2.3.1 SOFTWARE DE SIMULACIÓN ICS TELECOM	40
2.3.2 SISTEMAS DE TELEVISIÓN ANALÓGICA	46
2.3.2.1 GAMATV	46
2.3.2.1.1 Características del sistema de transmisión y enlaces de microonda	46
2.3.2.1.2 Resultados	48
2.3.2.2 ECUADOR TV	55
2.3.2.2.1 Características del sistema de transmisión y enlaces de microonda	55
2.3.2.2.2 Resultados	56
2.4 EXPERIENCIAS EN TDT DE LA REGIÓN	59
2.4.1 BRASIL	59
2.4.2 ARGENTINA	62
2.4.2.1 Parámetros técnicos	62
2.4.2.1.1 Tasas de codificación por servicio audiovisual	62
2.4.2.1.2 Tipos de multiplexación	62
2.4.2.1.3 Intensidad de campo mínima a proteger	63
2.4.2.1.4 Categorías	64
2.4.2.1.5 Relaciones de protección	64
2.4.2.2 Experiencia en la implementación de la TDT	65
2.4.3 CHILE	66

2.4.4	PERÚ	67
2.5	REFERENCIAS	68
CAPÍTULO 3		59
ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb		
NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE LA SFN		71
3.1	NORMA TÉCNICA ABNT NBR 15601	71
3.1.1	ORGANIZACIÓN DEL CANAL RADIOELÉCTRICO	72
3.1.2	ELECCIÓN DE PARÁMETROS OFDM	73
3.1.3	BANDAS DE GUARDA	82
3.1.4	OFF-SET DE LA FRECUENCIA CENTRAL DEL CANAL	86
3.1.5	MODOS 2 Y 3 DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb	87
3.1.6	ANCHO DE BANDA	93
3.1.7	TRANSMISIÓN EN CAPAS JERÁRQUICAS	93
3.1.7.1	CAPAS JERÁRQUICAS	93
3.1.7.2	TRANSPORT STREAM	96
3.1.7.3	BROADCAST TRANSPORT STREAM	97
3.2	NORMA TÉCNICA ABNT NBR 15604	98
3.2.1	SENSIBILIDAD EN EL RECEPTOR	98
3.2.2	SELECTIVIDAD Y RELACIÓN DE PROTECCIÓN	99
3.3	REFERENCIAS	100
CAPÍTULO 4		71
DISEÑO DE LA RED DE FRECUENCIA ÚNICA Y SU SIMULACIÓN		102
4.1	PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL DISEÑO	104
4.1.1	TOPOLOGÍA	104
4.1.2	MODO E INTERVALO DE GUARDA	106
4.1.3	PROGRAMACIÓN	108
4.1.4	POTENCIA EFECTIVA RADIADA	111
4.2	SIMULACIÓN DE COBERTURA EN ICS TELECOM	134
4.2.1	INTERFERENCIA	152
4.3	EMPLAZAMIENTO DE GAP-FILLERS	163
4.3.1	GAP-FILLER TAMBILLO	164
4.3.2	GAP-FILLER GUANGOPOLO	173
4.3.3	GAP-FILLER VICENTINA	173

4.3.4	GAP-FILLER GUÁPULO	174
4.3.5	GAP-FILLER COMITÉ DEL PUEBLO	174
4.3.6	GAP-FILLER LA BOTA	175
4.3.7	GAP-FILLER LUMBISÍ	176
4.3.8	GAP-FILLER NONO	176
4.3.9	GAP-FILLER OTÓN	177
4.3.10	GAP-FILLER CAYAMBE	177
4.3.11	GAP-FILLER CALACALÍ	178
4.3.12	GAP-FILLER MINDO	178
4.3.13	GAP-FILLER NANEGALITO	179
4.3.14	GAP-FILLER NANEGAL	179
4.3.15	GAP-FILLER GUALEA	180
4.3.16	GAP-FILLER PACTO	180
4.3.17	GAP-FILLER SAN JOSÉ DE MINAS	181
4.3.18	GAP-FILLER CANGAHUA	181
4.3.19	GAP-FILLER OLMEDO	182
4.3.20	INTERFERENCIA	185
4.4	ENLACES DE MICROONDAS	187
4.4.1	ANCHO DE BANDA DEL ENLACE	189
4.4.2	PRESUPUESTO	192
4.4.3	SIMULACIÓN	195
4.5	LISTADO DE EQUIPOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SFN	199
4.5.1	PRINCIPALES MARCAS QUE OFRECEN ESTOS EQUIPOS EN EL MERCADO NACIONAL	201
4.5.2	LISTADO DE LOS EQUIPOS	203
4.6	REFERENCIAS	206
CAPÍTULO 5		209
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		209
5.1	CONCLUSIONES	209
5.2	RECOMENDACIONES	213
5.3	COMENTARIOS	215
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		217
ANEXOS		223
ANEXO A: NORMAS TÉCNICAS		1A

ANEXO A1	2A
ANEXO A2	12A
ANEXO A3	20A
ANEXO B: RECOMENDACIÓN UTI-R P.1546-4	1B
ANEXO C: SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEVISIÓN ANALÓGICA	1C
ANEXO C1	2C
ANEXO C2	11C
ANEXO D: GRÁFICA C/N Y DESCRIPCIÓN DE LAS FÓRMULAS EBU	1D
ANEXO D1	2D
ANEXO D2	4D
ANEXO E: SIMULACIÓN DE LA RED DE FRECUENCIA ÚNICA	1E
ANEXO F: TUTORIAL PARA EL USO DE ISDB-Tb EN ICS TELECOM	1F
ANEXO G: MAPAS UTILIZADOS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE GAP-FILLERS	1G
ANEXO H: BROCHURES DE EQUIPOS	1H

ÍNDICE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Idea básica de modulación OFDM con 8 portadoras</i>	2
<i>Figura 1.2 Comparación de una portadora, FDM y OFDM</i>	3
<i>Figura 1.3 Ortogonalidad de las portadoras</i>	4
<i>Figura 1.4 Prefijo Cíclico</i>	6
<i>Figura 1.5 Diagrama de bloques de un modulador OFDM</i>	8
<i>Figura 1.6 Organización del canal</i>	8
<i>Figura 1.7 Distribución de portadoras OFDM en tiempo y frecuencia</i>	9
<i>Figura 1.8 Canal de 6 MHz dividido en 13 segmentos utilizado en ISDB-Tb.</i>	11
<i>Figura 1.9 Señales multitrayectoria</i>	13
<i>Figura 1.10 Contribución de los transmisores a la señal deseada</i>	14
<i>Figura 1.11 Red de Frecuencia Única Centralizada</i>	16
<i>Figura 1.12 Red de Frecuencia Única Descentralizada</i>	16
<i>Figura 1.13 Eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico</i>	17
<i>Figura 1.14 Ganancia aditiva de una SFN</i>	18
<i>Figura 1.15 Gap-fillers. Casos en los que se debe utilizar gap-fillers</i>	21
<i>Figura 1.16 Aislamiento entre elementos de un gap-filler</i>	22
<i>Figura 2.1 Zonas geográficas para televisión UHF</i>	28
<i>Figura 2.2 Diagrama de radiación horizontal de un arreglo de dos paneles</i>	37
<i>Figura 2.3 Imagen y diagrama de radiación horizontal y vertical de un panel</i>	38
<i>Figura 2.4 Diagrama de radiación vertical para 2, 4, 6 y 8 bays</i>	38
<i>Figura 2.5 Capas para desarrollar simulaciones en ICS Telecom</i>	40
<i>Figura 2.6 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz UIT-R PN.525</i>	49
<i>Figura 2.7 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz UIT-R P.1546-4</i>	50
<i>Figura 2.8 Cobertura de la Zona P desde la repetidora UIT-R PN.525</i>	51
<i>Figura 2.9 Cobertura de la Zona P desde la repetidora UIT-R P.1546-4</i>	52
<i>Figura 2.10 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz y repetidora UIT-R PN.525</i>	53
<i>Figura 2.11 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz y repetidora UIT-R P.1546-4</i>	54
<i>Figura 2.12 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz UIT-R PN.525</i>	57
<i>Figura 2.13 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz UIT-R P.1546-4</i>	58
<i>Figura 2.14 Asignación de segmentos y tasas de datos</i>	61
<i>Figura 3.1 Bandas de Guarda</i>	72
<i>Figura 3.2 Segmentos para servicios y bandas de guarda</i>	73
<i>Figura 3.3 Robustez de las señales</i>	75

Figura 3.4 Ancho de banda total ocupado por L portadoras	78
Figura 3.5 Ancho de banda total ocupado por N_s segmentos	78
Figura 3.6 Separación entre portadoras	79
Figura 3.7 Recorrido de la señal directa y de la señal reflejada	81
Figura 3.8 Transmisión simulcast	83
Figura 3.9 Espaciamiento en frecuencia de canal ISDB-T con canales analógicos	83
Figura 3.10 Bandas de guarda para canales ISDB-Tb	84
Figura 3.11 Bandas de guarda para canales analógicos	84
Figura 3.12 Off-set de la frecuencia central	86
Figura 3.13 Segmentos disponibles para cada capa jerárquica	94
Figura 3.14 Ejemplos de asignación de segmentos	95
Figura 3.15 Transport stream para ISDB-Tb	96
Figura 3.16 Broadcast transport stream para ISDB-Tb	98
Figura 4.1 Diagrama de bloques del sistema de transmisión	102
Figura 4.2 Distancia máxima entre el transmisor en el cerro Pichincha y el objeto reflectante	106
Figura 4.3 Ingreso de una estación transmisora	135
Figura 4.4 Parámetros de la capa jerárquica A de la estación transmisora del cerro Pichincha	136
Figura 4.5 Parámetros de la capa jerárquica B de la estación transmisora del cerro Pichincha	137
Figura 4.6 Parámetros de la capa jerárquica C de la estación transmisora del cerro Pichincha	138
Figura 4.7 Sistema radiante de la estación transmisora del cerro Pichincha	139
Figura 4.8 Coordenadas WGS84 de la estación transmisora del cerro Pichincha	140
Figura 4.9 Parámetros de la capa jerárquica A de la estación transmisora del cerro Atacazo	141
Figura 4.10 Parámetros de la capa jerárquica B de la estación transmisora del cerro Atacazo	142
Figura 4.11 Parámetros de la capa jerárquica C de la estación transmisora del cerro Atacazo	143
Figura 4.12 Patrones del sistema radiante de la estación transmisora del cerro Atacazo	143
Figura 4.13 Coordenadas WGS84 de la estación transmisora del cerro Atacazo	144
Figura 4.14 Umbral de cobertura y antena de referencia	144
Figura 4.15 Parámetros para el cálculo de la cobertura	145
Figura 4.16 Modelos de propagación en ICS Telecom	146
Figura 4.17 Parámetros del modelo de propagación de la recomendación UIT-R 1546-4	148
Figura 4.18 Cobertura empleando el modelo UIT-R 1546-4	151
Figura 4.19 Parámetros del modelo 525/526	152
Figura 4.20 Cobertura empleando el modelo UIT-R 525/526	153
Figura 4.21 Diferencia de tiempo de llegada de la señal a un receptor	154

Figura 4.22 Umbral de sincronización	155
Figura 4.23 Fórmulas EBU para balancear interferencias	156
Figura 4.25 Selección de cobertura para cada transmisor	157
Figura 4.26 Selección de Digital SFN (COFDM) para el análisis de interferencia	158
Figura 4.27 Selección del color para mostrar interferencia	159
Figura 4.28 Interferencia propia de la red	160
Figura 4.29 Corrección de interferencia	161
Figura 4.30 Delay del transmisor del cerro Atacazo	162
Figura 4.31 Diagrama de bloques de un gap-filler	164
Figura 4.32 Trazado de un polígono	165
Figura 4.33 Configuración para la búsqueda de la mejor ubicación para el gap filler	165
Figura 4.34 Mejor ubicación para el gap filler	166
Figura 4.35 Cobertura de los gap-fillers	183
Figura 4.36 Cobertura de la red de frecuencia única	184
Figura 4.37 Cobertura de cada transmisor y gap-filler	185
Figura 4.38 Interferencia propia de la red	186
Figura 4.39 Delay de cada transmisor y gap-filler	187
Figura 4.40 Diagrama de bloques del enlace de microondas	188
Figura 4.41 Parámetros del transmisor del enlace estudio-cerro Pichincha	196
Figura 4.42 Parámetros del transmisor del enlace estudio-cerro Atacazo	196
Figura 4.43 Sistema radiante del enlace estudio-cerro Pichincha	197
Figura 4.44 Sistema radiante del enlace estudio-cerro Atacazo	198
Figura 4.45 Sistema de televisión digital terrestre abierta	199

ÍNDICE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Bandas de frecuencia para televisión abierta</i>	27
<i>Tabla 2.2 Bandas de frecuencias para frecuencias auxiliares para el servicio de televisión</i>	29
<i>Tabla 2.3 Grupos de canales para VHF y UHF</i>	29
<i>Tabla 2.4 Intensidad de campo mínima para las diferentes bandas y áreas de cobertura</i>	30
<i>Tabla 2.5 Relación de protección para señal de imagen con interferencia co-canal</i>	31
<i>Tabla 2.6 Relación de protección para señal de imagen con interferencia de canal adyacente</i>	31
<i>Tabla 2.7 Pérdidas máximas en la línea de transmisión según el tipo de servicio.</i>	32
<i>Tabla 2.8 Principales características de los sistemas de televisión que brindan el servicio de televisión abierta a la zona geográfica P en la banda VHF</i>	34
<i>Tabla 2.9 Principales características de los sistemas de televisión que brindan el servicio de televisión abierta a la zona geográfica P en la banda UHF</i>	35
<i>Tabla 2.10 Características del Sistema de Televisión Gama TV</i>	46
<i>Tabla 2.11 Parámetros Técnicos del Sistema de Televisión Ecuador TV</i>	55
<i>Tabla 2.12 Estándar adoptado por país.</i>	59
<i>Tabla 2.13 Tasas máximas de transmisión (audio y video) según el formato de servicio</i>	62
<i>Tabla 2.14 Niveles de intensidad de campo según el área de cobertura</i>	63
<i>Tabla 2.15 Definición de los parámetros de las categorías</i>	64
<i>Tabla 2.16 Relaciones de protección</i>	64
<i>Tabla 2.17 Canales de Televisión Digital Terrestre transmitidos en Córdoba, Argentina</i>	65
<i>Tabla 2.18 Sistemas de televisión con permiso para realizar pruebas</i>	66
<i>Tabla 2.19 Canales en Perú que actualmente transmiten señal digital</i>	68
<i>Tabla 3.1 Porción porcentual entre cada portadora y el límite del canal</i>	85
<i>Tabla 3.2 Bandas de guarda ISDB-Tb</i>	86
<i>Tabla 3.3 Parámetros ISDB-Tb modos 1, 2 y 3</i>	88
<i>Tabla 3.4 Tasa de datos de un único segmento</i>	91
<i>Tabla 3.5 Tasa de datos para 13 segmentos</i>	92
<i>Tabla 3.6 Nivel mínimo de entrada</i>	99
<i>Tabla 3.7 Relación de protección del receptor Full-Seg</i>	100
<i>Tabla 4.1 Intervalos de guarda para modo 3 (8k)</i>	107
<i>Tabla 4.2 Características de tiempo para modo 3(8k) y $\Delta=1/4$</i>	107
<i>Tabla 4.3 Tasa de datos para los diferentes tipos de canales en MPEG-2 y MPEG-4</i>	109
<i>Tabla 4.4 Parámetros de cada capa jerárquica</i>	111
<i>Tabla 4.5 Distancias de cada azimut de máxima radiación</i>	114

Tabla 4.6 Valor de h_1 para cada azimut de máxima radiación	114
Tabla 4.7 Poblaciones que requieren el emplazamiento de gap-fillers	163
Tabla 4.8 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km gap-filler Tambillo	168
Tabla 4.9 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km gap-filler Guangopolo	173
Tabla 4.10 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km gap-filler Vicentina	173
Tabla 4.11 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km gap-filler La Bota	175
Tabla 4.12 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km gap-filler San José de Minas	181
Tabla 4.13 Retardo de cada gap-filler	187
Tabla 4.14 S/N teórica ISDB-Tb	191
Tabla 4.15 Elementos disponibles a ser utilizados	200
Tabla 4.16 Transmisores	200
Tabla 4.17 Gap-fillers	200
Tabla 4.18 Enlaces microonda	200
Tabla 4.19 Sistema radiante para la red de frecuencia única	201
Tabla 4.20 Características técnicas del TX para el cerro Pichincha	204
Tabla 4.21 Características técnicas del TX para el cerro Atacazo	204
Tabla 4.22 Características técnicas del re-multiplexor ISDB-Tb	205
Tabla 4.23 Características técnicas de los gap-fillers	205

RESUMEN

La decisión tomada por el gobierno ecuatoriano de adoptar el estándar de televisión digital ISDB-Tb (Difusión Digital de Servicios Integrados Terrestres con modificación brasileña) —registro oficial No 172 - 15 de abril de 2010— implica la necesidad de establecer el marco regulatorio para el servicio de televisión digital, que los canales de televisión digitalicen su señal y que la academia investigue y continúe desarrollando esta tecnología, para formar parte activa de este cambio inminente y obtener un resultado satisfactorio en la implementación de la televisión digital terrestre en el Ecuador.

Entre las características más sobresalientes del estándar ISDB-Tb se tienen: movilidad y portabilidad —por medio de *one-seg*—, interactividad —por medio de su *middleware* Ginga—, multiprogramación, robustez y la posibilidad de implementar redes de frecuencia única (*SFN*¹). Con redes de frecuencia única se puede utilizar de manera eficiente el espectro radioeléctrico, permitiendo ofrecer a los televidentes una mayor cantidad de programación, sin interferencia y zonas de sombra.

Las redes de frecuencia única brindarán diferentes opciones para transmitir la señal de un sistema de televisión a lo largo del territorio ecuatoriano, por tanto, es decisión del operador el implementar una red de frecuencia única nacional —para enviar la misma programación en todo el país— o varias redes regionales —para enviar distinta programación en la diferentes regiones—, teniendo en cuenta el número de canales de frecuencia que le sean concesionados por el organismo correspondiente, de acuerdo al marco regulatorio que se vaya a adoptar en nuestro país.

Este proyecto se denomina “DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA PARA UN CANAL DE TELEVISIÓN EN LA BANDA UHF CON LA NORMA ISDB-Tb PARA LA ZONA GEOGRÁFICA P” y se presenta en atención a que la implementación de la TDT está próxima en el Ecuador.

¹ *SFN* (*Single Frequency Network*): Red de Frecuencia Única

Al momento, para establecer el área que se debería cubrir con el presente diseño, es necesario registrarse a la NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ANALÓGICA Y PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE CANALES (Resolución No. 1779-CONARTEL-01), en donde se dispone que: “Para efectos de la asignación de canales se establecen en el territorio ecuatoriano las zonas geográficas que constan en el cuadro ‘Zonas geográficas y plan de distribución de canales’ (Anexo 1)”. Por lo tanto, se ha decidido realizar el diseño para la zona geográfica P, que comprende la provincia de Pichincha, con excepción de la zona occidental de la cordillera Occidental, Puerto Quito, Los Bancos y Pedro Vicente Maldonado.

Debido a que aún no se encuentra aprobado el Plan Maestro de Televisión Digital, para el diseño de la *SFN* se tomarán ciertos valores y definiciones de la norma técnica ecuatoriana antes mencionada, de la brasileña y de las experiencias de países en los cuales ya se ha implementado la TDT².

Antes de diseñar la red de frecuencia única, es prudente realizar un análisis de la situación actual de la televisión analógica en la zona geográfica P, para contrastar las ventajas y desventajas. Por lo tanto, se ha decidido tomar como referencia dos sistemas de televisión: uno que transmita en la banda VHF debido a que en ésta se encuentran los sistemas de televisión más antiguos y que brindan servicio a nivel nacional, los cuales tienen mayor sintonía y cobertura y además se propagan de mejor forma en el espectro radioeléctrico³; y, otro en la banda UHF porque en ésta se implementaría la televisión digital terrestre en el Ecuador, y es la banda que utilizan los países de la región que ya transmiten señal digital abierta.

Para calcular el área de cobertura y la confiabilidad de los enlaces se realizará la simulación de los sistemas de televisión en el software ICS Telecom —al cual se tuvo acceso gracias a la colaboración de la Superintendencia de Telecomunicaciones—.

² TDT (Televisión Digital Terrestre)

³ Los canales en la banda UHF utilizan una frecuencia más alta; por ello, factores como la humedad degradan más el nivel de la señal respecto a un canal en la banda VHF.

Se analizó la posibilidad de utilizar otras alternativas de software tales como EMLAB, de Aldena, y SIRENET, de Aptica; sin embargo, los costos de las licencias fueron elevados; también se analizó la posibilidad de utilizar el software RADIO MOBILE, con licencia gratuita, pero no contaba con las opciones para simular sistemas que empleen OFDM ni ISDB-Tb. Por ello, se decidió utilizar el software ICS Telecom gracias al convenio que se tuvo con la Superintendencia de Telecomunicaciones, el cual nos permitió acceder a esta herramienta a través de la Dirección Nacional de Gestión y Control de Radiodifusión y Televisión.

Para realizar el diseño de la red de frecuencia única, primero se realizará un estudio de los parámetros que se deben configurar para la operación de la red. Se establecerán los parámetros de operación adecuados a la geografía del área que se desea cubrir, considerando que estos deben alimentar al software ICS Telecom.

A fin de cubrir la gran mayoría de las poblaciones de la zona geográfica P, se diseñará la *SFN* de tal manera que las zonas de sombra y la interferencia propia de la red se presenten sobre áreas no pobladas, para lo cual se emplearán *gap-fillers* y se realizarán los cálculos con la ayuda del software ICS Telecom.

Este proyecto es una referencia para la implementación de una *SFN* de un sistema de televisión que brinde el servicio de televisión abierta en la zona geográfica P, para lo cual se definirán los equipos necesarios para la migración de dicha estación a la TDT.

PRESENTACIÓN

Cada día es mayor la necesidad de conocer más acerca de la televisión digital terrestre en los países de la región; por ello, es ineludible la investigación del tema para el aporte de nuevas ideas y experiencias para la correcta implementación de ésta en un futuro no muy lejano.

En este proyecto denominado: “DISEÑO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA PARA UN CANAL DE TELEVISIÓN EN LA BANDA UHF CON LA NORMA ISDB-TB PARA LA ZONA GEOGRÁFICA P” se presenta la simulación de una red de frecuencia única, sin interferencia ni zonas de sombra, en el software ICS Telecom. Entre los objetivos específicos planteados se pueden citar:

- Estudiar las características y especificaciones técnicas del estándar ISDB-Tb, necesarias para el diseño de una red de frecuencia única, tales como modulación, intervalos de guarda, modo y tasas de transmisión.
- Definir el área de cobertura de la red y los niveles de señal recomendados por las normas internacionales.
- Establecer la configuración física de la red, en base a los cálculos de cobertura realizados en el software ICS Telecom, que permitirá determinar las zonas de sombra para cubrirlas por medio del uso de *gap-fillers*.
- Presentar el listado de los equipos necesarios para la implementación del diseño, utilizando la infraestructura y equipamiento que actualmente dispone el sistema de televisión analógica y que se pueda utilizar para la TDT; en cuanto a los equipos que se deben adquirir se considerarán las marcas que se ofertan en el mercado nacional.

El desarrollo de este proyecto se presenta en cinco capítulos, como se explica a continuación:

En el Capítulo 1 se describirá el esquema *OFDM*, las principales características del estándar ISDB-Tb y los principios de funcionamiento de las redes de frecuencia única y de los *gap-fillers*; parámetros a ser tomados en cuenta al momento de diseñar la *SFN*.

En el Capítulo 2 se realizará un análisis de la situación actual de la televisión analógica en la zona geográfica P, tomando como referencia dos sistemas de televisión: uno que transmita en la banda VHF y otro en la banda UHF, y del proceso de implementación de la norma ISDB-Tb en los países de la región. Se describe cómo realizar estimaciones de cobertura de los sistemas de televisión analógica con la herramienta ICS Telecom.

En el Capítulo 3 se estudiarán los parámetros técnicos básicos del estándar ISDB-Tb necesarios para el funcionamiento de una red de frecuencia única, mencionados en la norma técnica brasilera ABNT NBR 15601 para el sistema de transmisión de la televisión digital terrestre.

En el Capítulo 4 se diseñará la red de frecuencia única especificando los parámetros de modulación, intervalos de guarda, modo, tasas de transmisión, potencia y calidad de la imagen. La red de frecuencia única contará con sus respectivos sistemas radiantes; se determinará el área de cobertura en el software ICS Telecom y se presentará el listado de los equipos necesarios para la implementación del diseño, considerando la infraestructura y equipamiento disponible actualmente en el sistema de televisión analógico, de acuerdo a la oferta existente en el mercado nacional.

En el Capítulo 5 se plantearán conclusiones, recomendaciones y comentarios a partir de las experiencias obtenidas durante el desarrollo de este proyecto.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb Y DE LAS REDES DE FRECUENCIA ÚNICA

1.1 OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING) [7] [11] [12] [13] [15]

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal, *OFDM*, es una técnica de multiplexación en frecuencia que consiste en enviar un conjunto de portadoras en distintas frecuencias y ortogonales entre sí, donde cada una transporta una porción de información. Cada portadora de poca capacidad es modulada para combinarse en el modulador *OFDM* y formar un compuesto de alta capacidad.

Muchas veces, el término *OFDM* se lo usa indistintamente con *COFDM*⁴, debido a que normalmente se realiza la modulación *OFDM* tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de detectar y corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se denomina *COFDM*, siendo ésta la utilizada en el estándar ISDB-Tb.

1.1.1 FUNCIONAMIENTO

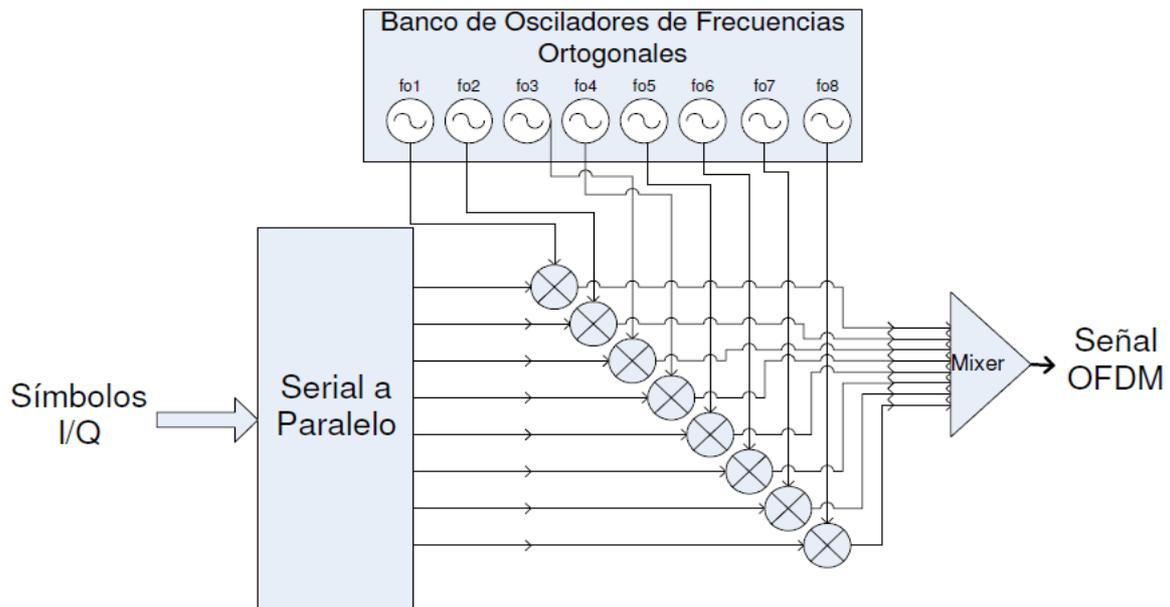
La idea general de la técnica de transmisión *OFDM* es dividir el total del ancho de banda disponible en muchos sub-canales de banda estrecha, a frecuencias equidistantes. Los espectros de las portadoras son ortogonales entre sí, de modo que no se interfieren. De esta manera, *OFDM* distribuye los datos en un gran número de portadoras equidistantes en el dominio de la frecuencia.

El flujo de datos inicial de alta velocidad se divide en muchos flujos de datos paralelos de baja velocidad, uno para cada portadora. Cada portadora se modula

⁴ *COFMD* (*Coded OFMD*): *OFDM* Codificado

con una técnica convencional y todas las portadoras son transmitidas simultáneamente de forma paralela.

Una señal *OFDM* consiste de N portadoras adyacentes y ortogonales, separadas una distancia de frecuencia Δf . Una idea inicial de la técnica *OFDM* se muestra en la Figura 1.1.



Fuente: [16], página 19

Figura 1.1 Idea básica de modulación OFDM con 8 portadoras

Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos o miles de portadoras que conforman la técnica *OFDM*, los procesos de modulación (en el transmisor) y demodulación (en el receptor) se realizan en tiempo discreto; para ello, se utilizan la *IFFT*⁵ y la *FFT*⁶, respectivamente, para lograr la transmisión por medio de portadoras paralelas de manera que se elimina, en lo posible, la interferencia o traslape entre ellas. El detalle del uso de la *IFFT* y *FFT* se explicará en la Sección 1.1.5.

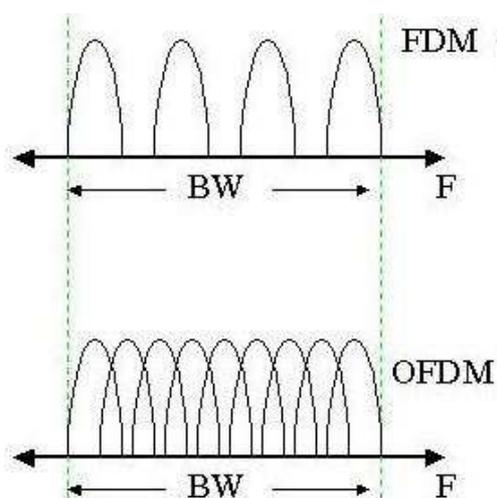
⁵ *IFFT* (Inverse Fast Fourier Transform): Transformada Rápida de Fourier Inversa

⁶ *FFT* (Fast Fourier Transform): Transformada Rápida de Fourier

1.1.2 MODULACIÓN MULTIPORTADORA

OFDM se basa en el funcionamiento de *FDM*⁷, pero busca optimizar el uso del espectro radioeléctrico. El problema que presenta *FDM* es la prevención del traslape entre portadoras, lo que exige la colocación de una región de espectro de separación entre ellas. La separación y posterior discriminación entre portadoras no supone un eficiente aprovechamiento del ancho de banda. Entonces, *OFDM* propone emplear tonos ortogonales como portadoras; así, los tonos están espaciados entre sí por intervalos de frecuencia iguales al inverso del tiempo útil de símbolo, que es capaz de separar el receptor, lo que conlleva un intervalo de guarda adecuado.

En la Figura 1.2 se presenta la diferencia entre *FDM* y *OFDM*.



Fuente: [8], página 22

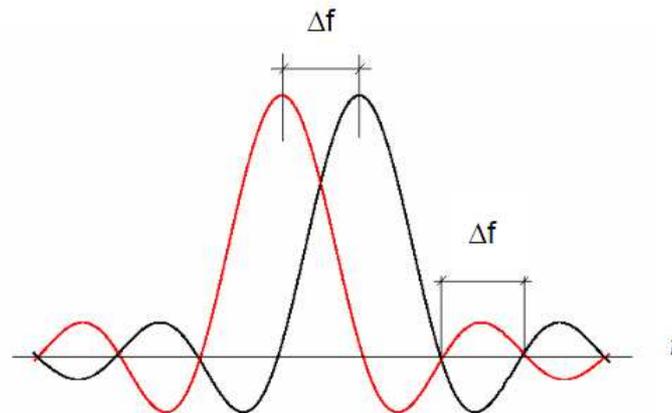
Figura 1.2 Comparación de una portadora, FDM y OFDM

Las portadoras se modulan independientemente y el tipo de modulación suele ser el mismo para todas las portadoras.

⁷ *FDM* (*Frequency Division Multiplexing*): Multiplexación por División de Frecuencia

1.1.3 ORTOGONALIDAD

La ortogonalidad se logra haciendo coincidir los picos del espectro de las portadoras con los valores nulos del espectro de las otras portadoras pertenecientes al mismo canal, obteniéndose como resultado un perfecto alineamiento y espaciado de las portadoras, como se puede apreciar en la Figura 1.3.



Fuente: [14], página 5

Figura 1.3 Ortogonalidad de las portadoras

Para que dos o más señales sean ortogonales se debe cumplir que la separación entre las portadoras sea exactamente igual al inverso del tiempo útil de símbolo *OFDM* (T_U), logrando así, matemáticamente, tener un conjunto ortogonal de portadoras. Se define $L_k(t)$ como la k -ésima portadora, en banda base, en un tiempo t . Para satisfacer la condición de ortogonalidad de funciones se debe cumplir con la ecuación 1.1:

$$\int_{\tau}^{\tau+T_U} L_k(t) * L_j(t) dt = 0, \quad \text{Si } k \neq j \quad (1.1)$$

A más del incremento de eficiencia espectral, la ortogonalidad proporciona otra ventaja: un mecanismo para eliminar o reducir el problema de la interferencia por multitrayectoria. Este mecanismo consiste en ampliar la duración correspondiente al tiempo del símbolo con la adición de un tiempo de guarda (T_G), el cual debe ser mayor o igual al máximo tiempo de retardo de las señales multitrayectoria.

El intervalo de guarda se refiere a aquel período que se deja entre símbolos *OFDM* consecutivos. Esta técnica tiene la finalidad de evitar la interferencia intersímbolo *ISI*⁸ e interportadora *ICI*⁹, en canales con señales multitrayectoria. De acuerdo con la teoría, el retardo sufrido por la señal a lo largo de cualquier trayecto, con respecto al trayecto más corto, debe ser menor que el intervalo de guarda. La interferencia entre símbolos ocurrirá solamente cuando el retardo relativo exceda la duración del intervalo de guarda.

El intervalo de guarda se elige de acuerdo al retardo esperado de las señales multitrayecto debido al entorno geográfico en el cual se lleva a cabo la comunicación. Puesto que la inserción del intervalo de guarda reduce la tasa binaria efectiva, no debe consumir una fracción importante de la duración del símbolo.

1.1.4 INTERVALO DE GUARDA CON PREFIJO CÍCLICO O RELLENO CON CEROS

Tanto el prefijo cíclico *CP*¹⁰, así como el relleno con ceros *ZP*¹¹, se utilizan en el intervalo de guarda para rellenar al símbolo *OFDM* con una extensión cíclica, en el caso de *CP*, o con ceros en el caso de *ZP*.

La inserción del prefijo cíclico o el relleno con ceros son comúnmente aceptadas como las formas de evitar la *ISI*, la *ICI* y preservar la ortogonalidad entre los tonos; en el *CP* se utiliza como intervalo de guarda una copia de las últimas muestras del símbolo *OFDM*. Mientras que el *ZP* se basa en que durante el proceso de creación del símbolo *OFDM*, se añade una cola de ceros de la misma longitud que el prefijo cíclico como intervalo de guarda.

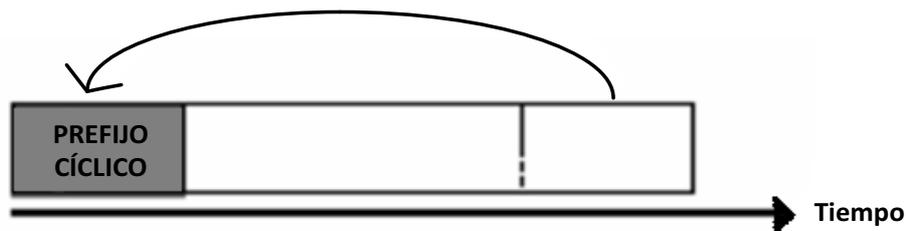
En *OFDM* es muy común utilizar un prefijo cíclico durante el intervalo de guarda —ISDB-Tb lo usa— como se muestra en la Figura 1.4.

⁸ *ISI (Inter Symbol Interference)*: Interferencia Inter-Símbolo

⁹ *ICI (Inter Carrier Interference)*: Interferencia entre Portadoras

¹⁰ *CP (Cyclic Prefix)*: Prefijo Cíclico

¹¹ *ZP (Zero Padding)*: Relleno de Ceros



Fuente: [7], página 10

Figura 1.4 Prefijo Cíclico

Uno de los alcances que tiene la aplicación de esta técnica es la posibilidad de poder implementar redes de frecuencia única o también llamadas de isofrecuencia, debido a que se pueden hacer retransmisiones de una misma señal a través de reemisores, y la manera en que un receptor recibe copias de uno u otro transmisor, no es distinta a las generadas por la multitrayectoria, lo cual se logra con éxito, dando el tamaño adecuado al prefijo cíclico.

1.1.5 TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER FFT/IFFT

Como se mencionó anteriormente, la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equidistantes en frecuencia, que forman el esquema de multiplexación *OFDM*, supone un gran problema técnico, por ello los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la *IFFT* y la *FFT*.

Las señales que se transmiten están muestreadas, debido a la naturaleza digital de los datos, por lo que se manejan señales discretas. Para realizar el análisis necesario en frecuencia, se hace indispensable la utilización de la transformada de Fourier de una señal muestreada, $DTFT$ ¹².

La utilización de la $DTFT$ como método numérico tiene dos limitantes básicas:

- Una sumatoria infinita no es computablemente posible.

¹² $DTFT$ (*Discret Time Fourier Transform*): Transformada de Fourier en Tiempo Discreto

- Según el teorema de *Nyquist*, la frecuencia de muestreo de la señal debe ser mayor al doble del valor de su ancho de banda [18].

Por esta razón, el algoritmo que se implementa de la *DTFT* es la denominada *DFT*¹³. Éste es un algoritmo basado en la misma *DTFT*, en el cual se toma un número determinado de muestras en un intervalo de tiempo y, consecuentemente, se obtendrá la misma cantidad de muestras en el dominio de la frecuencia. El cálculo de la *DFT* o su inversa implica la realización de sucesivas multiplicaciones y sumas, lo que conlleva la utilización de memoria, y los requerimientos de la misma crecen de acuerdo al valor de muestras. Con el objeto básico de reducir dicho número de multiplicaciones, fue diseñada la denominada *FFT*, habiendo también su inversa *IFFT*. La *IFFT* toma un número de muestras que deben mantener la ortogonalidad en el dominio de la frecuencia, transformándolas al dominio del tiempo.

El proceso de modulación puede resumirse de la siguiente manera: el flujo de datos codificado a la entrada se convierte de serie a paralelo, en cada flujo se realiza el mapeo y se añaden las portadoras de control; a continuación, se aplica la *IFFT* y se convierte el flujo de datos de paralelo a serie; finalmente, se forma el símbolo *OFDM* con la adición del intervalo de guarda. Una vez formado el símbolo *OFDM* se realiza la conversión digital/análogo, obteniendo una señal en banda base, la cual se modula en cuadratura para obtener las múltiples portadoras ortogonales entre sí. Una breve descripción del proceso de modulación se muestra en la Figura 1.5.

El uso de la *IFFT* en el transmisor se debe a que a la salida del mapeador la información se representa con números complejos ($A + jB$) que indican un punto en la constelación empleada. Al aplicar el algoritmo de la *IFFT*, se obtiene una secuencia numérica que representa la suma de los valores complejos antes mencionados; de manera que al pasar esta señal por el conversor digital/análogo se obtiene las portadoras multiplexadas y moduladas en el dominio del tiempo. En el demodulador se usa la *FFT* (*Fast Fourier Transform*) y se realiza el proceso inverso.

¹³ *DFT* (*Discret Fourier Transform*): Transformada Discreta de Fourier

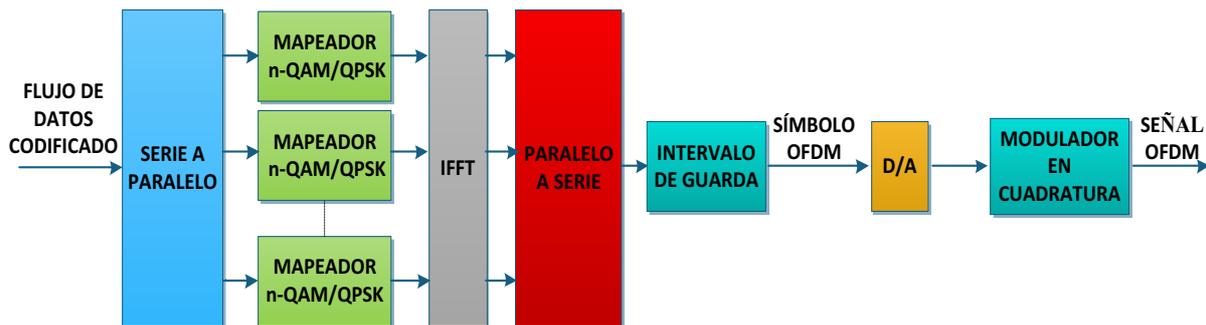
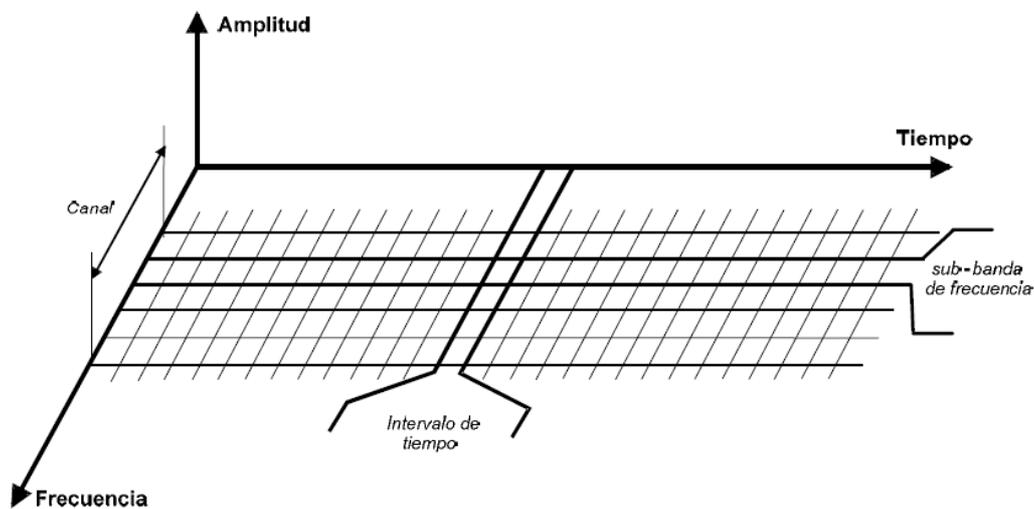


Figura 1.5 Diagrama de bloques de un modulador OFDM

1.1.6 OFDM EN EL ESTANDAR ISDB-Tb [14]

El estándar ISDB-Tb distribuye la información entre las portadoras tanto en tiempo como en frecuencia, esto obliga a organizar el ancho de banda disponible en el canal, tal como se presenta en la Figura 1.6:

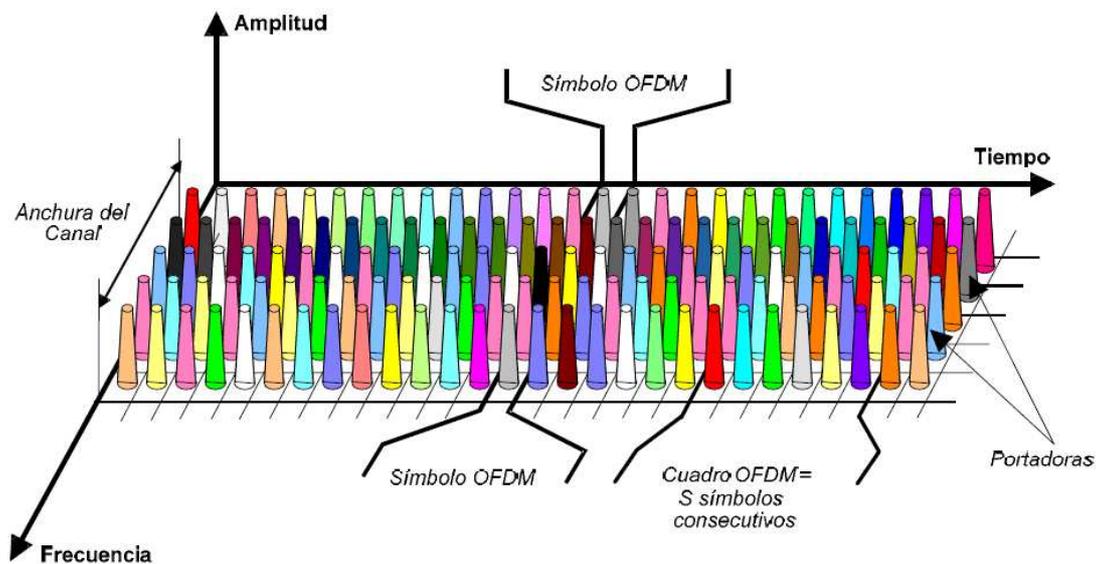


Fuente: [14], página 3

Figura 1.6 Organización del canal

- En el dominio de la frecuencia se destina una subbanda para cada portadora.
- En el dominio del tiempo se divide en pequeños intervalos.

Se puede observar que se forman diferentes secciones de frecuencia y tiempo; en cada sección se coloca una portadora *OFDM*. Un determinado número de portadoras transmitidas en un intervalo de tiempo se denomina “Símbolo *OFDM*”, y una sucesión de *S* símbolos conforman un “Cuadro *OFDM*”¹⁴. En la Figura 1.7 se puede observar esta distribución.



Fuente: [14], página 3

Figura 1.7 Distribución de portadoras OFDM en tiempo y frecuencia

En ISDB-Tb se emplea cuadros conformados por 204 símbolos.¹⁵

Como se mencionó antes, cada portadora se modula independientemente utilizando 2, 4 ó 6 bits de datos, dependiendo del tipo modulación que se emplee, DQPSK/QPSK, 16QAM o 64QAM.

Para mejorar la robustez de *OFDM* se emplea entrelazado en frecuencia y en tiempo. El entrelazado en frecuencia consiste en distribuir los bits de datos contiguos en diferentes portadoras, mientras que el entrelazado en tiempo se refiere a distribuir símbolos OFDM consecutivos en diferentes intervalos de tiempo.

¹⁴ Se define cuadros para tener una cantidad fija de bytes a la entrada del modulador y porque esta cantidad de bytes no se puede distribuir en un solo símbolo OFDM. (Por ejemplo, MPEG-4 utiliza tramas de 188 bytes) [8].

¹⁵ El estándar ISDB-Tb emplea 204 símbolos para conformar un cuadro OFDM, de esta manera se mantiene constante la longitud de las tramas en 188 bytes.

1.2 ESTÁNDAR ISDB-Tb

Sus siglas provienen de *Integrated Services Digital Broadcasting –Terrestrial Brazil* (Difusión Digital de Servicios Integrados Terrestres con modificación brasileña). Es un estándar de televisión digital que fue desarrollado en Brasil por universidades y entidades estatales y privadas del sector de las telecomunicaciones con el objetivo de crear un nuevo estándar de televisión digital, para poder ofrecerlo a los países de Latinoamérica y posteriormente al resto del mundo. El resultado fue una modificación del estándar japonés ISDB-T (Difusión Digital de Servicios Integrados Terrestres) debido a que se diferencia únicamente en la compresión de audio, video y en el *middleware* que se usa para la interactividad.

1.2.1 CODIFICACIÓN [17]

La codificación de video se la hace utilizando la codificación MPEG-4¹⁶ AVC¹⁷ (UIT¹⁸ H.264) y la codificación de audio, en modalidad multicanal utiliza MPEG-4 AAC¹⁹ nivel 4 o MPEG-4 HE-AAC²⁰ nivel 4, en modalidad estéreo utiliza MPEG-4 AAC nivel 2 o MPEG-4 HE-AAC nivel 2, y para los dispositivos portátiles utiliza MPEG-4 AAC nivel 2.

1.2.2 INTERACTIVIDAD

El *middleware* utilizado para la interactividad se denomina Ginga. Es un software libre —fuente abierta— y tiene dos entornos de presentación multimedia:

- Ginga-NCL (lenguaje de programación NCL)
- Ginga-J (lenguaje de programación Java)

¹⁶ MPEG-4 (*Moving Picture Experts Group*): Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento

¹⁷ AVC (*Advanced Video Codec*): Códec de Video Avanzado

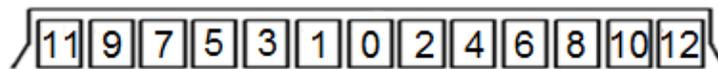
¹⁸ UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

¹⁹ AAC (*Advanced Audio Codec*): Códec de Audio Avanzado

²⁰ HE-AAC (*High-Efficiency Advanced Audio Codec*): Códec de Audio Avanzado de Alta Eficiencia

1.2.3 TRANSMISIÓN SEGMENTADA [6]

Los 6MHz asignados originalmente para la transmisión de un canal de televisión analógico, se dividen en 14 segmentos, de los cuales uno se destina a las bandas de guarda y los trece restantes a la transmisión de las portadoras *OFDM*; como se presenta en la Figura 1.8, los trece segmentos se enumeran del cero al doce, uno de estos segmentos, el segmento cero, se utiliza para transmitir el servicio *one-seg* a receptores móviles y portátiles, tomando los doce restantes para transmitir canales en definición estándar (*SD*) y/o en alta definición (*HD*). Cabe señalar que el segmento cero, asignado para transmitir el servicio *one-seg*, también puede ser utilizado para ofrecer los servicios *HD* o *SD*. Ejemplos de la asignación de segmentos a cada servicio se presentarán en el capítulo 3.



Fuente: [6], página 6

Figura 1.8 Canal de 6 MHz dividido en 13 segmentos utilizado en ISDB-Tb.

1.3 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA [1] [2]

1.3.1 DEFINICIÓN DE RED DE FRECUENCIA ÚNICA (SFN)

Una red de frecuencia única consiste en una red de *broadcast* en la cual varios transmisores, simultáneamente, envían la misma señal en el mismo canal de frecuencia, sin interferirse y aumentando el nivel de la señal en las áreas donde se sobreponen, de tal manera que aumenta el área de cobertura y disminuye la posibilidad de que se produzca interferencia. Esto se logra debido a que el estándar ISDB-Tb utiliza la técnica de multiplexación *OFDM*; esta técnica le da a la señal robustez ante el ruido impulsivo y blanco²¹ y ante la interferencia debido a la multitrayectoria; además, al introducir un tiempo de guarda, el receptor podrá aprovechar los ecos recibidos para obtener la señal deseada.

²¹ Se considera el ruido impulsivo debido a que afecta a frecuencias en el rango de los 500MHz, y el ruido blanco, porque este se genera en el interior de los receptores. No se considera el ruido atmosférico porque tiene incidencia en frecuencias menores a 20MHz y el ruido espacial porque para comunicaciones terrestres su incidencia es mínima. [9]

1.3.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA

- *Uso óptimo del espectro radioeléctrico:* Implementar redes de frecuencia única es la manera más eficiente de utilizar el espectro debido a que se asigna una única frecuencia para toda el área de cobertura, a diferencia de las redes de televisión abierta analógica y de televisión digital MFN²² que retransmiten la señal usando diferentes canales de frecuencia para evitar la interferencia co-canal.
- *Posibilidad de cubrir las zonas de sombra empleando el mismo canal de frecuencia:* Con la utilización de *gap-fillers* o transmisores se puede dar cobertura a las pequeñas áreas muertas o en donde la recepción no sea satisfactoria.
- *Una cobertura robusta:* Utilizar la técnica de transmisión *OFDM* permite que las señales que llegan al receptor y tienen un retraso, menor al tiempo de guarda, puedan ser combinadas constructivamente en el receptor, y así obtener una señal más robusta y de mayor intensidad. Para que esto sea posible, es necesario escoger una técnica de estimación de canal²³ adecuada para poder compensar los retrasos de las señales y ecualizar²⁴ los ecos con dispersión temporal.
- *Menor potencia de transmisión:* Dado que la señal puede llegar a un receptor desde varios transmisores, dentro del tiempo de símbolo, se puede producir una suma de todas las señales. Así, este efecto produce una ganancia interna de la red, por lo que la potencia de transmisión necesaria para cubrir la misma área que se cubre con un sistema de transmisión de televisión digital MFN es menor; también, se debe considerar que los sistemas de televisión digital requieren menos potencia de transmisión que los analógicos.

²² MFN (*Multiple Frequency Network*): Red de Múltiples Frecuencias.

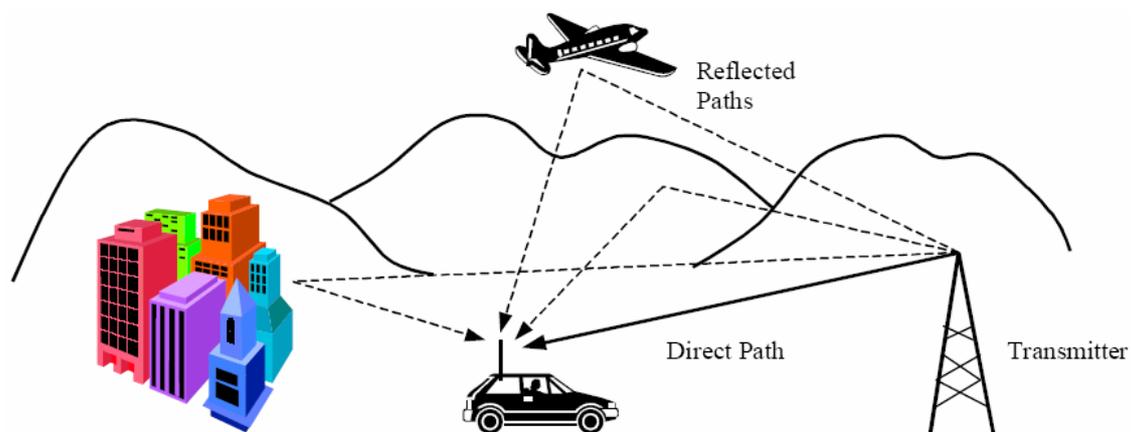
²³ Portadoras piloto y estructuración en tramas de la señal *OFDM*.

²⁴ Se utiliza para revertir la influencia del canal de comunicaciones sobre las portadoras.

1.3.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA

El principio de funcionamiento de una red de frecuencia única se basa en considerar las señales de los distintos transmisores como señales multitrayectoria, para esto, en cada transmisor se debe modular la misma señal de manera sincrónica, en la misma frecuencia de operación, de tal forma que la señal llegue al receptor durante el tiempo de símbolo, para que contribuya de manera constructiva a la señal deseada en el receptor.

Las señales multitrayectoria son ondas reflejadas producidas por diferentes obstáculos entre el transmisor y el receptor. La Figura 1.9 muestra cómo la señal que sale del transmisor tiene distintos caminos y llega al receptor con diferentes retardos.



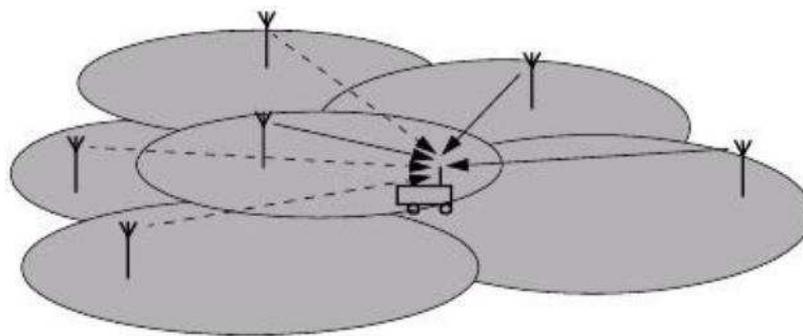
Fuente: [2], página 5

Figura 1.9 Señales multitrayectoria

La presencia de la interferencia propia de la red se convierte en un limitante para una red de frecuencia única y se origina debido a que las señales de los transmisores lejanos y algunas señales multitrayectoria llegan al receptor fuera del tiempo de símbolo —dispersión artificial—, siendo consideradas como ruido al comportarse como señales interferentes, por lo que es necesario tener muy en cuenta la duración del tiempo de guarda y las condiciones de propagación para evitar este inconveniente.

Un receptor que se encuentra en la periferia del área de cobertura recibirá señales tanto de los distintos transmisores que cubren las áreas colindantes como de las señales multitrayectoria y, a pesar de que los transmisores se encuentran sincronizados, las señales llegarán con diferentes retardos, algunas fuera del tiempo de símbolo, y por tanto, representarán interferencia; entonces, es necesario elegir adecuadamente los parámetros del modulador y los niveles de potencia de transmisión para que la *SFN* pueda operar en condiciones donde la interferencia propia de la red pueda mantenerse lo suficientemente baja.

En la Figura 1.10 se muestra cómo las señales de los transmisores cercanos (—) contribuyen a la señal deseada, mientras que las de los transmisores lejanos (----) contribuyen a la interferencia.



Fuente: [1], página 5

Figura 1.10 Contribución de los transmisores a la señal deseada

1.3.4 TIPOS DE REDES DE FRECUENCIA ÚNICA [5]

Las redes de frecuencia única se clasifican de acuerdo al ámbito geográfico y a la posición en la cual se coloque el modulador *OFDM*. Según el ámbito geográfico se toma en cuenta la extensión del área a cubrir, siendo estas redes de ámbito extenso o redes de ámbito reducido; por otra parte, al considerar la posición del modulador *OFDM* se enfoca al uso de uno o varios moduladores para un conjunto determinado de transmisores, por lo que éstas pueden ser redes centralizadas o redes descentralizadas.

1.3.4.1 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA DE ÁMBITO EXTENSO

Este tipo de redes se usan para dar cobertura a una gran extensión de territorio, por ejemplo un país, una región, etc. Su funcionamiento se basa en la colocación de transmisores idénticos, cada uno destinado a cubrir un área determinada, para que en conjunto puedan cubrir el área total deseada. Es necesario que los transmisores estén sincronizados, y para evitar que se interfieran entre sí, se añaden retardos en caso de requerirlo.

1.3.4.2 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA DE ÁMBITO REDUCIDO

Las redes de frecuencia única de ámbito reducido se utilizan para brindar cobertura a territorios que tienen un radio entre 10 y 20 Km, siendo posible implementarlas para cubrir una provincia en su totalidad. Un factor a considerar en este tipo de redes es la interferencia, debido a que pueden existir otras redes en los territorios colindantes, presentándose un escenario de redes que se interfieren entre sí.

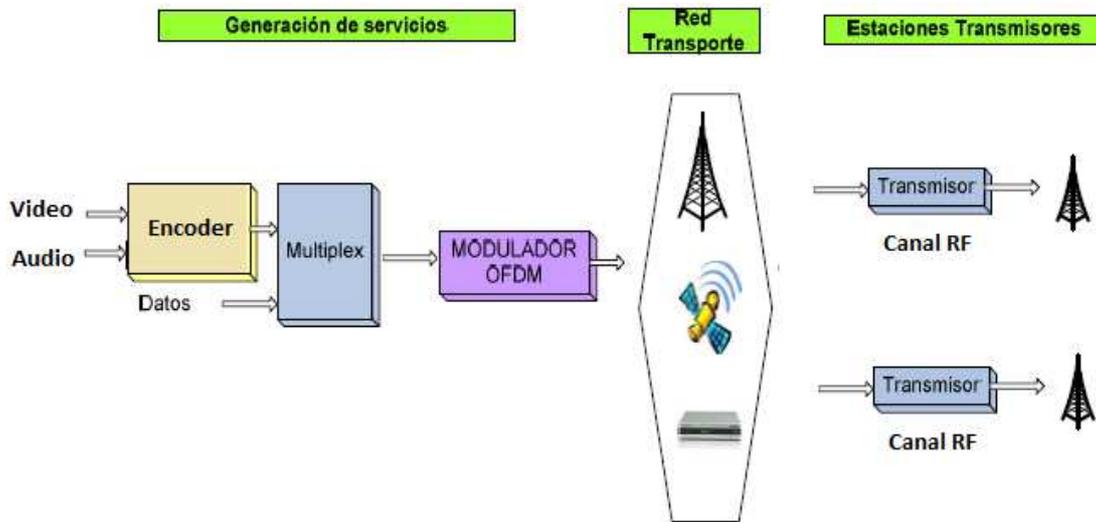
1.3.4.3 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA CENTRALIZADAS

Una red de frecuencia única centralizada consiste en un conjunto de transmisores y un modulador *OFDM*; funciona ingresando las señales de audio y video, provenientes del codificador, y los datos, por separado, en el multiplexor, y a continuación al modulador *OFDM*. Finalmente, la trama a ser transmitida se envía hacia los diferentes transmisores. Cabe señalar que el modulador *OFDM* se encuentra en el mismo sitio donde se originan los diferentes servicios y para transmitir las señales desde este lugar se utiliza una red de transporte —satélite, microonda, fibra óptica, etc.—. En la Figura 1.11 se presenta el diagrama de bloques de una red de frecuencia única centralizada.

1.3.4.4 REDES DE FRECUENCIA ÚNICA DESCENTRALIZADAS

En este tipo de red, a diferencia de las redes centralizadas, cada transmisor dispone de un modulador *OFDM*; se ingresan las señales de audio y video codificadas, junto con los datos al multiplexor; a continuación, la trama de transmisión es enviada

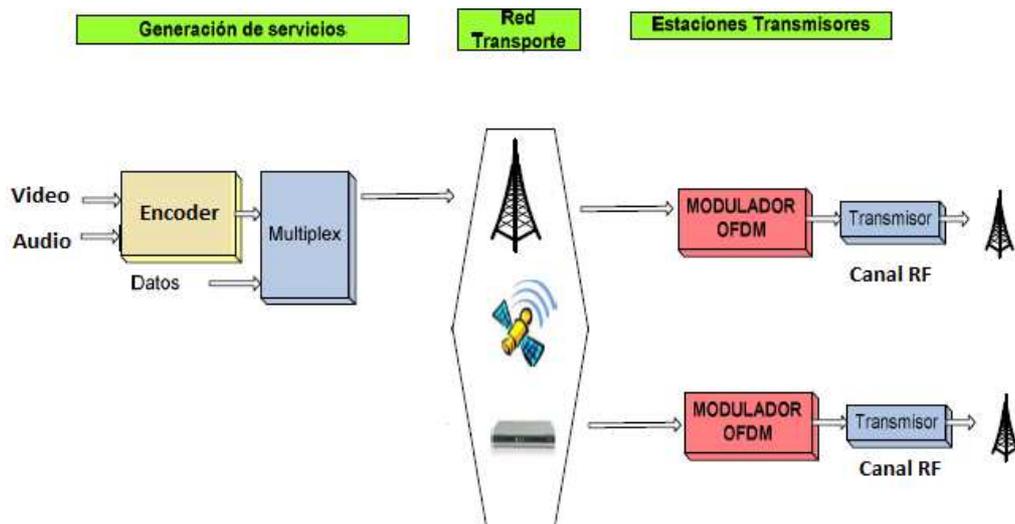
hacia los diferentes transmisores, a través de una red de transporte. Al llegar la trama a cada transmisor, se modula en el modulador *OFMD* para posteriormente situarla en el canal de frecuencia en la que se va a transmitir. En la Figura 1.12 se presenta el diagrama de bloques de una red de frecuencia única descentralizada.



Fuente: [5], página 77

Figura 1.11 Red de Frecuencia Única Centralizada

En la Figura 1.12 se presenta el diagrama de bloques de una red de frecuencia única descentralizada.



Fuente: [5], página 78

Figura 1.12 Red de Frecuencia Única Descentralizada

1.3.5 VENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA

Una red de frecuencia única comparada con una *MFN*, analógica o digital, que es el tipo de redes que se usa actualmente, presenta las siguientes ventajas:

- *Alta eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico:* Es una de las principales ventajas de las redes de frecuencia única debido a que actualmente se usan numerosos canales de frecuencia para retransmitir la señal de los sistemas de televisión analógicos, quedando pocos para transmitir nueva programación. Por ejemplo, para cubrir un territorio con señal analógica con 3 sistemas de televisión, se necesita 12 canales, 6 de guarda y dos para cada sistema de televisión; operando con sistemas digitales, en MFN, pueden operar 6 sistemas de televisión²⁵ —cada uno con 4 programaciones simultáneas, 4 canales SD, en este ejemplo— y ofrecer 24 programaciones. Al usar redes de frecuencia única, el número de programaciones simultáneas se triplica, respecto a la MFN analógica; es decir, pueden operar 12 sistemas de televisión y brindar 48 programaciones simultáneas [1]. En la Figura 1.13 se muestra este ejemplo.

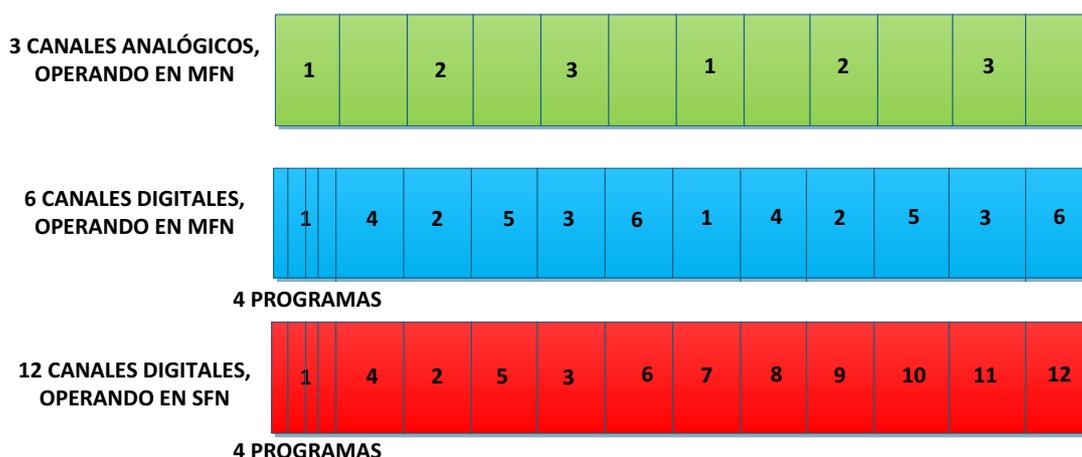
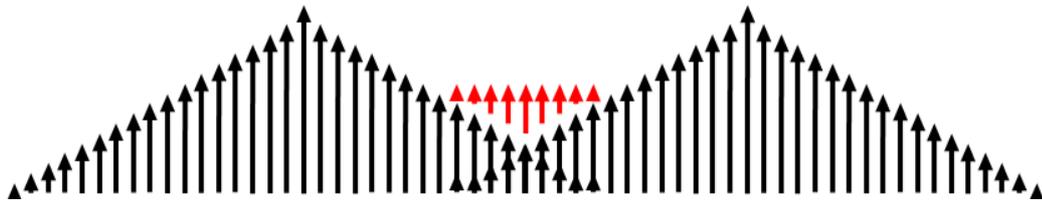


Figura 1.13 Eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico

²⁵ Se debe a que se pueden usar los canales adyacentes cuando se utilizan sistemas digitales.

- *Ganancia interna de la red:* La ganancia interna de una red de frecuencia única tiene dos factores: el aditivo y el estadístico. El factor aditivo —Figura 1.14— establece que la señal recibida en el receptor es la superposición de señales procedentes de diferentes transmisores, esto se debe a que existe más de una señal útil y a que éstas aportan de manera constructiva a la señal deseada en el receptor. El factor estadístico estipula que la desviación estándar de la suma de todas las señales es siempre menor que la suma de las desviaciones de cada señal, siendo más fácil conseguir un mayor porcentaje de probabilidad de cobertura; es por ello que se utiliza para determinar los porcentajes de probabilidad de cobertura en los estudios de propagación [19].



Fuente: [19], página 33

Figura 1.14 Ganancia aditiva de una SFN

Es necesario aclarar que a más de la amplitud de la señal hay que tomar en cuenta su fase, porque pueden existir componentes que se cancelen por estar desfasados alrededor de 180° ; para evitar esto, se insertan retardos en uno o varios transmisores.

- *Menor consumo de potencia:* Al presentar ganancia interna de la red, las redes de frecuencia única consumen una menor cantidad de potencia en los transmisores y la distribución de campo sobre el área de cobertura es homogénea respecto de las *MFN* usadas actualmente.
- *Cobertura de zonas de sombra:* Empleando el mismo canal de frecuencia, las redes de frecuencia única permiten el uso de *gap-fillers*, transmisores de baja potencia, para zonas en donde la calidad de recepción no es satisfactoria.

- *Robustez:* Utilizando varios transmisores o reemisores cercanos entre sí, es factible tener una *SFN* densa, lo que garantiza robustez ante la falla de un transmisor. Para que esto sea posible, es necesario tener un mayor número de transmisores, respecto de una *SFN* normal, aunque esto implica que el sistema de televisión tenga que hacer una fuerte inversión.

1.3.6 DESVENTAJAS DE UNA RED DE FRECUENCIA ÚNICA

- *No es posible la división de la red:* Debido a que se usa un solo canal de frecuencia, no es factible transmitir distinta programación en la zona de cobertura, una solución a este inconveniente es la implementación de redes de frecuencia única regionales, para manejar distinta programación; siendo necesaria la concesión de otras frecuencias, como actualmente tienen los sistemas de televisión para ofrecer distinta programación en las diferentes zonas geográficas del Ecuador.
- *Sincronización de tiempo:* Las redes de frecuencia única requieren que los transmisores emitan las señales al mismo tiempo o con retardos controlados con precisión, en uno o varios transmisores; caso contrario, habrá la presencia de interferencia propia de la red.
- *Sincronización de frecuencia:* Se vuelve más crítica debido a la presencia de varios transmisores, el problema se presenta cuando los transmisores sufren pequeñas variaciones en la frecuencia central²⁶.

²⁶ El estándar ISDB-Tb establece una frecuencia central para los 13 segmentos, la cual se aborda en la Sección 3.1.4, además, se debe considerar que la máxima amplitud de cada portadora se da en la frecuencia central de la misma.

1.4 GAP-FILLERS [3]

1.4.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Un *gap-filler*, o también denominado “rellenador de zonas de sombra”, es un dispositivo utilizado en las redes digitales de *broadcast* para brindar cobertura a los lugares donde no llega la señal o el nivel recibido no es satisfactorio.

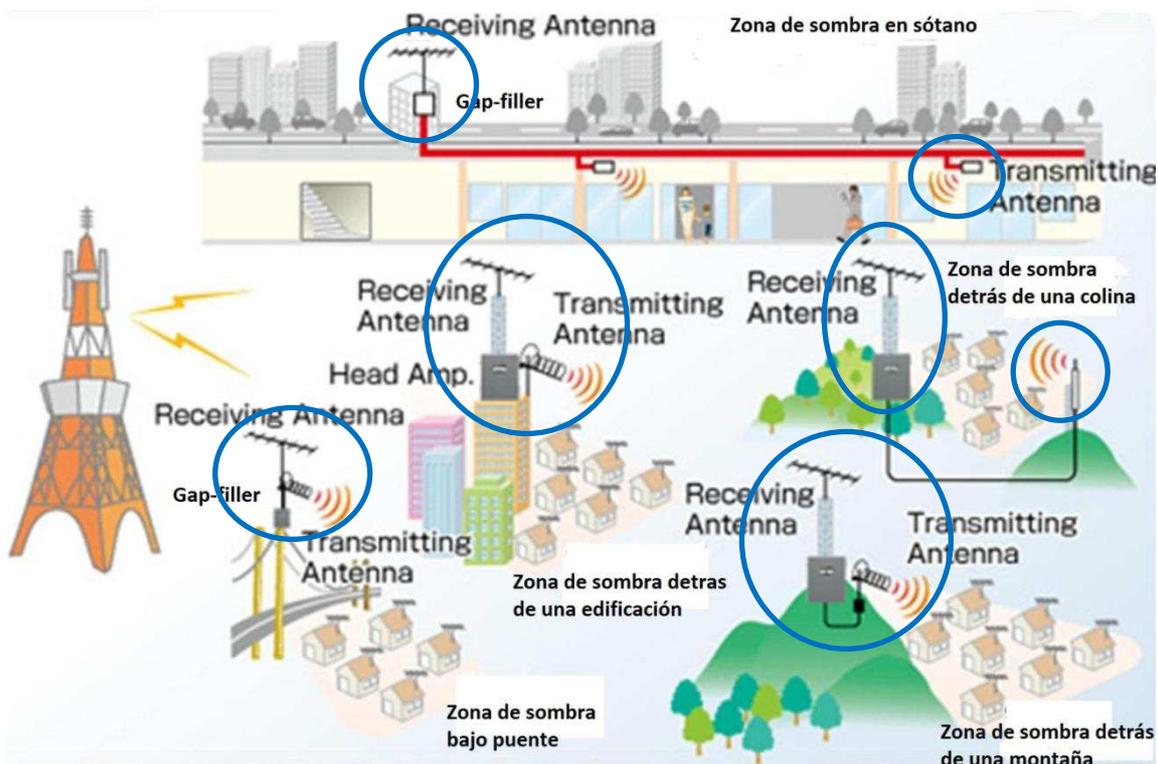
Una de sus principales ventajas es su bajo costo y consumo de energía eléctrica; además, no requieren de una red de transporte para llevar la señal hasta el *gap-filler*, basta con ubicar la antena receptora de este *gap-filler* en un lugar donde haya recepción de la señal proveniente del o los transmisores. Su instalación es sencilla porque solo se requiere de las antenas de transmisión y recepción, el medio de transmisión para llevar la señal de las antenas al *gap-filler* y la alimentación eléctrica para el equipo; nótese que no son necesarios equipos adicionales como receptor satelital, modulador, etc., ya que solo retransmiten la señal recibida; sin embargo, algunos *gap-fillers* regeneran la señal antes de retransmitirla.

Las zonas de sombra aparecen ante la presencia de obstáculos tales como edificaciones, sótanos, condiciones geográficas desfavorables, zonas montañosas, etc. La Figura 1.15 muestra cómo se recepta la señal del transmisor, se puede o no regenerarla, para posteriormente retransmitirla en el área donde no existe señal o hay dificultad en la recepción de la misma.

En la Figura 1.15 los *gap-fillers* están señalados con círculos azules; en algunos casos, las antenas transmisora y receptora se encuentran en el mismo lugar donde se ubica el *gap-filler* —zona de sombra detrás de una edificación—; en otros, se encuentran en distintos lugares —zona de sombra en un sótano—.

Como se mencionó anteriormente, los *gap-fillers* reutilizan la frecuencia y la señal proveniente del transmisor, entonces, se pueden presentar dos situaciones: la primera cuando se desee dar cobertura a lugares cerrados en donde el nivel de la señal proveniente del transmisor es nulo, por ejemplo sótanos, para este caso se

recepta la señal proveniente del transmisor y se la transmite sin regenerarla; la segunda se considera al momento de brindar cobertura a lugares abiertos en los cuales se tiene un nivel de señal insuficiente, por ejemplo detrás de una colina, ante esta situación, se recepta la señal del transmisor, se la regenera y se la transmite, siendo necesaria la utilización de un cancelador de ecos. En ambos casos, para no tener interferencia, se puede realizar un ajuste de retardo, lo que permite que las señales lleguen al receptor durante el tiempo de símbolo.



Fuente: [3], página 11

Figura 1.15 Gap-fillers. Casos en los que se debe utilizar gap-fillers

El cancelador de ecos es un algoritmo que elimina las señales y los efectos de la retroalimentación que se presentan debido al uso del mismo canal de frecuencia. Se realiza un procesamiento digital de las señales de entrada —señal del transmisor— y de salida —señal que emite el *gap-filler*— para obtener una estimación en tiempo y nivel del eco generado, y luego restar la señal de entrada y eliminar la influencia del eco; su procedimiento debe ser dinámico, debido a que las condiciones de transmisión no son constantes y dependen de factores meteorológicos y físicos [3].

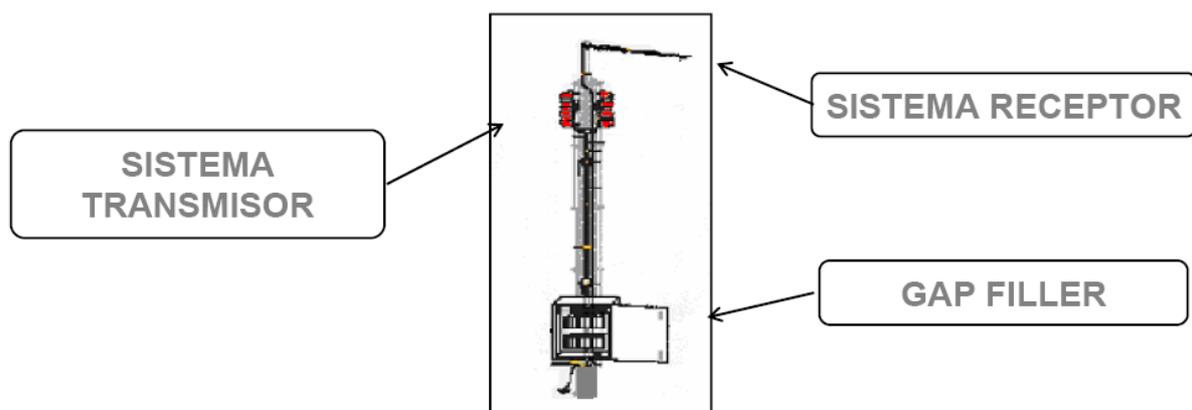
1.4.2 TIPOS DE GAP-FILLERS [19]

En función de la potencia de transmisión, los tipos de *gap-fillers* son:

- *Gap-fillers de pequeña potencia:* son aquellos cuya potencia de transmisión oscila entre los 100mW ~ 5W RMS
- *Gap-fillers de mediana potencia:* son aquellos cuya potencia de transmisión oscila entre los 5W ~ 25W RMS
- *Gap-fillers de alta potencia:* son aquellos cuya potencia de transmisión es mayor que 50W RMS

Para el uso de los diferentes tipos de *gap-fillers* es necesario tener en cuenta que para evitar los problemas de retroalimentación de la señal, anteriormente mencionados, es imperioso tener un aislamiento entre las antenas transmisora y receptora, para poder aumentar la potencia del *gap-filler*. Este aislamiento está dado por la distancia entre las antenas y las direcciones de máxima radiación.

En la Figura 1.16 se muestra cómo deben estar ubicados todos los elementos que conforman un *gap-filler* para cumplir con el aislamiento.



Fuente: [3], página 21

Figura 1.16 Aislamiento entre elementos de un *gap-filler*

1.5 REFERENCIAS

- [1] AGNES, Ligeti (1999). *Single frequency network planning*, Documento electrónico <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:8583/FULLTEXT01> Consultado el 04 de abril de 2011.
- [2] AKHTAR, Ali Jalbani (2000). *Single frequency networks*, Documento electrónico <http://user.informatik.uni-goettingen.de/~seminar/dvb/AkhtarJalbani-reportOnSFN.pdf> Consultado el 03 de marzo de 2011.
- [3] CONEXIÓN TOTAL S.A.C. (2010). *El estándar ISDB-T*, Documento electrónico <http://www.conexiontotal.com.pe/Gap%20fillerb.pdf> Consultado el 03 de marzo de 2011.
- [4] DE LA FRAGA Luis (2001). *La transformada discreta de Fourier y la transformada rápida de Fourier*, Documento electrónico <http://delta.cs.cinvestav.mx/~fraga/Cursos/PDI/tdf.pdf> Consultado el 10 de abril de 2011.
- [5] ERAZO, Héctor (2009). *Estudio y análisis de la tecnología de redes de frecuencia única (isofrecuencia), y su aplicación en la radiodifusión en las bandas de AM y FM para la optimización del espectro electromagnético en la ciudad de Quito*, Documento electrónico bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11451/1/CD-2125.pdf Consultado el 05 de mayo de 2011.
- [6] ESCOBAR, Charles (2010). *Alternativas para la migración a televisión digital*, Documento Electrónico <http://docs.hipatia.net/tvdigital/Alternativas%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20TV%20Digital%206000.pdf> Consultado el 15 de junio de 2011.
- [7] GALLARDO, Juan Pablo (2006). *Estudio de un sistema OFDM-CDMA*, Documento electrónico http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf Consultado el 28 de abril de 2011

- [8] JARA, Alfonso (2005). *Multiplexación por división de frecuencia ortogonal codificada (COFDM)*, Documento electrónico <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcij.37m/doc/bmfcij.37m.pdf> Consultado el 28 de marzo de 2011.
- [9] JIMÉNEZ, María Soledad (2010). *Folleto de comunicación digital*. Quito: Escuela Politécnica Nacional
- [10] LONDOÑO, Camilo (2004). *Multiplexación por división de frecuencia ortogonal*, Documento electrónico <http://lisi.uniandes.edu.co/seminario/OFDM.pdf> Consultado el 03 de mayo de 2011.
- [11] MUÑOZ, Pilar (2006). *Comparación de sistemas CP-OFDM con ZP-OFDM*, Documento electrónico bibing.us.es/proyectos/abreproy/11254/fichero/5_C APITULO+1.pdf Consultado el 15 de mayo de 2011.
- [12] NIETO, Raúl (2010). *Sistemas de Transmisión por Fibra Óptica basados en Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, Documento electrónico <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/10654> Consultado el 04 de mayo de 2011.
- [13] PÉREZ, Constantino (2004). *Transmisión de televisión modulación COFDM*, Documento electrónico <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Modulacion%20COFDM.pdf>, Consultado el 10 de abril de 2011.
- [14] PISCIOTTA, Néstor (2010). *Sistema ISDB-Tb (Primera Parte)*, Documento electrónico <http://www.eradigital.com.ar/blog/wp-content/uploads/2010/09/Sistema-ISDB-Tb-Primera-parte.pdf> Consultado el 22 de marzo de 2011.
- [15] ROHLING, Hermann (2011). *OFMD concepts for future communication systems*, Documento electrónico <http://sites.google.com/site/irdadeh/library-section/ebook-library/collection-11> Consultado el 20 de mayo de 2011.
- [16] VERGARA, José (2008). *Simulación de un esquema de modulación/demodulación OFDM utilizando un modelo de canal*

multitrayectoria, Documento electrónico www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-38117.pdf Consultado el 20 de abril de 2011.

- [17] <http://docs.hipatia.net/tvdigital/Alternativas%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20TV%20Digital%206000.pdf>, Último acceso: 10 de abril de 2011.
- [18] http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_muestreo_de_Nyquist-Shannon, Último acceso: 07 de noviembre de 2011.
- [19] http://www.subtel.gob.cl/seminario_tecnico_tvd/descargas/miercoles/luiz_rodrigo_openh_eimer_gap_filler_y_sfn.pdf, Último acceso 21 de abril de 2011
- [20] <http://www.asenmac.com/tvdigital2/ganancia.htm>, Último acceso 28 de agosto de 2011.

CAPÍTULO 2

SITUACIÓN ACTUAL DE LA TELEVISIÓN ANALÓGICA EN LA ZONA GEOGRÁFICA P Y DE LA TDT EN LA REGIÓN

2.1 MARCO REGULATORIO PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ABIERTA EN EL ECUADOR [3]

La norma técnica vigente para el servicio de televisión abierta en el Ecuador es la NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ANALÓGICA Y PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE CANALES (Resolución No. 1779-CONARTEL-01) (Anexo A1)

2.1.1 DEFINICIONES

Para relacionar el contexto del marco regulatorio vigente, dentro del ámbito correspondiente, con el diseño que se desarrollará, es importante definir los siguientes términos:

- *Estación de televisión matriz:* Comprende los estudios, enlaces, transmisor, sistema radiante e instalaciones necesarias para prestar el servicio de televisión en una determinada área.
- *Sistema de televisión:* Conformado por la estación de televisión matriz y sus repetidoras, destinada a emitir la misma programación, simultáneamente y con carácter permanente.
- *Repetidora:* Es una instalación de televisión que recepta la programación transmitida por la estación matriz y la retransmite.

2.1.2 ZONAS GEOGRÁFICAS

Para otorgar la concesión para el uso del espectro radioeléctrico, la norma divide el territorio ecuatoriano en zonas geográficas, de esta manera se autoriza la operación de una estación o sistema de televisión para que brinde servicio a una o varias zonas geográficas. En el presente trabajo se plantea cubrir la áreas pobladas de la zona geográfica P, la cual comprende la provincia de Pichincha, con excepción de la zona occidental de la cordillera Occidental, Puerto Quito, Los Bancos y Pedro Vicente Maldonado.

En la Figura 2.1 se muestra las zonas geográficas del Ecuador según lo estipula la norma técnica.

2.1.3 BANDAS DE FRECUENCIA

Para brindar el servicio de televisión abierta, la norma establece que a cada canal le corresponde un ancho de banda de 6MHz, dentro de las siguientes bandas de frecuencia:

Tabla 2.1 Bandas de frecuencia para televisión abierta

TELEVISIÓN VHF		TELEVISIÓN UHF	
BANDA	RANGO DE FRECUENCIA	BANDA	RANGO DE FRECUENCIA
I	De 54 a 72 MHz y de 76 a 88 MHz	IV	De 500 a 680 MHz y de 614 a 644 MHz
III	De 174 a 216 MHz	V	De 644 a 686 MHz

Fuente: [3]

Las frecuencias auxiliares son aquellas que se utilizan para la operación y funcionamiento de las estaciones y sistemas de radiodifusión y televisión; estas frecuencias corresponden a los enlaces radioeléctricos entre estudio-transmisor, enlaces radioeléctricos terrestres y enlaces de conexión ascendente y descendente satelitales y entre estaciones repetidoras [9].



Fuente: [8]

Figura 2.1 Zonas geográficas para televisión UHF

Las frecuencias auxiliares para emisiones de radiodifusión de señal de televisión, tomadas del Plan Nacional de Distribución de Frecuencias son:

Tabla 2.2 Bandas de frecuencias para frecuencias auxiliares para el servicio de televisión

BANDAS DE FRECUENCIA
2200 MHz - 2300 MHz
6425 MHz - 7100 MHz
12700 MHz - 12772 MHz
12772 MHz - 12849 MHz

Fuente: [9]

2.1.4 GRUPOS DE CANALES

La norma técnica establece los siguientes grupos de canales tanto para televisión VHF así como para UHF:

Tabla 2.3 Grupos de canales para VHF y UHF

GRUPOS VHF	CANALES	GRUPOS UHF	CANALES
A1	2,4,5	G1	19,21,23,25,27,29,31,33,35
A2	3,6	G2	20,22,24,26,28,30,32,34,36
B1	8,10,12	G3	39,41,43,45,47,49
B2	7,9,11,13	G4	38,40,41,44,46,48

Fuente: [3]

Para la zona geográfica P, los grupos asignados para la banda VHF son el A1 y B1 y para la banda UHF son el G1 y G4.

2.1.5 ÁREA DE COBERTURA

El área de cobertura está compuesta por:

- *Área de cobertura principal:* “La que corresponde a las ciudades a servir y que tendrá una intensidad de campo igual o mayor a la intensidad de campo mínima a proteger en el área urbana, definidas en el numeral 10”. (Conartel,2010:4)

- *Área de cobertura secundaria*: “La que corresponde a los alrededores de las ciudades a servir y que tendrá una intensidad de campo entre los valores correspondientes a los bordes del área de cobertura, indicadas en el numeral 10, sin rebasar los límites de la correspondiente zona geográfica”. (Conartel,2010:4)

2.1.6 INTENSIDAD DE CAMPO MÍNIMA A PROTEGER

La norma técnica considera que la antena de recepción se ubica a un nivel de 10 metros²⁷ sobre el suelo, y que los valores de intensidad de campo a ser protegidos en los bordes de las áreas de cobertura son los siguientes:

Tabla 2.4 Intensidad de campo mínima para las diferentes bandas y áreas de cobertura

BANDA	BORDE DE ÁREA DE COBERTURA SECUNDARIA	BORDE ÁREA DE COBERTURA PRINCIPAL
I	47dB μ V/m	68dB μ V/m
III	56dB μ V/m	71dB μ V/m
IV y V	64dB μ V/m	74dB μ V/m

Fuente: [3]

Los valores de intensidad de campo mínimos determinan el borde del área de cobertura, principal o secundaria, de una estación de televisión.

2.1.7 RELACIONES DE PROTECCIÓN: SEÑAL DESEADA / SEÑAL NO DESEADA

Los valores mostrados a continuación corresponden a la señal de entrada en el receptor y aplican a las 4 bandas:

²⁷ Este valor indica que para la recepción de la señal se considera una antena exterior a una altura de 10 metros sobre el suelo. Las recomendaciones de la UIT utilizadas para este proyecto toman este valor como la altura de la antena de recepción.

- Relación de protección para la señal de sonido

Para esta señal se tiene solamente la relación señal deseada/señal interferente cuyo valor es de 28dB.

- Relación de protección para la señal de imagen
 - Interferencia Co-canal

Tabla 2.5 Relación de protección para señal de imagen con interferencia co-canal

SEPARACIÓN ENTRE PORTADORAS	RELACIÓN SEÑAL DESEADA/SEÑAL INTERFERENTE
Inferior a 1000 Hz	45 dB
1/3,2/3,4/3 ó 5/3 de la frecuencia de línea	28 dB

Fuente: [3]

- Interferencia de canales adyacentes

Tabla 2.6 Relación de protección para señal de imagen con interferencia de canal adyacente

INTERFERENCIA	RELACIÓN SEÑAL DESEADA/SEÑAL INTERFERENTE
Del canal inferior	-6 dB
Del canal superior	-12 dB

Fuente: [3]

2.1.8 CÁLCULO DE LA PER [10]

La PER^{28} se define como la potencia que está radiando una antena como resultado de la sumatoria de la potencia del transmisor, la ganancia del sistema radiante y las pérdidas en la línea de transmisión.

²⁸ PER (Potencia Efectiva Radiada)

En la resolución 072-04-CONATEL-2010 se establece cómo se debe calcular la PER en el sitio de transmisión, en base al sistema radiante empleado y a las pérdidas en la línea de transmisión, las cuales se muestran en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Pérdidas máximas en la línea de transmisión según el tipo de servicio.

TIPO DE SERVICIO	PÉRDIDAS MÁXIMAS
Televisión VHF	1.5 dB
Televisión UHF	2.0 dB

Fuente: [10]

El cálculo de la PER se realiza en base al número de antenas en el azimut de máxima radiación y la ganancia del sistema radiante en dBd²⁹; según la norma técnica las fórmulas para el cálculo son:

- Sistema radiante en una sola dirección

$$G_T = G_A + 10 \log(A_T) \quad (2.1) [10]$$

Donde:

G_T: Ganancia del arreglo de antenas en dBd

G_A: Ganancia de una antena en dBd

A_T: Número de antenas

- Sistema radiante en 2 o más direcciones

$$G_T = G_A + 10 \log(A_{MR}) + 10 \log \frac{A_{MR}}{A_T} \quad (2.2) [10]$$

Donde:

G_T: Ganancia del arreglo en dBd

G_A: Ganancia de una antena en dBd

A_{MR}: Número de antenas en la dirección deseada

A_T: Número total de antenas del arreglo

²⁹ La ganancia de una antena respecto a un dipolo de media longitud de onda.

Para obtener la PER se utiliza la ecuación 2.3:

$$PER(KW) = P_{TX}(KW) * 10^{\left[\frac{G_T - \text{Pérdidas}(dB)}{10}\right]} \quad (2.3) [10]$$

Donde:

P_{TX}: Potencia nominal de TX expresada en KW.

G_T: Ganancia del sistema irradiante

Pérdidas (dB): Pérdidas en dB de la línea de transmisión, conectores, etc.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE TELEVISIÓN QUE SIRVEN A LA ZONA GEOGRÁFICA P [3] [8]

Actualmente, los sistemas de televisión disponen en sus estudios de equipos que manejan formatos digitales para audio y video, por lo que las señales deben convertirse a analógicas para su transmisión. En algunos casos, esta conversión se la realiza en el estudio y se utiliza un enlace analógico para enviar la programación al transmisor; y en otros, se envía la programación en un enlace digital y la conversión se realiza en el lugar donde se ubica el transmisor.

La programación se genera en los estudios de la estación, por lo que es necesario llevarla hasta el sitio en donde se realiza la difusión de la señal, para lo cual se emplean enlaces de microondas o satelitales. Los enlaces satelitales utilizan los sistemas de televisión que brindan servicio a nivel nacional. Para fines de este trabajo, se analizará únicamente los enlaces de microonda porque el diseño se realizará para la Zona Geográfica P.

La norma técnica asigna 24MHz de ancho de banda para los enlaces analógicos de microondas, con canalización de 25MHz³⁰. Este tipo de enlaces se caracterizan por ser punto a punto y por presentar retardos mínimos, para lo cual se utiliza un

³⁰ El 1MHz adicional se debe dejar como banda de guarda.

transmisor de baja potencia³¹ y un receptor, ajustados a la frecuencia autorizada y antenas directivas.

La mayoría de sistemas de televisión utilizan enlaces *full-dúplex*, de esta manera se realizan las transmisiones vía microonda, que consisten en enviar información al estudio desde cualquier lugar en el cual se pueda establecer comunicación con el receptor ubicado junto al transmisor.

Los enlaces satelitales se implementan a través de satélites geoestacionarios, los cuales se caracterizan por presentar altos retardos, aproximadamente de 250ms, y por ser enlaces punto a multipunto; sin embargo, se debe implementar una estación terrena junto al estudio para subir la información al satélite, y tener una antena receptora, junto a cada transmisor, para recibir la señal. La transmisión de la información en los enlaces satelitales, para el caso de los sistemas de televisión mencionados, es en un solo sentido, ya que las estaciones terrenas deben cumplir con características más exigentes para subir la señal al satélite.

A continuación se detallan las características más importantes de los sistemas de televisión que dan servicio de televisión abierta a la zona geográfica P, según la base de datos proporcionada por la Superintendencia de Telecomunicaciones (27 de septiembre de 2011) [8].

Tabla 2.8 Principales características de los sistemas de televisión que brindan el servicio de televisión abierta a la zona geográfica P en la banda VHF

NOMBRE	COBERTURA	ESTACIÓN	NÚM	CH (MHz)	SITIO TX	ANTENA	PER
TELEVISIÓN DEL PACÍFICO	Quito, Cayambe, Sangolquí y Tabacundo	Matriz	2	54 – 60	Cerro Pichincha	8 Paneles	189.3 KW
		Repetidora	11	198 – 204	Cerro Atacazo	4 Diedros	100 W
TELEAMAZONAS	Quito, Cayambe, Sangolquí y Tabacundo	Matriz	4	66 – 72	Cerro Pichincha	8 Paneles	178.3 KW

³¹ Se utiliza baja potencia porque se quiere transmitir a un punto específico y no a un área. Además, las antenas directivas presentan altos valores de ganancia, incrementando el nivel de señal radiada significativamente.

Continuación Tabla 2.8

TELESISTEMA	Quito, Cayambe, Sangolquí y Tabacundo	Matriz	5	76 – 82	Cerro Pichincha	4 Diedros	116.4 KW
		Repetidora	6	82 – 88	Cerro Atacazo	2 Diedros	100 W
ECUADOR TV	Quito y Sangolquí	Repetidora	7	88 – 92	Cerro Pichincha	8 Paneles	79.4 KW
TELEVISORA NACIONAL	Quito y Sangolquí	Matriz	8	180 – 186	Cerro Pichincha	4 Diedros	89.1 KW
CADENA ECUATORIANA DE TELEVISIÓN	Quito, Machachi, Sangolquí y Tabacundo	Repetidora	10	192 - 198	Cerro Pichincha	8 Diedros	178.3 KW
		Repetidora	9	186 - 192	Cerro Atacazo	2 Paneles	100 W
CANAL UNO	Quito y Sangolquí	Matriz	12	204 - 210	Cerro Pichincha	8 Paneles	178.3 KW
		Repetidora	13	210 - 216	Cerro Atacazo	3 Paneles	100 W

Fuente: [8]

Como indica la Tabla 2.8 todas los sistemas de televisión abierta que sirven a la zona geográfica P, en la banda VHF, tienen instalado el sistema de transmisión en el cerro Pichincha y la mayoría una repetidora en el cerro Atacazo para cubrir la zona de sombra que se presenta al Sur de Quito.

Tabla 2.9 Principales características de los sistemas de televisión que brindan el servicio de televisión abierta a la zona geográfica P en la banda UHF

NOMBRE	COBERTURA	ESTACION	NUM.	CH (MHz)	SITIO TX	ANTENA	P.E.R.
HOY TV	Quito y Sangolqui	Matriz	21	512 – 518	Cerro Pichincha	4 Paneles	39.7 KW
TELEANDINA	Quito	Matriz	23	524 – 530	Cerro Pichincha	6 Paneles	59.6 KW
TELEVISIÓN SATELITAL	Quito	Matriz	25	536 – 542	Cerro Pichincha	4 Paneles	39.7 KW
		Repetidora	24	530 – 536	Cerro Atacazo	4 Paneles	100 W

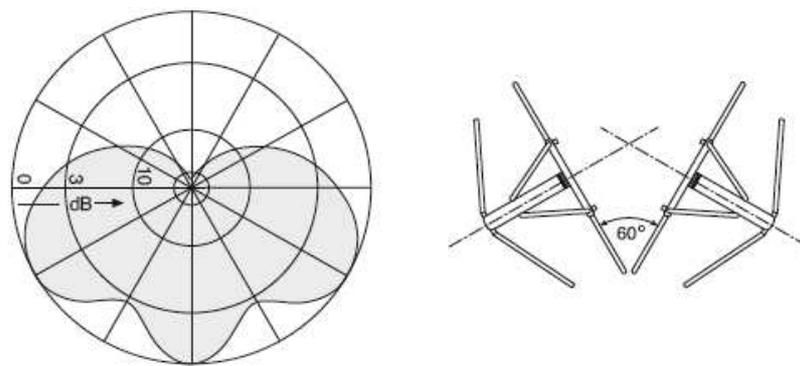
Continuación Tabla 2.9

ASOMAVISIÓN	Quito	Matriz	27	548 – 554	Cerro Pichincha	6 Paneles	59.6 KW
TELESUCESOS	Quito	Matriz	29	560 – 566	Cerro Pichincha	4 Paneles	39.7 KW
TELERAMA	Quito	Repetidora	31	572 – 578	Cerro Pichincha	4 Paneles	79.4 KW
TEVEMAS	Quito	Repetidora	33	584 – 590	Cerro Pichincha	4 Paneles	39.7 KW
AMERICAVISIÓN	Quito	Repetidora	35	596 – 602	Cerro Pichincha	2 Paneles	39.7 KW
RED TV ECUADOR	Quito	Matriz	38	614 – 620	Cerro Pichincha	4 Paneles	39.7 KW
CANAL UNO	Quito	Repetidora	40	620 – 626	Cerro Pichincha	6 Paneles	59.6 KW
CANAL 42	Quito	Matriz	42	632 – 638	Cerro Pichincha	4 Paneles	39.7 KW
CANELA TV	Quito	Repetidora	44	644 – 650	Cerro Pichincha	4 Paneles	79.4 KW
RTU	Quito	Matriz	46	656 – 662	Cerro Pichincha	4 Paneles	39.7 KW
		Repetidora	22	518 – 524	Cerro Atacazo	4 Paneles	100 W
ECUADOR TV	Quito	Matriz	48	668 – 674	Cerro Pichincha	8 Paneles	80 KW

Fuente: [8]

Aunque en la banda UHF funcionan más sistemas de televisión, y todos tienen el sistema de transmisión en el cerro Pichincha, solo dos tienen repetidoras en el cerro Atacazo, tal como indica la Tabla 2.9.

Los sistemas radiantes de los sistemas de televisión abierta que dan cobertura a la zona geográfica P, ubicados en el cerro Pichincha, tienen un diagrama de radiación horizontal muy parecido, tanto para VHF como UHF, el cual tiene antenas orientadas en dos azimut y se ubican en dos caras de una torre triangular, como se muestra en la Figura 2.2.



Fuente: [8]

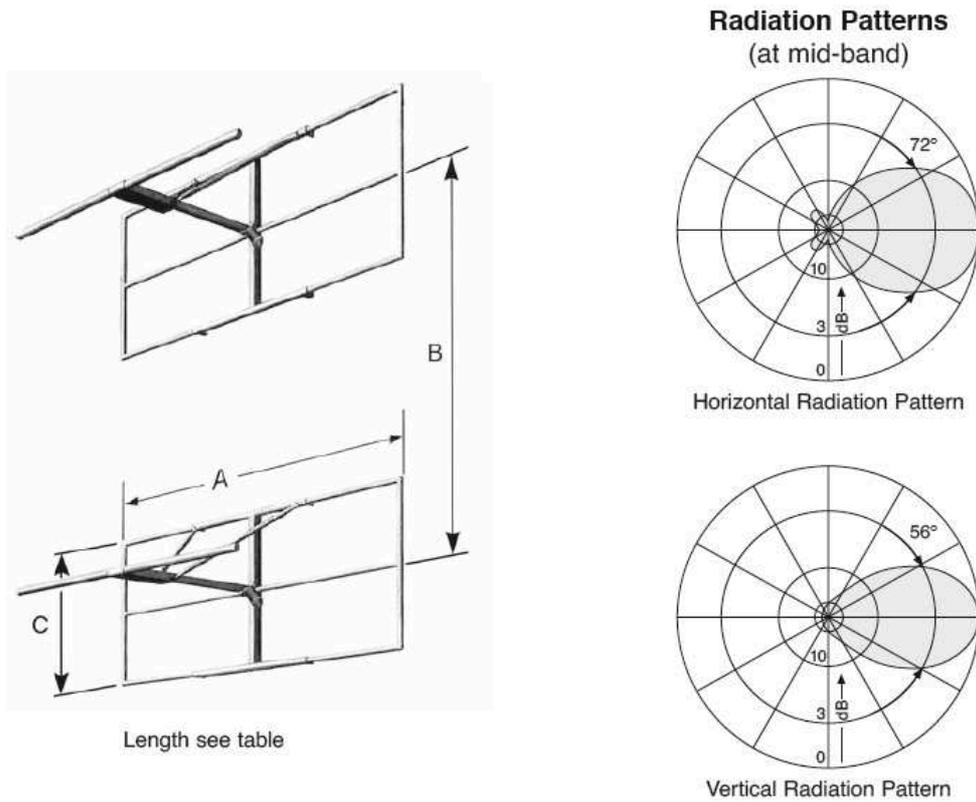
Figura 2.2 Diagrama de radiación horizontal de un arreglo de dos paneles

Para la transmisión en la banda VHF los sistemas de televisión utilizan paneles o diedros, mientras que para UHF usan únicamente paneles de 4 dipolos.

En el cerro Atacazo los sistemas de televisión utilizan el mismo tipo de antenas que se usan en el cerro Pichincha, con la diferencia que estas se orientan a un solo azimut; el diagrama de radiación se muestra en la Figura 2.3.

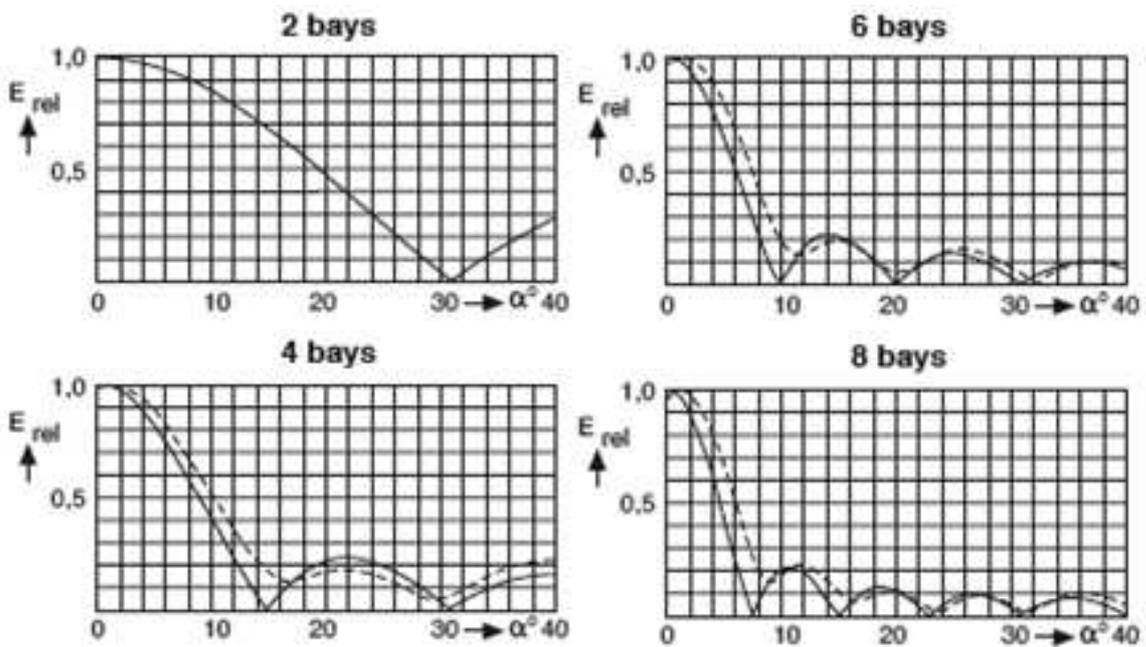
Para la transmisión de televisión analógica abierta se usa polarización horizontal, por ello, los arreglos de antenas están compuestos por n bays³², sin verse afectado el diagrama de radiación horizontal. Si el número de bays aumenta el ancho del haz se va reduciendo en el diagrama de radiación vertical, tal como se muestra en la Figura 2.4.

³² Número de antenas en una misma cara de la torre.



Fuente: [8]

Figura 2.3 Imagen y diagrama de radiación horizontal y vertical de un panel



Fuente: [8]

Figura 2.4 Diagrama de radiación vertical para 2, 4, 6 y 8 bays

2.2.1 EXPERIENCIAS EN LA TV ANALÓGICA DE LA SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES

De acuerdo a las experiencias de la Superintendencia de Telecomunicaciones, se han podido identificar algunos inconvenientes en la propagación de las señales de televisión analógica, principalmente se ha determinado la presencia de señales provenientes de los transmisores ubicados en el cerro Pichincha en localidades fuera de la zona geográfica P, como El Ángel, Mira y Cotacachi, cuya intensidad de campo es menor a $68\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$, pero es lo suficientemente fuerte para ser receptada; igualmente, se pueden receptor señales provenientes de la zona geográfica J —provincia de Imbabura— en la parroquia Calderón. Prueba de lo anteriormente dicho es la posibilidad de visualizar los partidos de fútbol cuando no son transmitidos para la ciudad de Quito.

Para las zonas sin cobertura se presentan dos casos: las zonas de sombra³³ y las zonas de cobertura independientes³⁴. En el primer caso, la principal zona de sombra en la zona geográfica P se presenta al sur de la ciudad de Quito, por lo que ha sido necesario el uso de otro canal de frecuencia para poder brindar cobertura desde el cerro Atacazo; igualmente existen otras, como La Bota, Guápulo, Miravalle, entre otras, a las cuales no se da cobertura debido a que son áreas pequeñas, al alto costo que significaría instalar un transmisor para cubrir cada una y a la escasez de espectro radioeléctrico. En el segundo caso, se encuentra la zona de Calacalí, Mindo y sus alrededores, en donde no es necesario usar un canal de frecuencia diferente, pero hasta la actualidad no ha habido interés alguno por parte de los sistemas de televisión para brindar cobertura en estos sectores.

Se debe considerar que actualmente los sistemas de televisión por cable o satelital brindan servicio a la mayoría de zona de sombra o independientes, por consiguiente, la señal de los diferentes sistemas de televisión de señal abierta puede llegar hasta los televidentes ubicados en estas zonas.

³³ Zonas en donde no se tiene línea de vista ni recepción de la señal y para el caso de televisión analógica es necesario usar un canal de frecuencia diferente para que no exista interferencia co-canal.

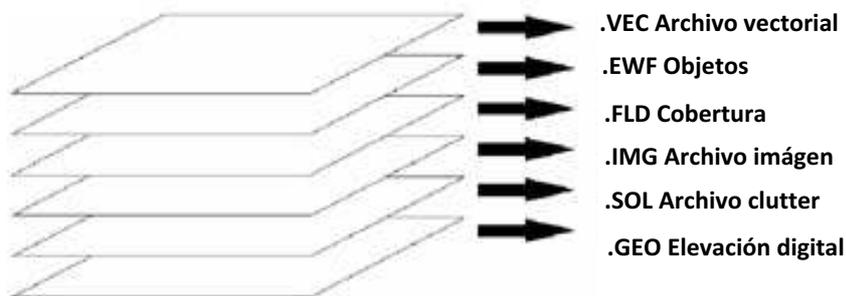
³⁴ Zonas en donde no se tiene línea de vista ni recepción de señal y para ser cubiertas es posible usar las mismas frecuencias, debido a que no se produce interferencia co-canal.

2.3 SIMULACIÓN

2.3.1 SOFTWARE DE SIMULACIÓN ICS TELECOM [11]

ICS TELECOM es una herramienta utilizada para la planificación de redes de radiocomunicaciones. Esta herramienta realiza el cálculo de la propagación de señales, considerando la geografía y los diferentes factores que influyen en la propagación de ondas, tales como la refracción, difracción, pérdidas por espacio libre, efectos ocasionados por el clima, entre otros. Para poder calcular su influencia, ICS TELECOM se basa en una estructura de capas, donde cada una suministra información de altimetría, altura de edificaciones urbano/rural, atenuación según el tipo de zona, cobertura, objetos vectoriales, etc.

La Figura 2.5 muestra las capas que usa ICS Telecom para desarrollar los cálculos y estimar el área de cobertura.



Fuente: [11], página 4

Figura 2.5 Capas para desarrollar simulaciones en ICS Telecom

Las capas de interés para realizar la simulación de los sistemas de televisión, tanto analógica como digital, y sus enlaces de microondas son:

- *Elevación Digital*: Archivo con la información DEM³⁵ que brinda una descripción altimétrica del terreno geográfico, su extensión es *.GEO.

³⁵ DEM (*Digital Elevation Model*): Modelo de Elevación Digital.

- *Archivo con la imagen del mapa:* Archivo de imagen exactamente correspondiente al terreno descrito en el archivo DEM, es decir, son imágenes georeferenciadas que complementan la información de altimetría, es un archivo con extensión *.IMG.
- *Archivo Clutter:* Archivo con la información sobre la atenuación según el tipo de zona dentro del mapa, las zonas se clasifican en zona urbana, boscosa, agua, etc. Además se incluye la altura de los obstáculos presentes en cada tipo de terreno, su extensión es *.SOL.

ICS TELECOM permite realizar la predicción del área de cobertura de una estación transmisora; para el caso de un sistema de televisión se debe configurar:

a) Parámetros RF de la estación transmisora:

Tipo de señal a transmitir³⁶, potencia nominal del Tx³⁷; ganancia, diagrama de radiación vertical y horizontal, azimut y ángulo de inclinación del sistema radiante; además, pérdidas en la línea de transmisión, frecuencia de operación, altura de la torre, ancho de banda del Tx y Rx³⁸, polarización del Tx y del Rx, ubicación geográfica del Tx, en coordenadas WGS84³⁹ y los umbrales⁴⁰ en dB μ V/m para los niveles de señal.

b) Modelo de propagación a utilizarse:

Se ha decidido realizar las simulaciones con dos modelos de propagación basadas en las siguientes recomendaciones de la UIT-R:

³⁶ Analógica (NTSC, PAL o SECAM) o digital (ATSC, DVB o ISDB-T).

³⁷ Tx (Transmisor).

³⁸ Rx (Receptor).

³⁹ El WGS84 es un sistema global geocéntrico de coordenadas geográficas que permite localizar cualquier punto de la Tierra sin necesitar otra referencia. Consiste en un patrón matemático de tres dimensiones que representa la Tierra por medio de un elipsoide, con origen en el centro de masa de la Tierra [15].

⁴⁰ Nivel mínimo de señal correspondiente a la sensibilidad que tiene el receptor.

b.1) Recomendación UIT-R PN.525 [13]

La propagación en espacio libre es una referencia fundamental para la ingeniería radioeléctrica, además, su correcta determinación está basada en el cálculo de la atenuación en espacio libre. Esta recomendación considera dos métodos para calcular la propagación en espacio libre:

- *Enlaces punto a zona:* Cuando un transmisor es el encargado de dar servicio de radiodifusión o televisión a diferentes receptores ubicados al azar dentro de la zona de cobertura. Para cada receptor habrá una atenuación distinta.
- *Enlaces punto a punto:* Cuando hay la presencia de atenuación por espacio libre al tener un enlace entre dos antenas.

En cualquiera de los dos métodos es fundamental la presencia de línea de vista para considerar la cobertura de una zona. Debido a que esta recomendación no toma en cuenta la difracción, se la complementa con la recomendación UIT-R PN 526, sobre todo para predicciones de cobertura en las cuales este efecto es de mucha influencia, como es el caso de la de televisión digital y en especial las redes de frecuencia única.

b.2) Recomendación UIT-R PN 526 [13]

La recomendación UIT-R P.526-11 para propagación por difracción presenta varios modelos para evaluar el efecto de la difracción en la intensidad de campo recibida; la difracción puede corresponder a la superficie de una tierra esférica o a terrenos irregulares con diferentes tipos de obstáculos. Los modelos que se presentan en esta recomendación son aplicables a los diferentes tipos de obstáculos y a diversas geometrías del trayecto.

Para efectos prácticos se considera que en la propagación con línea de vista y sin ningún obstáculo dentro del primer elipsoide de Fresnel, los fenómenos de difracción son despreciables.

La zona de difracción de un transmisor se extiende desde donde existe línea de vista y el trayecto libre de obstáculos es igual al 60% del radio de la primera zona de Fresnel, hasta una distancia más allá del horizonte del transmisor en la que predomina el mecanismo de dispersión troposférica⁴¹.

b.3) Recomendación UIT-R P.1546-4 [12]

“En esta recomendación se describe un método de predicción de propagación radioeléctrica punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz”. (Rec. UIT-R P.1546-4, 2007:1).

Los principales parámetros que presenta esta recomendación son:

- Corrección para trayectos cortos urbanos/suburbanos
- Tipo de Emisión
- Variabilidad de localidades y tiempo
- Ajuste del clima delta N
- Si es una región de mar frío o cálido
- Clutter

En ICS Telecom se pueden configurar estos parámetros, para mayor detalle de cada uno de ellos, revisar la recomendación UIT-R P.1546-4 (Anexo B).

Una vez seleccionado el modelo de propagación, se pueden configurar algunos parámetros adicionales como:

⁴¹ Propagación de las ondas radioeléctricas por dispersión, como consecuencia de irregularidades y discontinuidades en las propiedades físicas de la troposfera [16].

b.4) Climáticos:

En esta sección se establece el tipo de clima para la zona en la cual se realiza la simulación, para este proyecto no se configuran debido a que tiene efecto en frecuencias mayores a 10GHz. Además, se debe configurar la curvatura de la Tierra.

b.5) Cálculos de difracción:

Debido a la cartografía de baja definición que dispone la Superintendencia de Telecomunicaciones (1:50.000), los métodos de difracción más adecuados son el de Bullington y el de Deygout.

- *Método de Bullington:* Consiste en visualizar todos los obstáculos presentes como uno solo de mayor tamaño. Se forma un triángulo tomando como base la línea que une el transmisor y el receptor, y como altura el punto que une las líneas de vista desde el transmisor y el receptor [20].
- *Método de Deygout:* Este método calcula el efecto de la difracción debido al obstáculo principal; las pérdidas debido a los obstáculos secundarios se van añadiendo [20].

b.6) Multitrayectoria en la zona de Fresnel

Este parámetro define de qué manera influyen los obstáculos en la primera zona de Fresnel; es decir, se puede tomar un promedio, la media ponderada o el más alto de todos. Además, se debe establecer con qué porcentaje libre de la zona de Fresnel se va a trabajar.

b.7) Reflexión de la Tierra

Se utiliza para tomar en cuenta la curvatura de la Tierra y todos los puntos de reflexión en ella.

b.8) Tipo de Clutter:

Se establecen los tipos de suelo presentes en el mapa, en la que se debe especificar, la altura de los obstáculos y el valor de la atenuación de estos. Se pueden ingresar hasta 19 tipos de clutter.

c) Cálculo de enlaces de microondas:

Se debe establecer la frecuencia del enlace, el ancho de banda, la potencia del Tx, la sensibilidad del Rx, la altura de la antena transmisora y receptora, sus ganancias y las pérdidas debido a cables y conectores y la ubicación geográfica.

c.1) Modelo de propagación de Fresnel:

Se verifica que la primera zona de Fresnel esté despejada; el elipsoide de Fresnel se dibuja en el perfil del enlace.

d) Presentación de los resultados:

Los resultados se muestran de forma gráfica, dibujando sobre el mapa el área de cobertura de un sistema de transmisión. Los enlaces de microondas se presentan en perfiles dibujando el elipsoide de la primera zona de Fresnel.

Para los sistemas de transmisión, se pueden imprimir, además del mapa, las características de los sistemas de televisión y los valores de los niveles de señal que representa cada color, utilizando una paleta de colores referencial; para ello se debe establecer la porción del mapa sobre la cual se desea trabajar, cada cuántos grados se desea realizar los cálculos de propagación y los colores y niveles para dibujar el área de cobertura. Para los enlaces de microondas, además del perfil, se presentan los valores del cálculo del presupuesto del enlace.

2.3.2 SISTEMAS DE TELEVISIÓN ANALÓGICA [8] [2]

Los sistemas de televisión considerados para el análisis de la situación actual de la televisión analógica son: GAMATV (Televisión del Pacífico) y Ecuador TV (Empresa Pública de Televisión y Radio del Ecuador), esto se debe a que son los sistemas de televisión de los que se tiene la información más actualizada (última actualización año 2011) acerca de sus parámetros de operación en la base de datos de la Superintendencia de Telecomunicaciones [8]. Los datos consultados en la base de datos coinciden con los proporcionados por GAMATV y Ecuador TV.

2.3.2.1 GAMATV

2.3.2.1.1 Características del sistema de transmisión y enlaces de microonda

Tabla 2.10 Características del Sistema de Televisión Gama TV

CONCESIÓN		
Nombre de la estación	Televisión del Pacífico	
Categoría	Televisión abierta	
UBICACIÓN DEL ESTUDIO		
Dirección	Eloy Alfaro 5400, Quito	
Longitud	78°27'51" O	
Latitud	00°09'23" S	
Altura	2820 m	
Tipo de estación	Matriz	Repetidora
Número de canal	2	11
Cobertura	Quito y Alrededores	Sur de Quito
UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN		
Lugar	Cerro Pichincha	Cerro Atacazo
Longitud	78°31'32"O	78°36'01"O
Latitud	00°09'45"S	00°18'55"S
Altura	3900m	3850m
SISTEMA RADIANTE		
Altura de la antena	60m	24m
Tipo de antena	8 Paneles de 2 Dipolos	Arreglo 4 Diedros
Ganancia	14,01dBd	16,00dBd
Polarización:	Horizontal	Horizontal
Azimut	100°	44 °

Continuación Tabla 2.10

Ángulo de inclinación	-8.5 °	-7 °
SISTEMAS DE TRANSMISIÓN		
Potencia del TX	15 KWps	100 Wps
Pérdidas	3 dB	1.5dB
ENLACE DE MICROONDA		
Trayecto	Estudio - Pichincha	Estudio - Atacazo
Frecuencia	12687.5 MHz	2101.5 MHz
Potencia del TX	1.0 W	1.0 W
Ganancia antena	41.5 dBd	35.0 dBd
Pérdidas	9.6 dB	4.0 dB
PER	178.3 W	1995.3 W
Sensibilidad del RX	-78 dBm	-78 dBm

Fuente: [8]

Para realizar la simulación, tanto del área de cobertura como de los enlaces de microondas, se debe calcular la PER, según la fórmula especificada en la Sección 2.1.8 y configurar en el programa los parámetros antes mencionados.

$$PER = P_{TX} * 10^{\left(\frac{G-P}{10}\right)}$$

Donde:

P_{TX}: Potencia del transmisor

G: Ganancia del sistema radiante

P: Pérdidas en cables y conectores⁴²

Reemplazando los datos se tiene:

a) Para la Matriz

○ Sistema de transmisión:

$$PER = 15000 * 10^{\left(\frac{14,01-3}{10}\right)} = 189274,13W = 189,3KW$$

⁴² Se consideran presentes en toda la línea de transmisión, incluyendo el conector a la salida del transmisor y el conector de la antena.

- Enlace de microondas:

$$PER = 1 * 10^{\left(\frac{41.5-9.6}{10}\right)} = 1548,8W = 1,55KW$$

b) Para la Repetidora

- Sistema de transmisión:

$$PER = 100 * 10^{\left(\frac{16-1.5}{10}\right)} = 2818,38W = 2,82KW$$

- Enlace de microondas:

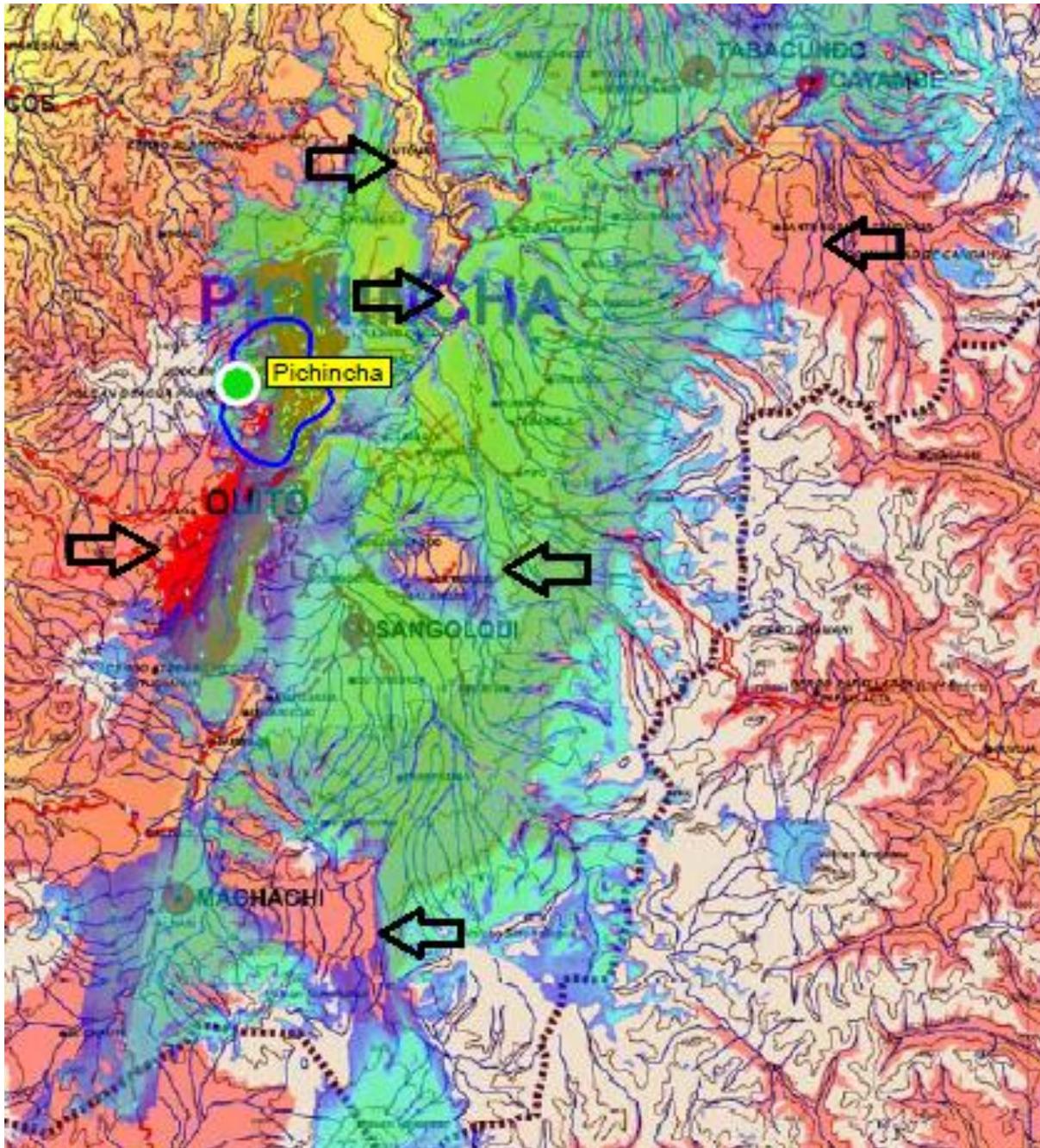
$$PER = 1 * 10^{\left(\frac{35.0-4.0}{10}\right)} = 1258,9W = 1,26KW$$

2.3.2.1.2 Resultados

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones realizadas en el software ICS TELECOM, donde se ingresaron los parámetros mencionados anteriormente y se utilizaron los dos modelos de propagación, el contemplado en UIT-R PN.525 y en la UIT-R P.1546-4. Primero se presentará la simulación de la estación matriz, posteriormente, la repetidora, y finalmente las dos funcionando en conjunto. Además, se presenta la simulación de los enlaces de microondas.

Tomando como referencia la norma técnica ecuatoriana para televisión analógica, se realizaron las simulaciones para garantizar el nivel de señal de 68 dBμV/m en el área de cobertura principal para la Banda I (canales del 2 al 6), según lo expuesto en la Tabla 2.4.

- Simulación de la estación matriz con el modelo de propagación UIT-R PN.525

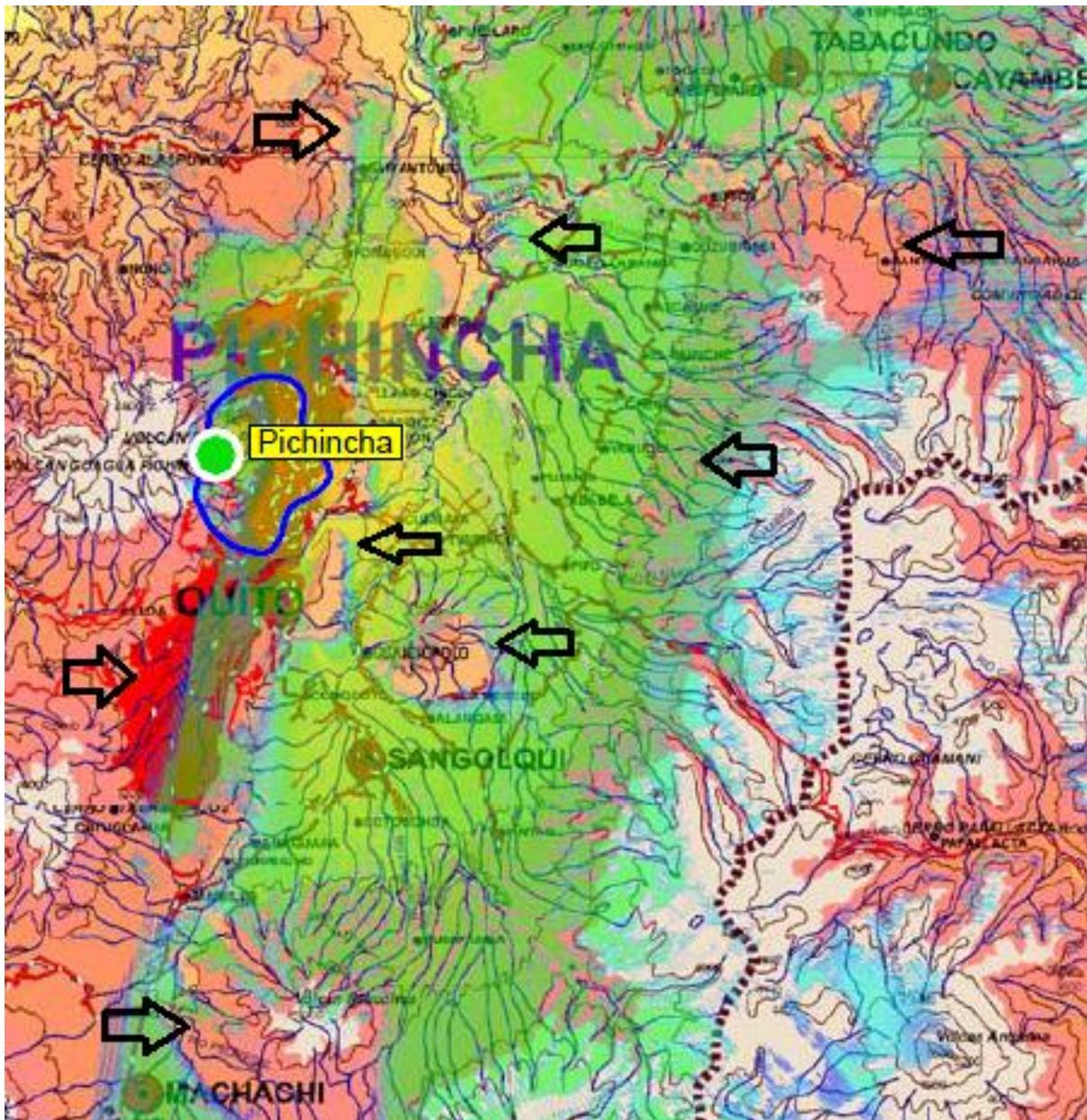


Fuente: ICS Telecom

Figura 2.6 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz UIT-R PN.525

Las flechas indican las zonas de sombra en donde no existe recepción de la señal como el sur de la ciudad de Quito, La Merced, Miravalle, parte de la Mitad del Mundo, Calacalí, entre otras. El resultado completo se muestra en el Anexo C1.

- Simulación de la estación matriz con el modelo de propagación UIT-R P.1546-4

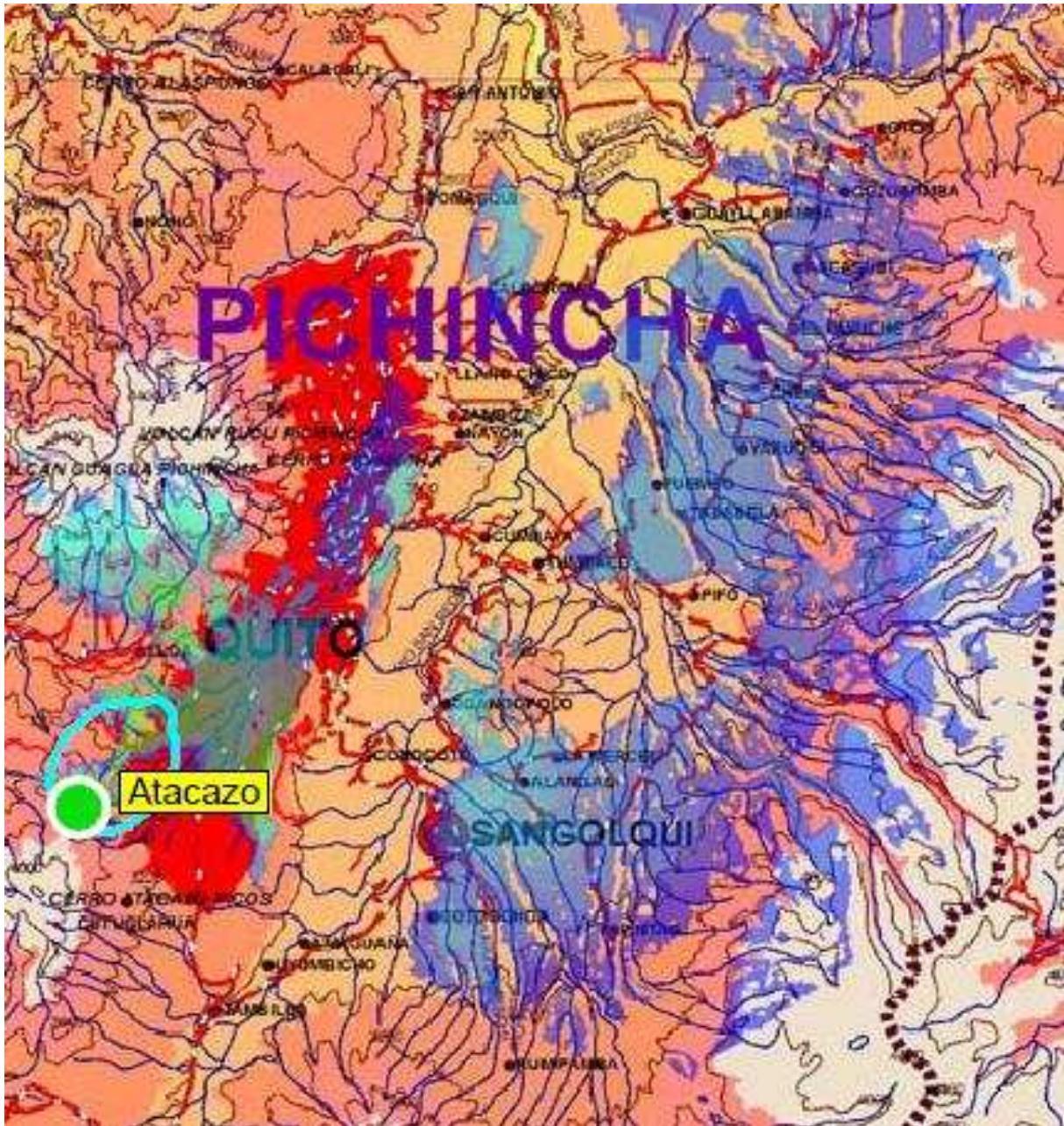


Fuente: ICS Telecom

Figura 2.7 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz UIT-R P.1546-4

Con este modelo de propagación se evidencia un mayor número de zonas de sombras que en la simulación anterior, éstas coinciden con las zonas en las que se han reportado quejas, en la Superintendencia de Telecomunicaciones, debido a la ausencia de cobertura. El resultado completo se muestra en el Anexo C1.

- Simulación de la repetidora con el modelo de propagación UIT-R PN.525

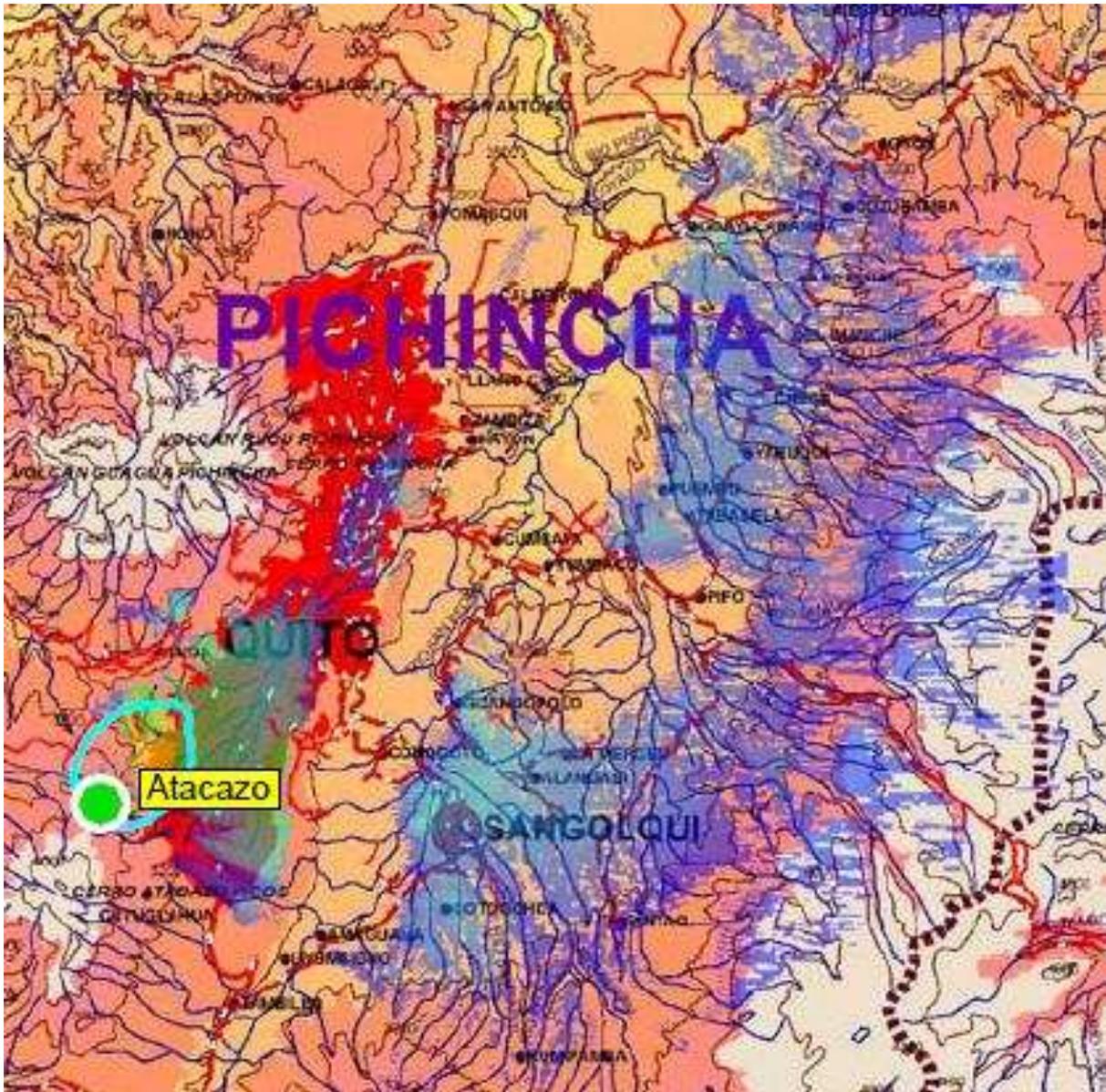


Fuente: ICS Telecom

Figura 2.8 Cobertura de la Zona P desde la repetidora UIT-R PN.525

Para la cobertura en el sur de la ciudad se utiliza una repetidora en el cerro Atacazo, usando otro canal de frecuencia. El resultado completo se muestra en el Anexo C1.

- Simulación de la repetidora con el modelo de propagación UIT-R P.1546-4

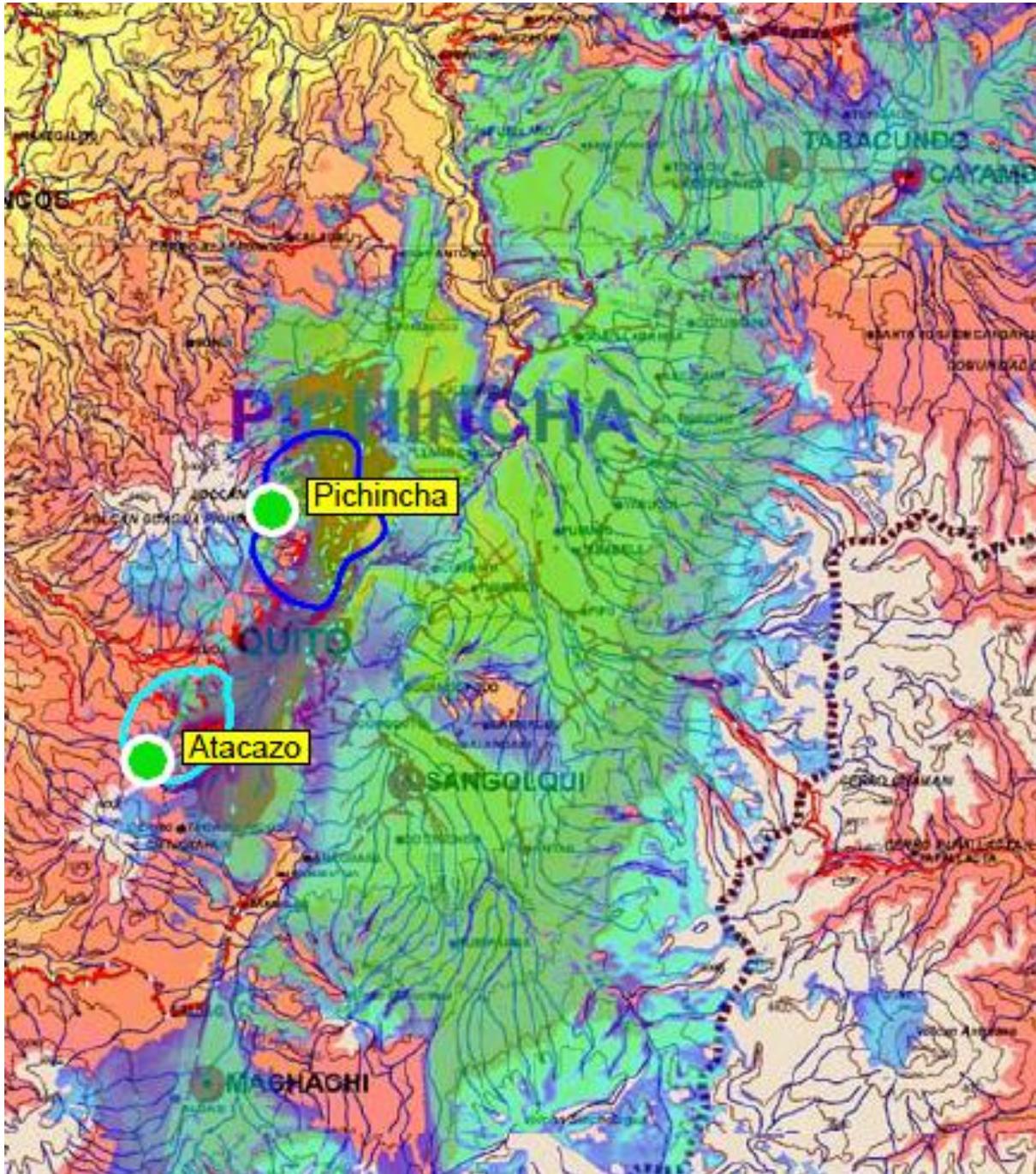


Fuente: ICS Telecom

Figura 2.9 Cobertura de la Zona P desde la repetidora UIT-R P.1546-4

El resultado completo se muestra en el Anexo C1.

- Simulación de la estación matriz y repetidora con el modelo de propagación UIT-R PN.525

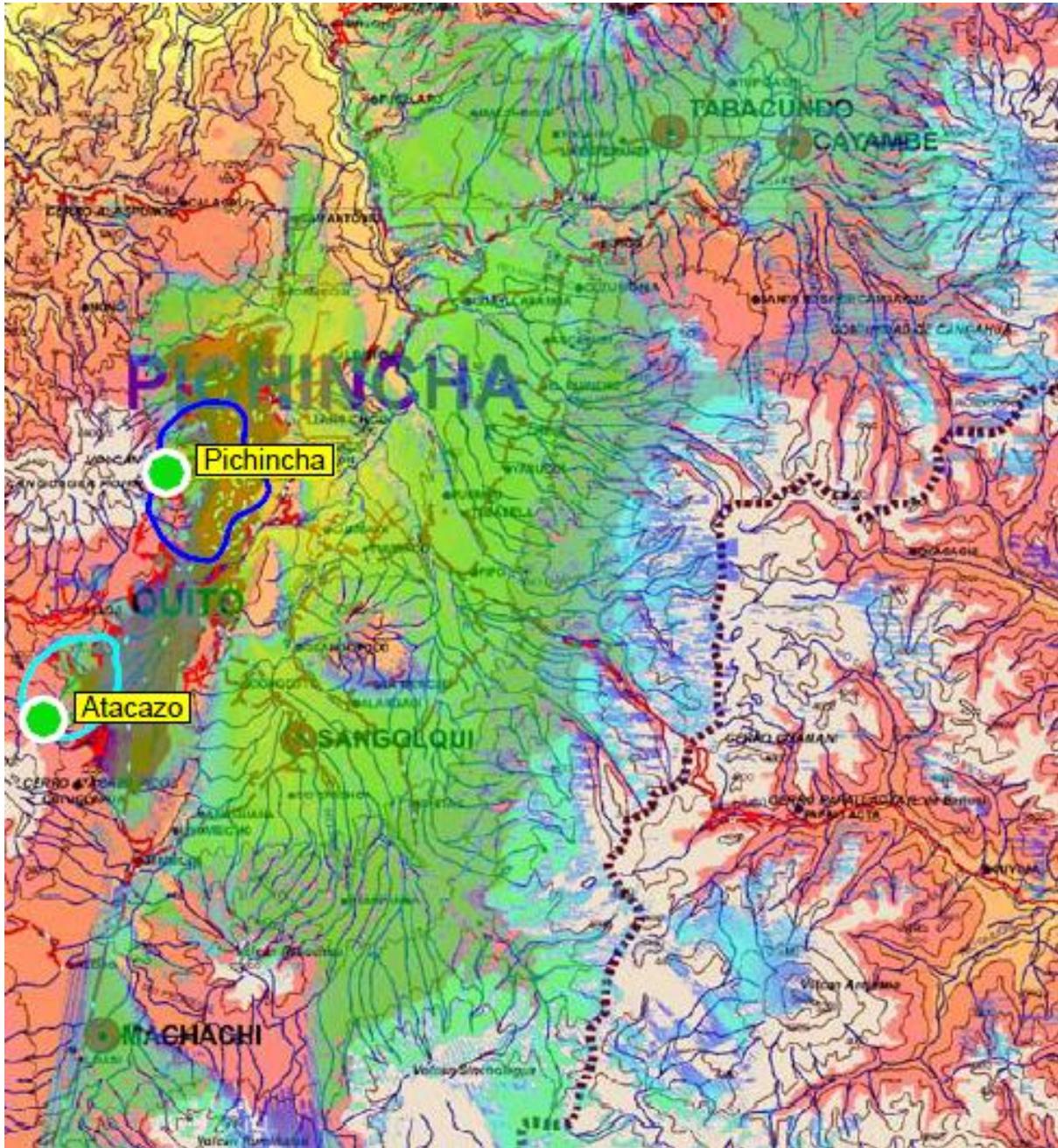


Fuente: ICS Telecom

Figura 2.10 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz y repetidora UIT-R PN.525

El resultado completo se muestra en el Anexo C1.

- Simulación de la estación matriz y repetidora con el modelo de propagación UIT-R P.1546-4



Fuente: ICS Telecom

Figura 2.11 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz y repetidora UIT-R P.1546-4

El resultado completo se muestra en el Anexo C1. El resultado de la simulación de cada uno de los enlaces de microondas se presenta en el Anexo C1.

2.3.2.2 ECUADOR TV

2.3.2.2.1 Características del sistema de transmisión y enlaces de microonda

Tabla 2.11 Parámetros Técnicos del Sistema de Televisión Ecuador TV

CONCESIÓN	
Nombre de la estación	Ecuador TV
Categoría	Televisión abierta
UBICACIÓN DEL ESTUDIO	
Dirección	San Salvador E6-49 ,Quito
Longitud	78°29'08" O
Latitud	00°11'20" S
Altura	2800m
Tipo de estación	Matriz
Número de cana:	48
Cobertura	Quito y Sangolquí
UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	
Lugar	Cerro Pichincha
Longitud	78°31'28.4"O
Latitud	00°10'07.4"S
Altura	3844m
SISTEMA RADIANTE	
Altura de la antena	30m
Tipo de antena	8 Paneles UHF
Ganancia	14,01 dBd
Polarización	Horizontal
Azimut	90°
Ángulo de inclinación	-8.5 °
SISTEMAS DE TRANSMISIÓN	
Potencia del TX	4.8 KW
Pérdidas	2 dB
ENLACE DE MICROONDA	
Trayecto	Estudio - Pichincha
Frecuencia	12287.5 MHz
Potencia del TX	1 W
Ganancia antena	35 dBd
Pérdidas	6.2 dB
Sensibilidad del RX:	-78 dBm

Fuente: [8]

Cálculo de la PER:

- Para el sistema de transmisión:

$$PER = 5000 * 10^{\left(\frac{11-2}{10}\right)}$$

$$PER = 39716,4W$$

$$PER = 3,97KW \approx 4KW$$

- Para el enlace de microondas:

$$PER = 1 * 10^{\left(\frac{35,0-6,2}{10}\right)}$$

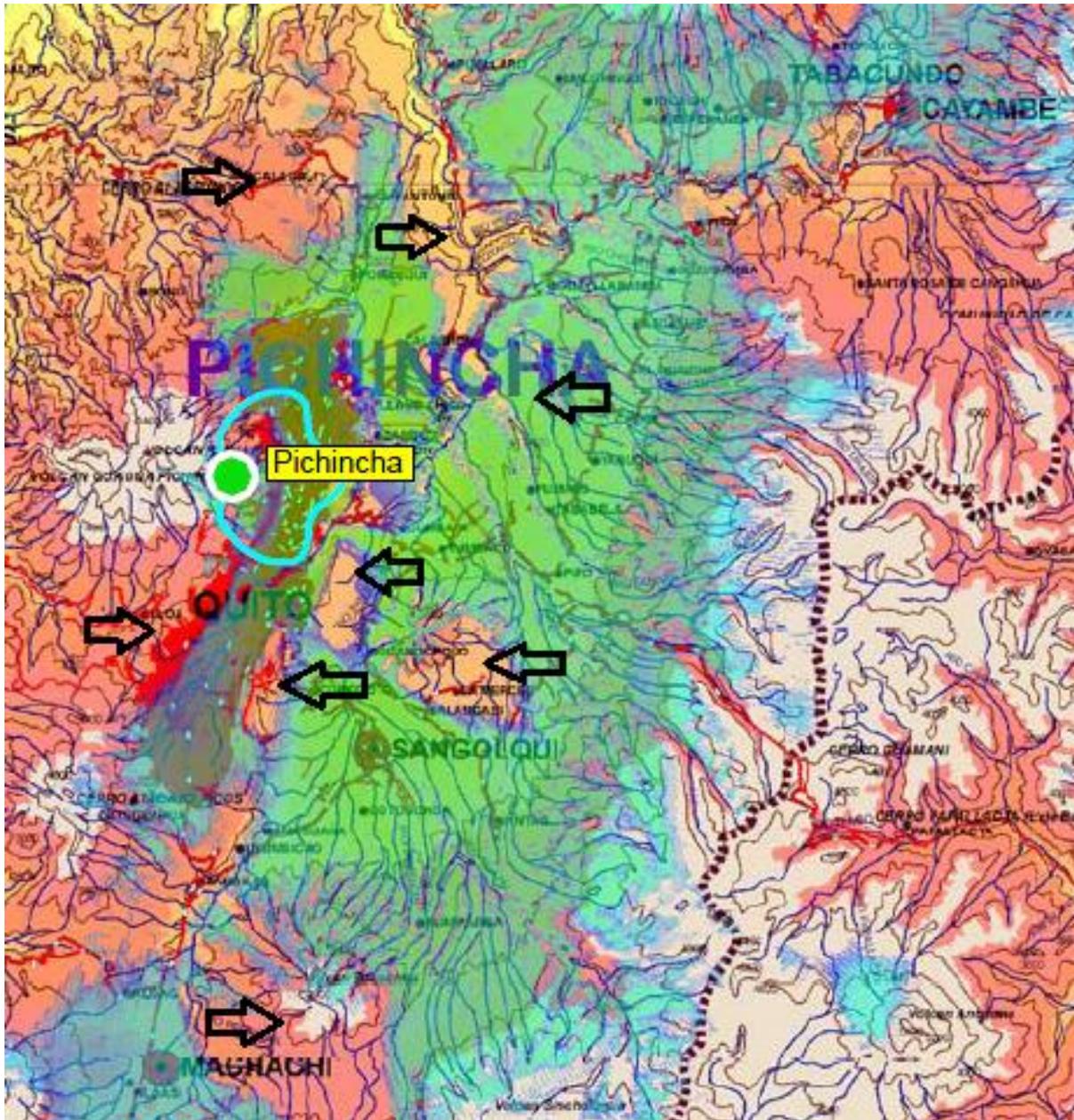
$$PER = 758,6W$$

2.3.2.2.2 Resultados

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones realizadas en el software ICS TELECOM, donde se ingresaron los parámetros mencionados anteriormente y se utilizaron los dos modelos de propagación, el contemplado en UIT-R PN.525 y en la UIT-R P.1546-4. Se presentará la simulación de la estación matriz y la simulación de los enlaces de microondas.

Tomando como referencia la norma técnica ecuatoriana de televisión analógica, se realizarán las simulaciones para garantizar el nivel de señal de 74 dB μ V/m en el área de cobertura principal para la Banda IV y V (canales del 14 al 86), según lo expuesto en la Tabla.2.4.

- Simulación de la estación matriz con el modelo de propagación UIT-R PN.525

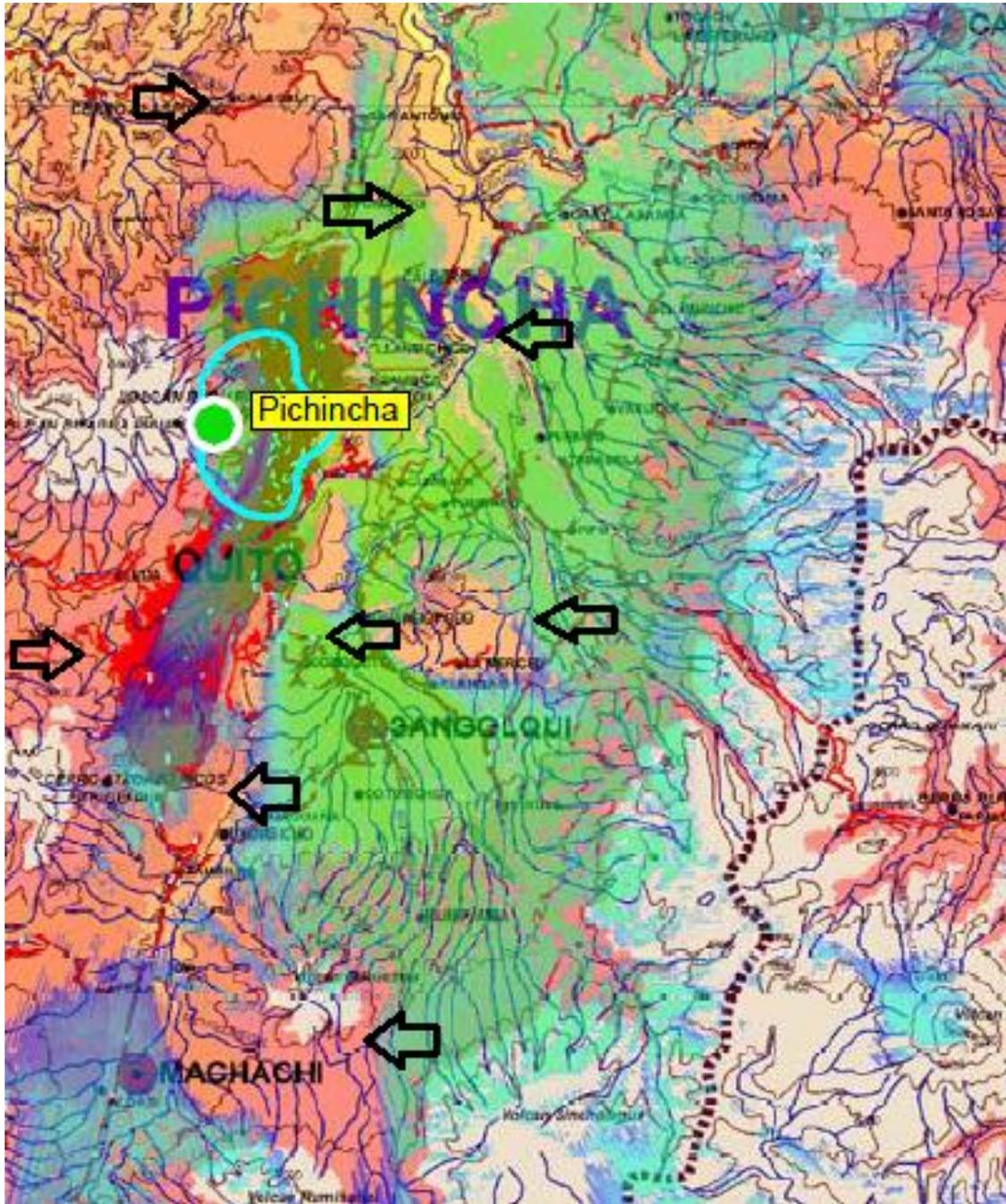


Fuente: ICS Telecom

Figura 2.12 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz UIT-R PN.525

El resultado completo se muestra en el Anexo C2

- Simulación de la estación matriz con el modelo de propagación UIT-R P.1546-4



Fuente: ICS Telecom

Figura 2.13 Cobertura de la Zona P desde la estación matriz UIT-R P.1546-4

El resultado completo se muestra en el Anexo C2. El resultado de la simulación del enlace de microondas se presenta en el Anexo C2.

2.4 EXPERIENCIAS EN TDT DE LA REGIÓN

Para tener una breve idea de la situación actual de la región, en lo concerniente a la implementación de la TDT, en la Tabla 2.12 se detalla las fechas en las que se realizaron las pruebas y la adopción del estándar de TDT para cada país. Para el caso de los países con mayor avance en la implementación de la TDT, se presenta un resumen de los principales acontecimientos, tanto en el marco regulatorio como en la transmisión de canales digitales.

Tabla 2.12 Estándar adoptado por país.

PAÍS	ESTÁNDAR	ESTADO	FECHA	
			ADOPCIÓN	APAGÓN
Argentina	ISDB-Tb	Implementando	Agosto / 2009	2019
Bolivia	ISDB-Tb	Adoptado	Julio / 2010	2024
Brasil	ISDB-Tb	Implementando	Junio / 2006	2016
Chile	ISDB-Tb	Adoptado	Septiembre / 2009	2017
Colombia	DVB-T	Implementando	Agosto / 2008	2017 – 2020
Ecuador	ISDB-Tb	Adoptado	Marzo / 2010	No tiene
Paraguay	ISDB-Tb	Adoptado	Junio / 2010	No tiene
Perú	ISDB-Tb	Implementando	Abril / 2009	2023
Uruguay	ISDB-Tb	Adoptado	Diciembre / 2010	2014 - 2015
Venezuela	ISDB-Tb	Adoptado	Octubre / 2009	2018

2.4.1 BRASIL [1] [16] [14]

El gobierno brasileño, mediante la resolución N° 398 del 7 de abril de 2005 [17], estableció los métodos y parámetros para el cálculo de la viabilidad técnica de canales analógicos y digitales, aplicables a los estándares ATSC⁴³, DVB-T⁴⁴ e ISDB-T; su objetivo era el de realizar pruebas de los tres estándares para adoptar uno de ellos.

Una vez concluida la fase de pruebas, el 29 de junio de 2006 el presidente Luiz Inácio Lula da Silva definió el estándar ISDB-T como base para la tecnología de televisión digital de Brasil.

⁴³ ATSC (*Advanced Television System Committee*): Comité del Sistema de Televisión Avanzado

⁴⁴ DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*): Difusión de Video Digital - Terrestre

Una vez adoptado el estándar, la tarea era adaptarlo a la realidad brasileña; para ello, el gobierno brasileño creó, en noviembre de 2006, el Foro Brasileño de TV Digital —conformado por emisoras de radiodifusión, fabricantes de equipos de recepción y transmisión, industrias de software y entidades de enseñanza e investigación— para asesorar al Comité de Desarrollo en la innovación tecnológica del estándar, acorde con las exigencias de los usuarios.

Resultado de la investigación del foro se pudo perfeccionar la base del sistema original japonés, agregándose el estándar H.264 para la codificación de video y el HE-AAC para la codificación de audio. Por esta razón el estándar ISDB-T pasó a ser nombrado como ISDB-Tb.

Las normas técnicas para ISDB-T con las modificaciones realizadas por Brasil fueron armonizadas entre el Foro Brasileño de TV Digital y la ARIB⁴⁵ del Japón; ambas forman parte del ISDB-T internacional.

El 2 diciembre de 2007 marcó el inicio de la era de la televisión digital en Brasil, junto con el inicio de las transmisiones oficiales en la ciudad de Sao Paulo. La implementación se está realizando en dos partes: inicialmente, en las principales ciudades y posteriormente en las ciudades en las que por lo menos existe una estación de televisión.

La ABNT⁴⁶ ha sido la encargada de emitir las normas técnicas del estándar ISDB-Tb; por ello, los radiodifusores brasileños deben cumplir con los parámetros técnicos estipulados en éstas; además, se rigen al marco regulatorio para televisión digital, donde se establecen parámetros como los plazos para la transición a la TDT.

La ANATEL⁴⁷, que es el órgano regulador de las telecomunicaciones en Brasil y el encargado de la administración del espectro radioeléctrico, tiene planificado que el apagón analógico, en todo el territorio brasileño, se lleve a cabo el miércoles 29 de junio de 2016; pero, en ciudades como Sao Paulo éste ya ha sido completado [18].

⁴⁵ *ARIB (Association of Radio Industries and Businesses)*: Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones

⁴⁶ *ABNT (Asociación Brasileña de Normas Técnicas)*

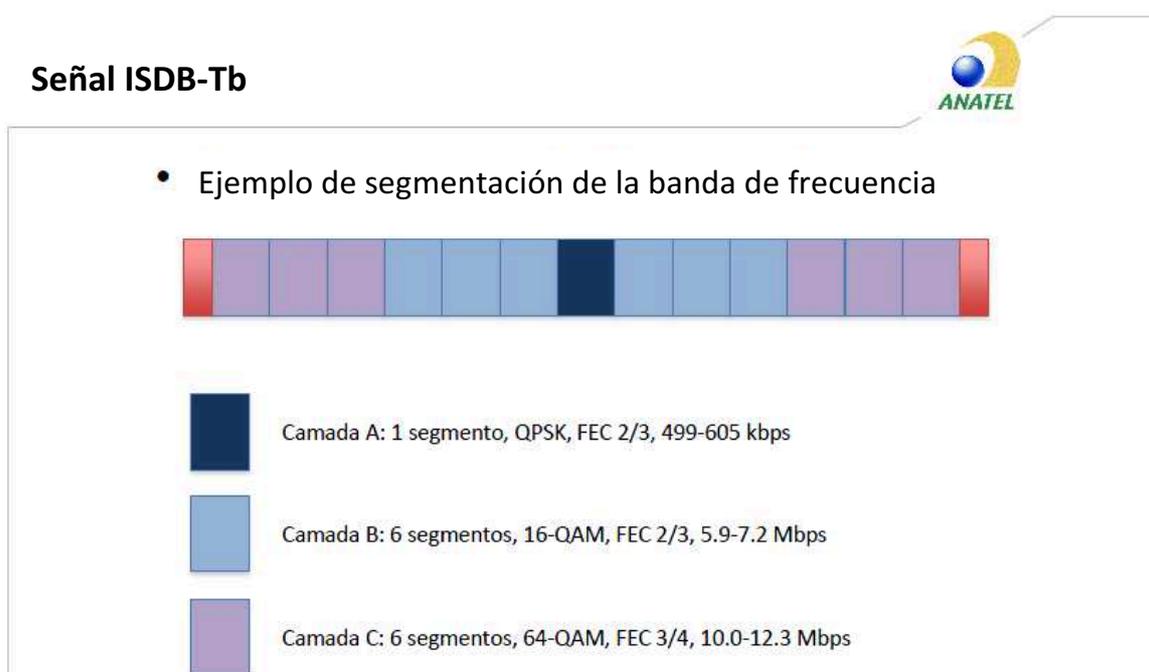
⁴⁷ *ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicaciones)*

Además, se ha dispuesto que para la transmisión de TDT se utilice la parte superior de la banda VHF y toda la banda UHF.

Por su parte, el Ministerio de Comunicaciones estableció, mediante la circular N° 652/2006, los criterios, procedimientos y plazos para la concesión de canales destinados a la transmisión digital. En el periodo de transición del 2006 al 2016 están definidas las fechas de 30/06/2013 para el fin de la consignación de canales analógicos y el 30/06/2016 para el término de las transmisiones analógicas [19].

En Brasil actualmente se han concesionado 290 canales para la transmisión de TDT, de los cuales 110 se encuentran operando en las diferentes regiones del país. La autorización para emisiones de prueba a las diferentes entidades cumplió su plazo en enero del 2011 [19].

En la Figura 2.14 se presenta un ejemplo de la asignación de segmentos, y las tasas de datos que alcanzan, para ofrecer canales en definición estándar, en alta definición y en baja definición.



Fuente: [1]

Figura 2.14 Asignación de segmentos y tasas de datos

2.4.2 ARGENTINA [7] [4]

En Argentina la investigación, desarrollo e implementación de la televisión digital se ha llevado a cabo a paso acelerado, aportando conocimiento y experiencia a todos los países que recientemente han adoptado el estándar ISDB-Tb o que están iniciando el trabajo necesario para trazar el camino hacia el apagón analógico, como es el caso del Ecuador.

Mediante el decreto 835/2011 del 21 de junio de 2011 (Anexo A2), el gobierno argentino definió la autorización para prestar los servicios de uso de infraestructura, multiplexado y transmisión para televisión digital terrestre como parte de la creación del SISTEMA ARGENTINO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE; en dicho decreto se describen los parámetros técnicos a utilizarse como modos y modulación, tasas de codificación para los formatos previstos por la norma, entre otras. A continuación se mostrarán los principales parámetros.

2.4.2.1 Parámetros técnicos

2.4.2.1.1 Tasas de codificación por servicio audiovisual

Tabla 2.13 Tasas máximas de transmisión (audio y video) según el formato de servicio

FORMATO DE SERVICIO	TASA DE TRANSMISIÓN BINARIA MÁXIMA
480i/480p (60Hz)	4Mbps
575i/576p (50Hz)	4.5Mbps
720p (50/60Hz)	9Mbps
1080i (50/60Hz)	14Mbps

Fuente: [7]

2.4.2.1.2 Tipos de multiplexación

Debido a la característica del estándar ISDB-Tb que permite ofrecer el servicio *one-seg* (un canal de baja definición) en el segmento central, destinado a receptores móviles y portátiles, el decreto argentino especifica que este servicio se debe

ofrecer en todos los casos y presenta tres opciones para la utilización de los doce segmentos restantes.

Los siguientes literales se han tomado textualmente del decreto 835/2011.

- a) Se realizará la multiplexación de hasta UN (1) servicio de alta definición 1080i con UN (1) servicio de definición estándar 480i/p o 576i/p. La suma de los flujos de datos necesarios cuyos valores máximos están presentados en la Tabla 2.13 no podrá superar la capacidad obtenida por la parametrización de la plataforma de transmisión.
- b) Se realizará la multiplexación de hasta DOS (2) servicios de alta definición 720p. La suma de los flujos de datos necesarios cuyos valores máximos están presentados en la Tabla 2.13 no podrá superar la capacidad obtenida por la parametrización de la plataforma de transmisión.
- c) Se realizará la multiplexación de hasta CUATRO (4) servicios de definición estándar 480i/p o 576i/p. La suma de los flujos de datos necesarios cuyos valores máximos están presentados en la Tabla 2.13 no podrá superar la capacidad obtenida por la parametrización de la plataforma de transmisión.

(Sistema Argentino de televisión digital terrestre, 2011:4)

2.4.2.1.3 *Intensidad de campo mínima a proteger*

Tabla 2.14 Niveles de intensidad de campo según el área de cobertura

BORDE DEL ÁREA DE COBERTURA PRIMARIA	BORDE DEL ÁREA DE COBERTURA DE LA LOCALIDAD PRINCIPAL
48 dB μ V/m	68 dB μ V/m

Fuente: [7]

2.4.2.1.4 Categorías

Tabla 2.15 Definición de los parámetros de las categorías

CATEGORÍA	RADIO DEL ÁREA PRIMARIA	RADIO DEL ÁREA DE LOCALIDAD PRINCIPAL	POTENCIA RADIADA EFECTIVA MÁXIMA
A	92,4Km	50,2 Km	200KW
B	70,6 Km	33,8 Km	100KW
C	57,9 Km	27,2 Km	50KW
D	51,1 Km	23,6 Km	20KW
E	42,7 Km	19 Km	10KW
F	34,4 Km	14,5 Km	5KW
G	28,7 Km	11,9 Km	2KW
H	23,2 Km	10 Km	1KW
I	17,4 Km	7 Km	0,5KW
J	12,6 Km	4,3 Km	0,2KW
K	11,1 Km	3,7 Km	0,1KW

Fuente: [7]

Para estos valores se tomó como referencia la recomendación UIT 1546-4.

2.4.2.1.5 Relaciones de protección

Los siguientes valores son considerados para el contorno del área primaria de servicio y el valor de la relación señal deseada/señal interferente debe ser el mínimo a considerarse.

Tabla 2.16 Relaciones de protección

SEÑAL INTERFERENTE	SEPARACIÓN ENTRE CANALES	SEÑAL DESEADA	
		TV Analógica	TV Digital
TV ANALÓGICA	Co-canal	MOySP ⁴⁸ 292/81	7dB
	Adyacente	–	-26dB
TV DIGITAL	Co-canal	40dB	21dB
	Adyacente	-10dB	-24dB

Fuente: [7]

⁴⁸ MOySP (Ministerio de Haciendas Obras y Servicios Públicos)

2.4.2.2 Experiencia en la implementación de la TDT

Actualmente, en algunas localidades de Argentina, la emisión de televisión digital terrestre se la hace a modo de prueba en diferentes canales UHF; para explicar esta experiencia se ha tomado el caso de la ciudad de Córdoba, en donde se han utilizado 4 canales —desde los 518MHz hasta los 542MHz, canales del 22 al 25—, para cada canal de 6MHz se han escogido diferentes tipos de programación ya sea *SD*, *HD* y *LD*, como se puede observar en la Tabla 2.17

Tabla 2.17 Canales de Televisión Digital Terrestre transmitidos en Córdoba, Argentina

CANAL	NOMBRE	CONTENIDO	CALIDAD	OBSERVACIONES
22.01	ENCUENTRO	Documentales	SD	
22.02	PAKA-PAKA	Infantil	SD	
22.03	TATETI	Infantil	SD	
22.04	INCAA TV	Cine Argentino	SD	
22.05	ENCUENTRO MÓVIL	Documentales	LD	Servicio <i>one-seg</i>
23.01	TV PÚBLICA	Variedades	HD	Up-Convertido
23.02	CONSTRUIR	Variedades	SD	
23.03	TV PÚBLICA MÓVIL	Variedades	LD	Servicio <i>one-seg</i>
24.01	GOLTV	Deportes	SD	
24.02	VIVRA	Canal Musical	SD	
24.03	SURY TV	Canal de los Pueblos Originarios	SD	
24.04	VIDEO ÉXITO	Música Argentina	SD	
24.05	GOLTV MÓVIL	Deportes	LD	Servicio <i>one-seg</i>
25.01	CN23	Noticias	SD	
25.02	C5N	Noticias	SD	
25.03	TELESUR	Noticias	SD	
25.04	ARGENTINA HD	Turismo	HD	
25.05	CN23 MÓVIL	Noticias	LD	Servicio <i>one-seg</i>

Fuente: [7]

2.4.3 CHILE [5]

En la actualidad, en Chile se encuentran realizando pruebas de TDT los principales sistemas de televisión, universidades y demás actores involucrados en el proceso de implementación de la TDT. Por su parte, el gobierno chileno, a través de la Subsecretaría de Telecomunicaciones, en septiembre del 2009 adoptó el estándar ISDB-Tb; el Senado aprobó el primer informe del proyecto de ley de la TDT y actualmente está tratando el segundo informe del proyecto de ley de TDT.

El proyecto establece un plazo de 3 años para que los actuales sistemas de televisión abierta cubran con señal digital al 85% de la zona de servicio de cada concesionario. El 100% deberá cubrirse en un plazo máximo de 5 años.

La posibilidad de permitir a los canales de señal abierta que creen programaciones de pago también fue aprobada, aunque en el Senado este punto está en discusión. El proyecto indica que los concesionarios podrán destinar hasta un 50% del espectro concesionado para transmitir señales de televisión pagada, siempre que ofrezcan una señal HD abierta y gratuita.

El plazo para las pruebas de TDT en Chile venció en Octubre del 2010, por lo que se renovaron los permisos para continuar con las pruebas a los canales presentados en la Tabla 2.18.

Tabla 2.18 Sistemas de televisión con permiso para realizar pruebas

LOCALIDAD	EMPRESA	FECHA.	CANAL
SANTIAGO	CANAL DOS S. A.	18/06/10	56
ANTOFAGASTA	CNC INVERSIONES S.A.	27/07/10	32
SANTIAGO	COMPAÑÍA CHILENA DE TV	30/03/10	28
SANTIAGO	LA PLAZA S.A.	17/11/09	26
SANTIAGO	NGB CHILE S.A.	28/10/09	36

Continuación Tabla 2.18

SANTIAGO	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE TELEVISIÓN	11/09/09	24
SANTIAGO	RED DE TELEVISIÓN CHILEVISIÓN S.A.	11/09/09	30
LA DEHESA	RED DE TELEVISIÓN CHILEVISIÓN S.A.	27/07/10	30 y 31
SANTIAGO	RED DE TELEVISIVA MEGAVISIÓN S.A.	17/11/09	27
PUNTA ARENAS	SOC. NUEVAS COMUNICACIONES LTDA.	02/08/10	32
SANTIAGO	TELEVISIÓN INTERACTIVA S.A.	30/12/09	59
CONCEPCIÓN Y TALCAHUANO	TELEVISIÓN NACIONAL DE CHILE	02/06/10	33
LO BARNECHEA	TELEVISIÓN NACIONAL DE CHILE	20/07/10	33
SANTIAGO	TELEVISIÓN NACIONAL DE CHILE	11/09/09	33
VIÑA DEL MAR	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAISO	08/04/10	26
SANTIAGO	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAISO	02/06/10	29

Fuente: Decreto Supremo N° 264 de 2010 que renueva permisos de TV Digital, Chile

Al momento, en Chile, se encuentran realizando pruebas de TDT; por lo tanto, no disponen de una norma técnica y se rigen a las establecidas por la ABNT.

2.4.4 PERÚ [6]

El gobierno peruano a través del Ministerio de Transporte y Comunicaciones adopta el estándar ISDB-Tb mediante Resolución Suprema N° 010-2007-MTC, publicada en el diario oficial "El Peruano" en abril del 2009. Además, el gobierno ya presentó el Plan Maestro para la implementación de la TDT, en el cual se establecen las características técnicas de operación de los sistemas de televisión según la localidad y el plazo máximo para comenzar las emisiones de TDT. En la Tabla 2.19 se mencionan los canales que emiten señal digital a la fecha.

Tabla 2.19 Canales en Perú que actualmente transmiten señal digital

ESTACIÓN	CANAL	INICIO DE EMISIONES	PROGRAMACIONES
TV Perú	16	30 / marzo / 2010	6
ATV	18	31 / marzo / 2010	5
América Televisión	24	23 / abril / 2010	1
Global TV	22	01 / septiembre / 2010	2
Frecuencia Latina	20	14 / septiembre / 2010	2

Fuente: Informe anual de evaluación del proceso de implementación de la televisión digital terrestre en el Perú, 2010 – 2011.

Al momento, en Perú, el Plan Maestro para la implementación de TDT especifica las características técnicas que se deben cumplir en cada región del país; entonces, no se realiza un análisis de estas características debido a que corresponden a las particularidades de cada región.

2.5 REFERENCIAS

- [1] ANATEL (2011). *Estaciones de tv digital*, Documento electrónico <http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=267205&assuntoPublicacao=Esta%E7%F5es%20de%20Televis%E3o%20-%20Canais%20Digitais%20Consignados%20&caminhoRel=Cidadao-Radiodifus%E3o-T+elevis%E3o%20Digital&filtro=1&documentoPath=267205.pdf> Consultado el 18 de noviembre de 2011
- [2] AUCATOMA Lenin, CAMPOVERDE Ximena (2010). *Establecimiento de una ruta alterna para enlaces de frecuencias auxiliares de radiodifusión y televisión entre las ciudades de Quito y Guayaquil*, Documento electrónico <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2406/1/CD-3138.pdf> Consultado el 12 de octubre de 2011
- [3] CONARTEL (2010). *Norma técnica para el servicio de televisión analógica y plan de distribución de canales (resolución no. 1779-conatel-01)*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 04 de septiembre de 2011

- [4] LIENDO, Carlos (2011). *Señales de la TV Digital y experiencias de televidentes*, Documento electrónico <http://www.eradigital.com.ar/blog/?p=1346> Consultado el 17 de agosto de 2011
- [5] MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES DE CHILE (2010). Diario oficial de la república de Chile, Documento electrónico http://www.tvd.cl/prontus_tvd/site/artic/20101203/asocfile/20101203155716/05_09r_7219.pdf Consultado el 22 de octubre de 2011
- [6] MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES DEL PERU (2009). *Informe anual de evaluación del proceso de implementación de la televisión digital terrestre (tdt) en el Perú*, Documento electrónico <http://tvdigitalperu.mtc.gob.pe/Documentos/Extracto%20informe%20anual%20TDT.pdf> Consultado el 21 de octubre de 2011
- [7] SERVICIOS DE COMUNICACIÓN AUDIOVISUAL (2011). *Decreto 835/2011*, Documento electrónico <http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/180000-184999/183617/norma.htm> Consultado el 21 de julio de 2011
- [8] SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES (2011). *Estadísticas de radiodifusión y televisión*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 14 de septiembre de 2011
- [9] SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES (2011). *Información básica: Frecuencias auxiliares de radiodifusión y televisión*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 10 de noviembre de 2011
- [10] SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES (2011). *Resolución 072-04-CONATEL-2010*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 18 de septiembre de 2011

- [11] TESAMÉRICA (2009). *Introducción al manejo de la herramienta ICS Telecom y diseño de redes*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 29 de agosto de 2011
- [12] UIT (2009). *Recomendación UIT-R P.1546-4*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 10 de septiembre de 2011
- [13] UIT (2009). *Recomendación UIT-R P.526-11*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 06 de septiembre de 2011
- [14] Z Aidán, María (2010). *Análisis del dividendo digital resultante de la migración de la televisión analógica a digital en el Ecuador*, Documento electrónico <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2463> Consultado el 18 de noviembre de 2011
- [15] <http://ecalero.tripod.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/wgs-84.pdf>, Último acceso el 20 de septiembre de 2011
- [16] arantxa.ii.uam.es/~btaha/RR1/Presentacion/Radio%2014.ppt, Último acceso 16 de noviembre de 2011
- [17] http://comunicacioneselectronicas.com/downloads/SET/Revista_da_SET___Edicion_especial.pdf, Último acceso 15 de noviembre de 2011
- [18] http://es.wikipedia.org/wiki/Apag%C3%B3n_anal%C3%B3gico, Último acceso 17 de noviembre de 2011
- [19] <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalInternet.do#>, Último acceso 18 de noviembre de 2011
- [20] http://www.escet.urjc.es/~fisica/personal/alexandre/docencia/mpe_tema2.pdf, Último acceso 28 de octubre de 2011

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE LA SFN

Antes de diseñar la *SFN* es necesario tener conocimiento de las características y funciones que tienen cada uno de los parámetros usados por el estándar ISDB-Tb, para, posteriormente, seleccionar los más adecuados acorde a las condiciones geográficas presentes en la zona P. La ABNT ha sido la encargada de emitir las normas técnicas del estándar ISDB-Tb. Las normas técnicas ABNT NBR 15601 (Televisión digital terrestre — Sistema de Transmisión) (Anexo A3) y la ABNT NBR 15604 (Televisión digital terrestre — Receptores) son las que se utilizarán para el presente diseño.

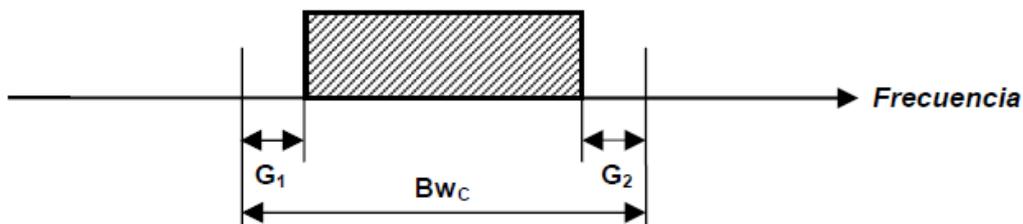
3.1 NORMA TÉCNICA ABNT NBR 15601 (TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE — SISTEMA DE TRANSMISIÓN) [1]

En esta sección se explicarán los diferentes parámetros que constan en la norma ABNT NBR 15601 y que son necesarios para el diseño de la *SFN*.

Para entender por qué se establecieron los valores que constan en el estándar ISDB-Tb, se explicará el origen de los mismos, considerando que ciertos valores, más que una explicación matemática, tienen su origen en las pruebas de campo. La gran mayoría de los textos acerca del estándar indican únicamente los valores de los parámetros establecidos por la ABNT, lo que limita el aprendizaje de estos. Por ello, para explicar el origen de algunos valores se ha tomado como referencia algunas fuentes de información, pero la principal de ellas es la publicada por el Ing. Néstor Pisciotta “SISTEMA ISDB-Tb (PRIMERA PARTE)” [6].

3.1.1 ORGANIZACIÓN DEL CANAL RADIOELÉCTRICO

ISDB-Tb define un sistema de transmisión de banda segmentada, dividiendo los 6MHz asignados originalmente para la transmisión de un canal de televisión analógico, en 14 segmentos (N_s), de los cuales 13 se destinan a la transmisión de las portadoras *OFDM* y el segmento restante, se divide en dos márgenes de seguridad, uno por encima y otro por debajo de los límites de los 13 segmentos, con la finalidad de evitar la interferencia con los canales adyacentes; estos márgenes se denominan bandas de guarda (G_1 y G_2) y se muestran en la Figura 3.1. Una de las características fundamentales de ISDB-Tb es la posibilidad de ofrecer el servicio *one-seg* destinado a los receptores móviles y portátiles, utilizando un solo segmento, el segmento central de la banda, de tal manera que quedan igual número de segmentos a la izquierda y a la derecha.



Fuente: [6], página 14

Figura 3.1 Bandas de Guarda

Entonces, los 6MHz se organizan en 14 segmentos, un segmento central, seis segmentos a la izquierda, seis segmentos a la derecha y un segmento para las bandas de guarda, tal como se muestra en la Figura 3.2.

En consecuencia, el ancho de banda que ocupará cada segmento se puede calcular con la ecuación 3.1:

$$AB_{segmento} = \frac{AB_{canal}}{N_s} \quad (3.1) [6]$$

$$AB_{segmento} = \frac{6MHz}{14} = 428,57 kHz$$



Figura 3.2 Segmentos para servicios y bandas de guarda

Por lo tanto, el ancho de banda de los 13 segmentos disponibles para el servicio de televisión digital se calcula con la ecuación 3.2:

$$AB = N_s * AB_{segmento} \quad (3.2) [6]$$

$$AB = 13 * 428,57kHz = 5,571MHz$$

3.1.2 ELECCIÓN DE PARÁMETROS OFDM

Dentro de un sistema *OFDM*, la selección de sus parámetros resulta de un acuerdo entre los diferentes requerimientos conflictivos entre sí. Dentro de los requerimientos básicos para dimensionar el sistema están el ancho de banda disponible, la tasa de datos deseada y el tiempo de retardo de las señales reflejadas.

Para el tiempo de guarda es importante seguir la regla: El tiempo de guarda (T_G) debe ser mayor que el tiempo de retardo de las señales reflejadas [6]. Además, se debe cumplir que $T_U \gg T_G$ [6], porque T_G tiende a introducir pérdidas en la relación señal a ruido; esto se debe a que en el tiempo de guarda se transmite una porción

del símbolo *OFMD* duplicada, que no representa información útil; por lo tanto, disminuye de la eficiencia espectral y por ende, de la relación señal a ruido⁴⁹ [4].

El tiempo útil de símbolo (T_U) no debe ser muy grande porque aumentaría el número de portadoras y disminuiría el espacio de separación entre éstas, presentando susceptibilidad al ruido de fase y al offset de frecuencia. El ruido de fase produce la rotación de la constelación del esquema de modulación de las portadoras y el ICI, debido al desplazamiento de frecuencia [4].

Además, el tiempo de guarda debe ser mayor o igual que el tiempo de retardo (t_r) de la señal reflejada respecto del punto de reflexión más lejano, de tal manera que las señales reflejadas no representen interferencia para el receptor. Según lo explicado anteriormente, el intervalo de guarda debe cumplir la siguiente condición:

$$T_U \gg T_G \geq t_r \quad (3.3) [6]$$

Entonces, para determinar el valor del tiempo de guarda y del tiempo útil de símbolo, es necesario conocer el número de portadoras (L) que se transmitirán en el tiempo de símbolo ($T_S = T_U + T_G$). Para calcular el número de portadoras necesarias, para transmitir una determinada tasa de datos, en el ancho de banda disponible, se emplea el Teorema de Shannon:

$$C(\text{bps}) = AB * \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.4) [6]$$

Para calcular la capacidad teórica del canal es necesario conocer el valor de la relación señal-ruido (S/N). Considerando que se transmiten portadoras de datos y portadoras piloto, se tomará el valor de la relación portadora-ruido (C/N), en lugar del valor de S/N ⁵⁰. El valor de C/N es variable, entre 3dB y 22dB (Anexo D1), dependiendo del tipo de canal que se considere (Rayleigh, Rice o Gaussiano), de la tasa de codificación interna (código de protección) y del tipo de modulación digital que se emplee.

⁴⁹ La eficiencia espectral es directamente proporcional a la relación señal a ruido.

⁵⁰ S/N considera únicamente a las portadoras de datos (la señal), mientras que C/N considera a las portadoras de datos y a las portadoras piloto.

En ISDB-Tb se tiene un canal en el cual existen una señal directa y múltiples señales reflejadas (Canal Rice).

Para aplicar el Teorema de Shannon se van a tomar las peores condiciones que se pueden presentar en la transmisión, siendo éstas las que se detallan a continuación:

- *Modulación 64QAM:* Al usar esta modulación digital para las portadoras, la señal transmitida no puede ser receptada a grandes distancias, por ser menos robusta, esto se debe a que los puntos en la constelación se encuentran más unidos y son más sensibles al ruido, por ello, la relación señal a ruido mínima a cumplirse, es más alta que la requerida al modular las portadoras utilizando una menor cantidad de puntos en la constelación, como es el caso en 16QAM o QPSK. En la Figura 3.3 se muestra la cobertura de cada señal cuyas portadoras son moduladas con los tres tipos de modulación digital mencionados anteriormente.

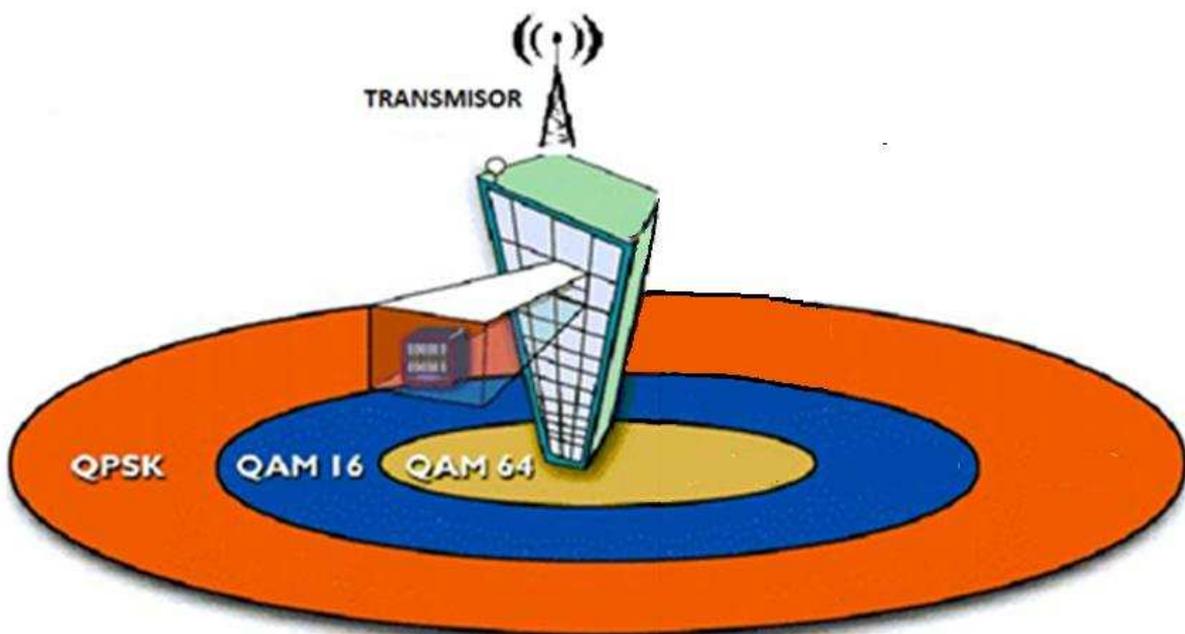


Figura 3.3 Robustez de las señales

- *Código convolucional 7/8*: Esto significa que de cada 7 bits de datos se inserta uno de redundancia, es la peor condición que presenta el estándar porque utiliza la menor cantidad de bits de protección, y por ende se tiene una señal poco robusta.

El ancho de banda AB (5,571MHz) con modulación 64QAM y código convolucional 7/8 debe cumplir con una C/N de al menos 22dB (159 veces) [7].

Aplicando el teorema de Shannon y reemplazando en la ecuación 3.4 C/N por S/N, se obtiene la capacidad teórica del canal:

$$C(\text{bps}) = AB * \log_2 \left(1 + \frac{C}{N} \right)$$

$$C(\text{Mbps}) = 5,571 * \log_2(1 + 159) = 40,79\text{Mbps}$$

Con la capacidad de 40,79 Mbps es posible determinar la relación entre el número de portadoras (L) y el tiempo de símbolo (T_s), para lo cual se emplea la ecuación 3.5:

$$R(\text{bps}) = \frac{b_p * L}{T_s} \quad (3.5) [6]$$

Donde:

R: Tasa de datos, siendo aceptado que $R=C$ ⁵¹.

b_p: Número de bits por símbolo transmitidos en una portadora, utilizando un esquema de modulación 64-QAM, son 6 bits.

⁵¹ Shannon estableció que si se transmite a una velocidad menor o igual que la capacidad del canal, teóricamente es posible usar un código de control de errores adecuado para conseguir una transmisión libre de errores a través del canal [5].

Finalmente:

$$\frac{L}{T_S} = 6,80 * 10^6 \left(\frac{1}{s}\right) \quad (3.6)$$

Entonces, se puede decir que son necesarias 7 portadoras por cada microsegundo que tenga de duración total un símbolo.

Con el objetivo de simplificar el diseño y la fabricación de los receptores, el estándar ha definido un conjunto reducido de valores discretos y normalizados para algunos parámetros, entre los que se encuentra el intervalo de guarda (Δ). El intervalo de guarda se define como la razón entre el tiempo de guarda y el tiempo útil de símbolo, ecuación 3.7:

$$\frac{T_G}{T_U} = \Delta = \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16} \text{ ó } \frac{1}{32} \quad (3.7) [6]$$

La peor condición se presenta cuando $\Delta = \frac{1}{32}$, porque para este valor de Δ se tiene el menor tiempo de guarda.

Reemplazando $T_S = T_U + T_G$, $T_U = \frac{T_G}{\Delta}$ y $\Delta = \frac{1}{32}$ en la ecuación 3.6, se obtiene:

$$\frac{L}{\frac{T_G}{\Delta} + T_G} = 6,80 * 10^6 \left(\frac{1}{s}\right)$$

$$\frac{L}{32T_G + T_G} = 6,80 * 10^6 \left(\frac{1}{s}\right)$$

$$L = 6,80 * 10^6 \left(\frac{1}{s}\right) * [33 * T_G(s)]$$

Para garantizar que todas las señales multitrayectoria lleguen al receptor durante el tiempo de símbolo, el tiempo de guarda debe ser mayor o igual al tiempo de retardo (t_r) de la señal reflejada, respecto del punto de reflexión más lejano; entonces, la

peor condición se presenta cuando $t_r = T_G$; reemplazando esta expresión se obtiene la ecuación 3.8.

$$L = 6,80 * 10^6 * 33 * t_r \text{ (portadoras)} \quad (3.8)$$

El estándar no brinda un valor para t_r , pero sí define uno para L; entonces, se tomará este valor para determinar t_r .

Antes de utilizar el valor de L para los cálculos, es necesario tomar en cuenta que el valor de L debe satisfacer las siguientes condiciones:

1. En L portadoras existen (L-1) espacios, con ancho de banda Δf , como se muestra en la Figura 3.4; por lo tanto, el ancho de banda total ocupado por los (L-1) espacios es $\Delta f * (L-1)$, ecuación 3.9:

$$AB = (L - 1) * \Delta f \quad (3.9) \quad [6]$$

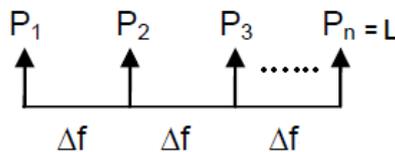


Figura 3.4 Ancho de banda total ocupado por L portadoras

2. El ancho de banda total ocupado por N_S se calcula con la ecuación 3.2.

$$AB = N_S * AB_{segmento}$$

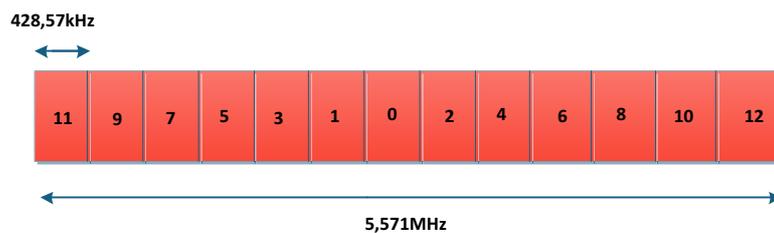


Figura 3.5 Ancho de banda total ocupado por N_S segmentos

3. El espacio de separación de las portadoras (Δf) en un segmento se puede determinar con la ecuación 3.10:

$$\Delta f = \frac{AB_{segmento}}{L_S} \quad (3.10) [6]$$

Donde L_S es el número de portadoras por segmento.

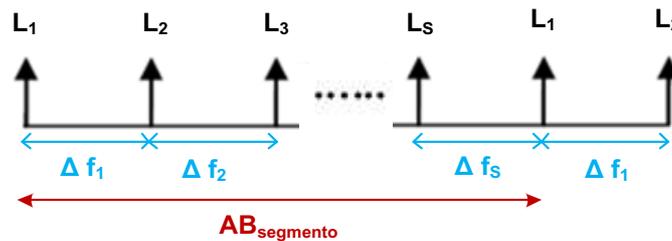


Figura 3.6 Separación entre portadoras

Se puede notar que existe una incoherencia con la primera condición. Esto se debe a que en la primera condición se toman todas las portadoras desde el límite inferior hasta el límite superior del ancho de banda de los 13 segmentos, debido a que se tienen bandas de guarda (Figura 3.4). En cambio, en esta condición se considera que la primera portadora se encuentra en el límite inferior del ancho de banda de cada segmento y debido a que no existen bandas de guarda entre segmentos, es necesario tomar en cuenta el espacio de separación entre la última portadora de un segmento y la primera portadora del siguiente (Figura 3.6).

Para cumplir con las tres condiciones se iguala las ecuaciones 3.2 y 3.9:

$$AB = N_S * AB_{segmento} = (L - 1) * \Delta f$$

Reemplazando Δf (ecuación 3.10), se obtiene la siguiente expresión:

$$N_S * AB_{segmento} = (L - 1) * \frac{AB_{segmento}}{L_S}$$

Despejando L, se obtiene la ecuación 3.11:

$$L = (N_S * L_S) + 1 \quad (3.11)$$

La expresión anterior indica que para cumplir las 3 condiciones expuestas, es necesario tomar en cuenta una portadora adicional a las L necesarias para la transmisión, obteniendo así la ecuación para el cálculo del número total de portadoras dada en el estándar (ecuación 3.11) [1].

El menor número de portadoras que define el estándar, es 108 portadoras por segmento, reemplazando este valor en la ecuación 3.11 se obtiene:

$$L = (13 * 108) + 1 = 1405$$

Considerando la observación descrita anteriormente, para realizar los cálculos se utilizará el valor de 1404 portadoras, es decir, L=1404.

Reemplazando L en la ecuación 3.8 se tiene:

$$1404 = 6,80 * 10^6 * 33 * t_r \rightarrow t_r = 6,25 * 10^{-6}(s)$$

Los obstáculos entre la señal directa y el receptor pueden ser: elevaciones, edificios, grandes estructuras metálicas, etc.; de manera que la onda reflejada recorrerá una distancia mayor hacia el receptor. En la Figura 3.7 se muestra el recorrido la señal directa y reflejada hacia el receptor.

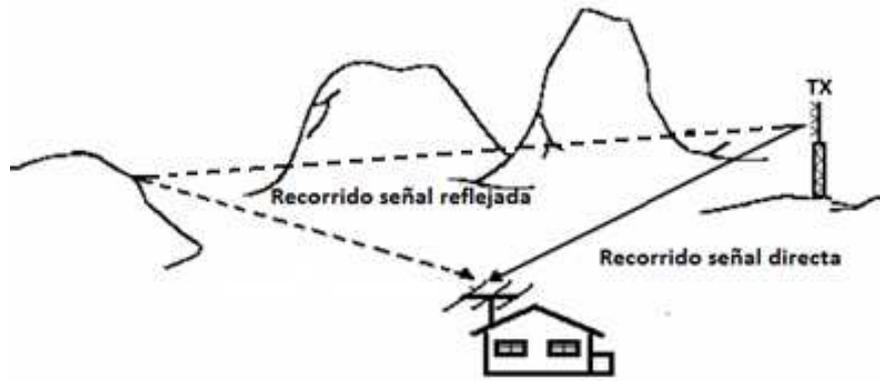
Para determinar la distancia que recorre la onda reflejada para llegar al receptor se usa la ecuación 3.12:

$$t_r = \frac{d}{c} \quad (3.12)$$

Donde:

c: Velocidad de la luz

d: Distancia recorrida por la onda reflejada



Fuente: [6], página 11

Figura 3.7 Recorrido de la señal directa y de la señal reflejada

$$d(\text{Km}) = t_r * \left(3 * 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \left[\frac{1\text{km}}{1000\text{m}} * \frac{1\text{s}}{10^6\mu\text{s}} \right] \right) = 0.3 * t_r (\mu\text{s})$$

Reemplazando el valor de t_r en microsegundos, se obtiene:

$$d = 0.3 * 6.25 = 1,875\text{Km}$$

Entonces, la señal reflejada, respecto del punto más lejano, recorre una distancia de 1,875Km.

A continuación se obtienen los valores de los parámetros restantes.

- Espacio entre portadoras:

$$\Delta f = \frac{AB_{\text{segmento}}}{L_S} = \frac{428,57\text{MHz}}{108} = 3,968\text{KHz}$$

- Tiempo útil de símbolo:

$$T_U = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{3,968\text{kHz}} = 252\mu\text{s}$$

El tiempo útil de símbolo cumple con la condición de ortogonalidad explicada en la Sección 1.1.3.

Finalmente, se determina la frecuencia de muestreo de la *IFFT*; con este valor se busca obtener un número entero de muestras durante el tiempo útil de símbolo (T_U), para ello se utiliza la ecuación 3.13:

$$f_{IFFT} = \frac{2^n}{T_U} \quad (3.13) [6]$$

Donde:

2^n : Número de portadoras que deben muestrearse.

Se debe tener en cuenta que para que todas las portadoras sean muestreadas, 2^n debe ser mayor o igual a L , entonces:

$$2^n \geq 1404, \quad \therefore n = 11$$

La frecuencia de muestreo es:

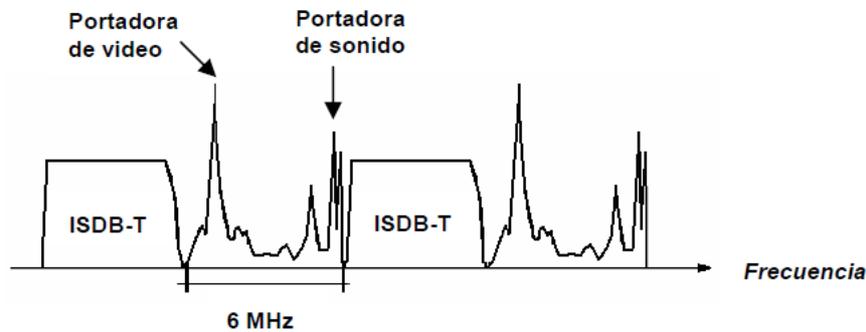
$$f_{IFFT} = \frac{2^{11}}{252 * 10^{-6} \text{seg}}$$

$$f_{IFFT} = 8,126 \text{ MHz}$$

3.1.3 BANDAS DE GUARDA

Al momento, la televisión analógica deja un canal de 6MHz de separación entre canales adyacentes para evitar la interferencia, por ello, en la etapa inicial de la implementación de la TDT se ocupará este espacio libre del espectro para transmitir

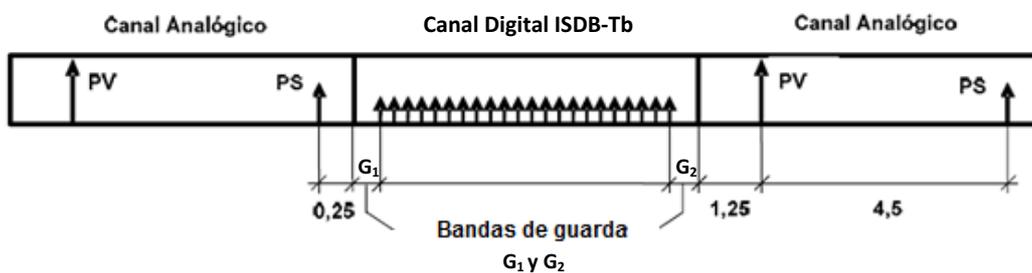
los canales de televisión digital, teniendo una transmisión *simulcast*⁵². En la Figura 3.8 se muestra cómo operarían los sistemas de televisión con transmisión *simulcast*.



Fuente: [6], página 17

Figura 3.8 Transmisión simulcast

En la Figura 3.9 se muestra la separación de la PS⁵³ y la PV⁵⁴ de los canales analógicos adyacentes al canal digital ISDB-Tb.



Fuente: [6], página 18

Figura 3.9 Espaciamento en frecuencia de canal ISDB-T con canales analógicos

Entonces, las separaciones en frecuencia son las siguientes:

- $S_1 = 0,25\text{MHz}$, entre la PS y la banda de guarda G_1 [6].
- $S_2 = 1,25\text{MHz}$, entre la PV y la banda de guarda G_2 [6].

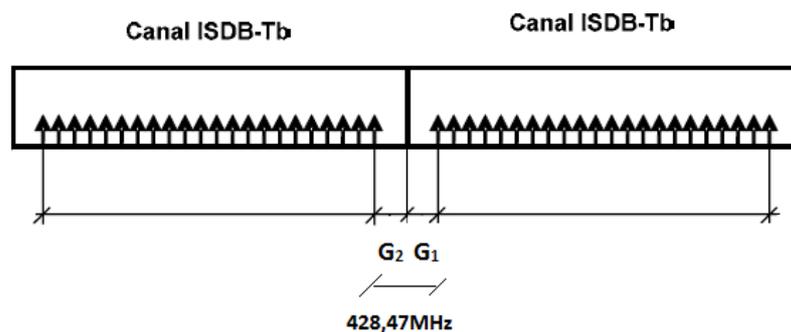
⁵² *SIMULCAST* (*Simultaneous broadcast*): Emisión simultánea de televisión analógica y digital.

⁵³ PS (Portadora de Sonido).

⁵⁴ PV (Portadora de Video).

En la Sección 3.1.1 se determinó que se tiene un segmento de 428,57kHz de ancho de banda para ser compartido por las bandas de guarda; en un inicio, asumir que cada banda de guarda ocupa la mitad del ancho de banda de este segmento es algo prematuro e injustificable. Por ello, para comprender el origen del valor de las bandas de guarda en ISDB-Tb, se debe partir del criterio usado para establecer los valores de las bandas de guarda para los canales analógicos.

La Figura 3.10 muestra a dos canales ISDB-Tb adyacentes y sus bandas de guarda.

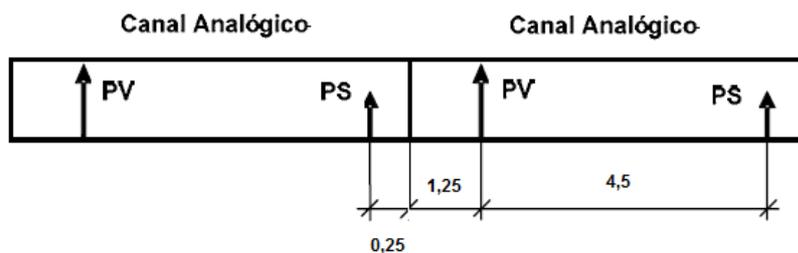


Fuente: [6], página 18

Figura 3.10 Bandas de guarda para canales ISDB-Tb

Para la transmisión *simulcast*, el estándar ISDB-Tb utiliza el criterio de la porción porcentual de espacio entre las portadoras PS y PV, para calcular el valor de las bandas de guarda G_1 y G_2 [6].

Para comprender este criterio, en la Figura 3.11 se puede observar que para televisión analógica, la banda de guarda inferior es de 1,25MHz y la superior es de 0,25MHz. Por lo tanto la separación entre la PS y la PV es de 1.5MHz.



Fuente: [6], página 18

Figura 3.11 Bandas de guarda para canales analógicos

Los valores presentados en la Tabla 3.1 corresponden a los resultados de la aplicación del criterio de la porción porcentual entre las portadoras PS y PV.

Tabla 3.1 Porción porcentual entre cada portadora y el límite del canal

VALORES REFERENCIALES TOMADOS DE LA TV ANALÓGICA	
Portadora de video y límite inferior del canal	$\frac{1,25}{1,50} \times 100 = 83,333\%$
Portadora de sonido y límite superior del canal	$\frac{0,25}{1,50} \times 100 = 16,666\%$

Fuente: [6]

Al aplicar estas relaciones a canales adyacentes que transmitan señal ISDB-Tb, se pueden obtener los valores de las bandas de guarda, como se muestra a continuación:

- Banda de guarda inferior G_1

$$\frac{G_1}{428,57} * 100 = 83,333\%$$

$$G_1 = 0,833 * AB_{segmento} = 0,8333 * 428,57 \text{ kHz} = 357,14 \text{ kHz}$$

- Banda de guarda superior G_2

$$\frac{G_2}{428,57} * 100 = 16,666\%$$

$$G_2 = 0,166 * AB_{segmento} = 0,166 * 428,57 \text{ kHz} = 71,42 \text{ kHz}$$

El estándar ISDB-TB define los valores de G_1 y G_2 de la siguiente manera:

$$G_1 = \frac{5}{14} \text{ MHz} = 357.14 \text{ KHz} \quad y \quad G_2 = \frac{1}{14} \text{ MHz} = 71.42 \text{ KHz}$$

Para la transmisión *simulcast* los valores de separación entre las portadoras de un canal analógico y las de un canal ISDB-Tb son los presentados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Bandas de guarda ISDB-Tb

VALORES REFERENCIALES ISDB-Tb	
Portadora de sonido y primera portadora activa OFDM	$S = 0,25 + 0,357 = 0,607 \text{ MHz}$
Portadora de video y última portadora activa OFDM	$S = 1,25 + 0,071 = 1,321 \text{ MHz}$

Fuente: [6]

3.1.4 OFF-SET DE LA FRECUENCIA CENTRAL DEL CANAL

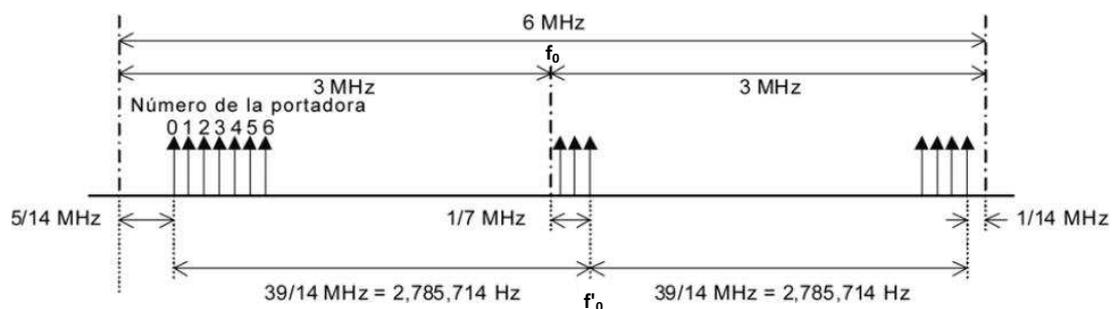
Si las bandas de guarda fueran simétricas, la frecuencia central f_0 sería 3MHz, pero debido a la asimetría de éstas, la frecuencia central se desplaza hacia la derecha. Para determinar el valor de la frecuencia central f_0' , primero se calcula el ancho de banda que ocupan seis segmentos y medio.

$$AB_{6 \text{ y } 1/2 \text{ segmentos}} = \frac{39}{14} \text{ MHz} = (6 + 0,5) * 428,57 \text{ kHz} = 2,785 \text{ MHz}$$

Entonces, la frecuencia central estará ubicada en la frecuencia que resulta de la suma del ancho de banda de la G_1 con el ancho de banda de los seis segmentos y medio.

$$f_0' = 0,357 \text{ MHz} + 2,785 \text{ MHz} = 3,14214 \text{ MHz}$$

Si se compara el valor de f_0' con el de f_0 , se puede evidenciar que la frecuencia f_0' se ha desplazado $1/7 \text{ MHz} = 0,14214 \text{ MHz}$, lo que se conoce como el off-set de $1/7$ de la frecuencia central del canal. Una explicación gráfica de lo anteriormente expuesto se presenta en la Figura 3.12.



Fuente: [1], página 58

Figura 3.12 Off-set de la frecuencia central

3.1.5 MODOS 2 Y 3 DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb

Para considerar las distancias entre los transmisores de una *SFN* y garantizar la adecuada recepción de la señal en receptores móviles, ante las variaciones de la frecuencia como consecuencia del efecto Doppler (aparente desplazamiento de la frecuencia debido al movimiento), el estándar ISDB-Tb presenta tres opciones de separación entre las portadoras *OFDM*, definidas como modos 1, 2 y 3. El número de portadoras y el tiempo útil de símbolo varían dependiendo del modo empleado; consecuentemente, variarán los parámetros que se calculan en base a estos valores [1].

Todos los resultados obtenidos anteriormente corresponden al modo 1 o modo 2K (debido a que $2^n=2048$) del sistema ISDB-Tb. En este modo existen cuatro configuraciones diferentes, cada una aplicada a un Δ diferente (1/4, 1/8, 1/16 y 1/32). Cabe mencionar que mientras el valor de Δ se incrementa, de igual forma lo hace el tiempo de guarda T_G , brindando la posibilidad de cubrir áreas más extensas sin interferencia; dado que el tiempo útil de símbolo permanece constante (número de portadoras constante), el tiempo de símbolo aumenta, afectando la condición $T_U \gg T_G$. Por tal motivo, el estándar ha definido dos modos adicionales, modos 2 y 3, para brindar la posibilidad de cubrir áreas más extensas, sin afectar ésta condición.

El estándar ha definido que el modo 2 presente una separación de portadoras equivalente a la mitad de la que se tiene en el modo 1, lo que conlleva a duplicar el valor del tiempo útil de símbolo, del intervalo de guarda y del número de portadoras, respecto del modo 1. Entonces, el número de portadoras del modo 2 será:

$$L_{modo\ 2} = 2 * 1404 = 2808$$

Aplicando el criterio de la ecuación 3.11

$$L_{modo\ 2} = 2808 + 1 = 2809$$

Para obtener la frecuencia de muestreo se utiliza la ecuación 3.13

$$f_{IFFT} = \frac{2^n}{T_U}$$

$$2^n \geq 2808, \quad \therefore n = 12$$

$$f_{IFFT} = \frac{2^{12}}{504 * 10^{-6} seg} = 8,126 MHz$$

Se puede evidenciar claramente que la frecuencia de muestreo es la misma que la del modo 1.

Los mismos criterios considerados para obtener los valores del modo 2 en base al modo 1, se aplican para obtener los valores del modo 3, modo 8K, en base al modo 2; es decir que la separación entre portadoras del modo 3 es la mitad de la separación entre portadoras del modo 2. En la Tabla 3.3 se muestran los parámetros correspondientes a cada modo.

Tabla 3.3 Parámetros ISDB-Tb modos 1, 2 y 3

	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Ancho de la banda de un segmento ($AB_{segmento}$)	3000/7=428,57kHz		
Separación entre frecuencias portadoras ($\Delta f = \frac{AB_{segmento}}{L_S}$)	3,968kHz	1,984kHz	0,992kHz
Número de portadoras por segmento (L_S)	108	216	432
Número de portadoras de datos por segmento (L_D)	96	192	384
Esquema de modulación de las portadoras	DQPSK	DQPSK	DQPSK
	QPSK	QPSK	QPSK
	16QAM	16QAM	16QAM
	64QAM	64QAM	64QAM
Símbolos por cuadro (S)	204		

Continuación Tabla 3.3

Tiempo útil del símbolo (T_U)		252 μ s	504 μ s	1008 μ s
Relación ($\frac{T_U}{T_G}$)	1/4	63 μ s	126 μ s	252 μ s
	1/8	31,5 μ s	63 μ s	126 μ s
	1/16	15,75 μ s	31,5 μ s	63 μ s
	1/32	7,875 μ s	15,75 μ s	31,5 μ s
Duración total de símbolo ($T_S = T_U + T_G$)	1/4	315 μ s	630 μ s	1260 μ s
	1/8	283,5 μ s	567 μ s	1134 μ s
	1/16	267,75 μ s	535,5 μ s	107 μ s
	1/32	259,87 μ s	519,75 μ s	1039,5 μ s
Duración total del cuadro ($S * T_S$)	1/4	64,2ms	128,52ms	257,04ms
	1/8	57,834ms	115,668ms	231,336ms
	1/16	54,621ms	109,242ms	218,484ms
	1/32	53,014ms	106,029ms	212,058ms
Frecuencia de muestreo de la IFFT		8,12698 MHz		
Codificador interno		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
Codificador externo		RS (204,188) ⁵⁵		
Número de segmentos (N_S)		13		
Ancho de banda (AB)		5,575MHz	5,573MHz	5,572 MHz
Número total de portadoras (L)		108*N _s +1=1405	216*N _s +1=2809	432*N _s +1=5617

Fuente: ABNT NBR 15601

Para determinar las tasas de transmisión R para los distintos valores de los intervalos de guarda y esquemas de modulación posibles es necesario utilizar la ecuación 3.5.

$$R(bps) = \frac{b_P * L}{T_S}$$

En esta ecuación no se ha considerado que existan portadoras de datos y de control, y que para el cálculo de la tasa de datos útil, sólo se toma en cuenta las portadoras de datos (L_D); tampoco se toma en cuenta los coeficientes de corrección, tanto del codificador interno como del externo.

⁵⁵ Codificador *Reed-Solomon*, el estándar ISDB-Tb siempre usa el valor de 188/204.

Al insertar bits de protección, la velocidad de transmisión de los datos disminuye, tal como se muestra en la ecuación 3.14.

$$R(bps) = K_o * K_I * \frac{b_P * L_D}{T_S} \quad (3.14)$$

Donde:

K_o: Coeficiente del codificador externo Reed-Solomon, de valor 188/204

K_I: Coeficiente del codificador convolucional o FEC (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 o 7/8)

b_p: Cantidad de bits transmitidos por portadora (2-QPSK, 4-16QAM y 6-64QAM)

L_D: Número de portadoras de datos (video, audio y datos) por segmento, $L = 13 * L_D$

T_S: Tiempo de símbolo

Al tomar en cuenta los cálculos realizados para obtener el modo 2, se puede afirmar que la tasa de transmisión es independiente del modo empleado, porque al aumentar el tiempo de símbolo aumenta el número de portadoras en la misma proporción.

La Tabla 3.6 muestra los valores de la tasa de datos para un segmento, calculados con la ecuación 3.14. Un ejemplo de cómo se obtienen estos valores se muestra a continuación:

$$K_o = 188/204$$

$$K_I = 3/4$$

$$b_P = 4 \text{ (16QAM)}$$

$$L_D = 192 \text{ (modo 2)}$$

$$T_S = 630\mu s \text{ } (\Delta = 1/4)$$

$$R(bps) = \frac{188}{204} * \frac{3}{4} * \frac{4 * 192}{630 * 10^{-6}} = 842,57kbps$$

Para comprobar que el modo de operación no influye en el valor de la tasa de datos, se hará el mismo cálculo para el modo 1:

$$L_D = 96 \text{ (modo 1)}$$

$$T_S = 315\mu\text{s} \text{ } (\Delta = 1/4)$$

$$R(\text{bps}) = \frac{188}{204} * \frac{3}{4} * \frac{4 * 96}{315 * 10^{-6}}$$

$$R(\text{bps}) = 842,57\text{kbps}$$

Tabla 3.4 Tasa de datos de un único segmento

Modulación de las portadoras	FEC	Tasa de datos (kbps)			
		Intervalo de guarda $\frac{1}{4}$	Intervalo de guarda $\frac{1}{8}$	Intervalo de guarda $\frac{1}{16}$	Intervalo de guarda $\frac{1}{32}$
DQPSK	1/2	280.85	312.06	330.42	340.43
	2/3	374.47	416.08	440.56	453.91
QPSK	3/4	421.28	468.09	495.63	510.65
	5/6	468.09	520.1	550.7	567.39
	7/8	491.5	546.11	578.23	595.76
16QAM	1/2	561.71	624.13	660.84	680.87
	2/3	748.95	832.17	881.12	907.82
	3/4	842.57	936.19	991.26	1021.3
	5/6	936.19	1040,21	1101,40	1134,78
	7/8	983	1092,22	1156,47	1191,52
64QAM	1/2	842.57	936.19	991.26	1021,30
	2/3	1123,43	1248,26	1321,68	1361,74
	3/4	1263,86	1404,29	1486,90	1531,95
	5/6	1404,29	1560,32	1652,11	1702,17
	7/8	1474,50	1638,34	1734,71	1787,28

Fuente: ABNT NBR 15601

La Tabla 3.5 muestra los valores de la tasa de datos para los 13 segmentos, calculados con la ecuación 3.14, pero se debe multiplicar el número de portadoras por trece. Un ejemplo de cómo se obtienen estos valores se muestra a continuación:

$$K_o = 188/204$$

$$K_l = 7/8$$

$$b_p = 6 \text{ (64QAM)}$$

$$L_D = 384 \text{ (modo 3)} \rightarrow L = 13 * 384 = 4992$$

$$T_S = 1039,5\mu s \ (\Delta = 1/32)$$

$$R(\text{bps}) = \frac{188}{204} * \frac{7}{8} * \frac{6 * 4992}{1039,5 * 10^{-6}} = 23,23\text{Mbps}$$

De igual manera, para comprobar que el modo de operación no influye en el valor de la tasa de datos se hará el mismo cálculo para el modo 2:

$$L_D = 192 \ (\text{modo 2}) \rightarrow L = 13 * 192 = 2496$$

$$T_S = 519,75\mu s \ (\Delta = 1/32)$$

$$R(\text{bps}) = \frac{188}{204} * \frac{7}{8} * \frac{6 * 2496}{519,75 * 10^{-6}} = 23,23\text{Mbps}$$

Tabla 3.5 Tasa de datos para 13 segmentos

Modulación de las portadoras	FEC	Tasa de datos (Mbps)			
		Intervalo de guarda 1/4	Intervalo de guarda 1/8	Intervalo de guarda 1/16	Intervalo de guarda 1/32
DQPSK QPSK	1/2	3,651	4,056	4,295	4,425
	2/3	4,868	5,409	5,727	5,900
	3/4	5,476	6,085	6,443	6,638
	5/6	6,085	6,761	7,159	7,376
	7/8	6,389	7,099	7,517	7,744
16QAM	1/2	7,302	8,113	8,590	8,851
	2/3	9,736	10,818	11,454	11,801
	3/4	10,953	12,170	12,886	13,276
	5/6	12,170	13,522	14,318	14,752
	7/8	12,779	14,198	15,034	15,489
64QAM	1/2	10,953	12,170	12,886	13,276
	2/3	14,604	16,227	17,181	17,702
	3/4	16,430	18,255	19,329	19,915
	5/6	18,255	20,284	21,477	22,128
	7/8	19,168	21,298	22,551	23,234

Fuente: ABNT NBR 15601

3.1.6 ANCHO DE BANDA

En la Sección 3.1.1 se calculó un ancho de banda de la señal, de 5,571 MHz (modo 1); sin embargo, para la radiodifusión de TDT, el estándar emplea un ancho de banda de 5,7 MHz, independientemente del modo empleado; este ancho de banda se adopta para asegurar que la portadora del límite inferior y del límite superior de la banda incluya el 99% de energía [1].

$$AB_{señal} = 5,7 \text{ MHz}$$

3.1.7 TRANSMISIÓN EN CAPAS JERÁRQUICAS

3.1.7.1 CAPAS JERÁRQUICAS [6]

ISDB-Tb emplea *OFDM* de banda segmentada, es decir que permite transmitir la señal en capas jerárquicas; cada capa jerárquica consiste de uno o más segmentos y se puede configurar con diferentes características. Se pueden definir hasta tres capas jerárquicas (A, B y C), con la posibilidad de especificar en cada una el esquema de modulación de las portadoras *OFDM*, la tasa de codificación interna y el número de segmentos.

Cada capa jerárquica se caracteriza por llevar diferentes servicios.

- A la capa jerárquica A se le asigna el segmento central para la transmisión del servicio *one-seg*.
- A la capa jerárquica B se le asigna segmentos para la transmisión del servicio *HD*.
- A la capa jerárquica C se le asigna segmentos para la transmisión del servicio *SD*.

La ventaja del uso de las capas jerárquicas radica en enviar diferentes servicios con diferentes características. Por ejemplo, para la capa jerárquica A, generalmente se utiliza una modulación QPSK y un código convolucional de alta redundancia de bits; esto se debe a que un canal de baja definición no requiere de una alta tasa de datos y a que se desea tener una señal robusta que pueda ser receptada en cualquier lugar dentro del área de cobertura. Para un canal *HD*, se requiere una alta tasa de datos por lo que se debe tener una modulación 64QAM y un código convolucional de baja redundancia de bits, obteniendo una señal poco robusta y disponible en algunos lugares dentro del área de cobertura. Un ejemplo gráfico de lo anteriormente expuesto se puede ver de mejor forma en la Figura 3.3.

Se debe recordar que en la Sección 1.2.3 de este documento, se dijo que el segmento cero puede ser asignado para transmitir cualquier servicio. La Figura 3.13 muestra los 13 segmentos asignados a un solo servicio.

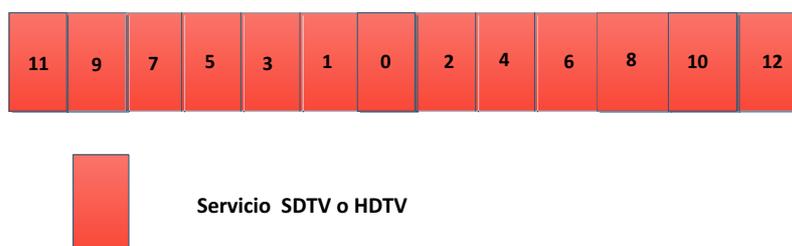


Figura 3.13 Segmentos disponibles para cada capa jerárquica

El radiodifusor es el encargado de decidir cuántos servicios desea transmitir y por ende, cuántos segmentos serán asignados a cada capa jerárquica, dependiendo de la tasa de datos que requiera y de la robustez deseada para la señal; entonces, debe especificar el esquema de modulación de las portadoras y la codificación interna aplicados a cada capa jerárquica.

En la Figura 3.14 se muestran algunos ejemplos para la asignación de los 13 segmentos a cada capa jerárquica.

Debido a la posibilidad de tener transmisión en capas jerárquicas, se puede determinar la tasa de datos de cada capa jerárquica con la ecuación 3.15:

$$R(bps) = K_o * K_l * \frac{b_p * N_C * L_D}{T_S} \quad (3.15)$$

Donde:

K_o: Coeficiente del codificador externo Reed Solomon, de valor 188/204

K_l: Coeficiente del codificador convolucional o FEC (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 o 7/8)

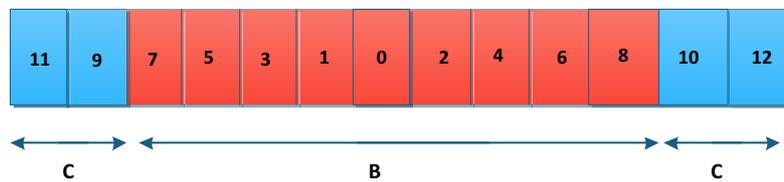
b_p: Cantidad de bits transmitidos por portadora (2-QPSK, 4-16QAM y 6-64QAM)

N_C: Número de segmentos asignados a la capa jerárquica

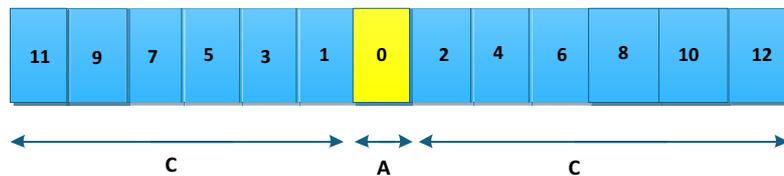
L_D: Número de portadoras de datos (video, audio y datos)

T_S: Tiempo de símbolo

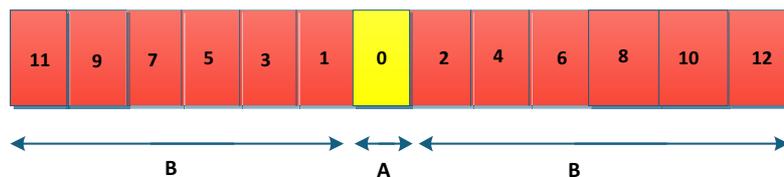
Ejemplo a)



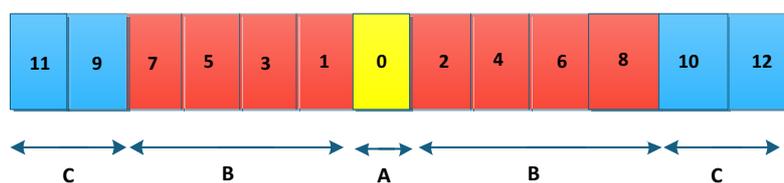
Ejemplo b)



Ejemplo c)



Ejemplo d)



Servicio *one-seg*



Servicio de HDTV



Servicio de SDTV

Figura 3.14 Ejemplos de asignación de segmentos

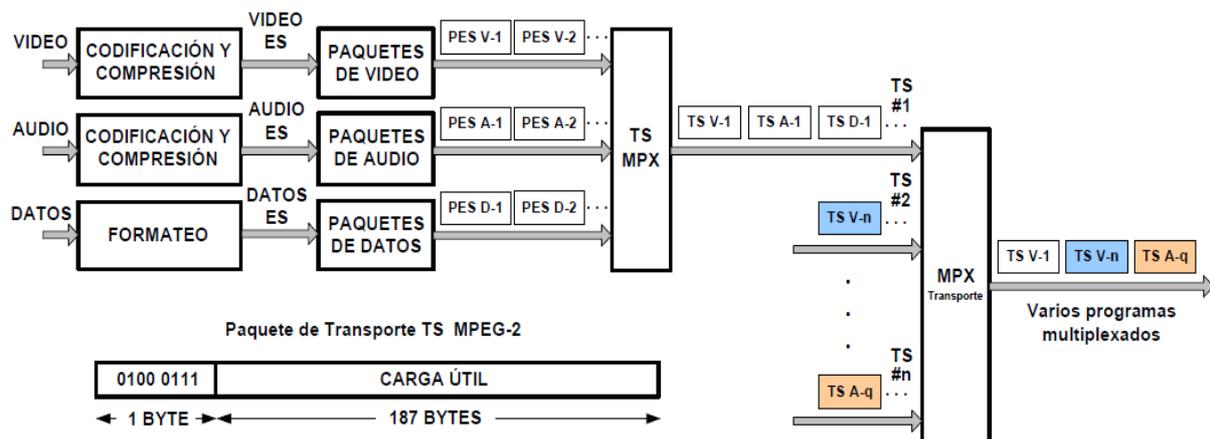
3.1.7.2 TRANSPORT STREAM (TS) [3] [6]

El *transport stream* o flujo de transporte es un formato especificado en MPEG-2 cuyo objetivo es multiplexar el video, el audio y los datos, y sincronizarlos para obtener un solo flujo de transporte.

Para obtener el *transport stream*, primero, se deben comprimir las señales de audio y video y se debe dar formato a los datos, formando el ES⁵⁶ de cada una de las 3 señales; posteriormente, se crean tramas de datos de longitud variable PES⁵⁷ y finalmente se lleva a cabo un primer nivel de multiplexación para combinar el audio, video y datos en un solo flujo de paquetes de longitud constante, 188bytes, que es el *transport stream* de un solo programa.

Para la multiplexación de varios programas en un TS se usa un segundo nivel de multiplexación; por ejemplo, para multiplexar un canal *one-seg*, un *SD*, un *HD*, los datos y la interactividad.

El proceso para obtener el *transport stream* se muestra en la Figura 3.15.



Fuente: [6], página 28

Figura 3.15 Transport stream para ISDB-Tb

⁵⁶ ES (Elementary Stream): Flujo Elemental de datos.

⁵⁷ PES (Packet Elementary Stream): Paquetes de Flujo Elemental.

En primer lugar se comprimen el audio, video y los datos, se forman los ES, luego se crean las tramas PES de video (PES V-1, PES de video 1), audio (PES A-1, PES de audio 1) y datos (PES D-1, PES de datos 1). Una vez obtenidos los PES se procede a multiplexarlos para obtener el TS#1 (TS del programa 1). Para multiplexar varios programas, TS#2 en azul, TS#3 en naranja, o n programas, se utiliza un segundo nivel de multiplexación para tener un solo flujo de transporte.

3.1.7.3 BROADCAST TRANSPORT STREAM (BTS)

Debido a que MPEG-2 no fue diseñado para la transmisión en capas jerárquicas y transmisión en modo parcial⁵⁸, los desarrolladores del estándar ISDB-T adaptaron el *transport stream* para la transmisión en capas jerárquicas y recepción parcial, utilizando la re-multiplexación.

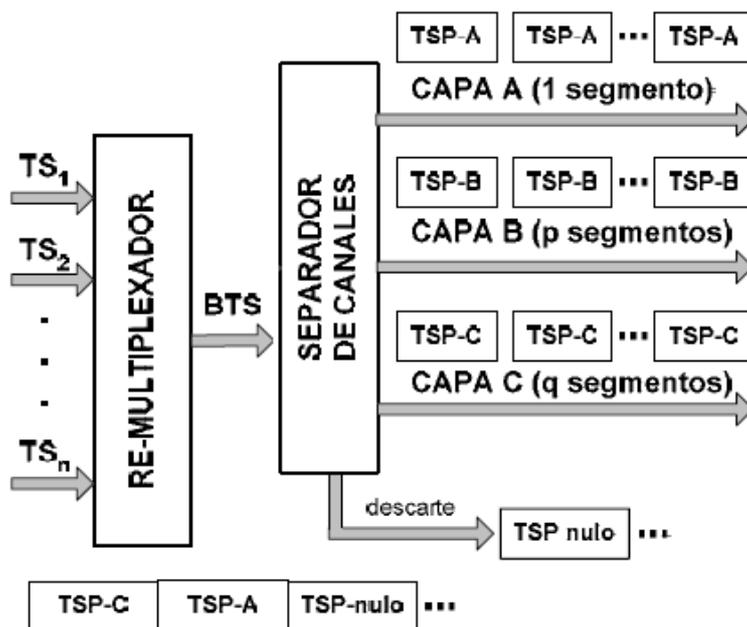
La re-multiplexación consiste en la utilización de un re-multiplexor, que se encarga de multiplexar diferentes servicios y agregar a los TS 16 bytes, posibilitando la transmisión en capas jerárquicas y en modo parcial.

- En este proceso se forman nuevos paquetes denominados TSP⁵⁹ de longitud 204 bytes (188 bytes del TS más los 16 bytes añadidos).
- En los 16 bytes se agrega la siguiente información: indicador de capa jerárquica, contador de TSP, cabecera de cuadro, información auxiliar, entre otros.
- A la salida del re-multiplexor se tiene un flujo sincrónico denominado BTS, de tasa constante de 32,5079Mbps; para mantener la tasa de 32,5079Mbps, el re-multiplexor puede añadir TSP nulos.

⁵⁸ Transmisión utilizada para la recepción de dispositivos móviles y portátiles mediante el segmento central o *one-seg* [3].

⁵⁹ TSP (*Transport Stream Packet*): Paquetes de Flujo de Transporte.

En la Figura 3.16 se muestra cómo ingresan los TS al re-multiplexor, en éste se agregan los 16 bytes, formando los paquetes TSP, luego se los posiciona y dispone, TSP-C, TSP-A, etc., para la transmisión del BTS; a continuación el BTS entra en el separador de canales, descarta los TSP nulos y envía cada TSP a la capa jerárquica correspondiente, ahí se modulan las portadoras y se aplica el código convolucional, obteniendo las tasas de datos de las Tablas 3.4 y 3.5.



Fuente: [6], página 29

Figura 3.16 Broadcast transport stream para ISDB-Tb

3.2 NORMA TÉCNICA ABNT NBR 15604 (TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE —RECEPTORES)

3.2.1 SENSIBILIDAD EN EL RECEPTOR

Para los receptores ISDB-Tb o set top boxes, la norma técnica recomienda que el nivel mínimo de la señal a la entrada de la antena sea de -77dBm y el nivel máximo de la señal sea de -20dBm.

Los parámetros que la norma técnica ha definido para el cálculo del nivel mínimo de señal a la entrada del receptor son:

- C/N de 19 dB;
- Modulación 64QAM;
- Código convolucional de 3/4;
- BER 2×10^{-4} después de la corrección de la codificación interna.

Tabla 3.6 Nivel mínimo de entrada

FACTOR	SÍMBOLO	VALOR	FÓRMULA ó COMENTARIOS
Ancho de banda	B	5,7 MHz	
Constante de Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$	
Temperatura absoluta	T	290°K	
Ruido térmico	N_t	-106,4 dB	$N_t = 10 \log(kTB) + 30$ (Se suma 30 para transformar de dBW a dBm)
Figura de ruido del receptor ⁶⁰	N_r	10 dB	Basado en ensayos de laboratorio realizados en Brasil
Entrada de C/N [Sistema digital]	C/N	19 dB	Tomado de las curvas del Anexo D1 (modulación 64QAM y FEC 3/4)
Mínima potencia de señal	P_s	-77,4 dBm	$P_s = N_t + N_r + C/N$

Fuente: ABNT NBR 15604

3.2.2 SELECTIVIDAD Y RELACIÓN DE PROTECCIÓN

Para el cálculo de las relaciones de protección, la norma técnica ha utilizado los siguientes parámetros:

- Modo 3
- Intervalo de guarda de 1/8
- Modulación 64-QAM
- Codificación interna de 3/4
- No considera el time interleaving

Para los receptores móviles (*one-seg*) se presume una mejora en el desempeño para las interferencias co-canal, debido a que el segmento central se encuentra separado de las portadoras de audio y video, si los canales adyacentes son analógicos, y a que existe significativa separación de las frecuencias, si los canales

⁶⁰ Es el cociente entre la S/N a la entrada y la S/N a la salida cuando el ruido a la entrada es el de una impedancia a temperatura ambiente $T_0=290^\circ\text{K}$.

adyacentes son digitales. Las relaciones de protección para un receptor Full-Seg⁶¹ se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Relación de protección del receptor Full-Seg

Señal interferente	Ítem		Relación de protección
Transmisión analógica	Co-canal		+ 18 dB o menor
	Canal adyacente inferior	UHF	- 33 dB o menor
		VHF	-26 dB o menor
	Canal adyacente superior	UHF	-35 dB o menor
		VHF	- 26 dB o menor
	Transmisión digital	Co-canal	
Canal adyacente inferior		UHF	- 26 dB o menor
		VHF	- 24 dB o menor
Canal adyacente superior		UHF	- 29 dB o menor
		VHF	- 24 dB o menor

Fuente: ABNT NBR 15604

3.3 REFERENCIAS

- [1] ASOCIACIÓN BRASILEÑA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). *ABNT NBR 15601 televisión digital terrestre sistema de transmisión*, Documento electrónico http://www.abnt.org.br/imagens/Normalizacao_TV_Digital/ABNTNBR15601_2007Vc_2008.pdf Consultado el 10 de septiembre de 2011
- [2] ASOCIACIÓN BRASILEÑA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). *ABNT NBR 15604 televisión digital terrestre receptores*, Documento electrónico http://www.dtv.org.br/download/es-es/ABNTNBR15604_2007Esp_2008.pdf Consultado el 10 de septiembre de 2011
- [3] GUILLÉN, Esperanza (2007). *Estudio y propuesta de la factibilidad técnica, social y económica del sistema SBTVD-T (sistema brasileño de televisión digital terrestre) en el Ecuador*, Documento electrónico Consultado el 20 de noviembre de 2011

⁶¹ Receptor que recibe señales de canales SD, HD y LD (móvil y portátil).

- [4] JARA, Alfonso (2005). *Multiplexación por división de frecuencia ortogonal codificada (COFDM)*, Documento electrónico <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcij.37m/doc/bmfcij.37m.pdf> Consultado el 28 de marzo de 2011

- [5] JIMÉNEZ, María Soledad (2010). *Folleto de comunicación digital*. Quito: Escuela Politécnica Nacional

- [6] PISCIOTTA, Néstor (2010). Sistema ISDB-Tb (Primera Parte), Documento electrónico <http://www.eradigital.com.ar/blog/wp-content/uploads/2010/09/Sistema-ISDB-Tb-Primera-parte.pdf> Consultado el 22 de marzo de 2011

- [7] PISCIOTTA, Néstor (2011). C/N ISDB-Tb, Documento electrónico enviado por e-mail el 29 de septiembre de 2011

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA RED DE FRECUENCIA ÚNICA Y SU SIMULACIÓN

Para realizar el diseño de la red de frecuencia única, se debe definir la función de cada uno de los elementos que conforman el sistema de TDT, de acuerdo al estándar ISDB-Tb. En la Figura 4.1 se presenta el diagrama de bloques del sistema de transmisión en su totalidad.

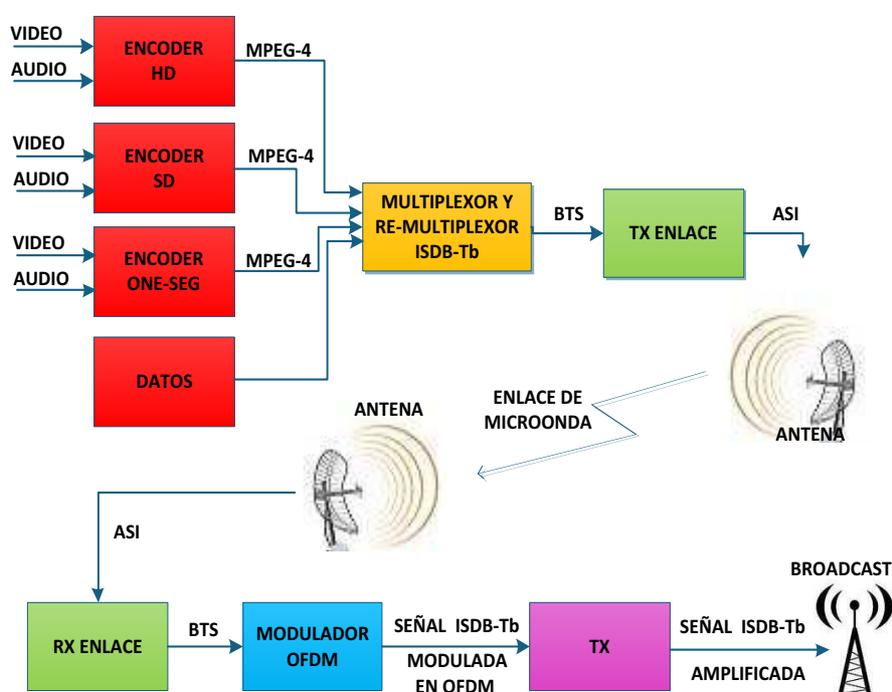


Figura 4.1 Diagrama de bloques del sistema de transmisión

Cabe recalcar que para realizar el diseño, no se considera la infraestructura y el equipamiento necesarios para la producción de contenidos, por lo que el diseño toma como punto de partida la programación lista para su compresión y posterior transmisión al público.

En primer lugar se comprimen las señales de audio y video por medio del uso de *encoders MPEG-4*; posteriormente, se colocan estas señales con los datos en el

multiplexor ISDB-Tb, para formar el *BTS*. La información se debe transportar desde el estudio hasta el lugar donde se realiza la difusión de la señal; para lo cual se ha optado por emplear enlaces de microondas, porque son los que actualmente se usan para la transmisión de televisión analógica. Se ha decidido que lo más conveniente es transportar el *BTS* en el enlace de microondas, debido a que se desea evitar la instalación de un multiplexor ISDB-Tb junto a cada transmisor, ya que esto implicaría un mayor costo para el sistema de televisión; además, la tasa de datos del *BTS* es fija y por ende no depende del número ni de la calidad de la imagen que se desea transmitir.

Una vez recibido el *BTS* en el receptor del enlace, esta señal pasa al modulador *OFDM*, obteniendo las miles de portadoras moduladas y multiplexadas que conforman la señal *OFDM*. Finalmente, se realiza la conversión de frecuencia y se amplifica la señal, para que a través de la antena transmisora se realice la difusión de la señal ISDB-Tb a los diferentes receptores ubicados dentro del área de cobertura, ya sean estos: un televisor conectado a un set top box o un televisor con receptor ISDB-Tb incorporado. El detalle de los parámetros a configurarse en cada uno de los bloques, además de información adicional, se va a detallar en el desarrollo del diseño.

Para iniciar el diseño de la red de frecuencia única, se ha considerado que los sistemas de televisión utilizarán la infraestructura de transmisión que actualmente disponen, caso contrario tendrían que realizar una fuerte inversión innecesaria para montar una nueva infraestructura y adquirir el equipamiento necesario para su funcionamiento. Por lo tanto, se va a disponer de 2 transmisores —uno ubicado en el cerro Pichincha y otro en el cerro Atacazo—, para cubrir la zona geográfica P. El uso de un segundo transmisor se debe a que el transmisor ubicado en el cerro Pichincha no brinda cobertura al sur de la ciudad de Quito y a la ausencia de línea de vista desde el cerro Pichincha al cerro Atacazo, impidiendo el uso de un *gap-filler*. Se debe tener en cuenta que existe línea de vista entre el estudio y el cerro Atacazo, además de la infraestructura necesaria para la instalación de un transmisor digital. Para enviar el *BTS* desde el estudio a cada uno de los transmisores se utilizarán dos enlaces de microondas.

Para el diseño de la red de frecuencia única, se ha escogido el canal 47 UHF, que actualmente se encuentra transmitiendo la señal ISDB-Tb y está asignado para que la Superintendencia de Telecomunicaciones realice pruebas de TDT. La transmisión será en *simulcast* debido a que se tienen 2 canales analógicos adyacentes, el canal 46 UHF —inferior— y el canal 48 UHF —superior—. Para el canal 47 se tiene el rango de frecuencia desde los 668MHz hasta los 674MHz y siguiendo la explicación de la Sección 3.1.4, la frecuencia central en la que operarán los transmisores es 671,142MHz.

El orden con el que se determinan los valores de los parámetros ISDB-Tb (modo, intervalo de guarda, *FEC*, modulación digital y tasa de datos) que se deben configurar para la operación del sistema de TDT, se debe respetar, porque al variar el valor de uno de ellos, se ven afectados los demás. Por ello, el primer parámetro ISDB-Tb que se debe elegir es el modo, pero éste depende de la distancia que recorre la onda reflejada hasta el receptor más lejano (d), que a su vez se deriva de la topología de la red. Entonces, lo primero que se debe definir es la topología de la red, luego calcular el valor de la distancia d y finalmente determinar el tiempo de retardo de las señales reflejadas, para definir el modo en el que operará la *SFN*.

Para definir los parámetros ISDB-Tb restantes, se debe establecer la tasa de datos que requiera cada capa jerárquica, según el número de programaciones simultáneas y la calidad de imagen que se desee transmitir, considerando que si se da una mayor robustez a la señal, el área de cobertura será mayor, pero la tasa de datos que se puede transmitir disminuirá; y, consecuentemente se debe disminuir el número de programaciones simultáneas y/o la calidad de las mismas.

4.1 PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL DISEÑO

4.1.1 TOPOLOGÍA

Debido a que este diseño se realiza basándose en la infraestructura que actualmente dispone la estación de televisión Ecuador TV, en operación, y considerando que el lugar más idóneo para dar servicio a la principal ciudad de la

zona geográfica P, Quito, es el cerro Pichincha, se ha decidido mantener este sitio de transmisión para operar en televisión digital terrestre, y mantener también el cerro Atacazo como sitio de transmisión para cubrir la zona de sombra que se presenta al sur de la ciudad. Como se demostrará más adelante, al operar los transmisores en estos sitios se cubre la mayoría de las zonas pobladas dentro de la zona geográfica P; por lo tanto, para cubrir las pequeñas zonas de sombra que persistan se utilizarán *gap-fillers*.

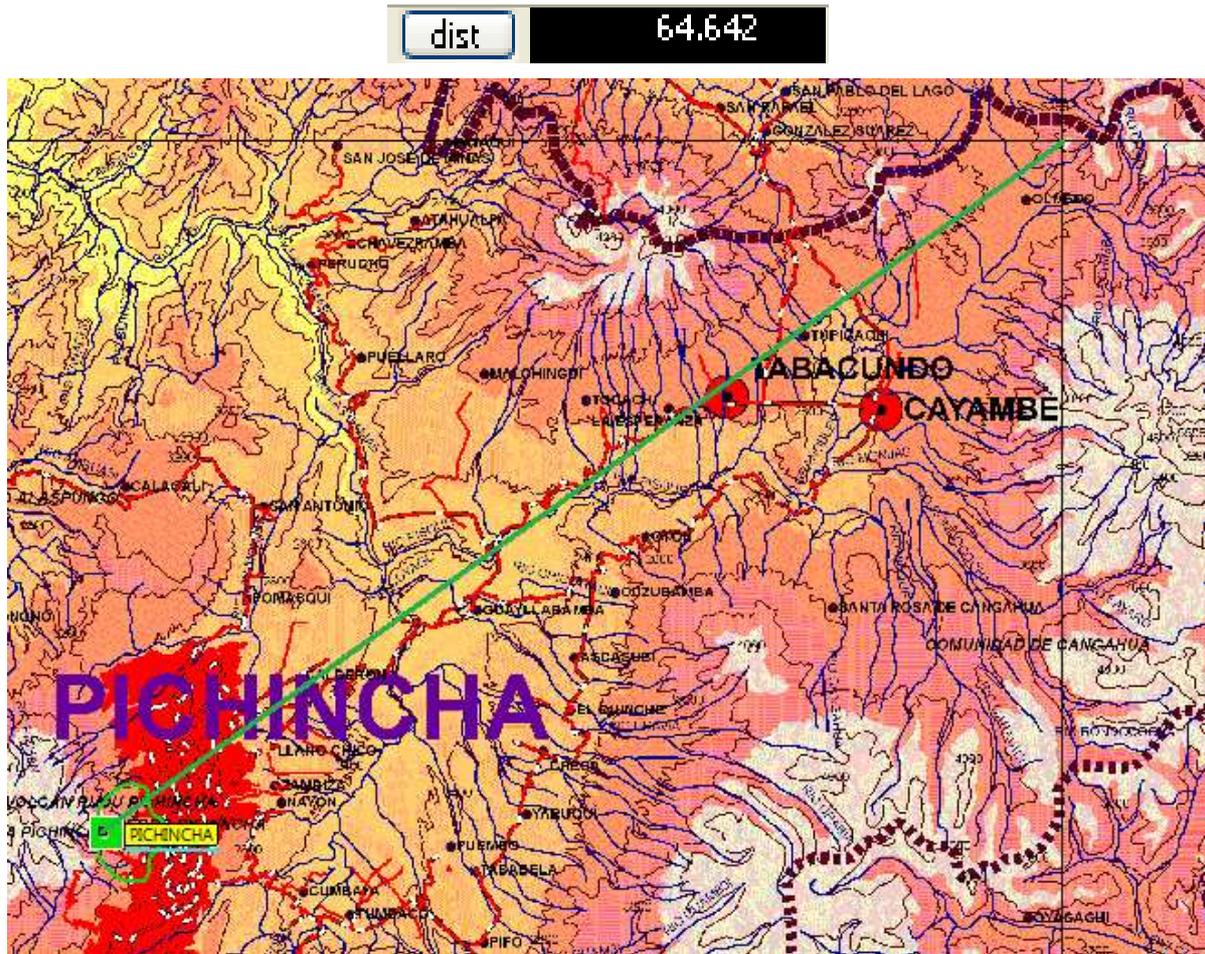
De acuerdo a lo antes mencionado, la topología de la red de frecuencia única quedará configurada como una red de ámbito extenso, con dos transmisores y múltiples *gap-fillers*; además, será descentralizada, debido a que los moduladores se ubicarán en el lugar donde se encuentra el sistema de transmisión; esto se debe a que la información que se transportará a través del enlace de microondas entre el estudio y el transmisor será el BTS.

Como se dijo anteriormente, la generación de todos los servicios a transmitirse y la multiplexación de los mismos se realizará en el estudio; esto significa que tanto el *transport stream*, como el *broadcast transport stream* se crearán en el estudio, posibilitando la transmisión de este último a través del enlace de microondas.

Para el caso de la zona geográfica P, el punto de reflexión más lejano está en el límite de la provincia de Pichincha con la provincia de Imbabura, ubicado a una distancia de 65Km —obtenido en ICS Telecom—, como se muestra en la Figura 4.2.

Para obtener la distancia se coloca un punto de referencia, presionando la tecla F2, en el lugar donde se encuentra el transmisor y se mueve el cursor hasta el punto donde se encuentran algunas elevaciones al norte de la población de Olmedo, en el límite de la provincia de Pichincha con la provincia de Imbabura, que representa el punto de reflexión más lejano, respecto al transmisor ubicado en el cerro Pichincha. De esta forma, ICS Telecom, determina la distancia entre los puntos, mostrando el valor, en kilómetros, en el espacio junto a la palabra *dist*.

Cabe mencionar, que previamente se determinó la distancia a otros puntos en el límite de la zona geográfica P, encontrando el punto de reflexión más lejano.



Fuente: ICS Telecom

Figura 4.2 Distancia máxima entre el transmisor en el cerro Pichincha y el objeto reflectante

4.1.2 MODO E INTERVALO DE GUARDA

Para determinar el tiempo de retardo de las señales multitrayectoria, se tomó la peor condición, ésta se presenta cuando un receptor está ubicado junto al transmisor y por ende, la señal reflejada recorrerá una distancia total de 130Km (“d” de ida y “d” de regreso), entonces, el tiempo de retardo de la señal reflejada se puede calcular con la ecuación 3.12:

$$t_r = \frac{d}{c} = \frac{130 * 10^3 m}{3 * 10^8 \frac{m}{s}} = 433,34 \mu s$$

Para poder garantizar que las señales multitrayectoria no produzcan interferencia propia de la red, el tiempo de guarda debe ser de por lo menos 433,34 μ s.

En la Tabla 3.3 se presentaron los parámetros ISDB-Tb para los modos 1, 2 y 3, donde se evidencia que el máximo tiempo de guarda que se puede tener en ISDB-Tb es de 252 μ s; entonces, se procede a calcular la distancia que recorrería la señal reflejada para este tiempo de retardo.

$$d = t_r * c = 252\mu s * 3 * 10^8 \frac{m}{s} = 75,6Km$$

Esto significa que la señal reflejada podrá recorrer hasta 75,6Km para no producir interferencia propia de la red. Para señales multitrayectoria que recorran más de 75,6Km se debe realizar una corrección, dada en la Sección 4.2.1.

Por lo tanto, la red de frecuencia única operará en el Modo 3 (8K) con un intervalo de guarda de (1/4 T_U). Los parámetros: tiempo de símbolo e intervalo de guarda para este modo se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Intervalos de guarda para modo 3 (8k)

MODO 3		
1008 μ s	T_G	
	1/4 T_U	252 μ s
	1/8 T_U	126 μ s
	1/16 T_U	63 μ s
	1/32 T_U	31,5 μ s

Fuente: Sistema ISDB-Tb

Los parámetros en los que operará la red de frecuencia única se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Características de tiempo para modo 3(8k) y $\Delta=1/4$

Tiempo de guarda (T_G)	252 μ s
Tiempo útil de símbolo (T_U)	1008 μ s
Tiempo total de símbolo ($T_S=T_G+T_U$)	1260 μ s

4.1.3 PROGRAMACIÓN

Para determinar la señal que se transmitiría en la SFN, se han tomado como referencia diferentes aspectos:

- El estándar ISDB-Tb, permite organizar la información a transmitirse en capas jerárquicas (A, B y C), donde en cada capa se tiene un determinado número de segmentos, tal como se explicó en la Sección 3.1.7.
- Los sistemas de televisión en el país no tienen la factibilidad de comprar o producir suficiente programación para ofrecer al televidente, entonces el ofrecer un gran número de canales, por ejemplo 4 canales *SD*, significaría que los sistemas de televisión tengan que comprar o producir un gran número de programas para ofrecer a la teleaudiencia; además, la dificultad de generar contenidos en *HD*, por su elevado costo, hace que los sistemas de televisión en el Ecuador, actualmente, no produzca contenidos en *HD*.
- Al momento, Ecuador no tiene ningún marco regulatorio en el que se establezcan las características de la señal a transmitir; por ello, se utilizará la información obtenida de las experiencias de los países de la región, que están implementando y tienen un marco regulatorio para la TDT, los cuales se mencionaron en el capítulo 2.

Para el diseño de la red de frecuencia única se decidió transmitir 3 canales de televisión en los 6MHz (1*HD* de 1080i, 1*SD* de 480p y un *one-seg* o *LD* de 240p); esta decisión fue tomada pensando en la calidad de imagen que se puede ofrecer a los diferentes tipos de receptores que poseen los televidentes hoy en día, pues quienes poseen un televisor LCD, plasma o LED, pueden aprovechar la calidad de imagen que brinda un canal en alta definición; los que posean televisores de tubo de cañón, pueden ver un canal *SD* con mejor definición, que la que se dispone actualmente; mientras que los que adquieran un receptor móvil o un teléfono celular con recepción ISDB-Tb pueden sintonizar la programación en el canal *LD*. Cabe mencionar que tanto los televisores de tubos de cañón como los de nuevas

tecnologías como LCD, LED o plasma, pueden sintonizar cualquiera de las tres programaciones, ya sea que usen un set top box o un sintonizador ISDB-Tb incorporado, con recepción *full-seg*.

Para la selección de los parámetros de cada capa jerárquica, primero se considerará el canal *LD*, debido a que ocupa un segmento, el segmento central "0", y es el primero en ser detectado por el receptor. Posteriormente se analizará el número de segmentos que serán asignados tanto al canal *HD* como al *SD*.

El aspecto más importante a tomarse en cuenta para la elección de los parámetros de cada capa jerárquica es el conocer la tasa de datos de las señales *HD*, *SD* y *LD*, en base a una comparación entre *MPEG-2* y *MPEG-4*. La principal diferencia tomada en cuenta para este trabajo fue que *MPEG-4* duplica la capacidad de transporte de *MPEG-2*; en la Tabla 4.3 se muestra esta diferencia en las tasas de datos para un canal *HD*, *SD* y *LD* [10].

Tabla 4.3 Tasa de datos para los diferentes tipos de canales en MPEG-2 y MPEG-4

Resolución	MPEG-2 (Mbps)	MPEG-4 (Mbps)
1080i	16-20	8-10
1080p	24-30	12-16
720p	12-16	6-8
480i/480p	2-6	1-3
240p	0,4-1,4	0,2-0,7

Fuente: [10]

Para determinar la tasa de datos de cada capa jerárquica se han tomado las siguientes consideraciones:

- Por las experiencias en la implementación de ISDB-Tb de algunos países de la región como Brasil y Argentina, la tasa adecuada para transmitir un canal *LD* o *one-seg*, con buena calidad de imagen, es 400kbps aproximadamente; entonces, para obtener un valor cercano en la capa jerárquica A, se ha escogido una modulación QPSK con FEC 2/3. Utilizando la ecuación 3.15, se obtiene el siguiente resultado:

$$R(\text{bps}) = K_o * K_I * \frac{b_P * N_C * L_D}{T_S} = \frac{188}{204} * \frac{2}{3} * \frac{2 * 1 * 384}{1260 * 10^{-6}}$$

$$R(\text{bps}) = 374478,68 = 374,48\text{kbps}$$

Con este resultado se tiene un valor cercano a 400kbps, y debido a que se eligió una modulación QPSK y un FEC de 2/3 se tendrá una señal robusta, que puede ser sintonizada en cualquier lugar dentro del área de cobertura.

Al utilizar un segmento para ofrecer un canal *LD*, quedan 12 segmentos disponibles para ofrecer los canales *HD* y *SD*. A continuación se determinará el número de segmentos y la tasa de datos para un canal *HD*:

- Nuevamente, por las experiencias en la implementación de ISDB-Tb de Brasil y Argentina, una tasa de datos de 10Mbps para un canal *HD*, permite tener una excelente calidad de imagen; por tal motivo, se han asignado 9 segmentos, una modulación 64QAM y un FEC de 3/4. Utilizando la ecuación 3.15, se obtiene el siguiente resultado:

$$R(\text{bps}) = K_o * K_I * \frac{b_P * N_C * L_D}{T_S} = \frac{188}{204} * \frac{3}{4} * \frac{6 * 9 * 384}{1260 * 10^{-6}} = 113747899 = 11,37\text{Mbps}$$

- Finalmente, para el canal *SD* se utilizarán los 3 segmentos restantes, una modulación 16QAM y un FEC de 2/3. Utilizando la ecuación 3.15, se obtiene el siguiente resultado:

$$R(\text{bps}) = K_o * K_I * \frac{b_P * N_C * L_D}{T_S} = \frac{188}{204} * \frac{2}{3} * \frac{4 * 3 * 384}{1260 * 10^{-6}} = 2246872 \approx 2,25\text{Mbps}$$

Para observar de una mejor manera los resultados obtenidos, en la Tabla 4.4 se presentan los parámetros elegidos para cada capa jerárquica.

Tabla 4.4 Parámetros de cada capa jerárquica

Capa Jerárquica	Número de segmentos N_C	Modulación Digital	Código Convolutacional FEC
A	1	QPSK	2/3
B	9	64QAM	3/4
C	3	16QAM	2/3

4.1.4 POTENCIA EFECTIVA RADIADA [6]

El siguiente paso a seguir en el diseño es el cálculo de la potencia efectiva radiada, para lo cual se va a seguir la recomendación UIT-R P.1546-4, igualmente usada por Brasil y Argentina.

Para el cálculo del nivel de potencia efectiva radiada necesaria, se ha tomado como referencia los Anexos 5 y 6 de la recomendación UIT-R P.1546-4 (Anexo B). La predicción se hará para cada azimut de máxima radiación⁶², de tal manera que los valores de potencia de transmisión y PER, para cada transmisor sean calculados en base al azimut que requiera un mayor nivel de potencia. Posteriormente se realizará la simulación de cobertura con el software ICS Telecom.

En la Sección 2.2 de este documento se mostró el diagrama de radiación del sistema radiante del transmisor ubicado en el cerro Pichincha (Figura 2.2), este tiene tres azimut de máxima radiación: 45°, 90° y 135°. Para el sistema radiante del transmisor ubicado en el cerro Atacazo (Figura 2.3) se tiene un azimut de máxima radiación en 44°.

En el numeral 3 del Anexo 5 de la recomendación UIT-R P.1546-4 se presenta el método para obtener la altura de la antena transmisora (h_1) —necesaria para calcular la intensidad de campo—, para este cálculo es necesario conocer la altura efectiva de la antena transmisora (h_{eff}); “ h_{eff} se define como la altura por encima del nivel medio del terreno (h_m) para las distancias comprendidas entre 3 y 15Km desde dicha antena en la dirección de la antena receptora” [6]. Para simplificar la obtención

⁶² No se hará para todos los puntos ni azimuts, debido a que se cuenta con el software ICS Telecom. Este análisis se realiza para determinar el valor de la potencia que se debe colocar en cada transmisor en la simulación.

de los valores de h_{eff} y h_m se creó una calculadora en el software Microsoft Excel, que se adjunta en el cd del presente proyecto de titulación.

Se calcularon los valores h_{eff} siguiendo los pasos que se explican en la Sección 4.3.1, se obtuvo los mismos valores que constan en la base de datos de la Superintendencia de Telecomunicaciones, el valor de h_{eff} , para el cerro Pichincha es 1087,35m (en el azimut de 45°), 1253,4m (en el azimut de 90°) y 1179,45m (en el azimut de 135°); mientras que para el cerro Atacazo es 860,65m (en el azimut de 44°).

Cuando no se tenga información sobre el terreno y el trayecto terrestre tomado en cuenta para la predicción sea inferior a 15Km, se debe hacer referencia al Anexo 5, numeral 3.1.1 de la recomendación UIT-R P.1546-4, el cual dice que el valor de h_1 se calculará con la longitud del trayecto que recorre la señal, d , aplicando las ecuaciones 4.1 o 4.2 según corresponda:

$$h_1 = h_a^{63} \quad (m) \quad (4.1) \quad \text{Para } d \leq 3\text{Km}$$

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a) * \frac{d-3}{12} \quad (m) \quad (4.2) \quad \text{Para } 3\text{Km} < d < 15\text{Km}$$

Si el trayecto es superior a 15Km, se debe hacer referencia al Anexo 5, numeral 3.2 de la recomendación UIT-R P.1546-4, el cual dice que el valor de $h_1 = h_{eff}$.

Para obtener la intensidad de campo, se deben seguir los pasos del Anexo 6 de la recomendación UIT-R P.1546-4. Los resultados obtenidos en cada paso se presentan a continuación, siendo el número de cada paso correspondiente al numeral mostrado.

1. El tipo de trayecto de propagación es de un solo tipo (terrestre), por ello, es considerado como primer tipo de propagación.

⁶³ Altura de la antena transmisora o del mástil.

Se consideró que es primer tipo de propagación debido a que la zona geográfica P tiene un trayecto terrestre y ningún trayecto de mar cálido o frío. Entonces el método de trayecto mixto del paso 11 queda descartado.

2. En televisión analógica, la FCC sugirió el uso de las curvas E(50,50) —50% de las ubicaciones durante el 50% del tiempo⁶⁴—; para la obtención del nivel de intensidad de la señal en televisión digital, la ANATEL ha sugerido el uso de las curvas E(50,90), pero cabe señalar que la presente recomendación no es válida para intensidades de campo que estén fuera de los porcentajes de tiempo de la gama del 1% al 50%. La solución planteada por la ANATEL a este problema, y que se ha aplicado en este paso, ha sido la obtención de un valor equivalente al de las curvas E(50,90); éste se calcula determinando el nivel de intensidad de la señal con las curvas E(50,50) y con las curvas E(50,10) para finalmente obtener el nivel de intensidad de señal equivalente para las curvas E(50,90) con la ecuación 4.3:

$$E(50,90) = 2 * E(50,50) - E(50,10) \quad (4.3)$$

Los porcentajes de tiempo a ser tomados en cuenta son 50% y 10% respectivamente; entonces, para cada caso, se debe considerar que es un porcentaje de tiempo nominal inferior y no se requerirá el proceso de interpolación⁶⁵ del paso 10.

3. La frecuencia central en la que operarán los transmisores es 671,142MHz, entonces, la frecuencia nominal superior es 2000MHz y la frecuencia nominal inferior es 600MHz.

En este paso se debió elegir una frecuencia nominal superior y una frecuencia nominal inferior debido a que se necesita realizar un proceso de interpolación, porque la frecuencia de operación no es igual a 100, 600 ó 2000 MHz y no puede ser considerada como frecuencia nominal inferior.

⁶⁴ Se refiere a que el valor de intensidad de campo dado estará presente en el 50% de las localidades el 50% del tiempo.

⁶⁵ Interpolación: Método utilizado para hallar un valor aproximado dentro de un intervalo en el que se conoce los valores en los extremos.

4. Para el transmisor ubicado en el cerro Pichincha y en el cerro Atacazo:

Para obtener la distancia, del transmisor al punto de reflexión más lejano⁶⁶, de cada azimut de máxima radiación se utilizó el mismo método que el empleado en la Sección 4.1.1 del presente documento; las distancias para cada azimut se presentan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Distancias de cada azimut de máxima radiación

Cerro Pichincha		Cerro Atacazo	
Azimut	Distancia	Azimut	Distancia
45°	65Km	44°	10Km
90°	30Km		
135°	30Km		

Como todos los valores de distancia de la Tabla 4.5, se encuentran en el cuadro 1 de la recomendación UIT-R P.1546-4, cada uno se considera como distancia nominal inferior y no se requiere un proceso de interpolación o extrapolación.

En este punto se decidió calcular el valor de h_1 para cada uno de los azimuts, porque van a ser necesarios en los siguientes pasos; entonces, h_1 será igual al valor de h_{eff} para cada azimut del transmisor ubicado en el cerro Pichincha, mientras que h_1 para el transmisor ubicado en el cerro Atacazo se determinará utilizando la ecuación 4.2, porque la distancia es menor a 15Km. En la Tabla 4.6 se presenta el valor de h_1 para cada azimut.

$$h_1 = 30 + (860,65 - 30) * \frac{10 - 3}{12} = 514,54m$$

Tabla 4.6 Valor de h_1 para cada azimut de máxima radiación

Cerro Pichincha		Cerro Atacazo	
Azimut	h_1	Azimut	h_1
45°	1087,35m	44°	514,54m
90°	1253,4m		
135°	1179,45m		

⁶⁶ Dicho punto coincide con el límite de la zona geográfica P.

5. Para el primer tipo de propagación, seguir los pasos 6 a 11.

Debido a que en el paso 1 se consideró que es un primer tipo de propagación se debe seguir del paso número 6 al paso número 11.

6. Para el porcentaje de tiempo nominal inferior, seguir los pasos 7 a 10. Cada porcentaje de tiempo tomado en el paso 2 fue considerado como porcentaje de tiempo nominal inferior, por consiguiente se continúa desde el paso número 7 hasta el paso número 10.
7. Para la frecuencia nominal inferior, seguir los pasos 8 y 9. Como la frecuencia en la que operarán los transmisores no corresponde a un valor de frecuencia nominal inferior; se deben omitir el paso número 8 y se prosigue con el paso número 9. No se omite el paso número 9 porque en el paso número 3 se aclaró que se debe realizar el proceso de interpolación del paso 9.
8. Se omite por los motivos expuestos en el paso número 7.
9. Se procede a hacer el paso número 8, omitido anteriormente, para el valor de la frecuencia nominal superior y se debe interpolar o extrapolar⁶⁷ las dos intensidades de campo. Si es necesario, limitar el resultado a la intensidad de campo máxima.
8. Obtener la intensidad de campo rebasada en el 50% de las ubicaciones para una antena receptora/móvil a la altura representativa de los obstáculos circundantes, R, por encima del suelo para la distancia y la altura de antena transmisora/de base requeridas como sigue:

⁶⁷ Extrapolación: Método utilizado para hallar un dato fuera del intervalo conocido, pero debe tenerse en cuenta que esté próximo a uno de sus extremos, caso contrario el resultado obtenido será poco confiable.

Cerro Pichincha

a) Para el azimut de 45°:

8.1. El valor de la altura de la antena transmisora/de base h_1 es mayor a 10m, su valor es de 1087,35m, entonces se procede a seguir desde el paso 8.1.1 hasta el 8.1.6.

8.1.1. Como el valor de h_1 no coincide con ninguno de los valores nominales 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 ó 1200m, no puede ser considerado como valor nominal inferior. Los valores de intensidad de campo no pueden ser tomados directamente de las curvas de los Anexos 2, 3 y 4; entonces, se debe realizar un proceso de interpolación en el paso 8.1.6., donde el valor nominal superior de h_1 es 1200m, mientras que el valor nominal inferior es 600m.

8.1.2. Para el valor nominal inferior de h_1 , seguir los pasos 8.1.3 a 8.1.5.

Como el valor de h_1 no es valor nominal inferior, se omiten los pasos 8.1.3, 8.1.4 y 8.1.5.

8.1.6. Cálculos de nivel de intensidad de campo:

En este paso se realizan todos los procesos de interpolación necesarios para cada uno de los parámetros, para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 50%. En primer lugar se interpolará la h_1 para la frecuencia nominal superior e inferior del paso número 3, utilizando la ecuación 4.4:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)} \quad (4.4)$$

Donde:

E: Intensidad de campo interpolada

E_{inf}: Intensidad de campo para la h₁ nominal inferior

E_{sup}: Intensidad de campo para la h₁ nominal superior

h_{sup}: h₁ nominal superior

h_{inf}: h₁ nominal inferior

a.1) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 50%

- Interpolación de h₁ = 1087,34m para la frecuencia nominal superior

$$f = 2000MHz$$

$$E_{inf} = 45,337dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 60,053dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 45,337 + (60,053 - 45,337) * \frac{\log\left(\frac{1087,34}{600}\right)}{\log\left(\frac{1200}{600}\right)}$$

$$E = 57,96dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de h₁ = 1087,34m para la frecuencia nominal inferior

$$f = 600MHz$$

$$E_{inf} = 46,668dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 60,087dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 46,668 + (60,087 - 46,668) * \frac{\log\left(\frac{1087,34}{600}\right)}{\log\left(\frac{1200}{600}\right)}$$

$$E = 58,18dB \frac{\mu V}{m}$$

Una vez interpolado el valor de h_1 se debe interpolar el valor de la frecuencia en la que operarán los transmisores, con la ecuación 4.5:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right)} \quad (4.5)$$

Donde:

E: Intensidad de campo interpolada

E_{inf}: Intensidad de campo para la f nominal inferior

E_{sup}: Intensidad de campo para la f nominal superior

f_{sup}: f nominal superior

f_{inf}: f nominal inferior

- Interpolación de $f = 671,14MHz$ para la h_1 interpolada anteriormente

$$E_{inf} = 58,18dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 57,96dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right)}$$

$$E = 58,18 + (57,96 - 58,18) * \frac{\log\left(\frac{671,14}{600}\right)}{\log\left(\frac{2000}{600}\right)}$$

$$E = 58,15dB \frac{\mu V}{m}$$

Este corresponde al valor de intensidad de campo interpolada con las curvas E(50,50), entonces:

$$E(50,50) = 58,15dB \frac{\mu V}{m}$$

Para la aproximación de curvas E(50,90), se utilizará la ecuación 4.3, pero se requiere el cálculo de la intensidad de campo para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 10%.

a.2) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 10%

- Interpolación de $h_1 = 1087,34m$ para la frecuencia nominal superior e inferior

$$f = 2000MHz$$

$$E_{inf} = 46,638dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 60,282dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 46,638 + (60,282 - 46,638) * \frac{\log\left(\frac{1087,34}{600}\right)}{\log\left(\frac{1200}{600}\right)}$$

$$E = 58,30dB \frac{\mu V}{m}$$

$$f = 600MHz$$

$$E_{inf} = 47,171dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 59,983dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 47,171 + (59,983 - 47,171) * \frac{\log\left(\frac{1087,34}{600}\right)}{\log\left(\frac{1200}{600}\right)}$$

$$E = 58,16dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $f = 671,14MHz$ para la h_1 interpolada anteriormente

$$E_{inf} = 58,16dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 58,30dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right)}$$

$$E = 58,16 + (58,30 - 58,16) * \frac{\log\left(\frac{671,14}{600}\right)}{\log\left(\frac{2000}{600}\right)}$$

$$E(50,10) = 58,17dB \frac{\mu V}{m}$$

Aproximación para curvas E(50,90):

$$E(50,90) = 2 * E(50,50) - E(50,10) = \left(2 * 58,15dB \frac{\mu V}{m}\right) - 58,17dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E(50,90) = 58,14dB \frac{\mu V}{m}$$

Una vez obtenido el valor de la intensidad de campo, se puede obtener el valor de la potencia necesaria en el transmisor del cerro Pichincha para el azimut de 45°.

Las curvas de la recomendación UIT-R P.1546-4, muestran el valor de la intensidad de campo para una potencia radiada aparente⁶⁸ de 1kW, equivalente a 0dBk.

Es necesario aclarar que el valor de potencia radiada aparente equivale al valor de potencia efectiva radiada. Esto se debe a que la potencia radiada aparente es un valor teórico referencial que utiliza la recomendación UIT-R P.1546-4 para definir el nivel de intensidad de señal que se tiene a una determinada distancia, cuando el valor de la potencia radiada aparente es de 1KW. En la práctica, además de la ganancia de las antenas, se tienen las pérdidas en cables y conectores y éstos son considerados en la PER, es por ello que se iguala la potencia radiada aparente a la potencia efectiva radiada.

La norma brasileña recomienda que el nivel de intensidad adecuado para una señal ISDB-Tb, en la banda UHF, debe ser de $51dB \frac{\mu V}{m}$ [7], en el límite del área de

⁶⁸ Producto de la potencia entregada por un transmisor radioeléctrico a una antena y la ganancia de esta antena respecto a un dipolo de media onda en una dirección dada.

cobertura. Para obtener el valor de $51dB \frac{\mu V}{m}$, se deben restar $7,14dB$ al nivel de señal obtenido anteriormente, entonces:

$$51dB \frac{\mu V}{m}, \text{ corresponden a un valor de } -7,14dBk \text{ de PER}$$

Como se mantiene el mismo sistema radiante, la ganancia de la antena del transmisor es $14,01dB$; y siendo $2dB$ el valor de las pérdidas por cables y conectores, el valor de la potencia del transmisor del cerro Pichincha para el azimut de 45° es:

$$P_{TX}(dBk) = -7,14dBk - 14,01dB + 2dB = -21,15dBk$$

$$10^{-\frac{21,15}{10}} = \frac{P_{TX}}{1kW}$$

$$P_{TX} = 0,00767 * 1KW$$

$$P_{TX} = 7,67W \approx 8W$$

Para calcular la PER, se utilizará el método empleado en la Sección 2.2.7 de este documento.

$$PER = P_{TX} * 10^{\left(\frac{G-P}{10}\right)} = 8W * 10^{\left(\frac{14,01-2}{10}\right)}$$

$$PER = 127,08W$$

Para el presente diseño se ha decidido que se garantizará un nivel de intensidad de señal correspondiente al área de cobertura primaria⁶⁹ ($68dB \frac{\mu V}{m}$) para toda la zona geográfica P; esto se debe a que la zona está delimitada por montañas, evitando

⁶⁹ La norma técnica ecuatoriana vigente y el decreto argentino, expuestos en el capítulo 2, garantizan un nivel de intensidad de señal de $68dB \frac{\mu V}{m}$ para el área de cobertura principal.

que la señal pase a las zonas aledañas. Además al aumentar el nivel de la señal, el número de zonas de sombra disminuirá.

Es importante tener muy en cuenta que no se debe subir arbitrariamente el valor de la potencia del transmisor, porque al hacerlo, los receptores ubicados cerca de éste se saturarían.

Para obtener el valor de $68dB \frac{\mu V}{m}$, se deben sumar $9,86dB$ al nivel de señal obtenido de la interpolación, entonces:

$$68dB \frac{\mu V}{m}, \text{ corresponden a un valor de } 9,86dBk$$

$$P_{TX}(dBk) = 9,86dBk - 14,01dB + 2dB = -2,15dBk$$

$$10^{-\frac{2,15}{10}} = \frac{P_{TX}}{1kW}$$

$$P_{TX} = 0,6095 * 1KW$$

$$P_{TX} = 609,53W \approx 600W$$

$$PER = P_{TX} * 10^{\left(\frac{G-P}{10}\right)} = 600W * 10^{\left(\frac{14,01-2}{10}\right)}$$

$$PER = 9531,28W \approx 9,53KW$$

Para los azimuts de 90° y 135° se va a aplicar el mismo procedimiento.

b) Para el azimut de 90° :

b.1) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 50%

Debido a que h_1 es mayor a 1200, debe hacerse una extrapolación:

- Extrapolación de $h_1 = 1253,4\text{m}$ para la frecuencia nominal superior

$$f = 2000\text{MHz}$$

$$E_{inf} = 68,688\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{sup} = 75,6\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{600}\right)}{\log\left(\frac{1200}{600}\right)}$$

$$E = 68,688 + (75,6 - 68,688) * \frac{\log\left(\frac{1253,4}{600}\right)}{\log\left(\frac{1200}{600}\right)}$$

$$E = 76,03\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

Se debe verificar que este valor no sobrepase el valor máximo de E; entonces se procede a calcular la E_{max} con la ecuación 4.6

$$E_{max} = 106,9 - 20 * \log d \quad (4.6)$$

$$E_{max} = 106,9 - 20 * \log 65 = 70,64\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

Debido a que se sobrepasa al valor de E_{max} , se debe limitar el valor de E obtenido anteriormente a $E = 70,64\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$

- Extrapolación de $h_1 = 1253,4\text{m}$ para la frecuencia nominal inferior

$$f = 600\text{MHz}$$

$$E_{inf} = 68,215\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{sup} = 75,103dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = 70,64dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $f = 671,14MHz$ para la h_1 extrapolada anteriormente

$$E_{inf} = 70,64dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 70,64dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E(50,50) = 70,64dB \frac{\mu V}{m}$$

b.2) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 10%

- Extrapolación de $h_1 = 1253,4m$ para la frecuencia nominal superior

$$f = 2000MHz$$

$$E_{inf} = 68,637dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 75,590dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = 70,64dB \frac{\mu V}{m}$$

- Extrapolación de $h_1 = 1253,4m$ para la frecuencia nominal inferior

$$f = 600MHz$$

$$E_{inf} = 68,156dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 75,088dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = 70,64dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $f = 671,14MHz$ para la h_1 interpolada anteriormente

$$E_{inf} = 76,02dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 61,16dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E(50,10) = 70,64dB \frac{\mu V}{m}$$

Aproximación para curvas $E(50,90)$:

$$E(50,90) = 2 * E(50,50) - E(50,10) = \left(2 * 70,64dB \frac{\mu V}{m} \right) - 70,64dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E(50,90) = 70,64dB \frac{\mu V}{m}$$

Obtenido el valor de la intensidad de campo, se puede obtener el valor de la potencia necesaria en el transmisor del cerro Pichincha, para el azimut de 90° . Para obtener el valor de $68dB \frac{\mu V}{m}$, se deben restar $2,64dB$ al nivel de señal obtenido anteriormente, entonces:

$$68dB \frac{\mu V}{m}, \text{ corresponden a un valor de } -2,64dBK$$

$$P_{TX} = 34,27W \approx 34W$$

$$PER = 540,11W$$

c) Para el azimut de 135°:

c.1) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 50%

- Interpolación de $h_1 = 1179,45\text{m}$ para la frecuencia nominal superior

$$f = 2000\text{MHz}$$

$$E_{inf} = 68,688\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{sup} = 75,60\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$E = 75,42\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

- Interpolación de $h_1 = 1179,45\text{m}$ para la frecuencia nominal inferior

$$f = 600\text{MHz}$$

$$E_{inf} = 68,215\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{sup} = 75,103\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$E = 74,93\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

- Interpolación de $f = 671,14\text{MHz}$ para la h_1 interpolada anteriormente

$$E_{inf} = 74,93\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$E_{sup} = 75,42\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

$$E(50,50) = 74,98\text{dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$$

c.2) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 10%

- Interpolación de $h_1 = 1179,45m$ para la frecuencia nominal superior

$$f = 2000MHz$$

$$E_{inf} = 68,637dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 75,590dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = 75,42dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $h_1 = 1179,45m$ para la frecuencia nominal inferior

$$f = 600MHz$$

$$E_{inf} = 68,156dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 75,088dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = 74,92dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $f = 671,14MHz$ para la h_1 interpolada anteriormente

$$E_{inf} = 74,92dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 75,42dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E(50,10) = 74,96dB \frac{\mu V}{m}$$

Aproximación para curvas E(50,90):

$$E(50,90) = 75dB \frac{\mu V}{m}$$

Obtenido el valor de la intensidad de campo, se puede obtener el valor de la potencia necesaria en el transmisor del cerro Pichincha, para el azimut de 135° .

Para obtener el valor de $68dB \frac{\mu V}{m}$, se deben restar $7dB$ al nivel de señal obtenido anteriormente, entonces:

$$68dB \frac{\mu V}{m}, \text{ corresponden a un valor de } -7dBK$$

$$P_{TX} = 12,56W \approx 13W$$

$$PER = 206,51W$$

Una vez terminados los cálculos, se puede concluir que en el azimut de 45° se necesita una mayor potencia que en los azimut de 90° y 135° ; entonces la potencia del transmisor ubicado en el cerro Pichincha será la calculada para el azimut de 45° , cuyo valor es $600W$.

Cerro Atacazo

a) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 50%

- Interpolación de $h_1 = 514,54m$ para la frecuencia nominal superior

$$f = 2000MHz$$

$$E_{inf} = 84,031dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 86,303dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 84,031 + (86,303 - 84,031) * \frac{\log\left(\frac{514,54}{300}\right)}{\log\left(\frac{600}{300}\right)}$$

$$E = 85,80dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $h_1 = 514,54m$ para la frecuencia nominal inferior

$$f = 600MHz$$

$$E_{inf} = 82,956dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 85,964dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 82,956 + (85,964 - 82,956) * \frac{\log\left(\frac{860,65}{600}\right)}{\log\left(\frac{600}{1200}\right)}$$

$$E = 85,30dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $f = 671,14MHz$ para la h_1 interpolada anteriormente

$$E_{inf} = 85,30dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 85,80dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right)}$$

$$E = 85,30 + (85,80 - 85,30) * \frac{\log\left(\frac{671,14}{600}\right)}{\log\left(\frac{2000}{600}\right)}$$

$$E(50,50) = 85,34dB \frac{\mu V}{m}$$

b) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 10%

- Interpolación de $h_1 = 514,54m$ para la frecuencia nominal superior

$$f = 2000MHz$$

$$E_{inf} = 84,040dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 86,313dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 84,040 + (86,313 - 84,040) * \frac{\log\left(\frac{514,54}{600}\right)}{\log\left(\frac{1200}{600}\right)}$$

$$E = 85,81dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $h_1 = 514,54m$ para la frecuencia nominal inferior

$$f = 600MHz$$

$$E_{inf} = 83,465dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 86,130dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 83,465 + (86,130 - 83,465) * \frac{\log\left(\frac{514,54}{600}\right)}{\log\left(\frac{1200}{600}\right)}$$

$$E = 85,54dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $f = 671,14MHz$ para la h_1 interpolada anteriormente

$$E_{inf} = 85,54dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 85,81dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right)}$$

$$E = 85,54 + (85,81 - 85,54) * \frac{\log\left(\frac{671,14}{600}\right)}{\log\left(\frac{2000}{600}\right)}$$

$$E(50,10) = 85,56dB \frac{\mu V}{m}$$

Aproximación para curvas E(50,90):

$$E(50,90) = 2 * E(50,50) - E(50,10) = \left(2 * 85,34dB \frac{\mu V}{m}\right) - 85,56dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E(50,90) = 85, dB \frac{\mu V}{m}$$

$$68dB \frac{\mu V}{m}, \text{ corresponden a un valor de } -17,12dBk$$

Como se va a mantener el mismo sistema radiante, la ganancia de la antena del transmisor es 10dB; y siendo 2dB el valor de las pérdidas por cables y conectores, el valor de la potencia del transmisor del cerro Atacazo es:

$$P_{TX}(dBk) = -17,12dBk - 10dB + 2dB = -25,12dBk$$

$$10^{-\frac{25,12}{10}} = \frac{P_{TX}}{1kW}$$

$$P_{TX} = 0,003076 * 1kW$$

$$P_{TX} = 3,076W \approx 3W$$

$$PER = P_{TX} * 10^{\left(\frac{G-P}{10}\right)} = 3W * 10^{\left(\frac{10-2}{10}\right)}$$

$$PER = 18,93W$$

Para simplificar los cálculos realizados anteriormente se implementó una calculadora, en el software Microsoft Excel, que facilita el cálculo de cada interpolación y/o extrapolación, además de la potencia de transmisión y de la PER.

En la sección 4.2 se va a realizar la simulación donde se obtendrá el área de cobertura del transmisor ubicado en el cerro Pichincha y en el cerro Atacazo. Es necesario señalar que se realizaron simulaciones previas para probar el diseño, con los valores de potencia calculados anteriormente; evidenciándose que el área de cobertura no era satisfactorio, debido a que no se asemeja al obtenido en las simulaciones de cobertura de los sistemas de televisión analógica; esto se puede observar en el Anexo E, páginas 2E y 3E. Para obtener un resultado satisfactorio, se adoptó la sugerencia del Ing. Marco Mayorga de la PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú), variando el nivel de potencia de los transmisores, hasta obtener un área de cobertura parecida a la obtenida en la simulación de los sistemas de

televisión analógica y que además, el área de cobertura no aumente, aunque se incremente la potencia del transmisor⁷⁰.

El resultado del adoptar este método fue un valor de potencia de 700W para el transmisor ubicado en el cerro Pichincha y un valor de potencia de 8W para el transmisor ubicado en el cerro Atacazo.

4.2 SIMULACIÓN DE COBERTURA EN ICS TELECOM

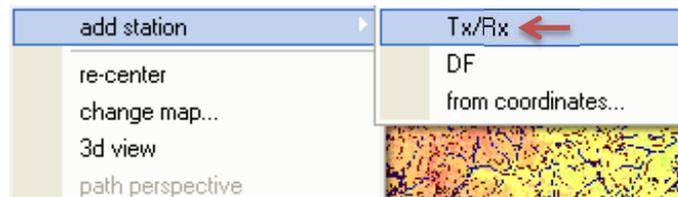
A continuación se mostrarán los pasos que se han seguido para la simulación de la red de frecuencia única en el software ICS Telecom.

Se debe aclarar que el manual de ICS Telecom, suministrado por la Superintendencia de Telecomunicaciones, correspondía a una versión anterior del software, y no brindaba información detallada y específica para cada uno de los parámetros que se pueden configurar en cada una de las ventanas. Por tal motivo, se acudió a la investigación en la web y a la ayuda de un representante de ATDI, empresa que desarrolló el software. El Ing. Joel Rodríguez, representante de ATDI, colaboró con la explicación de algunos de los parámetros, disponibles en ICS Telecom, que son necesarios configurar para la simulación de una *SFN* para el estándar ISDB-Tb; por ello, en el Anexo F se explicarán solamente los parámetros que se requieren para la operación de la *SFN* con el estándar ISDB-Tb.

Si se desea conocer en detalle todo este procedimiento, se realizó un video tutorial, el cual se encuentra adjunto en el cd del presente proyecto de titulación.

En primer lugar se debe introducir una estación transmisora, para hacerlo se debe presionar el botón derecho del mouse, teniendo el puntero sobre el mapa, tal como se indica en la Figura 4.3.

⁷⁰ Debido a que la zona geográfica P se encuentra rodeada por elevaciones, al aumentar la potencia de los transmisores, el área de cobertura no aumentará, simplemente lo hará el nivel de señal en los receptores.



Fuente: ICS Telecom

Figura 4.3 Ingreso de una estación transmisora

Debido a que ICS Telecom no permite configurar las 3 capas jerárquicas (A, B y C) en un transmisor, se van a colocar 3 transmisores en el mismo lugar, configurando en cada uno, los parámetros correspondientes a cada capa jerárquica. Al colocar tres transmisores en el mismo lugar, operando a la misma frecuencia y transmitiendo diferente programación, éstos se interferirían entre sí. Por ello, ICS Telecom presenta un cuadro llamado *Network ID*, en el cual se puede introducir un nombre para evitar que los transmisores se interfieran entre sí; en las Figuras 4.4, 4.5 y 4.6 se puede observar que en el cuadro *Network ID* se colocó el nombre CAPAS J1.

En primer lugar, se van a configurar los tres transmisores, de cada capa jerárquica, en el cerro Pichincha; en la primera pestaña se establecen parámetros como tipo de señal, potencia del transmisor, ganancia de las antenas, pérdidas en cables y conectores, frecuencia central, ancho de banda, identificaciones, *Network ID*, umbral de cobertura, umbral del receptor y modulación digital. Se iniciará con la capa jerárquica A —canal *LD* o *one-seg*—, para luego pasar a la capa jerárquica B —canal *HD*—, y finalmente la capa jerárquica C —canal *SD*—. Las Figuras 4.4, 4.5 y 4.6 muestran la configuración de los parámetros antes mencionados de cada capa jerárquica para el transmisor ubicado en el cerro Pichincha.

Al inicio del capítulo se dijo que se mantendrá la infraestructura de transmisión, por ello, la altura de la antena (30m) y la ganancia del sistema radiante (14,01dBd) se mantendrán. Como la norma brasileña recomienda que el nivel de intensidad adecuado para una señal ISDB-Tb, en la banda UHF, debe ser de $51dB \frac{\mu V}{m}$ en el límite del área de cobertura (Sección 4.1.4) se colocó este valor en el umbral de cobertura y recepción en cada transmisor; pero se debe recordar que el diseño se

realizó para brindar una cobertura con un nivel de intensidad de señal de $68 \text{ dB} \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}$ en el límite del área de cobertura.

Capa jerárquica A:

The image shows two screenshots of a software interface for configuring a transmitter station. The top screenshot is the 'General' tab, and the bottom screenshot is the 'Advanced' tab. Red arrows point to specific configuration parameters in both views.

General Tab Configuration:

- Type: Tx/Rx A (0)
- Signal: ISDB-T 6 MHz
- Status: Unknown (0)
- Frequency plan: No 1
- activated: [activated]
- Tx/Rx Parameters:**
 - Nominal power (W): 700
 - Dynamic (dB): 0
 - Tx ant gain (dBd): 14.01
 - Rx ant gain (dBd): 0.00
 - Losses (dB): 2.00
 - Tx add losses (dB): 0.00
 - E.R.P (W): 11119.83
 - Frequency (MHz): 671.14000
 - Antenna height (m): 30.00
 - Tx bandwidth (kHz): 428.57
 - Rx bandwidth (kHz): 428.57
- Coverage:** ITU526
- Info:**
 - Callsign: PICHINCHA
 - Parenting: 0
 - address: CERRO PICHINCHA
 - date: 20111012
 - info (1): SENAL LD
 - type: A
 - info (2): ISDB-Tb
 - link: C
 - Network ID: CAPAS J1
 - group: [empty]
 - user: [empty]
 - call number: 0

Advanced Tab Configuration:

- Type (0): Tx/Rx A (0)
- Signal (42): ISDB-T 6 MHz
- Modulation (14): QPSK 2/3
- NFD: [empty]
- Coverage threshold (dBuV/m)*: 51
- Rx threshold (dBuV/m)*: 51
- Carrier: 0
- C/N (dB): 0
- Channel (#): 0
- %: 70 95 other
- C/I: Steady Tropo
- Launch delay (us): 0
- Frequency offset (kHz): 0.0000
- Availability %: 0.00000
- Activity ul/dl (%): 100 / 100
- Initial power: 700.00000
- Active set: [empty]

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.4 Parámetros de la capa jerárquica A de la estación transmisora del cerro Pichincha

- Capa jerárquica B:

General | Patterns | Channels | Site | Advanced

Type: Tx/Rx A (0) | Signal: ISDB-T 6 MHz | Status: Unknown (0) | Frequency plan: No 3 | activated

Tx/Rx

Nominal power (W): 700
 Dynamic (dB): 0
 Tx ant gain (dBd): 14.01
 Rx ant gain (dBd): 0.00
 Losses (dB): tx 2.00 rx 0.00
 Tx add losses (dB): 0.00
 E.R.P (W): 11119.83
 Frequency (MHz): 671.14000
 Antenna height (m): 30.00
 Tx bandwidth (kHz): 5572.00
 Rx bandwidth (kHz): 5572.00

Coverage

ITU526
 delete info

variable power
 fixed power
 fixed frequency
 freqhop/wide band
 variable elevation
 fixed elevation

Info

Callsign: PICHINCHA | Parenting: 0
 address: CERRO PICHINCHA | date: 20111012
 info (1): SENAL SD | type: C
 info (2): ISDB-Tb | link:
 Network ID: CAPAS J1
 user: | call number: 0

General | Patterns | Channels | Site | Advanced

Type (0): Tx/Rx A (0) | Signal (42): ISDB-T 6 MHz | Modulation (25): 64-QAM 3/4 | NFD

Coverage threshold (dBuV/m)*: 51
 Rx threshold (dBuV/m)*: 51
 Carrier: 0
 C/N (dB): 0
 Channel (#): 0
 %: 70 95 other
 C/I: Steady Tropo

Launch delay (us): 0
 Frequency offset (kHz): 0.0000
 Availability %: 0.00000
 Activity ul/dl (%): 100 / 100
 Initial power: 700.00000
 Active set:

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.5 Parámetros de la capa jerárquica B de la estación transmisora del cerro Pichincha

- Capa jerárquica C:

General | Patterns | Channels | Site | Advanced

Type: Tx/Rx A (0) | Signal: ISDB-T 6 MHz | Status: Unknown (0) | Frequency plan: No 4 | activated

Tx/Rx

Nominal power (W): 700
 Dynamic (dB): 0
 Tx ant gain (dBd): 14.01
 Rx ant gain (dBd): 0.00
 Losses (dB): 2.00 | 0.00
 Tx add losses (dB): 0.00
 E.R.P (W): 11119.83
 Frequency (MHz): 671.14000
 Antenna height (m): 30.00
 Tx bandwidth (kHz): 5572.00
 Rx bandwidth (kHz): 5572.00

Coverage

ITU526
 delete info

variable power
 fixed power
 fixed frequency
 freqhop/wide band
 variable elevation
 fixed elevation

Info

Callsign: PICHINCHA | Parenting: 0
 address: CERRO PICHINCHA | date: 20111012 | yyyymmdd
 info (1): SENAL HD | type: C
 info (2): | link: |
 Network ID: CAPAS J1 | group: |
 user: | call number: 0

General | Patterns | Channels | Site | Advanced

Type (0): Tx/Rx A (0) | Signal (42): ISDB-T 6 MHz | Modulation (19): 16-QAM 2/3 | NFD

Coverage threshold (dBuV/m)*: 51
 Rx threshold (dBuV/m)*: 51 | upd...
 Carrier: 0
 C/N (dB): 0 | thresh.
 Channel (#): 0 | ...

70 | 95 | other
 C/I: Steady | Tropo

Launch delay (us): 0
 Frequency offset (kHz): 0.0000
 Availability %: 0.00000
 Activity ul/dl (%): 100 / 100
 Initial power: 700.00000 | Init

Active set: | ...

Fuente: ICS Telecom

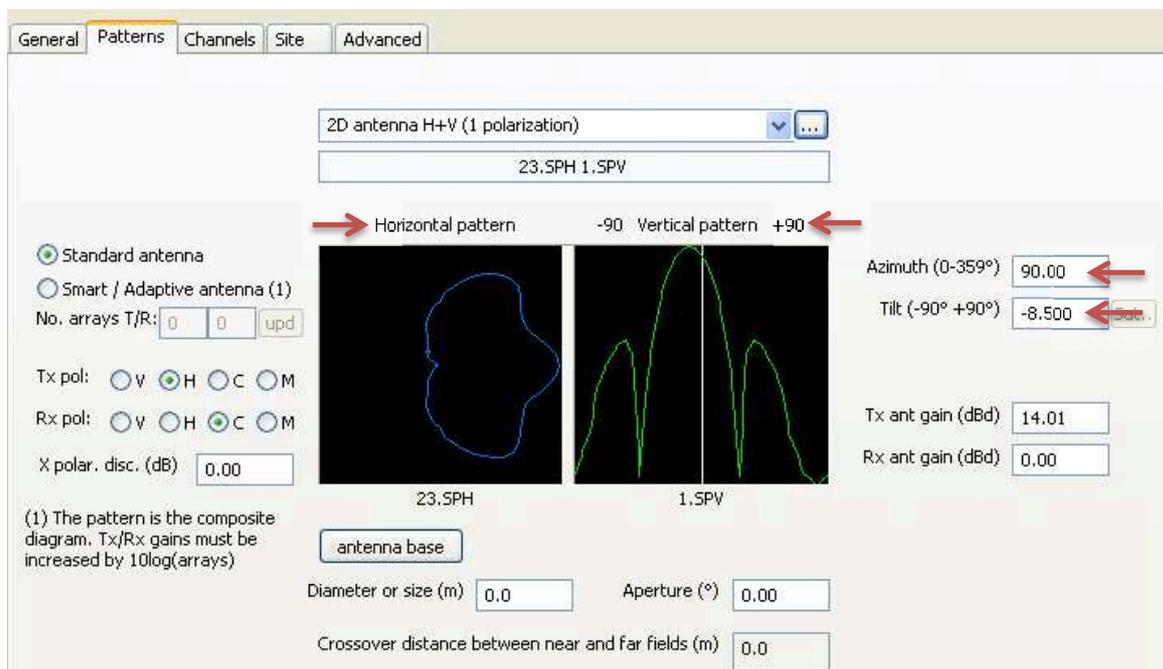
Figura 4.6 Parámetros de la capa jerárquica C de la estación transmisora del cerro Pichincha

- Sistema Radiante:

Como se dijo al inicio del capítulo, el sistema radiante tanto para el transmisor ubicado en el cerro Pichincha, como para el ubicado en el cerro Atacazo se mantendrán. Cabe señalar que la antena transmisora tiene suficiente ancho de banda para transmitir la programación del canal analógico y del digital de manera simultánea, considerando que los canales son adyacentes, canales 47 y 48 [5].

En la Figura 4.7 se presentan los parámetros del sistema radiante —azimut, ángulo de inclinación, polarización de la antena transmisora y receptora—, además de los patrones horizontal y vertical de la antena.

La polarización de la antena transmisora (Tx pol en la Figura 4.7) es horizontal [5], mientras que la polarización de la antena receptora (Rx pol en la Figura 4.7) es circular. Debido a que los usuarios colocan indistintamente la antena de recepción, estas pueden tener cualquier polarización (horizontal o vertical); entonces, al colocar polarización circular se toman en cuenta los 2 casos anteriores.



Fuente: ICS Telecom

Figura 4.7 Sistema radiante de la estación transmisora del cerro Pichincha

- Ubicación

En la Figura 4.8 se muestra la configuración de la ubicación del transmisor en coordenadas WGS84.

The screenshot shows a configuration window for a transmitter location. On the left, there are input fields for 'longitude or X' (value: -78.31284), 'latitude or Y' (value: -0.10074), and 'altitude (m)' (value: -1). Below these are checkboxes for 'optimize altitude' and 'altitude in force'. A 'coordinate code' dropdown is set to '4DMS', and a 'coordinate conversion' button is present. At the bottom left, 'found altitude (m)' is shown as 3840. On the right, there is a map showing the location of Cerro Pichincha. To the right of the map are buttons for 'Update', 'Close', and 'Site base...'. Below the map, there are radio buttons for 'limit 2' (selected) and 'limit 1', and a text field for '<= 20 meters'. At the bottom right, there is an 'offset (m)' field set to 0.00 m and a checkbox for 'add in location file'.

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.8 Coordenadas WGS84 de la estación transmisora del cerro Pichincha

A continuación se presenta el mismo procedimiento para el transmisor ubicado en el cerro Atacazo.

Capa jerárquica A:

The screenshot shows a configuration window for a transmitter. The 'General' tab is selected. At the top, there are dropdown menus for 'Type' (Tx/Rx A (0)), 'Signal' (ISDB-T 6 MHz), 'Status' (Unknown (0)), and 'Frequency plan'. To the right, there are fields for 'No 2' and 'activated'. Below this, there are three main sections: 'Tx/Rx', 'Coverage', and 'Info'. The 'Tx/Rx' section has fields for 'Nominal power (W)' (8), 'Dynamic (dB)' (0), 'Tx ant gain (dBd)' (10.00), 'Rx ant gain (dBd)' (0.00), 'Losses (dB)' (Tx: 2.00, Rx: 0.00), 'Tx add losses (dB)' (0.00), 'E.R.P (W)' (50.47659), 'Frequency (MHz)' (671.14000), 'Antenna height (m)' (30.00), 'Tx bandwidth (kHz)' (428.57), and 'Rx bandwidth (kHz)' (428.57). The 'Coverage' section has a dropdown for 'ITU526' and 'delete'/'info' buttons. The 'Info' section has fields for 'Callsign' (ATACAZO), 'Parenting' (0), 'address' (CERRO PICHINCHA), 'date' (20111012), 'info (1)' (SENAL LD), 'type' (C), 'info (2)' (ISDB-Tb), 'link', 'Network ID' (CAPAS J2), 'group', 'user', and 'call number' (0).

General Patterns Channels Site **Advanced**

Type (0) Signal (42) Modulation (14) NFD

Tx/Rx A (0) ISDB-T 6 MHz QPSK 2/3

Coverage threshold (dBuV/m)* 68

Rx threshold (dBuV/m)* 68 upd...

Carrier 0

C/N (dB) 0 thresh.

Channel (#) 0 ...

% 70 95 other

C/I Steady Tropo

Launch delay (us) 0

Frequency offset (kHz) 0.0000

Availability % 0.00000

Activity ul/dl (%) 100 / 100

Initial power 8.00000 Init

Active set

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.9 Parámetros de la capa jerárquica A de la estación transmisora del cerro Atacazo

- Capa jerárquica B:

General Patterns Channels Site **Advanced**

Type Signal Status Frequency plan

Tx/Rx A (0) ISDB-T 6 MHz Unknown (0) No 6 activated

Tx/Rx

Nominal power (W) 8

Dynamic (dB) 0

Tx ant gain (dBd) 10.00

Rx ant gain (dBd) 0.00

Losses (dB) tx 2.00 0.00

Tx add losses (dB) 0.00

E.R.P (W) 50.47659

Frequency (MHz) 671.14000

Antenna height (m) 30.00

Tx bandwidth (kHz) 5572.00

Rx bandwidth (kHz) 5572.00

Coverage

ITU526

delete info

variable power

fixed power

fixed frequency

freqhop/wide band

variable elevation

fixed elevation

Info

Callsign ATACAZO Parenting 0

address CERRO PICHINCHA date 20111012 yyyyymmdd

info (1) SENAL HD type C

info (2) ISDB-Tb link

Network ID CAPAS J2 group

user call number 0

General Patterns Channels Site **Advanced**

Type (0) Signal (42) Modulation (25) NFD

Tx/Rx A (0) ISDB-T 6 MHz 64-QAM 3/4

Coverage threshold (dBuV/m)* 68
Rx threshold (dBuV/m)* 68 upd...

Carrier 0
C/N (dB) 0 thresh.
Channel (#) 0 ...

Launch delay (us) 0
Frequency offset (kHz) 0.0000
Availability % 0.00000
Activity ul/dl (%) 100 / 100
Initial power 8.00000 Init

% 70 95 other
C/I Steady Tropo

Active set

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.10 Parámetros de la capa jerárquica B de la estación transmisora del cerro Atacazo

- Capa jerárquica C:

General Patterns Channels Site **Advanced**

Type Signal Status Frequency plan

Tx/Rx A (0) ISDB-T 6 MHz Unknown (0) No 5 activated

Tx/Rx

Nominal power (W) 8
Dynamic (dB) 0
Tx ant gain (dBd) 10.00
Rx ant gain (dBd) 0.00
Losses (dB) 2.00 0.00
Tx add losses (dB) 0.00
E.R.P (W) 50.47659
Frequency (MHz) 671.14000
Antenna height (m) 30.00
Tx bandwidth (kHz) 5572.00
Rx bandwidth (kHz) 5572.00

Coverage

ITUS26
delete info

variable power
 fixed power
 fixed frequency
 freqhop/wide band ...

variable elevation
 fixed elevation

Info

Callsign ATACAZO Parenting 0
address CERRO PICHINCHA date 20111012 yyyyymmdd
info (1) SENAL SD type C
info (2) ISDB-Tb link
Network ID CAPAS J2 group
user call number 0

General Patterns Channels Site **Advanced**

Type (0) Signal (42) Modulation (19) NFD

Tx/Rx A (0) ISDB-T 6 MHz 16-QAM 2/3

Coverage threshold (dBuV/m)* 68 Launch delay (us) 0

Rx threshold (dBuV/m)* 68 upd... Frequency offset (kHz) 0.0000

Carrier 0 Availability % 0.00000

C/N (dB) 0 thresh. Activity ul/dl (%) 100 / 100

Channel (#) 0 ... Initial power 8.00000 Init

% 70 95 other

C/I Steady Tropo

Active set

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.11 Parámetros de la capa jerárquica C de la estación transmisora del cerro Atacazo

- Sistema radiante

General **Patterns** Channels Site Advanced

2D antenna H+V (1 polarization)

14.SPH 2.SPV

Horizontal pattern -90 Vertical pattern +90

Standard antenna

Smart / Adaptive antenna (1)

No. arrays T/R: 0 0 upd

Tx pol: V H C M

Rx pol: V H C M

X polar. disc. (dB) 0.00

(1) The pattern is the composite diagram. Tx/Rx gains must be increased by 10log(arrays)

antenna base

Diameter or size (m) 0.0 Aperture (°) 0.00

Crossover distance between near and far fields (m) 0.0

Azimuth (0-359°) 44.00

Tilt (-90° +90°) -7.000

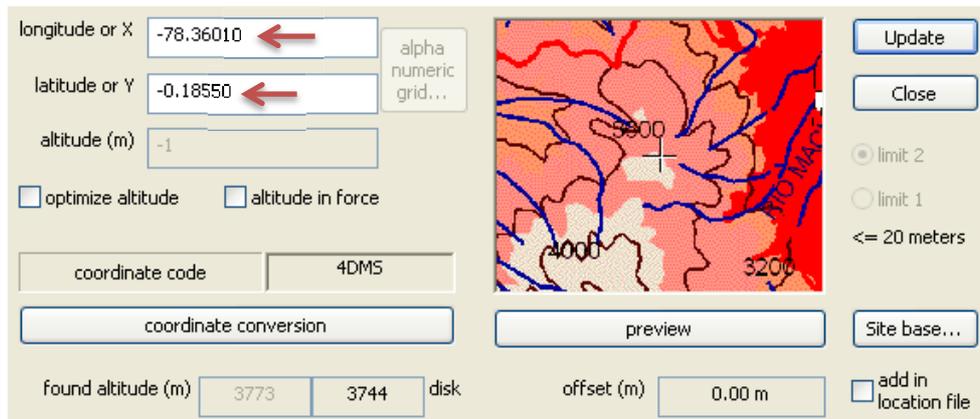
Tx ant gain (dBd) 10.00

Rx ant gain (dBd) 0.00

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.12 Patrones del sistema radiante de la estación transmisora del cerro Atacazo

- Ubicación:

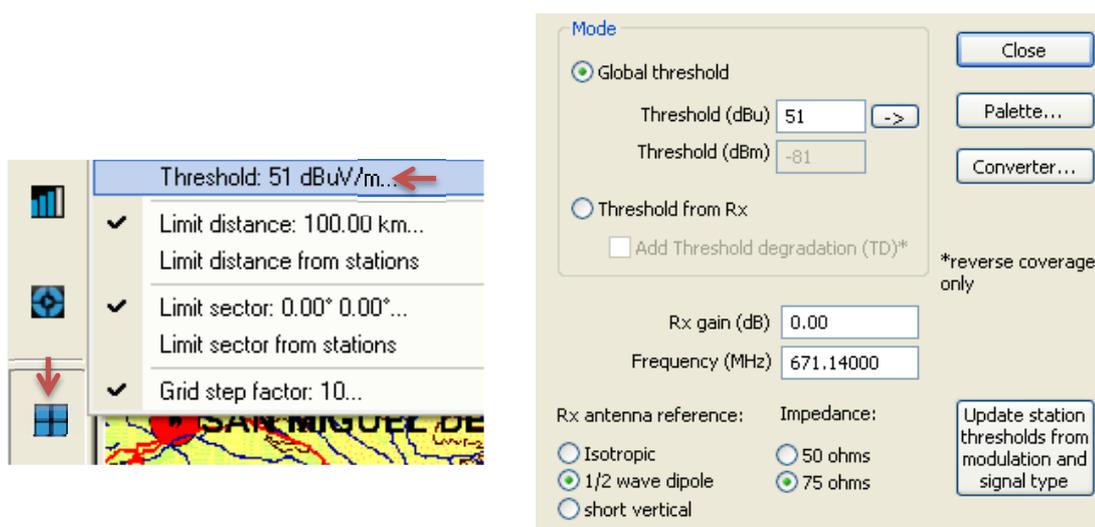


Fuente: ICS Telecom

Figura 4.13 Coordenadas WGS84 de la estación transmisora del cerro Atacazo

Una vez configurados los parámetros de los transmisores, se procede a realizar la simulación de la propagación de la señal ISDB-Tb. Se comienza estableciendo los valores del umbral de cobertura y antena de referencia.

En el umbral de cobertura se coloca el valor de $51\text{dB}\mu$, como se lo hizo en los transmisores, mientras que para la antena de referencia se usará el dipolo de media onda, con impedancia de 75Ω , considerada en la norma ABNT NBR 15604 (Sección 3.2). En la Figura 4.14 se presentan los valores mencionados anteriormente.

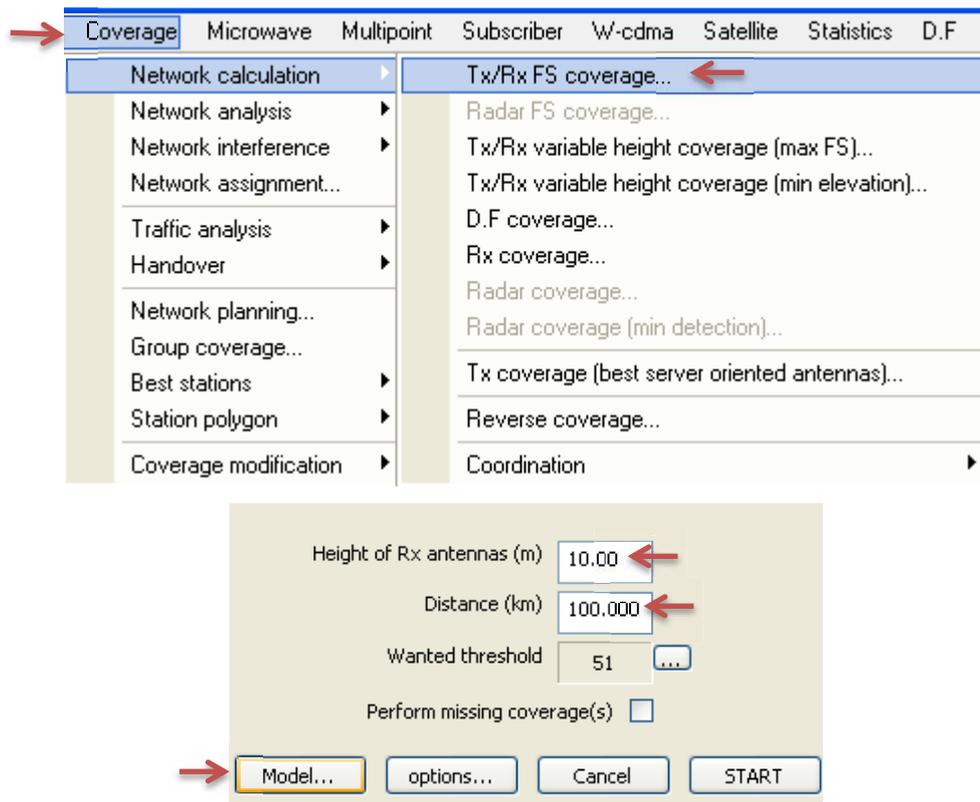


Fuente: ICS Telecom

Figura 4.14 Umbral de cobertura y antena de referencia

Es necesario mencionar que van a existir señales multitrayectoria que lleguen al receptor fuera del intervalo de guarda y con nivel de intensidad de señal mayor o menor a $51dB\mu$, las cuales producirán interferencia propia de la red. Para corregir este inconveniente, ICS Telecom ofrece una herramienta para la corrección de interferencia propia de la red mediante la adición de un retardo o *delay* a las señales de cada uno de los transmisores, pero este procedimiento se detallará en la Sección 4.2.1.

A continuación se procede a seleccionar el cálculo de cobertura, insertando la altura de la antena de recepción, la distancia considerada y el umbral de recepción requerido, para luego seleccionar el modelo de propagación a ser utilizado. En la Figura 4.15 se presenta la selección del cálculo de cobertura en el menú principal y de los parámetros de la ventana, mencionados anteriormente.



Fuente: ICS Telecom

Figura 4.15 Parámetros para el cálculo de la cobertura

El valor de 10m para la altura de la antena receptora se debe a que todas las recomendaciones de la UIT utilizan este valor de referencia para la predicción de cobertura; el valor de 100Km de distancia se colocó porque se desea visualizar la propagación de la señal en los alrededores de la zona geográfica P.

Después de haber colocado estos valores se procede a presionar el botón *Model* para escoger el modelo de propagación a utilizarse. En la Figura 4.16 se presenta la gama de opciones que presenta ICS Telecom para el cálculo de propagación de ondas electromagnéticas.

The screenshot shows the 'Propagation models' window with the following sections and settings:

- Models:**
 - Fresnel method+
 - Wojnar method
 - Wien method...
 - ITU-R 370...
 - ITU-R 525
 - ITU-R 525/526
 - ITU-R 1225
 - ITU-R 1546...
 - ITU-R 368...
 - ITU-1147...
 - Medium frequency***
 - 3GPP-LTE (rural)
 - 3GPP-LTE (urban)
 - Okumura/Hata/Davids.
 - Hata - Cost 231
 - Cost 231 open...
 - c**
 - o**
 - d**
 - e**
 - SUI method....
 - > PROP1546
 - Composite output*
- Troposcattering:**
 - Tropo ITU-R 617
 - equatorial 50%
 - subtropical 90%
 - subtropical sea 50%
 - desert 50%
 - temperate 90%
 - temperate sea 90%
 - continental 90%
- Diffraction geometry:**
 - Bullington method
 - Deygout 94 method
 - ITU-R 526, round mask
 - ITU-R 526, cylinders
 - ITU-R 526, deygout
 - ITU-R 1225
 - Visibility / Indoor
 - No diffraction loss
 - Lateral diffraction
 - Power correction (angle)
 - ITU-R 452/1812 *
 - Time (0 to 50%) (0=random)
- Subpath attenuations:**
 - Standard (1)
 - Coarse integration (2)
 - Fine integration (3)
 - Area (4)
 - ITU-R 526
 - Free ellipsoid (5)
 - No subpath loss (6)
 - Hybrid integration (std)
 - Hybrid integration (fine)
 - D factor (K*I)
 -
 - FZ fraction
 - Spherical wave
- Anomalous propagation:**
 - Ducting
- Climate:**
 - Earth radius km (land)
 - Earth radius km (sea)
 - ITU-R 1820 gaz
 - ITU-R 676 gaz
 - ITU-R 840 fog
 - Vapour hPa
 - Water g/m3
 - T° C°
 - Rain att. ITU-R 838/530(!)
 - Rain att. Crane global
 - Rain rate (mm/h)(!!) R 837
 - Time (0.001 to 1) %
 - Isotherm 0°C km
- Slope model coefficient:**
 - A factor B (dB)
 - Attenuation (dB/km)
 - Diffraction correct. (dB)
- Reflections:**
 - Rho (if no clutter)
 - 3D coverage only
 - Reflection dist. limit (m)
 - Elevation filter > (m)
 - Ground reflections (minima/maxima)
 - Ground reflections (mn/mx flat earth)
 - Ground reflections (reflection point)
- Options:**
 - Offset (dB)
 - Field strength=E-offset
 - Use Tx/Rx effective heights
 - Flat earth profile sent to DLL

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.16 Modelos de propagación en ICS Telecom

Para realizar la simulación se escogió el modelo de propagación de la recomendación UIT-R P.1546-4, la misma utilizada para el cálculo del valor de la potencia de cada uno de los transmisores.

- Modelo de propagación de la recomendación UIT-R P.1546-4

Entre los parámetros considerados para utilizar el modelo de propagación 1546-4 (Figura 4.17) se encuentran el porcentaje de tiempo en el porcentaje de localidades, el ajuste climático, las correcciones para el cálculo de propagación y selección del clutter.

Cuando se seleccionó el modelo UIT-R 1546-4, automáticamente se seleccionaron las opciones *No diffraction loss* y *No subpath loss*; esto se debe a que este modelo no toma en consideración la difracción y la atenuación provocada por la obstrucción del elipsoide de Fresnel.

Algunas de las opciones de la recomendación UIT-R P.1546-4, se han seleccionado u omitido en base a los siguientes criterios:

- a) *Receiving/mobile antenna height*: no se seleccionó porque se tomó el valor de la altura de la antena receptora que se establece en la recomendación, por lo tanto, no necesita corrección. Tampoco se seleccionó *Short urban/suburban paths* porque el trayecto no tiene una longitud inferior a 15 Km, en el caso de transmisor ubicado en el cerro Pichincha, pero si lo tiene en el transmisor ubicado en el cerro Atacazo; pero en ninguno de los dos casos incluye edificios de altura uniforme sobre terreno llano, entonces, no se requiere una corrección. Finalmente, no se seleccionó *Terrain clearance angle* porque ninguna antena receptora/móvil se halla en una sección terrestre de un trayecto mixto y además no existe ningún valor negativo de la altura de la antena transmisora h_1 , por ello no es necesario realizar una corrección.

Models

- Fresnel method+
- Wojnar method
- Wien method...
- ITU-R 370...
- ITU-R 525
- ITU-R 525/526
- ITU-R 1225
- ITU-R 1546...
- ITU-R 368...
- ITU-1147...
- Medium frequency***
- 3GPP-LTE (rural)
- 3GPP-LTE (urban)
- Okumura/Hata/Davids.
- Hata - Cost 231
- Cost 231 open...

code

- rural c:0,5,6,8,>11
- sub c:1,9,10,11
- urban c:2,3,4,7

- SUI method....
- > PROP1546

Composite output*

Troposcattering

Tropo ITU-R 617

- equatorial 50%
- subtropical 90%
- subtropical sea 50%
- desert 50%
- temperate 90%

Diffraction geometry

- Bullington method
- Deygout 94 method
- ITU-R 526, round mask
- ITU-R 526, cylinders
- ITU-R 526, deygout
- ITU-R 1225
- Visibility / Indoor
- No diffraction loss

Lateral diffraction

Power correction (angle)

ITU-R 452/1812 *

Time (0 to 50%)
0=random

Subpath attenuations

- Standard (1)
- Coarse integration (2)
- Fine integration (3)
- Area (4)
- ITU-R 526
- Free ellipsoid (5)
- No subpath loss (6)
- Hybrid integration (std)
- Hybrid integration (fine)

D factor (K*)

FZ fraction

Spherical wave

Recommendation ITU-R P.1546-4 - Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30MHz to 3GHz

Corrections

- § 9 - Receiving / mobile antenna height
- § 10 - Short urban / suburban paths
- § 11 - Terrain clearance angle & § 4.3 - option (a)

Climatic adjustment

Delta N

Terminal designations

- § 1.1 - Swap designations (criteria b & c only)
- Reverse designations (forces reciprocity)

Emission

- Broadcast digital Broadcast analogue
- Mobile

Standard deviation dB

Variability

Locations %

Time %

Sea path

Cold Warm

Miscellaneous

Use effective heights from transmitting station parameters

Clutter mapping (otherwise environment is rural or sea if terrain altitude is zero)

Clutter 0	Urban	0	m	Clutter 10	Urban	4	m
Clutter 1	Suburban	5	m	Clutter 11	Suburban	0	m
Clutter 2	Suburban	0	m	Clutter 12	Urban	6	m
Clutter 3	Suburban	2	m	Clutter 13	Sea		m
Clutter 4	Suburban	2	m	Clutter 14	Urban	10	m
Clutter 5	Suburban	2	m	Clutter 15	Suburban	0	m
Clutter 6	Urban	0	m	Clutter 16	Suburban	0	m
Clutter 7	Suburban	0	m	Clutter 17	Suburban	0	m
Clutter 8	Suburban	0	m	Clutter 18	Suburban	0	m
Clutter 9	Suburban	2	m	Clutter 19	Suburban	0	m

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.17 Parámetros del modelo de propagación de la recomendación UIT-R 1546-4

- b) *Ajuste del clima*: se colocó el mismo valor que se usa en la recomendación UIT-R 370 (-40), usada anteriormente por la Superintendencia de Telecomunicaciones para cálculos de propagación de sistemas de televisión analógica; este parámetro corresponde a las regiones del mundo donde el gradiente vertical de la refractividad atmosférica no es significativamente distinto, como es el caso del Ecuador.

El gradiente vertical de la refractividad indica la curvatura de un rayo radioeléctrico con relación a la curvatura de la tierra, dependiendo de su valor se tendrán los siguientes casos [8]:

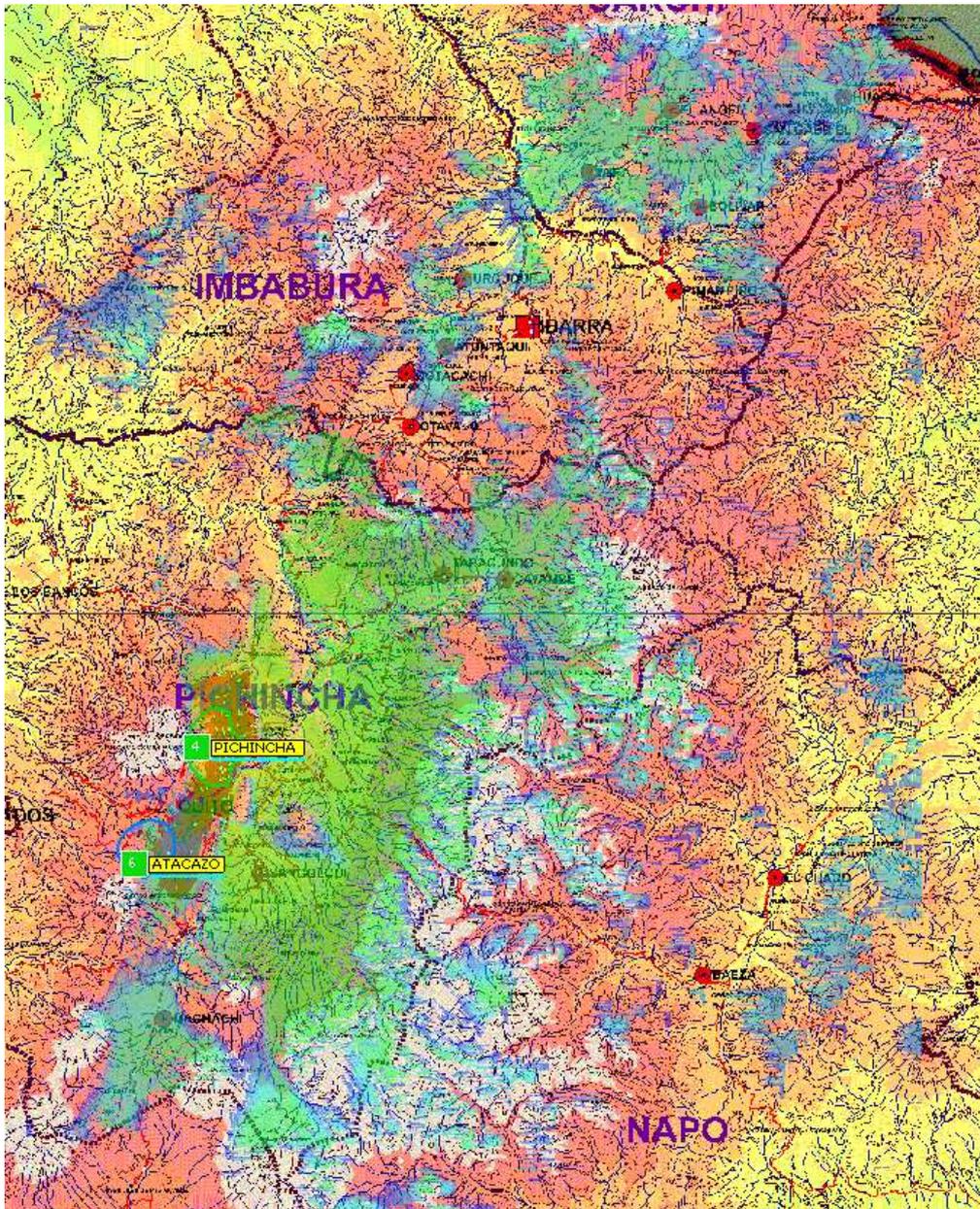
- Si su valor es cero, la trayectoria de los rayos es rectilínea, es decir, no se curvan.
 - Si su valor es mayor que cero, la curvatura es positiva y el rayo se curva hacia arriba.
 - Si su valor es menor que cero, la curvatura es negativa y el rayo se curva hacia abajo.
- c) *Designación del terminal*: no se seleccionó ninguna opción porque las antenas transmisoras se encuentran ubicadas en cerros que están muy por encima del nivel del obstáculo local, por ejemplo edificaciones ubicadas en la ciudad.
- d) *Emisión*: se seleccionó difusión digital porque se va a transmitir un canal de televisión digital con la norma ISDB-Tb.
- e) *Variabilidad*: se puso el valor de 50% del tiempo en el 50% de las localidades, debido a que la recomendación UIT-R P.1546-4 utiliza estos valores en sus curvas y son los que se utilizaron para el cálculo de la potencia de los transmisores. No se utilizaron los valores de 50% de las localidades en el 90% del tiempo porque ICS Telecom no considera estos valores.

- f) *Misceláneos*: se seleccionó *Use effective heights from transmitting station parameters* porque se desea tomar en cuenta los valores de altura de cada uno de los transmisores para realizar la simulación.

- g) *Clutter*: se utilizó el clutter que emplea la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Una vez realizada la simulación, se puede observar en la Figura 4.18 que el área de cobertura se extiende hasta la provincia del Carchi, presentando un nivel de intensidad igual o superior a los $51dB \frac{\mu V}{m}$, lo cual no resulta coherente. El motivo de aquello es que el modelo de propagación UIT-R 1546-4 es un modelo estadístico que no toma en consideración la información del terreno (elevaciones, curvatura de la tierra, bosques, etc.) y los fenómenos de difracción y atenuación por obstrucción del elipsoide de Fresnel [4]. Para la predicción de cobertura utiliza las mismas curvas empleadas en la Sección 4.1.4, que solamente muestran el nivel de intensidad de campo respecto a la altura media del terreno y a una potencia radiada aparente de 1kW. Por lo tanto, este modelo de propagación no es adecuado para realizar la simulación. Para solucionar este inconveniente se va a utilizar el modelo de propagación UIT-R 525/526 para realizar la simulación.

En este punto se evidencia una contradicción, debido a que los cálculos de potencia se realizaron con la recomendación UIT-R P.1546-4 y la simulación se realizará con la recomendación UIT-R 525/526; pero esto se puede aclarar al señalar que la recomendación UIT-R P.1546-4 utiliza curvas y valores tomados de mediciones sobre algunos tipos de terrenos, y es utilizado como una herramienta teórica para la predicción del área de cobertura dentro de un territorio; en cambio la recomendación UIT-R 525/526 utiliza información del terreno para predecir, en base a fórmulas complejas, el área de cobertura dentro de un territorio y puede ser utilizado en un software especializado en predicción de cobertura de señales electromagnéticas.



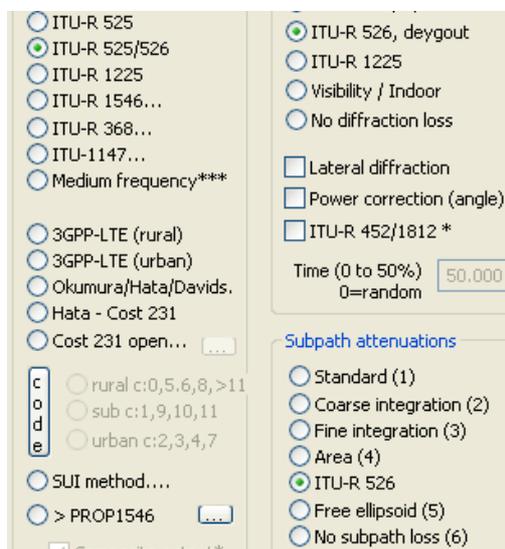
Fuente: ICS Telecom

Figura 4.18 Cobertura empleando el modelo UIT-R 1546-4

- Modelo de propagación 525/526

El modelo de propagación UIT-R 525/526 es un modelo determinístico que toma en cuenta la información del terreno (elevaciones, curvatura de la tierra, bosques, vegetación, etc.) y los fenómenos de difracción y atenuación por obstrucción del elipsoide de Fresnel [4]. Este modelo considera el fenómeno de difracción —ITU-R

526, Deygout—, la atenuación producida por la obstrucción del elipsoide de Fresnel —ITU-R 526—, y la atenuación por espacio libre —ITU-R 525—tal como se muestra en la Figura 4.19.



Fuente: ICS Telecom

Figura 4.19 Parámetros del modelo 525/526

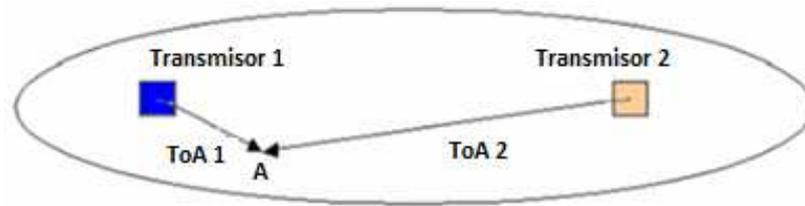
En la Figura 4.20, el área de cobertura calculada con el modelo ITU-R 525/526 se asemeja a la obtenida en las simulaciones de cobertura de los sistemas de televisión analógica, lo que resulta satisfactorio, porque se obtiene la misma área de cobertura, utilizando menor potencia. La presencia de nivel de intensidad de campo en las provincias de Imbabura y Carchi se deben a la presencia de línea de vista hacia el cerro Pichincha.

El resultado de la simulación con el modelo UIT-R 525/526 se presenta en el Anexo E, página 4E.

4.2.1 INTERFERENCIA

Los receptores ubicados en el límite de cobertura de un transmisor, captan las señales de éste y de los transmisores de las zonas adyacentes, pertenecientes a la misma *SFN*. Si bien, los transmisores se encuentran sincronizados, las señales

diferencia de tiempo entre la llegada de la señal a una misma ubicación, tal como se muestra en la Figura 4.21.



Fuente: [4]

Figura 4.21 Diferencia de tiempo de llegada de la señal a un receptor

Tomando en cuenta las observaciones citadas anteriormente, el transmisor de referencia es el número 1, porque es el mejor servidor y el primer servidor, para el receptor ubicado en el punto A; entonces, la diferencia de tiempo de llegada de la señal al punto A, se puede determinar con la ecuación 4.7:

$$\Delta T_{oA} = \Delta T_{oA2} - \Delta T_{oA1} \quad (4.7)$$

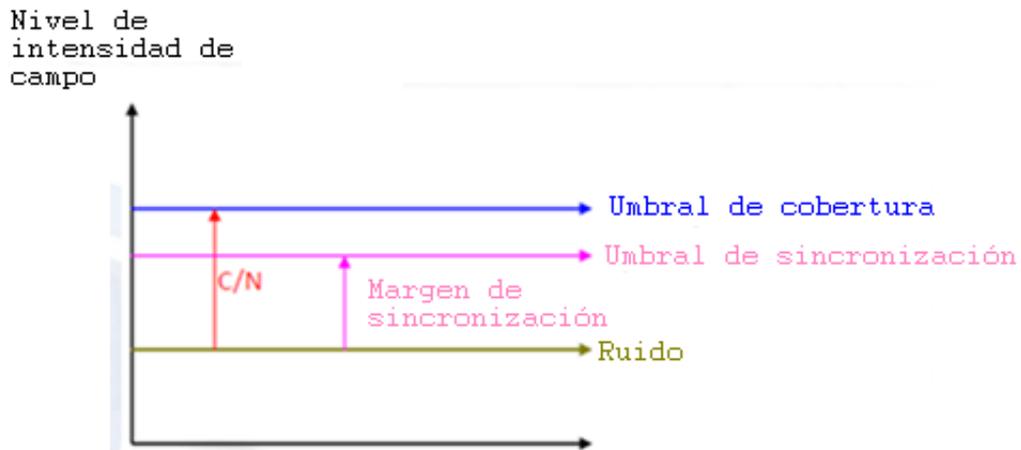
Las fórmulas *EBU*⁷¹ (Anexo D2) permiten calcular la interferencia propia de la red, basándose en dos parámetros, la diferencia de tiempo de llegada al receptor (ΔT_{oA}) y la relación portadora-ruido con interferencia C/N+I [9].

La diferencia de tiempo de llegada al receptor es comparada con el intervalo de guarda y el tiempo útil de símbolo; como resultado de esta comparación, se puede concluir que la señal sea constructiva (cuando la diferencia de tiempo de llegada al receptor es menor al intervalo de guarda), constructiva/destructiva (cuando la diferencia de tiempo de llegada al receptor es mayor al intervalo de guarda).

- Las señales constructivas mejoran el nivel de intensidad de campo.

⁷¹ *EBU* (European Broadcasting Union): Unión Europea de Radiodifusión.

- Para una señal constructiva/destructiva, las interferencias son balanceadas utilizando el coeficiente suplementario w_i , proporcionado en las fórmulas *EBU* (Figura 4.23). Para este balance es necesario tener un umbral de sincronización, como se presenta en la Figura 4.22.



Fuente: [4]

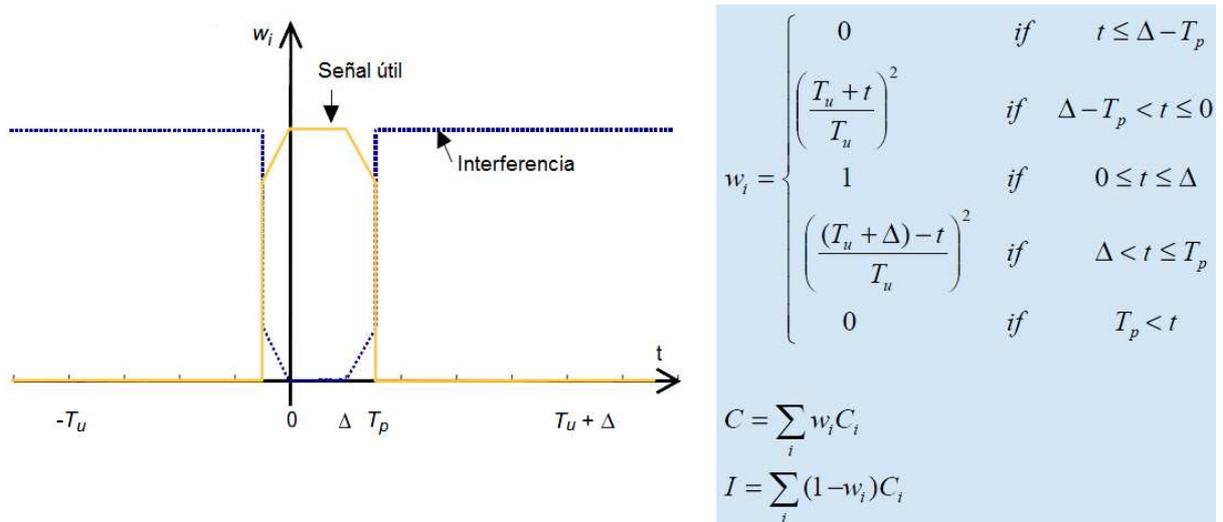
Figura 4.22 Umbral de sincronización

- El umbral de sincronización depende de la intensidad de campo requerida en la recepción. Este umbral define el nivel mínimo de señal necesario para que una señal sea añadida constructivamente a la señal deseada, para un apropiado ΔT_{oA} (término que en las fórmulas *EBU* es t).

El umbral de sincronización está definido por el margen de sincronización, que es la diferencia entre la relación portadora-ruido (C/I) y el margen de ruido presente en el sistema (Figura 4.22), entonces:

$$\text{Umbral de Sincronización} = \text{Ruido} + \text{Margen de Sincronización}$$

$$\text{Umbral de Sincronización} \leq \text{Umbral de Cobertura}$$



Fuente: [9], página 4

Figura 4.23 Fórmulas EBU para balancear interferencias

Donde:

C_i: Contribución en potencia de la i-ésima señal a la entrada del receptor.

C: Potencia total de la señal útil.

I: Potencia total de la interferencia.

w_i: Coeficiente suplementario de la i-ésima componente.

T_u: Duración del tiempo útil de símbolo.

T_p: T_u/3, retardo relativo que considera la EBU para TDT.

Δ: Duración del intervalo de guarda.

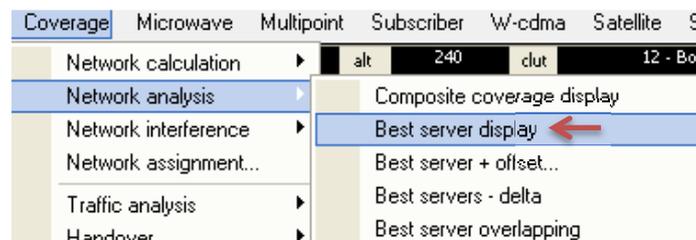
t: Tiempo de arribo de la señal.

Cuando el coeficiente suplementario de la i-ésima componente es igual a cero, la señal producirá interferencia propia de la red, si su valor es 1, la señal contribuirá en su totalidad a la señal deseada en el receptor, pero en los dos casos restantes, la señal puede ser constructiva o destructiva.

Ante la inminente presencia de la interferencia propia de la red, es necesario reducirla, para ello, las señales tienen que estar sincronizadas. Esto se logra añadiendo un retardo (*delay*) en el tiempo de emisión de las señales de los

transmisores, para así, poder minimizar la diferencia de tiempo de llegada al receptor de las señales (ΔT_{oA}).

ICS Telecom posee una herramienta para el cálculo y corrección de la interferencia propia de la red; para hacerlo utiliza las fórmulas *EBU*, descritas anteriormente. Para encontrar la interferencia presente en la *SFN*; en primer lugar se debe obtener el área de cobertura que brinda cada transmisor, para aquello, se debe usar la opción *Best server display* (Figura 4.25), que muestra el área de cobertura de cada transmisor de diferente color, en este caso, el área de cobertura del transmisor ubicado en el cerro Pichincha tendrá color amarillo, mientras que para el transmisor ubicado en el cerro Atacazo tendrá color verde (Figura 4.28).



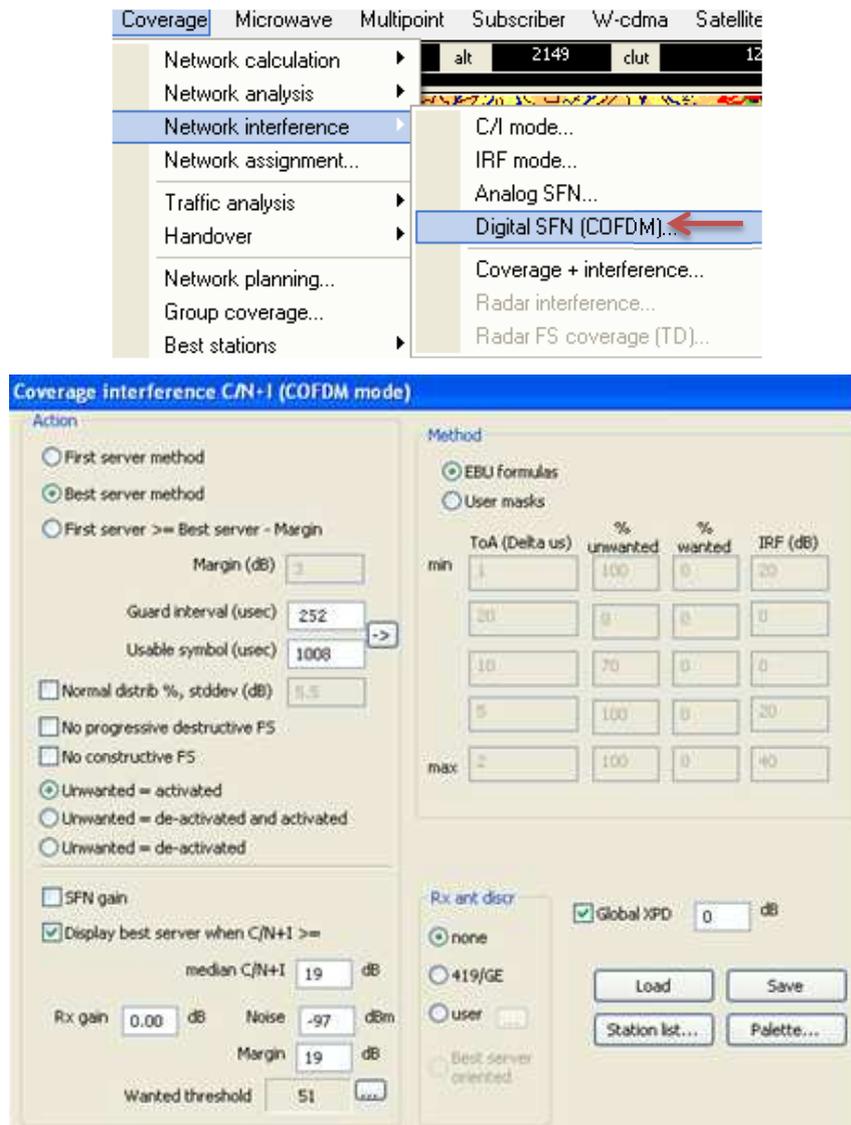
Fuente: ICS Telecom

Figura 4.25 Selección de cobertura para cada transmisor

A continuación, se procede a utilizar la herramienta *Digital SFN (COFDM)*. En esta ventana se debe ingresar el valor del intervalo de guarda y del tiempo útil de símbolo, tomados de la Tabla 4.2 (252 μ s para el intervalo de guarda y 1008 μ s para el tiempo útil de símbolo), tal como se muestra en la Figura 4.26.

Las siguientes opciones han sido seleccionadas por recomendación de ATDI:

- *Best server method* consiste en buscar al transmisor con el cual se obtiene el nivel de intensidad de campo más alto (mejor servidor) y a partir de ahí realizar el análisis de interferencia con las fórmulas *EBU*.
- *Unwanted=activated* ha sido seleccionado para que las señales no deseadas de los otros transmisores sean consideradas en el análisis.



Fuente: ICS Telecom

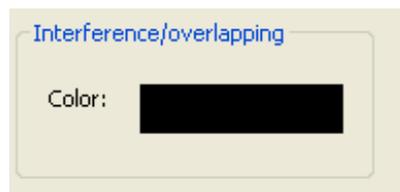
Figura 4.26 Selección de Digital SFN (COFDM) para el análisis de interferencia

- *Display Best Server when C/N+I >=* permite filtrar el resultado sobre el valor de la relación de protección, esto quiere decir, si el resultado del cálculo de C/N+I está por debajo del valor de C/N, el punto está siendo interferido; en cambio, si el resultado está por encima de valor de C/N, el punto no está siendo interferido. Para esta opción es necesario tener el valor de la relación portadora-ruido (C/N), este depende de la tasa de datos, el código convolucional y la modulación digital empleados. El caso crítico se presenta cuando se transmite una señal *HD* con modulación 64QAM, para la que se debe tener una C/N de por lo menos 19dB —QPSK y 16QAM deben cumplir

con una C/N de 6 y 11dB, respectivamente—;entonces, al garantizar este valor, no habrá interferencia en las señales *LD* y *SD* (Anexo D1) [3].

- Dentro de *Display Best Server when C/N+I* >=, -97dBm⁷² es el valor *Noise*, (*ruido*), el umbral de cobertura es $51dB \frac{\mu V}{m}$ y el valor del margen es de 19dB, este mismo valor se configura para C/N+I, debido a que como se va a utilizar el valor de C/N para el análisis de interferencia, éste debe corresponder al umbral de cobertura (Figura 4.22).
- *EBU formulas* para el cálculo de interferencia, no se considera la opción *User masks* porque no se tiene ningún estudio en el que se tengan valores predeterminados para este análisis.
- Dentro de *Rx ant discr* se seleccionó *none* para no tomar en cuenta la discriminación de la antena de recepción [4].

Para distinguir las zonas donde existe interferencia se procede a configurar el color de las zonas interferentes, para este caso se ha seleccionado el color negro, como se muestra en la Figura 4.27

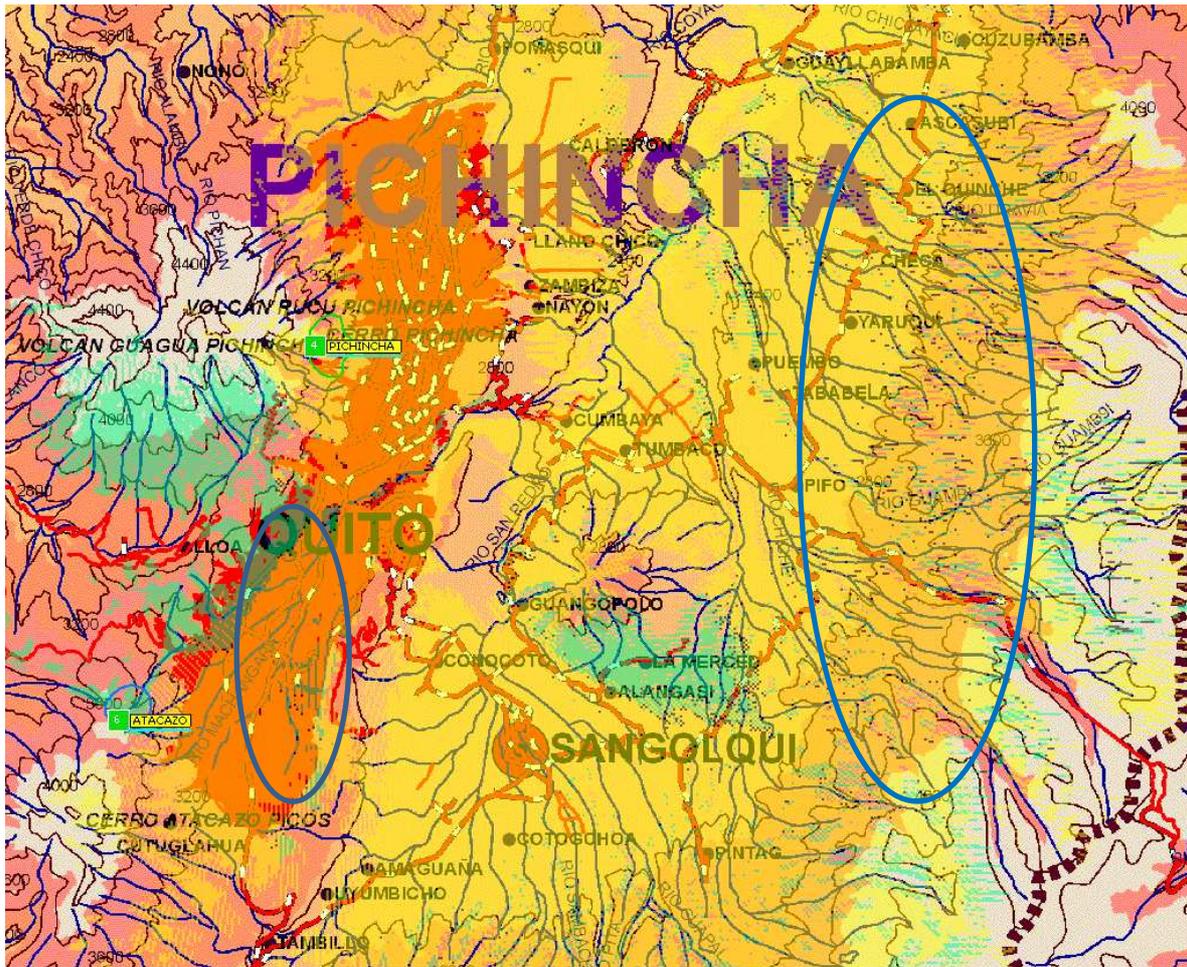


Fuente: ICS Telecom

Figura 4.27 Selección del color para mostrar interferencia

Finalmente, la cobertura de cada transmisor —colores amarillo y verde—y la interferencia propia de la red —puntos de color negro—, se presentan en la Figura 4.28.

⁷² Para sistemas de transmisión de ISDB-Tb y DVB (*Digital Video Broadcast*), se tiene un valor de potencia para el ruido de -97dBm [4].



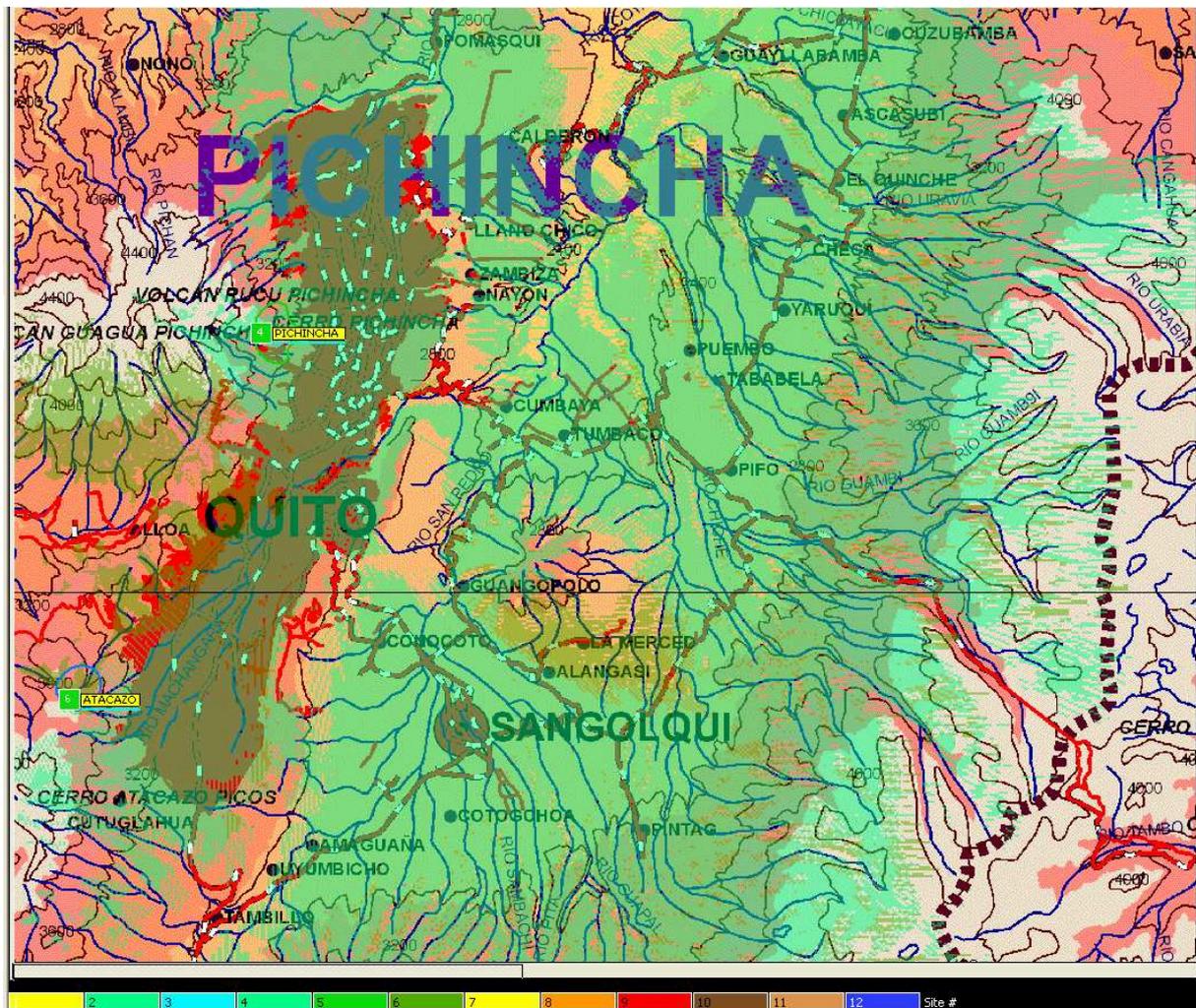
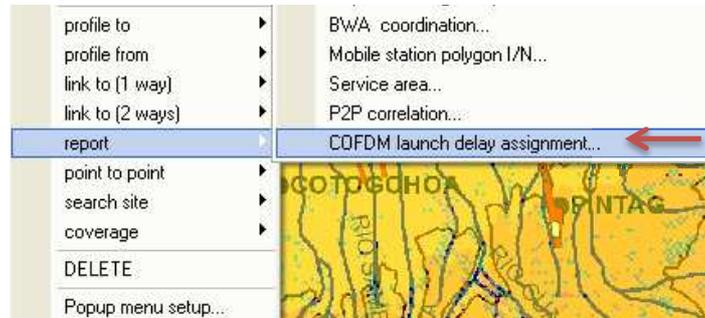
Fuente: ICS Telecom

Figura 4.28 Interferencia propia de la red

Para corregir la interferencia, ICS Telecom brinda la facilidad de hacer una corrección automática en base a poner un retardo o *delay* en el tiempo de emisión de las señales de cada transmisor, para ir verificando si la interferencia se reduce. El análisis debe hacerse transmisor por transmisor, tomando como referencia al mejor servidor. La corrección consiste en añadir un retardo —estableciendo un intervalo de valores para este—, para poder minimizar la diferencia de tiempo de llegada al receptor de las señales (ΔT_{oA}), de tal manera que la interferencia propia de la red disminuya; por ello, el retardo puede ser positivo o negativo.

El transmisor de referencia será el del cerro Pichincha y a continuación se hará el mismo procedimiento con el del cerro Atacazo.

El intervalo recomendado por ATDI [4] para el retardo es de -60 μ s a 60 μ s. Una vez hechas las correcciones de interferencia, se puede observar en la Figura 4.29 la ausencia de interferencia propia de la red. El resultado de la simulación se presenta en el Anexo E, página 5E.



Fuente: ICS Telecom

Figura 4.29 Corrección de interferencia

Los valores del retraso o *delay*, que ICS Telecom ha puesto en cada transmisor, se presentan en la Figura 4.30. Para el transmisor ubicado en el cerro Pichincha se tiene un retraso de $-40\mu\text{s}$, mientras que el transmisor ubicado en el cerro Atacazo se tiene un retraso de $-60\mu\text{s}$.

Tx/Rx parameters: 4 PICHINCHA

General Patterns Channels Site **Advanced**

Type (0) Signal (42) Modulation (25) NFD

Tx/Rx A (0) ISDB-T 6 MHz 64-QAM 3/4

Coverage threshold (dBuV/m)* 51 Launch delay (us) -40 

Rx threshold (dBuV/m)* 51 Frequency offset (kHz) 0.0000

Carrier 0 Availability % 0.00000

C/N (dB) 0 Activity ul/dl (%) 100 / 100

Channel (#) 0 Initial power 700.00000

Tx/Rx parameters: 6 ATACAZO

General Patterns Channels Site **Advanced**

Type (0) Signal (42) Modulation (25) NFD

Tx/Rx A (0) ISDB-T 6 MHz 64-QAM 3/4

Coverage threshold (dBuV/m)* 51 Launch delay (us) -60 

Rx threshold (dBuV/m)* 51 Frequency offset (kHz) 0.0000

Carrier 0 Availability % 0.00000

C/N (dB) 0 Activity ul/dl (%) 100 / 100

Channel (#) 0 Initial power 10.00000

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.30 Delay del transmisor del cerro Atacazo

4.3 EMPLAZAMIENTO DE GAP-FILLERS

Las condiciones geográficas presentes en la zona P dejan a algunas poblaciones sin cobertura, por tal motivo requieren del emplazamiento de *gap-fillers* para ser cubiertas. Analizando la simulación de la Figura 4.20, se pudieron determinar las zonas de sombra sobre áreas pobladas que requieren del emplazamiento de *gap-fillers*; además, se consideró que estas zonas coinciden con las zonas de sombra presentes actualmente. En la Tabla 4.7 se presentan las poblaciones que requieren el emplazamiento de *gap-fillers*.

Tabla 4.7 Poblaciones que requieren el emplazamiento de gap-fillers

POBLACIÓN
Tambillo
Guangopolo
Vicentina
Guápulo
Comité del Pueblo
La Bota
Lumbisí
Nono
Otón
Cayambe
Calacalí
Mindo
Nanegalito
Nanegal
Gualea
Pacto
San José de Minas
Cangahua
Olmedo

Para cada *gap-filler* se debe determinar: ubicación, azimut de máxima radiación, ángulo de inclinación y potencia de transmisión.

Para comprender de mejor forma cómo se desea brindar cobertura a las poblaciones antes mencionadas, en la Figura 4.31 se presenta el diagrama de bloques de un *gap-filler*.

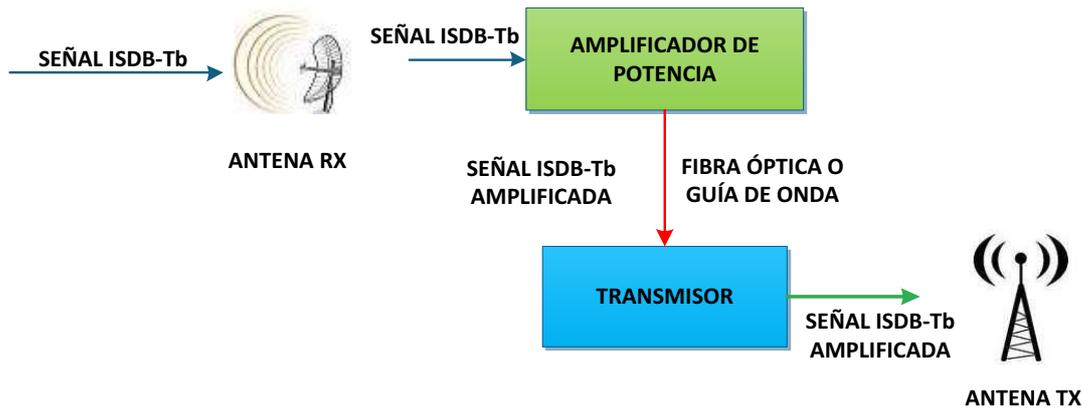


Figura 4.31 Diagrama de bloques de un gap-filler

La antena receptora direccional recibe la señal ISDB-Tb y pasa al amplificador de potencia; este amplificador tiene un transmisor para enviar la señal amplificada hasta el transmisor, por medio de guía de onda o de fibra óptica. Una vez recibida la señal, el transmisor la envía hasta la antena para hacer el *broadcast* en la zona de sombra. La mayoría de fabricantes ofrecen *gap-fillers* que tienen el amplificador de potencia y el transmisor en un solo equipo, siendo innecesario el uso de la guía de onda o de la fibra óptica para llevar la señal del amplificador al transmisor.

Para los *gap-fillers* que tienen la antena transmisora y receptora en lugares cercanos, se debe utilizar fibra multimodo⁷³ con fuente SLED; cuando éstas se encuentren en lugares lejanos, se debe emplear fibra monomodo⁷⁴ con fuente láser.

A continuación se definirán los parámetros necesarios para la implementación de *gap-fillers* para la red de frecuencia única.

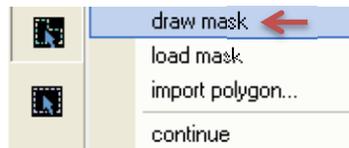
4.3.1 GAP-FILLER TAMBILLO

ICS Telecom posee una herramienta muy útil para buscar el lugar más adecuado para colocar los *gap-fillers*; para ello, se dibuja un polígono de N lados alrededor de la zona sombra, como se muestra en la Figura 4.32.

⁷³ Es la mejor alternativa para distancias menores a 2Km, y debido a que la tasa de datos es menor a 40Mbps se emplea una fuente SLED [2].

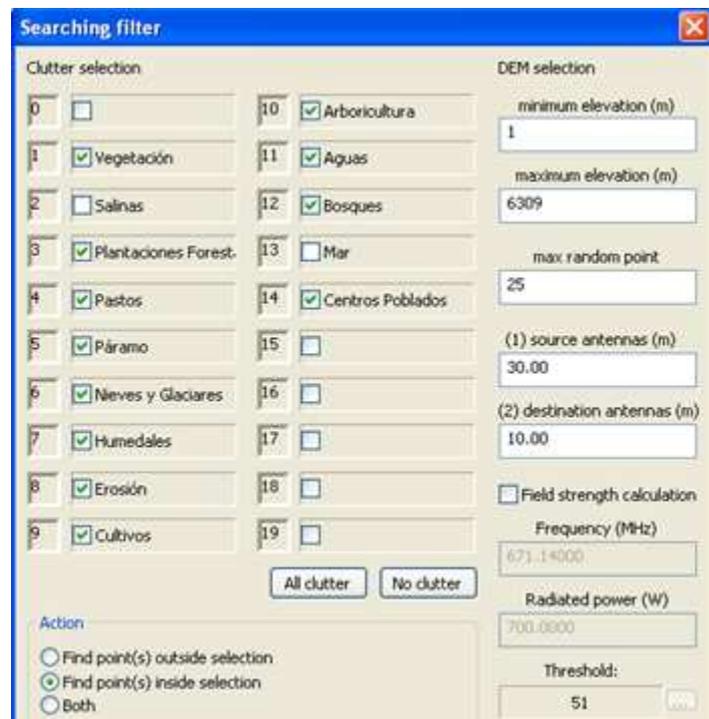
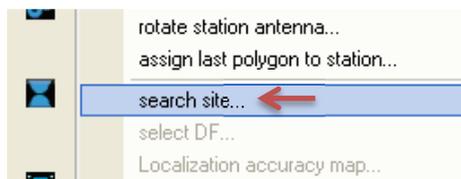
⁷⁴ Es la mejor alternativa para distancias superiores a 2Km, y para estas distancias, es recomendable utilizar una fuente láser [2].

Una vez trazado el polígono es necesario establecer la altura máxima y mínima presente en el terreno, el número de puntos considerados para la búsqueda de la ubicación y el clutter a ser considerado. En la Figura 4.33 se presenta la configuración de estos parámetros.



Fuente: ICS Telecom

Figura 4.32 Trazado de un polígono

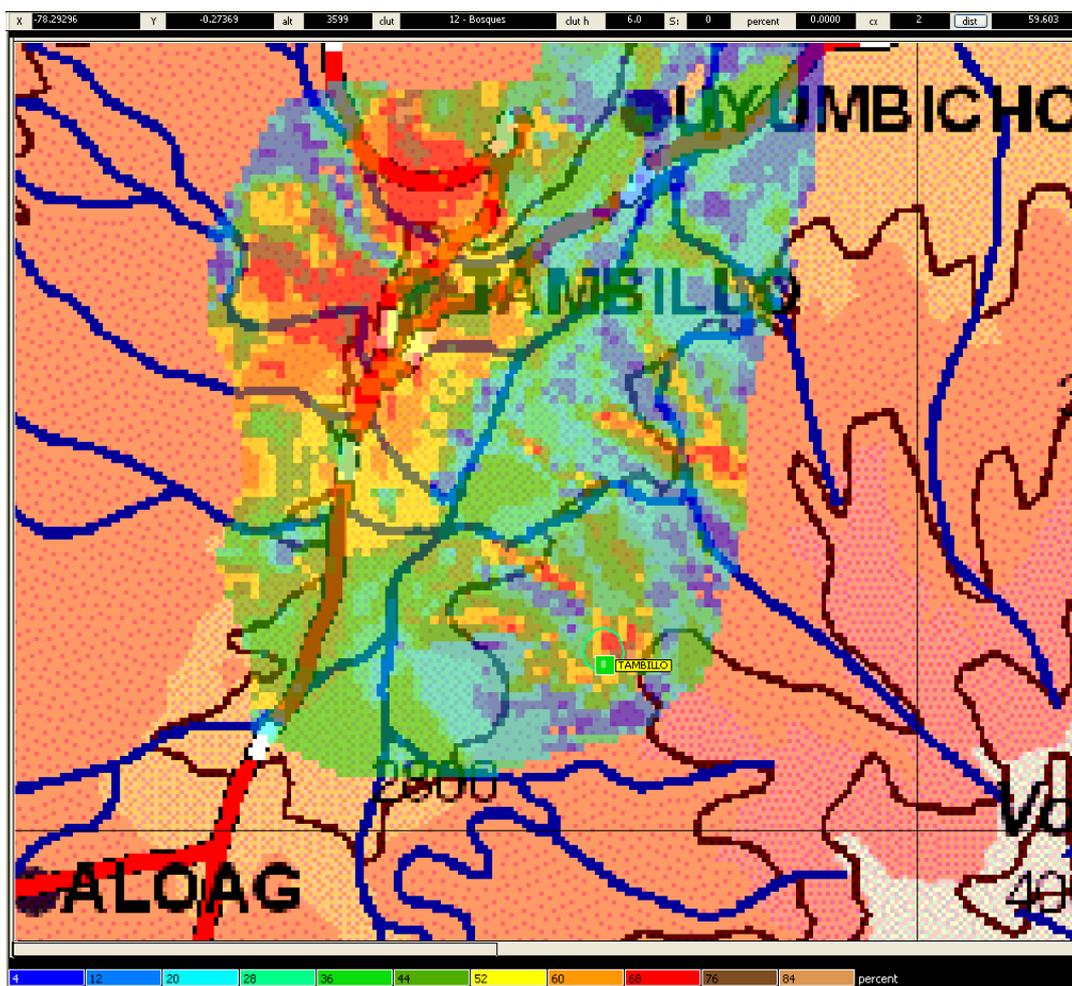


Fuente: ICS Telecom

Figura 4.33 Configuración para la búsqueda de la mejor ubicación para el gap filler

En el clutter se han seleccionado los posibles obstáculos que se pueden presentar en la zona geográfica P, la mínima y máxima elevación pone automáticamente ICS Telecom, tomando los datos que ofrece el mapa de resolución 1:50000; el número de *max. random points* es 25, por recomendación de ATDI [4].

Luego de que ICS Telecom realiza los cálculos en base a la existencia de línea de vista hacia un transmisor, se obtiene como resultado varios colores, donde cada color indica el porcentaje correspondiente a cada punto, siendo el azul el valor más bajo y café el más alto, como se muestra en la Figura 4.34.



Fuente: ICS Telecom

Figura 4.34 Mejor ubicación para el gap filler

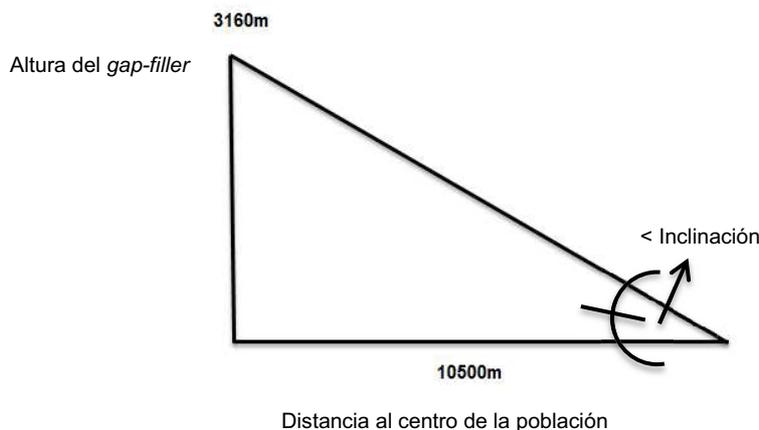
Una vez mostrado el mejor lugar para emplazar un gap-filler, surgió un inconveniente, esta herramienta solo posiciona el *gap-filler* y no lo coloca con un

azimut de máxima radiación y un ángulo de inclinación apuntado al centro de la población sin cobertura.

Para resolver este inconveniente se procedió a utilizar mapas digitales, con el software Global Mapper, con resolución 1:50000, de la zona geográfica P; para determinar el azimut de máxima radiación y el ángulo de inclinación, se tomó como punto de partida la posición que ICS Telcom consideró para emplazar el *gap-filler*. En el Anexo G se muestra el mapa, y las líneas para la determinación del azimut de máxima radiación y de la distancia, para cada uno de los *gap-fillers*.

El valor del ángulo de inclinación se obtiene con la altura de la ubicación del *gap-filler* y la distancia de éste hacia el centro de la población a ser cubierta, utilizando la siguiente expresión:

$$azimut = 357^\circ$$



$$\angle inclinación = 90^\circ - \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{10500}{3160}\right)$$

$$\angle inclinación = -16,75^\circ \approx -17^\circ$$

Debido a que se desconoce el valor de h_{eff} , es necesario calcularlo siguiendo la recomendación UIT-R P.1546-4, en la que se establece: “Se debe tomar los datos de las alturas en el azimut de máxima radiación, desde los 3Km hasta los 15Km”, de

esta forma es posible determinar la altura media sobre el terreno h_m (ecuación 4.8), como se indica en la Sección 4.1.4 del presente documento.

Tabla 4.8 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km *gap-filler* Tambillo

h	2764	2680	2680	2731	2826	2956	2905	3064	3045	3003	2999	3034	3026
d	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

$$h_m = \frac{\sum_{i=3}^{15} h_i}{12} \quad (4.8)$$

$$h_m = \frac{37713}{12} = 3142,75 \text{ m}$$

Una vez obtenida h_m , se puede calcular el valor de h_{eff} con la ecuación 4.9.

$$h_{eff} = (h_{TX} - h_m) + h_a \quad (4.9)$$

Donde:

h_{TX} : Altura de la ubicación del *gap-filler*

h_a : Altura de la antena o del mástil

$$h_{eff} = (3160 - 3142,75) + 30$$

$$h_{eff} = 47,25 \text{ m}$$

Al ser la distancia de 10,5Km, el valor de h_1 es:

$$h_1 = 30 + (47,25 - 30) * \frac{10,5 - 3}{12} = 40,78 \text{ m}$$

El cálculo de la potencia del *gap-filler* se hará empleando el método de la Sección 4.1.4.

a) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 50%

- Interpolación de $h_1 = 40,78m$ para la frecuencia nominal superior

$$f = 2000MHz$$

$$E_{inf} = 60,374dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 67,146dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 60,374 + (67,146 - 60,374) * \frac{\log\left(\frac{40,78}{37,5}\right)}{\log\left(\frac{75}{37,5}\right)}$$

$$E = 61,19dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $h_1 = 40,78m$ para la frecuencia nominal inferior

$$f = 600MHz$$

$$E_{inf} = 60,337dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 66,361dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 60,337 + (66,361 - 60,337) * \frac{\log\left(\frac{40,78}{37,5}\right)}{\log\left(\frac{75}{37,5}\right)}$$

$$E = 61,07dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $f = 671,14MHz$ para la h_1 interpolada anteriormente

$$E_{inf} = 61,07dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 61,19dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right)}$$

$$E = 61,07 + (61,19 - 61,07) * \frac{\log\left(\frac{671,14}{600}\right)}{\log\left(\frac{2000}{600}\right)}$$

$$E = 61,08dB \frac{\mu V}{m}$$

b) Para un porcentaje de tiempo nominal inferior de 10%

- Interpolación de $h_1 = 40,78m$ para la frecuencia nominal superior

$$f = 2000MHz$$

$$E_{inf} = 60,290dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 67,083dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 60,290 + (67,083 - 60,290) * \frac{\log\left(\frac{40,78}{37,5}\right)}{\log\left(\frac{75}{37,5}\right)}$$

$$E = 61,11dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $h_1 = 40,78m$ para la frecuencia nominal inferior

$$f = 600MHz$$

$$E_{inf} = 61,283dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 67,084dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{h_1}{h_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{h_{sup}}{h_{inf}}\right)}$$

$$E = 61,283 + (67,084 - 61,283) * \frac{\log\left(\frac{40,78}{37,5}\right)}{\log\left(\frac{75}{37,5}\right)}$$

$$E = 61,98dB \frac{\mu V}{m}$$

- Interpolación de $f = 671,14MHz$ para la h_1 interpolada anteriormente

$$E_{inf} = 61,98dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E_{sup} = 61,11dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) * \frac{\log\left(\frac{f}{f_{inf}}\right)}{\log\left(\frac{f_{sup}}{f_{inf}}\right)}$$

$$E = 61,98 + (61,11 - 61,98) * \frac{\log\left(\frac{671,14}{600}\right)}{\log\left(\frac{2000}{600}\right)}$$

$$E = 61,90dB \frac{\mu V}{m}$$

Aproximación para curvas E(50,90):

$$E(50,90) = 2 * E(50,50) - E(50,10) = \left(2 * 61,08dB \frac{\mu V}{m}\right) - 61,90dB \frac{\mu V}{m}$$

$$E(50,90) = 60,26dB \frac{\mu V}{m}$$

El valor de intensidad de campo obtenido supera a los $51dB \frac{\mu V}{m}$ recomendados, por lo tanto, se deben restar $9,26dB$ al nivel de señal obtenido anteriormente, entonces:

$$51dB \frac{\mu V}{m}, \text{ corresponde a un valor de } -9,26Bk$$

Manteniendo el mismo sistema radiante la ganancia de la antena es $10dB$, por lo tanto la potencia del *gap-filler* es:

$$P_{TX}(dBk) = -9,26dBk - 10dB = -19,26dBk$$

$$10^{-\frac{19,26}{10}} = \frac{P_{TX}}{1kW}$$

$$P_{TX} = 0,011857 * 1kW = 11,86W \approx 11W$$

$$PER = P_{TX} * 10^{\left(\frac{G-P}{10}\right)} = 11W * 10^{\left(\frac{10-2}{10}\right)}$$

$$PER = 74,95W$$

4.3.2 GAP-FILLER GUANGOPOLO

Tabla 4.9 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km *gap-filler* Guangopolo

h	2600	2560	2554	2520	2503	2480	2446	2440	2400	2400	2383	2260	2320
d	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

$$h_m = 2655,5 \text{ m}$$

$$h_{eff} = 102,5 \text{ m}$$

$$h_1 = 78,33 \text{ m}$$

$$d = 11 \text{ km}$$

$$azimut = 345^\circ$$

$$\angle \text{ inclinación} = -14,22^\circ \approx -14^\circ$$

$$P_{TX} = 4,5W = 5W$$

$$PER = 28,34W$$

4.3.3 GAP-FILLER VICENTINA

Tabla 4.10 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km *gap-filler* Vicentina

h	2760	2600	2683	2551	2697	2647	2560	2507	2495	2371	2290	2460	2419
d	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

$$h_m = 2753,33 \text{ m}$$

$$h_{eff} = 51,67 \text{ m}$$

$$h_1 = 41,74 \text{ m}$$

$$d = 9 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 45^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -16,28^\circ \approx -16^\circ$$

$$P_{TX} = 7,07W = 7W$$

$$PER = 44,65W$$

4.3.4 GAP-FILLER GUÁPULO

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 3 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 134^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -36,37^\circ \approx -36^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150mW$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.5 GAP-FILLER COMITÉ DEL PUEBLO

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 3 \text{ km}$$

azimut = omnidireccional

\angle inclinación = -24°

$P_{TX} = 0,143W = 150mW$

$PER = 0,9W$

4.3.6 GAP-FILLER LA BOTA

Tabla 4.11 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km *gap-filler* La Bota

h	2491	2528	2684	2721	2789	2801	2626	2373	2045	1891	1866	1954	2120
d	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

$h_m = 2574,08 m$

$h_{eff} = 126,92 m$

$h_1 = 86,54 m$

$d = 10 km$

azimut = 30°

\angle inclinación = -15°

$P_{TX} = 2,51W = 3W$

$PER = 15,86W$

4.3.7 GAP-FILLER LUMBISÍ

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 3 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 236^\circ \text{ y } 317^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -0,89^\circ \text{ y } -2,11^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150\text{mW por } 2$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.8 GAP-FILLER NONO

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 346^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -8,77^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150\text{mW}$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.9 GAP-FILLER OTÓN

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 3 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 311,02^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -0,44^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150\text{mW}$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.10 GAP-FILLER CAYAMBE

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 3 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 30,14^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -1,853^\circ \approx -2^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150\text{mW}$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.11 GAP-FILLER CALACALÍ

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 33,69^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -3,44^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150\text{mW}$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.12 GAP-FILLER MINDO

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 148,39^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -10,43^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150\text{mW}$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.13 GAP-FILLER NANEGALITO

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 53,13^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -13,11^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150\text{mW}$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.14 GAP-FILLER NANEGAL

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 352,87^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -8,47^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150\text{mW}$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.15 GAP-FILLER GUALEA

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 303,69^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -8,36^\circ$$

$$P_{TX} = 0,143W = 150\text{mW}$$

$$PER = 0,9W$$

4.3.16 GAP-FILLER PACTO

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 2 \text{ km}$$

$$\text{azimut} = 93,37^\circ$$

$$\angle \text{inclinación} = -4,77^\circ$$

$$P_{TX} = 0,0323W = 40\text{mW}$$

$$PER = 0,203W$$

4.3.17 GAP-FILLER SAN JOSÉ DE MINAS

Tabla 4.12 Altura para cada distancia entre 3Km y 15Km gap-filler San José de Minas

h	2085	2000	2080	2135	2275	2383	2590	2280	2198	2280	2749	2917	2960
d	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

$$h_m = 2577,67 \text{ m}$$

$$h_{eff} = 464,33 \text{ m}$$

$$h_1 = 210,97 \text{ m}$$

$$d = 8 \text{ km}$$

$$azimut = 315^\circ$$

$$\angle \text{ inclinación} = -3,54^\circ$$

$$P_{TX} = 0,222W = 220mW$$

$$PER = 1,4W$$

4.3.18 GAP-FILLER CANGAHUA

$$h_1 = 30 \text{ m}$$

$$d = 2 \text{ km}$$

$$azimut = 161,57^\circ$$

$$\angle \text{ inclinación} = 5,27^\circ$$

$$P_{TX} = 0,0323W = 40mW$$

$$PER = 0,203W$$

4.3.19 GAP-FILLER OLMEDO

$$h_1 = 30 m$$

$$d = 2 km$$

$$azimut = 250,02^\circ$$

$$\angle inclinación = -7,68^\circ$$

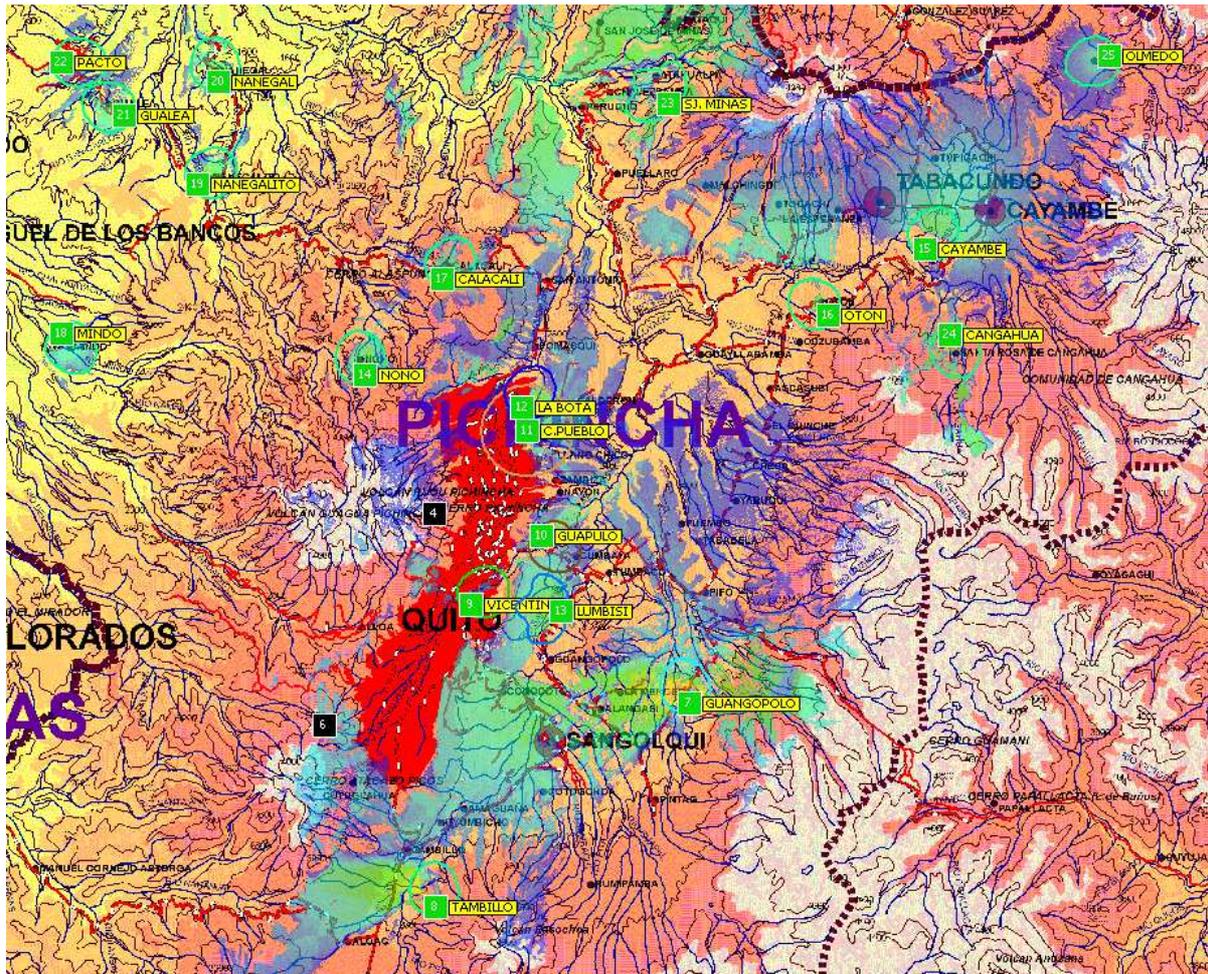
$$P_{TX} = 0,0323W = 40mW$$

$$PER = 0,203W$$

Una vez obtenidos todos los parámetros necesarios para los *gap-fillers* se procede a realizar la simulación, de igual manera que en la Sección 4.2, el resultado es el presentado en la Figura 4.35

Debido a la ausencia de línea de vista entre el cerro Pichincha y los *gap-fillers* ubicados en la parte occidental de la cordillera (Calacalí, Nono, Mindo, Pacto, Gualea, Nanegal y Nanegalito), se propone el uso de fibra óptica para transportar la señal desde la antena receptora hasta el *gap-filler*.

Debido a que la distancia entre la antena receptora y el *gap-filler* está en el orden de las decenas de kilómetros, se debe emplear fibra monomodo con fuente láser.

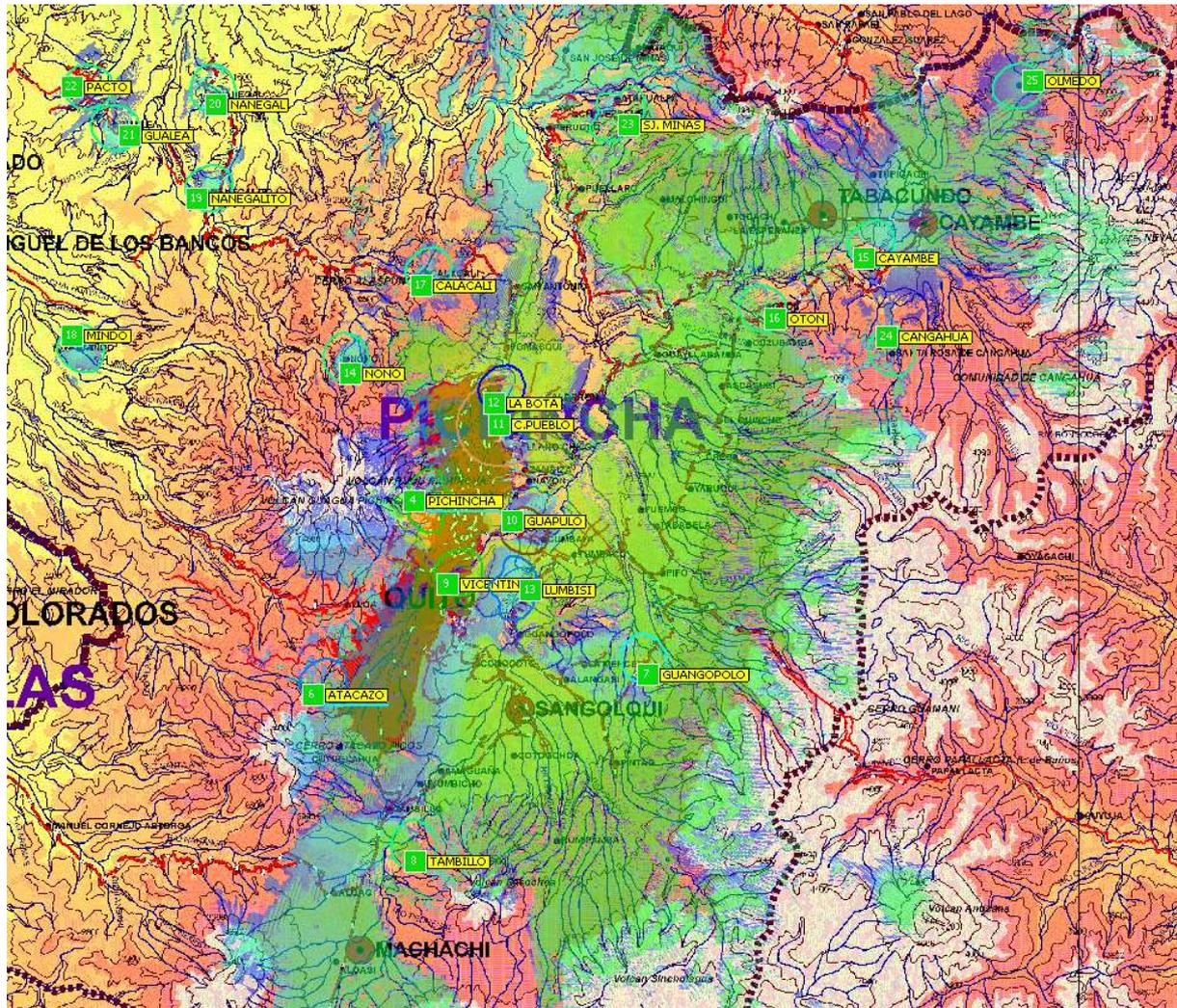


Fuente: ICS Telecom

Figura 4.35 Cobertura de los gap-fillers

El resultado completo de la simulación se presenta en el Anexo E, página 6E.

En Figura 4.36 se muestra la simulación de la red de frecuencia única donde claramente se puede evidenciar la diferencia entre la cobertura actual (Figura 2.12) y la cobertura que se presentaría al implementar la red SFN.



Fuente: ICS Telecom

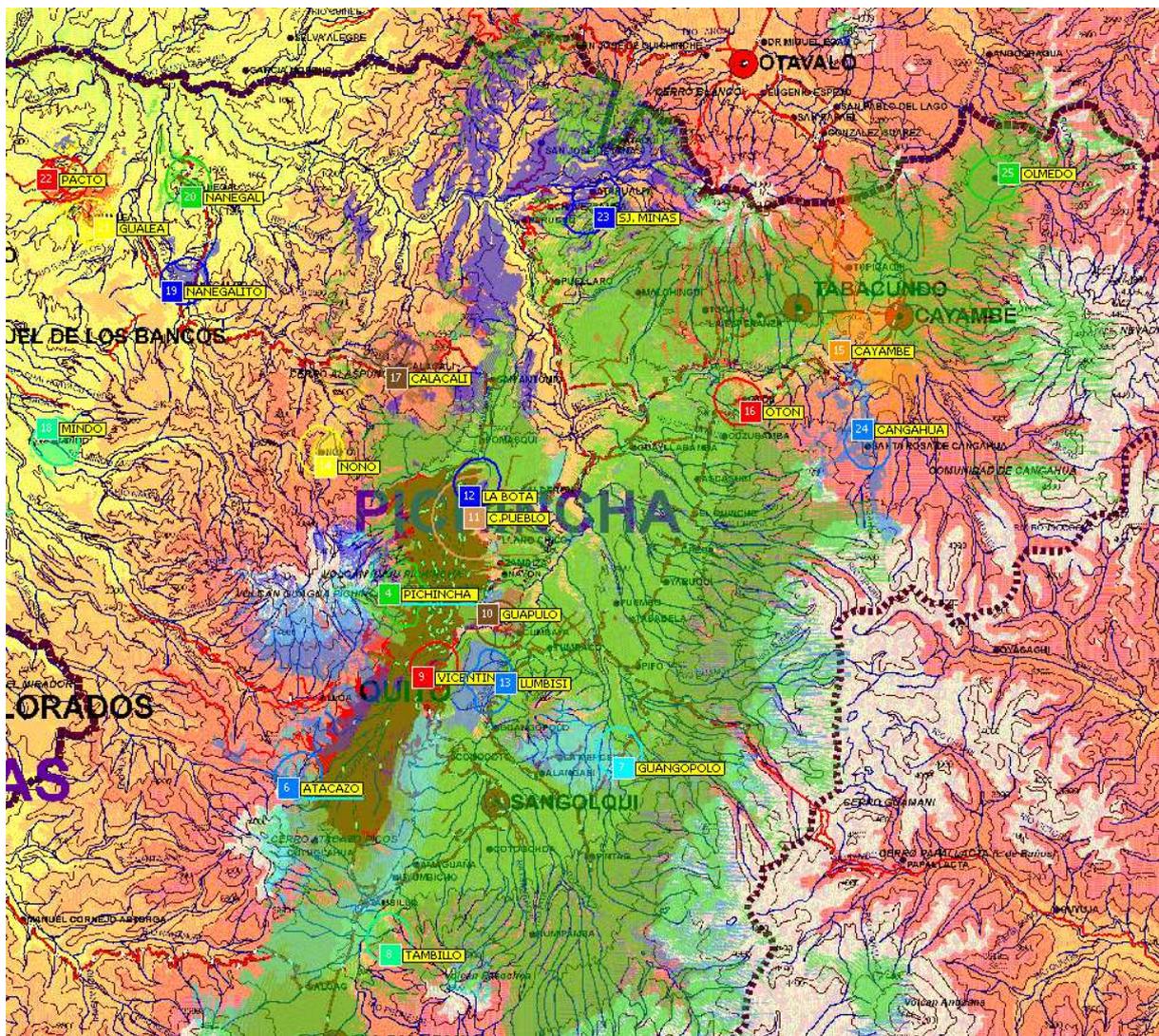
Figura 4.36 Cobertura de la red de frecuencia única

La simulación completa se muestra en el Anexo E, página 7E.

4.3.20 INTERFERENCIA

Con la presencia de los *gap-fillers*, la *SFN* presenta interferencia propia de la red, por tal motivo es necesario realizar la corrección de ésta, de igual manera que se lo hizo en la Sección 4.2.1.

La Figura 4.37 muestra la cobertura de cada transmisor y *gap-filler*, mientras que la Figura 4.38, presenta el funcionamiento de la red de frecuencia única sin interferencia.



Fuente: ICS Telecom

Figura 4.37 Cobertura de cada transmisor y *gap-filler*

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.39 Delay de cada transmisor y gap-filler

Tabla 4.13 Retardo de cada gap-filler

UBICACIÓN GAP-FILLER	RETARDO (μ seg)
Tambillo	50
Guangopolo	-30
Vicentina	-30
Guápulo	0
Comité del Pueblo	0
La Bota	40
Lumbisí	-10
Nono	0
Otón	30
Cayambe	0
Calacalí	0
Mindo	0
Nanegalito	0
Nanegal	0
Gualea	0
Pacto	-15
San José de Minas	-20
Cangahua	-15
Olmedo	60

4.4 ENLACES DE MICROONDAS

Como se mencionó al inicio del capítulo, la información que se debe transportar desde el estudio hasta el lugar donde se realiza la difusión de la señal, es el BTS; para lo cual, se optó por emplear enlaces de microondas, porque son los que actualmente se usan para la transmisión de televisión analógica. Cabe recalcar que

los sistemas de televisión, con cobertura nacional, además de los enlaces de microondas, utilizan enlaces satelitales; el análisis del enlace satelital no se realiza, porque las señales que se envían a través de éstos son digitales; por lo tanto, solo es necesario adaptar el BTS de ISDB-Tb al interfaz que emplean los satélites.

En la Figura 4.40 se presenta un diagrama de bloques del enlace de microondas.

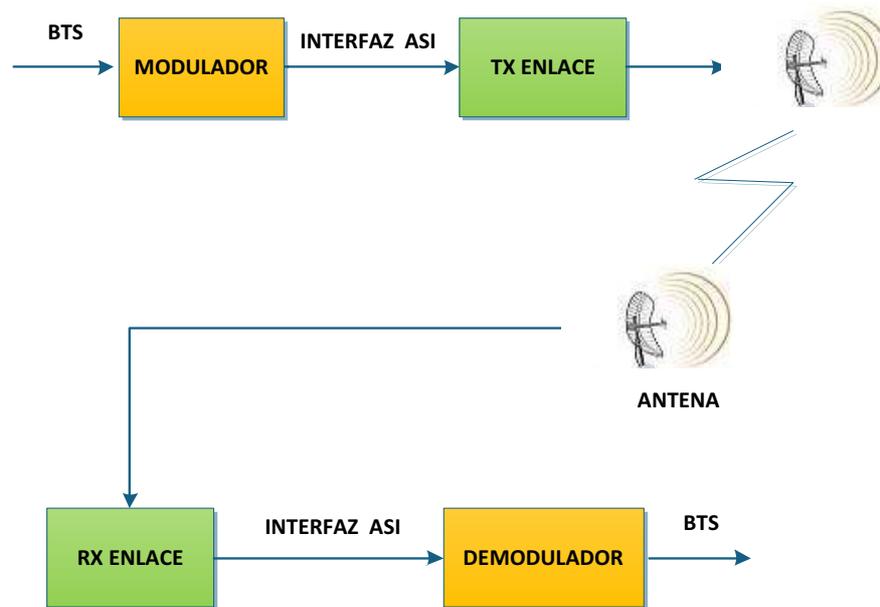


Figura 4.40 Diagrama de bloques del enlace de microondas

La gran mayoría de fabricantes usa la interfaz serial asíncrona (ASI) para los enlaces de microonda, dicha interfaz tiene una tasa de datos constante de 270Mbps, una sola línea coaxial desequilibrada con impedancia de 75Ω y un conector, que generalmente es BNC. Si la tasa de datos del *transport stream* a ser enviado es menor a los 270Mbps, se utilizan bytes de relleno (*stuffing bytes*), que al momento de efectuarse la deserialización serán descartados.

A la entrada del modulador del enlace se recibe el BTS del multiplexor ISDB-Tb, a continuación es modulado y se lo convierte a la interfaz ASI, para poder trasmitirlo hasta el punto de recepción del enlace. La señal captada por el receptor es llevada hasta el demodulador, para poder entregar el BTS original al modulador *OFDM*.

Los enlaces de microondas se diseñarán para la banda de 12GHz, debido a que las restantes, asignadas a este servicio, se encuentran saturadas; además se utilizarán las guías de ondas, conectores y antenas que actualmente se disponen.⁷⁵

4.4.1 ANCHO DE BANDA DEL ENLACE

Para determinar el ancho de banda necesario, ASI utiliza la ecuación 4.10 [11]:

$$\begin{aligned} & \textit{Velocidad de transmisión a la Entrada Modulador} \\ & = \textit{Symbol Rate} * b_s * FEC * RS \quad (4.10) \end{aligned}$$

Donde:

Symbol Rate: Velocidad de símbolo

b_s: bits por símbolo (2-QPSK, 4-16QAM, 6-64QAM 7-128QAM y 8-256QAM)

RS: Coeficiente del codificador Reed Solomon, de valor 188/204

FEC: Coeficiente del codificador convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 o 7/8)

El estándar ISDB-Tb define el valor de 32,507Mbps como la tasa de datos para el BTS, por lo tanto es necesario determinar el ancho de banda para su transmisión. Se debe tener en cuenta que para mantener la tasa del BTS constante se debe aumentar la tasa de datos del enlace debido a los bits de redundancia que incorpora el código convolucional FEC y Reed Solomon.

Los datos disponibles son los siguientes:

- Velocidad de transmisión a la entrada del modulador igual a 32,507Mbps.
- 2 bits por símbolo, utilizando modulación QPSK, para tener una señal robusta.

⁷⁵ Base de datos de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

- Código convolucional de 3/4 para una alta redundancia de bits y Reed Solomon de 188/204.

Entonces la velocidad de símbolo será:

$$\text{Symbol Rate} = \frac{32,507 \text{ Mbps}}{2 * \left(\frac{3}{4}\right) * \left(\frac{188}{204}\right)}$$

$$\text{Symbol Rate} = 23,52 \text{ Mbaudios}$$

Utilizando el teorema de *Nyquist* se puede demostrar que una portadora con modulación digital QPSK ocupa un ancho de banda igual a la velocidad de símbolo:

$$AB_{DATOS} = \frac{V_{TX}}{2} \quad (4.11) \quad [1]$$

$$AB_{QPSK} = \frac{2 * AB_{DATOS}}{\log_2 M^{76}} \quad [1]$$

$$AB_{QPSK} = \frac{2 * AB_{DATOS}}{\log_2 4} = AB_{DATOS}$$

$$\text{Symbol Rate}_{QPSK} = \frac{V_{TX}}{\log_2 M} \quad [1]$$

$$\text{Symbol Rate}_{QPSK} = \frac{V_{TX}}{\log_2 4} = \frac{V_{TX}}{2} = AB_{DATOS} = AB_{QPSK}$$

Finalmente, el ancho de banda será:

$$AB = 23,52 \text{ MHz}$$

⁷⁶ M es el número de niveles de señal [1].

El ancho de banda también se puede determinar utilizando el teorema de *Hartley-Shannon* que considera un canal con ruido, utilizando la ecuación 4.12:

$$C = AB * \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (4.12)$$

Donde:

C: Capacidad del canal

S/N: Relación señal a ruido numérica

AB: Ancho de banda del canal

El valor de la relación señal a ruido teórica de acuerdo al estándar ISDB-Tb se presenta en la Tabla 4.14.

El valor de la relación S/N para el FEC utilizado es 7,5dB equivalente a 5,623 veces.

Tabla 4.14 S/N teórica ISDB-Tb

MODULACIÓN	FEC 1/2 [dB]	FEC 2/3 [dB]	FEC 3/4 [dB]	FEC 5/6 [dB]	FEC 7/8 [dB]
DQPSK	6,2	7,7	8,7	9,6	10,4
QPSK	4,9	6,6	7,5	8,5	9,1
16QAM	11,5	13,5	14,6	15,6	16,2
64QAM	16,5	18,7	20,1	21,3	22,0

Fuente: Digital Terrestrial Television according to ISDB-T [16]

Si la capacidad del canal es igual a la tasa de datos requerida para la transmisión del BTS, tomando en cuenta que se utiliza código convolucional y Reed Solomon, la tasa de datos que se transmite en el enlace es:

$$V_{TX\ Enlace} = 32,507Mbps * \frac{4}{3} * \frac{204}{188}$$

$$V_{TX\ Enlace} = 47,031Mbps$$

Cumpliendo con $V_{TX\ Enlace} \leq C$, el ancho de banda necesario, utilizando el teorema de *Hartley-Shannon* es:

$$AB = \frac{47,031Mbps}{\log_2(1 + 5,623)}$$

$$AB = 17,24MHz$$

Para verificar que 24MHz de ancho de banda, es suficiente para enviar una señal QPSK con tasa de datos de 32.5079Mbps, se realizaron los cálculos recomendados por los fabricantes que usan *ASI* y se aplicó el teorema de *Nyquist* y de *Hartley-Shannon*, con lo que se comprobó que 24MHz es suficiente.

4.4.2 PRESUPUESTO

Se realizará el presupuesto del enlace considerando la potencia del transmisor (P_{TX}), la ganancia de la antena (G), las pérdidas en el espacio libre (L_{FS}), guía de onda y conectores (L_C), el margen de desvanecimiento (F) y el umbral del receptor (U_{RX}); para esto se utiliza la ecuación 4.13:

$$P_{TX} + G - L_{FS} - L_C - U_{RX} = F \quad (4.13)$$

Para calcular la potencia del transmisor se necesita determinar el margen de desvanecimiento para un porcentaje de confiabilidad del 99,99% [5].

Enlace estudio-cerro Pichincha

Características de los accesorios disponibles actualmente:

$$G = 38,55dBd$$

$$L_C \text{ (Pérdidas en conectores y guía de onda)} = 8dB$$

$$U_{RX} \text{ típico} = -78dBm \text{ para un } BER = 10^{-677}$$

⁷⁷ Valor utilizado por la gran mayoría de fabricantes de equipos de enlaces de microondas.

- Pérdidas en espacio libre

Para calcular las pérdidas en espacio libre se utiliza la ecuación 4.14 [12].

$$L_{FS}(dB) = 92,4 + 20 * \log f(GHz) + 20 * \log d(km) \quad (4.14)$$

$$L_{FS} = 92,4 + 20 * \log(12) + 20 * \log(5,45) = 128,71dB$$

- Margen de Desvanecimiento (F) para un tiempo (t) fuera de servicio dado

Para calcular las pérdidas en espacio libre se utiliza la ecuación 4.15 [12].

$$t = a * b * f(GHz) * d^3(km) * 6 * 10^{-7} * 10^{-\frac{10}{F}} \quad (4.15)$$

Para las peores condiciones [12]:

- Del terreno

$$a = 4$$

- Del clima

$$b = 0,5$$

Para una confiabilidad del 99,99%:

$$(1 - t) * 100 = 99,99\%$$

$$t = 1 * 10^{-4}$$

Reemplazando:

$$1 * 10^{-4} = 4 * 0,5 * 12 * 5,45^3 * 6 * 10^{-7} * 10^{-\frac{10}{F}}$$

$$10^{-\frac{10}{F}} = 0,043$$

$$F = 7,31dB$$

- Potencia de transmisión del enlace

$$P_{TX} = F - G + L_{FS} + L_C + U_{RX}$$

$$P_{TX} = 7,31dB - 38,55dBd + 128,71dB + 8dB - 78dBm = 27,47dBm$$

$$P_{TX} = 558,47mW$$

Enlace estudio-cerro Atacazo

Características de los accesorios disponibles actualmente:

$$G = 38,55dBd$$

$$L_C \text{ (Pérdidas en conectores y guía de onda)} = 8dB$$

$$U_{RX} \text{ típico} = -78dBm \text{ para un } BER = 10^{-6} [5]$$

- Pérdidas en espacio libre

$$L_{FS}(dB) = 92,4 + 20 * \log f(GHz) + 20 * \log d(km)$$

$$L_{FS} = 92,4 + 20 * \log(12) + 20 * \log(18,99) = 139,55dB$$

- Margen de Desvanecimiento (F) para un tiempo (t) fuera de servicio dado

$$1 * 10^{-4} = 4 * 0,5 * 12 * 18,99^3 * 6 * 10^{-7} * 10^{-\frac{10}{F}}$$

$$10^{-\frac{10}{F}} = 1,014 * 10^{-3}$$

$$F = 3,33dB$$

- Potencia de transmisión

$$P_{TX} = F - G + L_{FS} + L_C + U_{RX}$$

$$P_{TX} = 3,33dB - 38,55dBd + 139,55dB + 8dB - 78dBm$$

$$P_{TX} = 34,33dBm$$

$$P_{TX} = 2,71W$$

4.4.3 SIMULACIÓN

Al igual que en la simulación de la cobertura de los transmisores ISDB-Tb se deben colocar un Tx/Rx tanto en el estudio como en el sitio de recepción del enlace. Se configuran el valor de la potencia y el tipo de transmisión de las ondas electromagnéticas que se va a efectuar y el tipo de señal a transmitirse.

En la Figura 4.41 se muestra la configuración de los parámetros del transmisor del enlace estudio-cerro Pichincha, mientras que la Figura 4.42 se muestra la configuración de los parámetros del transmisor del enlace estudio-cerro Atacazo. Debido a que se trata de un enlace de microondas, el tipo de transmisión es *Microwave* (enlace punto a punto) y el tipo de señal a transmitirse es *radiocom* (radiocomunicaciones).

A continuación se configuran los parámetros del enlace como modulación, frecuencia, altura de la antena, pérdidas en guía de onda y conectores, ganancia de la antena, ancho de banda, tasa de datos y umbral del receptor.

El sistema radiante a ser usado corresponde al de una antena yagui, debido a que es el más común en la actualidad [5]; y para obtener la orientación de las antenas

transmisora y receptora (azimut y ángulo de inclinación), de manera automática, se utiliza la opción *orientation*.

- Enlace estudio-cerro Pichincha

Tx/Rx parameters: 13 Enlace Dig

General | Patterns | Channels | Site | Advanced

Type: Microwave (9) | Signal: radiocom | Status: Unknown (0) | Frequency plan: No 13 | activated

Tx/Rx

Nominal power (W): 0.500000
 Dynamic (dB): 0
 Tx ant gain (dBd): 38.55
 Rx ant gain (dBd): 0.00
 Losses (dB): tx 8.00 | rx 0.00
 Tx add losses (dB): 0.00
 E.R.P (W): 567.5054
 Frequency (MHz): 12000.00000
 Antenna height (m): 30.00
 Tx bandwidth (kHz): 24000.00
 Rx bandwidth (kHz): 24000.00

Coverage

none
 delete | info

variable power
 fixed power
 fixed frequency
 freqhop/wide band
 variable elevation
 fixed elevation

Info

Callsign: Enlace Dig | Parenting: 0
 address: ESTUDIO | date: 20111107 | yyyyymmdd
 info (1): ENLACE DE MICROONI | type:
 info (2): TRANSMISOR | link:
 Network ID: | group:
 user: | call number: 0

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.41 Parámetros del transmisor del enlace estudio-cerro Pichincha

Tx/Rx parameters: 15 Enlace Dig

General | Patterns | Channels | Site | Advanced

Type: Microwave (9) | Signal: radiocom | Status: Unknown (0) | Frequency plan: No 15 | activated

Tx/Rx

Nominal power (W): 3
 Dynamic (dB): 0
 Tx ant gain (dBd): 38.55
 Rx ant gain (dBd): 0.00
 Losses (dB): tx 8.00 | rx 0.00
 Tx add losses (dB): 0.00
 E.R.P (W): 3405.032
 Frequency (MHz): 12000.00000
 Antenna height (m): 30.00
 Tx bandwidth (kHz): 24000.00
 Rx bandwidth (kHz): 24000.00

Coverage

none
 delete | info

variable power
 fixed power
 fixed frequency
 freqhop/wide band
 variable elevation
 fixed elevation

Info

Callsign: Enlace Dig | Parenting: 0
 address: ESTUDIO | date: 20111107 | yyyyymmdd
 info (1): ENLACE DE MICROONI | type:
 info (2): TRANSMISOR | link:
 Network ID: | group:
 user: | call number: 0

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.42 Parámetros del transmisor del enlace estudio-cerro Atacazo

En la Figura 4.43 se presenta la configuración de los parámetros del enlace de microondas del enlace estudio-cerro Pichincha y del sistema radiante del transmisor y receptor del enlace. En la Figura 4.44 se presenta la configuración de los parámetros del enlace de microondas del enlace estudio-cerro Atacazo y del sistema radiante del transmisor y receptor del enlace.

The screenshot shows the 'Microwave link parameters' window with the following configuration:

- General:** Ident: Enlace Dig, bi-directional, Passive..., Param..., Reflector..., 0.0 dB, Frequency plan.
- Date:** 20111107, User: Base..., Status: Unknown (0), Modulation: QPSK 3/4.
- Station A (ESTUDIO):** Address: ESTUDIO, info (1): ENLACE DE MICROOF, Channel, Freq (MHz): 12000.00000, F2 MHz: 0.00000, 1st antenna: 30.00 m, Gain (dB): 38.5E, Losses (dB): 8.00 tx, 0.00 rx, Power dBm: 26.9E, Adlos: 0.00, ERP A (W): 567.505344.
- Station B (CERRO PICHINCHA):** Address: CERRO PICHINCHA, info (1): ENLACE DE MICROOF, Channel, Freq (MHz): 12000.00000, F2 MHz: 0.00000, 1st antenna: 30.00 m, Gain (dB): 0.00, Losses (dB): 0.00 tx, 0.00 rx, Power dBm: 30.0E, Adlos: 0.00, ERP B (W): 1.000000.
- Common:** Bandwidth (kHz): 24000.00, Dynamic (dB): 0, Mbit/s: 32.5070, Thresh. (dBm) -6/-3: -78.0 / -35.0, KTBF (dBm): -97, PSK: 0, Kn (signature, 0=no eq): 0.00, 0.00, 10-6, 10-3, C/I required (dB): 0, Tropo: Diver. order: 2, Eq margin: 0, Squint loss: 0.0, Noise figur: 0.0, NFD.

The screenshot shows the 'radio pattern envelop' configuration window with the following settings:

- radio pattern envelop:** use RPE 3D files.
- Antenna A:** H-pattern, V-pattern, Aperture (°): 0.00, Diameter/size (m): 0.0, Tilt (°): 10.684, Azimuth (°): 302.80, polarization Tx: V, H, polarization Rx: V, H, X pol disc (dB): 0.00.
- Antenna B:** H-pattern, V-pattern, Aperture (°): 0.00, Diameter/size (m): 0.0, Tilt (°): -10.68, Azimuth (°): 122.80, polarization Tx: V, H, polarization Rx: V, H.
- Parabol:** ITU-R F.1245, ITU-R F.699-4, Wien Fix, orientation, 2D, * flat earth.

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.43 Sistema radiante del enlace estudio-cerro Pichincha

El resultado de la simulación se presenta en el Anexo E, página 9E.

Microwave link parameters

General | Patterns | Site | Equipment | Objectives

Ident: Enlace Dig | bi-directional | Passive... | Param... | Reflector... | 0.0 dB | Frequency plan: [v] [P] [F]

Date: 20111107 | User: | Base... | Status: Unknown (0) | Modulation: QPSK 3/4

Station A

Address: ESTUDIO
 info (1): ENLACE DE MICROOF
 Channel: [v]
 Freq (MHz): 12000.00000
 F2 MHz: 0.00000 | div...
 1st antenna: 30.00 m
 2nd ant: 0.00 m | 0 dB
 Gain (dB): 38.5E | T/R: 0.00
 Losses (dB): 8.00 | tx | 0.00 | rx
 Power dBm: 34.77 | Adlos: 0.00
 ERP A (W): 3405.032621

Station B

Address: CERRO ATACAZO
 info (1): ENLACE DE MICROOF
 Channel: [v]
 Freq (MHz): 12000.00000
 F2 MHz: 0.00000 | div...
 1st antenna: 30.00 m
 2nd ant: 0.00 m | 0 dB
 Gain (dB): 0.00 | T/R: 0.00
 Losses (dB): 0.00 | tx | 0.00 | rx
 Power dBm: 30.00 | Adlos: 0.00
 ERP B (W): 1.000000

Common

Bandwidth (kHz): 24000.00
 Dynamic (dB): 0
 Mbit/s: 32.5070
 Thresh. (dBm) -6/-3: -78.0 / -35.0
 KTBf (dBm): -97 | calc
 PSK: 0 | Upd
 Kn (signature, 0=no eq): 0.00, 0.00, 10-6, 10-3
 C/I required (dB): 0

Tropo

Diver. order: 2 | Eq margin: 0
 Squint loss: 0.0 | Noise figur: 0.0
 NFD: [v]

Buttons: Load, Save, Report, Multimedia, Frequencies, SQL eqmt, Spacing MHz: 0.00000, Diversity MHz: 0.00000, 4 Rx, Prt

Buttons: Aceptar, Cancelar

Microwave link parameters

General | Patterns | Site | Equipment | Objectives

radio pattern envelop

use RPE 3D files

select antenna a
 select antenna b

Parabol

ITU-R F.1245
 ITU-R F.699-4
 Wien Fix
 orientation
 2D
 * flat earth

Buttons: Prt, Aceptar, Cancelar

Fuente: ICS Telecom

Figura 4.44 Sistema radiante del enlace estudio-cerro Atacazo

El resultado de la simulación se presenta en el Anexo E, página 10E.

4.5 LISTADO DE EQUIPOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE FRECUENCIA ÚNICA

Para definir el listado de los equipos que se deberían adquirir para la implementación de este proyecto, primero se debe representar el sistema en su totalidad, Figura 4.45.



Figura 4.45 Sistema de televisión digital terrestre abierta

El sistema de televisión digital terrestre abierta involucra a diferentes actores de la sociedad, desde los productores de contenidos, pasando por el sistema de transmisión y recepción, hasta los televidentes.

Es importante recordar que el presente diseño se ocupa de transportar la información desde el estudio donde se generan los contenidos hasta el receptor del televidente.

Considerando que este diseño se está desarrollando para una estación de televisión que ya se encuentra emitiendo señal analógica, se debería mantener la mayoría de elementos que sea posible para realizar el cambio a la TDT. Por lo tanto, para el presente diseño se van a mantener los elementos presentados en la Tabla 4.15. Se mantendrá la infraestructura debido a que no influye en la operación del sistema, se conservarán los equipos del estudio porque manejan formatos digitales y no son parte del análisis de este proyecto de titulación; por último se mantendrá el sistema radiante y las guías de onda debido a que se utilizará la misma banda de frecuencia.

Tabla 4.15 Elementos disponibles a ser utilizados

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
Infraestructura	Caseta, torre, acometida eléctrica, protecciones eléctricas y demás infraestructura básica.
Estudio	Cámaras, consolas y demás equipo de estudio.
Antenas	Antenas ubicadas en el cerro Pichincha y antenas de los enlaces de microondas, incluyendo el cable coaxial y las guías de onda.

Una vez concluido el diseño de la red de frecuencia única, el listado de los equipos necesarios para su implementación se presenta en las Tablas 4.16 (transmisores), 4.17 (gap-fillers), 4.18 (enlace de microondas) y 4.19 (sistema radiante).

Tabla 4.16 Transmisores

UBICACIÓN DEL TRANSMISOR	POTENCIA
cerro Pichincha	700W
cerro Atacazo	10W

Tabla 4.17 Gap-fillers

UBICACIÓN GAP-FILLER	POTENCIA	UBICACIÓN GAP-FILLER	POTENCIA
Tambillo	11W	Calacalí	150mW
Guangopolo	50W	Mindo	150mW
Vicentina	7W	Nanegalito	150mW
Guápulo	2W	Nanegal	150mW
Comité del Pueblo	5W	Gualea	150mW
La Bota	3W	Pacto	40mW
Lumbisí	300mW	San José de Minas	5W
Nono	150mW	Cangahua	5W
Otón	1W	Olmedo	40mW
Cayambe	500mW		

Tabla 4.18 Enlaces microonda

ENLACE MICROONDA	POTENCIA
Estudio-cerro Pichincha	0,5W
Estudio-cerro Atacazo	3W

Para la operación de un gap-filler es necesario un sistema radiante⁷⁸, compuesto por una antena de recepción y una de transmisión; para el presente diseño se consideró el uso de una antena yagui UHF para la recepción y un panel UHF para la transmisión. El uso de la antena yagui se justifica en la necesidad de tener una antena directiva para la recepción de la señal ISDB-Tb proveniente del lugar de

⁷⁸ Anteriormente solo se tomó en cuenta el sistema de transmisión del *gap-filler*.

transmisión, además de la facilidad de conseguirla en el mercado y a un precio menor al de una parabólica.

Se consideró un panel UHF debido a que la gran mayoría de sistemas de televisión usan este tipo de antena para transmitir su señal a los receptores de televisión.

Adicionalmente, la razón de pedir un panel UHF se debe a que se lo va a usar para transmitir la señal ISDB-Tb desde el cerro Atacazo. ECUADORTV ya cuenta con el permiso de la Superintendencia de Telecomunicaciones para colocar una repetidora en el cerro Atacazo y su implementación es cuestión de poco tiempo, por tal motivo se ha tomado en cuenta que al momento de implementar la TDT la infraestructura necesaria estará disponible.

Tabla 4.19 Sistema radiante para la red de frecuencia única

TIPO DE ANTENA	CANTIDAD
Yagui UHF	19
Panel UHF	20

4.5.1 PRINCIPALES MARCAS QUE OFRECEN ESTOS EQUIPOS EN EL MERCADO NACIONAL

Para la elección de las marcas a ser mencionadas, se han considerado los siguientes aspectos:

- *Tener al menos un representante en el país:* Es importante que las marcas elegidas tengan un representante a nivel nacional por aspectos referentes a la garantía, repuestos y servicio técnico; además, porque instituciones gubernamentales como la Superintendencia de Telecomunicaciones realizan la adquisición de equipos a través del portal de compras públicas.
- *Tener equipos funcionando en el país:* En la operación de un TX influyen diferentes aspectos como el clima, la altura, etc., por lo tanto, se ha preferido cotizar con marcas cuyo funcionamiento ya ha sido probado en el Ecuador.

- *Ser marcas de diferentes países:* Existen innumerables marcas a nivel mundial, por lo que se ha decidido cotizar con marcas de diferentes países, los cuales sean reconocidos a nivel internacional en el ámbito de la fabricación de transmisores para radiodifusión.

Considerando los aspectos antes mencionados se ha elegido las siguientes marcas:

- Harris Corporation

Harris es una empresa norteamericana con muchos años de experiencia, la cual ofrece diferentes líneas de productos. En el área de las telecomunicaciones sus comienzos fueron en el año de 1957. Actualmente, Harris es una compañía internacional de comunicaciones y tecnología de la información, presente en más de 150 países, con sede en Melbourne, Florida. La compañía tiene aproximadamente \$ 6 mil millones de ingresos anuales y más de 16.000 empleados, incluyendo casi 7.000 ingenieros y científicos [13].

A nivel nacional es la marca con la mayor cantidad de equipos operando entre los principales sistemas de televisión. Su representante en el país es la empresa Peucro S.A. [3].

- Linear Equipamentos Eletrônicos, S.A.

Linear es una empresa brasileña que ofrece equipos para televisión, de calidad y precios atractivos. Es una empresa con más de 30 años de experiencia en la fabricación de equipos para televisión. Con más de 30.000 sistemas instalados en aproximadamente 40 países, Linear se ha posicionado como uno de los más importantes proveedores de transmisores de televisión digital en Brasil [14].

Linear tiene varios equipos instalados alrededor del Ecuador y ha brindado capacitación en el país sobre el estándar ISDB-Tb; su representante en el Ecuador es Ecuatronic, que es la empresa que brinda soporte técnico a la mayoría de sistemas de televisión a nivel nacional [5].

- DB Elettronica Telecomunicazioni S.p.A

Fundada en Italia en 1975, DB Elettronica es una empresa Italiana caracterizada por su calidad, precio competitivo y tecnologías de estado sólido tanto para sistemas analógicos como para digitales. En la actualidad es una compañía líder en Europa en la fabricación de equipos para transmisión FM y de TV, comunicaciones RF y comunicaciones por microondas. Cuenta con tres oficinas centrales ubicadas en Padua al Norte de Italia, Roma y Miami [15].

A lo largo de país existen varios equipos de DB Elettronica funcionando, su representante a nivel nacional es el Ing. Rodrigo Jarrín Jarrín.

4.5.2 LISTADO DE LOS EQUIPOS

Es necesario mencionar que en los objetivos, alcance y temario del plan de proyecto de titulación aprobado, se plantea presentar un listado de equipos, debido a que se solicitó cotizaciones e información técnica a través de la Superintendencia de Telecomunicaciones en requerimientos firmados por el Director Nacional de Gestión y Control de Radiodifusión y Televisión, sin obtener respuesta alguna. La información técnica obtenida, y que se adjunta en el ANEXO H, se obtuvo en las charlas introductorias que ofrecieron LINEAR y HARRIS y a través de la Internet; sin embargo, existe información incompleta acerca de las características técnicas de algunos equipos del listado.

El listado de equipos que se necesitan para la implementación de la red de frecuencia única se detalla a continuación.

- a) Un Transmisor completo de 700W y uno de 8W, para TV digital norma ISDB-Tb.

Debe incluir:

- 1 Modulador OFDM ISDB-Tb
- 1 Excitador
- Amplificador de salida
- Filtros de salida

Tabla 4.20 Características técnicas del TX para el cerro Pichincha

Marca	LINEAR	HARRIS	DB Elettronica
Modelo	IS704HA	Maxiva UAX 1000	DBTU/1000
Características Generales			
Potencia de salida	1.000W.	1.000W	1.000W
Rango de frecuencia	470MHz - 860MHz Canales del 14 al 69	470MHz - 862MHz Canales del 14 al 69	470MHz - 860MHz Canales del 14 al 69
Emisión de armónicos	> -60dBc ⁷⁹	< -40dB (Antes del filtro)	No se halló datos
Emisión de espurias	> -60dBc	No especifica	No se halló datos
Conector de salida	EIA 1-5/8"	DIN 7-16	EIA 7/8
Voltaje de alimentación	220Vac, 3Ø	220Vac, 3Ø	No se halló datos
Consumo	6,67 KVA	No especifica	No se halló datos
Estándar de TV	ISDB-Tb	ISDB-Tb	No se halló datos
Ancho de banda	6MHz	6, 7 u 8 MHz	No se halló datos
Altura de operación	> 4.000m s.n.m.m.	> 4.000m s.n.m.m.	No se halló datos
Modulador			
Formato	ASI 188 / 204 bytes 10Base-T/100 Base- TX Ethernet (IEEE 802.3u)	ASI	ASI
Conector	BNC Hembra y RJ45	BNC Hembra	BNC Hembra
Impedancia	75Ω	75Ω	75Ω

Tabla 4.21 Características técnicas del TX para el cerro Atacazo

Marca:	LINEAR	HARRIS	DB Elettronica
Modelo:	IS702LA	Maxiva UAX 10	DBTU/15
Características Generales			
Potencia de salida:	10W.	13W	15W
Rango de frecuencia:	470MHz - 860MHz Canales del 14 al 69	470MHz - 862MHz Canales del 14 al 69	470MHz - 860MHz Canales del 14 al 69
Emisión de armónicos:	> -60dBc	< -40dB (Antes del filtro)	No se halló datos
Emisión de espurias:	> -60dBc	No especifica	No se halló datos
Conector de salida:	N Hembra	N Hembra	N Hembra
Voltaje de alimentación:	120Vac	120Vac, 2Ø	No se halló datos
Consumo:	333,3VA	No especifica	No se halló datos
Estándar de TV	ISDB-Tb	ISDB-Tb	No se halló datos
Ancho de banda:	6MHz	6, 7 u 8MHz	No se halló datos
Altura de operación:	> 4.000m s.n.m.m.	> 4.000m s.n.m.m.	No se halló datos
Modulador			
Formato:	ASI 188 / 204 bytes 10Base-T/100 Base- TX Ethernet (IEEE 802.3u)	ASI	ASI
Conector:	BNC Hembra y RJ45	BNC Hembra	BNC Hembra
Impedancia:	75Ω	75Ω	75Ω

⁷⁹ Es el nivel de potencia de la señal respecto al nivel de potencia de la portadora, expresado en dB.

b) Un Re-multiplexor ISDB-Tb

Tabla 4.22 Características técnicas del re-multiplexor ISDB-Tb

Marca:	LINEAR
Modelo:	ISMUX-004
Voltaje de alimentación:	127 Vac / 220Vac
Consumo:	20W
Formato:	ASI 188 / 204
Conector:	BNC
Impedancia:	75Ω
Tasa de datos	≥ 23,234Mbps
Número de entradas	8
Formato	ASI
Conector:	BNC
Impedancia:	75Ω
Tasa de datos	~32,508Mbps
Número de salidas	2

No se encontró información acerca del re-multiplexor ISDB-Tb en las marcas Harris y DB Elettronica.

- c) 6 Gap-fillers de 150mW
- d) 1 Gap-filler de 300mW
- e) 2 Gap-fillers de 40mW
- f) 1 Gap-filler de 500mW
- g) 1 Gap-filler de 1W
- h) 1 Gap-filler de 2W
- i) 1 Gap-filler de 3W
- j) 3 Gap-fillers de 5W
- k) 1 Gap-filler de 7W
- l) 1 Gap-filler de 11W
- m) 1 Gap-filler de 50W

Tabla 4.23 Características técnicas de los *gap-fillers*

Marca:	LINEAR	DB Elettronica
Potencia de salida:	10W, 50W y 100W	2W, 6W y 10W
Rango de frecuencia:	470MHz - 860MHz Canales del 14 al 69	30MHz - 1000MHz
Emisión de armónicos:	> -60dBc	> -50dB
Emisión de espurias:	> -60dBc	> -50dB

Continuación Tabla 4.23

Atenuación del eco:	> 30dB	No especifica
Voltaje de alimentación:	120Vac	No especifica
Consumo:	230W, 530W y 1060W	No especifica
Estándar de TV	ISDB-Tb	ISDB-Tb
Ancho de banda:	6MHz	5MHz, 6MHz, 7MHz y 8MHz
Altura de operación:	> 4.000m s.n.m.m.	No especifica
Sensibilidad:	-60dBm - -20dBm	-77dBm - -7dBm
Conector entrada:	N Hembra	N Hembra
Impedancia:	50Ω	50Ω
Conector salida:	N Hembra	N Hembra
Impedancia:	50Ω	50Ω

No se encontró información acerca de *gap-fillers* en la marca Harris.

- n) 20 Paneles de UHF banda IV/V para transmisión
- o) 19 Antenas Yagui para recepción banda IV/V
- p) 1 Enlace digital completo de 0.5 W y 1 de 3W en la banda de 12 GHz

Debe incluir:

- Transmisor de enlace INDOOR
- Receptor de enlace INDOOR
- 2 Antenas de 4 pies.

Total: 2 transmisores, 19 *gap-fillers*, 2 enlaces digitales, 20 paneles UHF y 19 antenas Yagui.

4.6 REFERENCIAS

- [1] JIMÉNEZ, María Soledad (2010). *Folleto de comunicación digital*. Quito: Escuela Politécnica Nacional
- [2] JIMÉNEZ, María Soledad (2010). *Folleto de comunicaciones ópticas*. Quito: Escuela Politécnica Nacional

- [3] PISCIOTTA, Néstor (2011). C/N ISDB-Tb, Documento electrónico enviado por e-mail el 29 de septiembre de 2011
- [4] RODRIGUEZ, Joel. ATDI (Comunicación personal, septiembre 2011)
- [5] SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES (2011). Base de datos con la información técnica de los sistemas de televisión Consultado el 14 de septiembre de 2011
- [6] UIT (2009). *Recomendación UIT-R P.1546-4*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 10 de septiembre de 2011
- [7] http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?null&filtro=1&documentoPath=biblioteca/resolucao/2005/anexo_res_398_2005.pdf, Último acceso 13 de noviembre de 2011 (Anatel)
- [8] <http://www.scribd.com/doc/77840184/Consult-a-5>, Último acceso 15 de enero de 2012 (Gradiente)
- [9] http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_295-brugger.pdf, Último acceso 12 de diciembre de 2011 (EBU)
- [10] http://www.tvd.cl/prontus_tvd/descargas/antecedentes_docs/estudios_mtt/estudio_uc.pdf, Último acceso 21 de diciembre de 2011 (MPEG Tasas)
- [11] <http://www.advicom.ec/userFiles/files/Manual%20deTransmisi%C3%83%C2%B3n%20Digital%20de%20TV-%20ABE.pdf>, Último acceso 02 de diciembre de 2011 (ASI)
- [12] <http://books.google.com.ec/books?id=V8Lk2ghPI7IC&pg=PA245&dq=NAB+handbook+read+online&hl=es&sa=X&ei=AMIDT4C4Fcn6ggfeuvmpCA&ved=0CD8Q6AEwAg#v=onepage&q=NAB%20handbook%20read%20online&f=false>, Último acceso 27 de noviembre de 2011 (NAB)

- [13] <http://www.harris.com/company-history.html>, Último acceso 10 de diciembre de 2011
- [14] <http://linear-tv.com/contact-us/centralsouth-america/>, Último acceso 10 de diciembre de 2011
- [15] <http://es.dbbroadcast.com/db-elettronica-empresa.html>, Último acceso 10 de diciembre de 2011
- [16] <http://www.scribd.com/doc/29901817/Digital-Video-and-Audio-Broadcasting-Technology>, Último acceso 29 de octubre de 2011

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En el análisis de la situación actual de la televisión analógica de la zona geográfica P, se pudo constatar que en numerosos sectores ningún sistema de televisión analógica brinda cobertura; por ello, el uso de *gap-fillers* es una solución adecuada para este problema.
- En el estudio de los parámetros del estándar ISDB-Tb necesarios para el diseño de la red de frecuencia única se tuvo inconvenientes, debido a que en las fuentes bibliográficas consultadas se establecen los valores de los diferentes parámetros, sin dar una explicación del procedimiento para calcular los mismos; por esta razón, se tomó como principal referencia el trabajo del Ing. Néstor Pisciotta, en el cual se justifica el origen de la mayoría de los parámetros de transmisión; sin embargo, todos los cálculos parten de los valores de la distancia que recorre y del tiempo de retardo de la onda reflejada, los cuales se asumen arbitrariamente. Para superar este inconveniente, nuestro planteamiento se basó en tomar como punto de partida la distancia máxima que recorrería la onda reflejada, y a partir de este valor, determinar el valor del intervalo de guarda y elegir los parámetros dados en la norma técnica ABNT NBR 15601. Se pudo evidenciar que el valor que se obtuvo, es muy cercano al que se presenta en el trabajo del Ing. Pisciotta.
- Al momento de determinar los parámetros de operación que se deben configurar en el modulador ISDB-Tb, es imprescindible seguir un orden, caso contrario, alguna modificación en éstos afectaría a los elegidos anteriormente; para ello, la distancia del punto de reflexión más lejano debería ser el punto de partida para determinar el modo de operación y a partir de éste, los demás parámetros.

- En una red de frecuencia única se debe buscar un equilibrio entre el número de transmisores. Al utilizar pocos transmisores de alta potencia, para cubrir grandes áreas, se tiene que trabajar con intervalos de guarda grandes y, por ende, habrá una baja eficiencia espectral⁸⁰; además, se deberá trabajar en el modo 3, el cual tiene un tiempo de guarda mayor, lo que implica tener mayor susceptibilidad al ICI, debido al aumento del número de portadoras. En cambio, al emplear un gran número de transmisores de baja potencia, existirá mayor interferencia propia de la red. En este diseño, se plantea colocar un transmisor de alta potencia en el cerro Pichincha, con el cual se cubre la mayoría de la zona geográfica P, presentando zonas de sombra pequeñas, siendo la más importante la del sur de la ciudad de Quito, la cual se propone cubrir con un transmisor de baja potencia en el cerro Atacazo. Además, es importante considerar que en los lugares donde se plantea ubicar los transmisores, todos los sistemas de televisión que dan servicio a la zona geográfica P, tienen la infraestructura necesaria para dar servicio de TDT. Las zonas de sombra se cubrirían con *gap-fillers*, debido a que no requieren de mayor infraestructura para su instalación; por lo tanto, una red de frecuencia única con varios transmisores de baja potencia sería más costosa, por cuanto se necesitaría implementar nueva infraestructura.
- La extensión del área a cubrir y la posición del modulador OFDM son aspectos muy importantes al momento de diseñar una red de frecuencia única, debido a que al elegir de forma correcta estos aspectos, se evitará incurrir en gastos innecesarios. Para ello, se debe definir cuántos transmisores son necesarios y la PER de cada uno de ellos, para dar cobertura al área deseada. En una adecuada topología de la SFN, se debe establecer si se emplearán varios moduladores, uno junto a cada transmisor, o uno solo en el estudio, lo cual determinará el tipo de señal que se enviará en el enlace de microondas.

⁸⁰ La eficiencia espectral, $\vartheta = \frac{V_{TX}}{AB}$, disminuye al tener un intervalo de guarda mayor, esto se debe a que la velocidad de transmisión se reduce y a que el ancho de banda se mantiene constante.

- Al momento de diseñar una red de frecuencia única se deben determinar diferentes parámetros, algunos de estos como la modulación, el FEC y el intervalo de guarda, de cada capa jerárquica, dependen de la tasa de datos que se desea transmitir en cada una de ellas, lo que a su vez depende de la calidad y la cantidad de programaciones simultáneas que se desea ofrecer. Por lo tanto, antes de diseñar la red de frecuencia única, se debe establecer la cantidad de programaciones simultáneas a ofrecerse y la calidad de imagen que tendrá cada una de ellas. En el presente diseño se eligió el número de segmentos y los parámetros de cada capa jerárquica, basándose en que se transmitirán tres programaciones simultáneas, cada una con diferente calidad de imagen (*HD*, *SD* y *LD*) y con su respectiva tasa de datos; por ello, se realizaron los cálculos, de tal manera que al servicio *one-seg* (*LD*) se le dio la mayor robustez posible, alcanzando una tasa de datos de 375 Kbps; al servicio de alta definición (*HD*) se le asignó la tasa de datos más alta, dentro del rango sugerido, llegando a 11,36 Mbps; al servicio de definición estándar (*SD*) se le dio robustez y se calculó la tasa de datos obteniendo 2.25 Mbps, lo cual está dentro del rango recomendado para este servicio.
- Los principales parámetros que influyen en el diseño de una red de frecuencia única son: el intervalo de guarda y el retardo (*delay*) en el tiempo de emisión de las señales de los transmisores; con una correcta elección y configuración de estos parámetros, se obtiene un adecuado funcionamiento de la red de frecuencia única, sin la presencia de la interferencia propia de la red.
- En una red de frecuencia única existirán zonas sin cobertura, debido a que la señal proveniente de un transmisor se cancelará con la que viene de otro, lo cual se presenta cuando las señales llegan a esta zona, con amplitud semejante, pero con un desfase cercano a 180 grados. Por ello, un diseño adecuado ubicará estas zonas sobre áreas no pobladas; para lograr esto, se debe calcular los retardos, de tal manera que estas zonas tengan la menor

área posible. En este diseño, el cálculo de los retardos se realizó con la herramienta ICS Telecom.

- Debido a la flexibilidad del estándar ISDB-Tb, que permite transmitir tres capas jerárquicas, cada una con diferentes características y que en cada una se puede transmitir una o más programaciones simultáneas; la decisión de cuantas programaciones simultáneas y con qué calidad se va a ofrecer, no debería ser una decisión solo del departamento técnico, sino, es importante que participen de ésta, otros departamentos de la estación de televisión, para considerar aspectos como: si se dispone de suficiente programación, si se puede producir programaciones en alta definición y lo más conveniente desde el punto de vista comercial; además, hay que considerar que si se sigue la línea de los países de la región, la norma de televisión digital definirá el número de programaciones simultáneas y la calidad de las mismas.
- En el diseño realizado en el presente trabajo, la potencia necesaria para dar cobertura a la zona geográfica P con un transmisor para TDT (700W en el cerro Pichincha y 8W en el cerro Atacazo), es menor a la décima parte de la que actualmente utilizan la mayoría de canales de televisión analógica, esto se debe a que en la actualidad, en la ciudad de Quito, los niveles de señal se encuentran muy por encima de los recomendados, ya que los sistemas buscan tener cobertura hasta dos o tres pisos bajo el suelo; con la televisión digital esto puede cambiar fácilmente gracias a la utilización de los *gap-fillers*.
- Para cubrir la zona de sombra que se presenta en el Sur de Quito, también se podría colocar un *gap-filler* en la Cima de la Libertad, para suprimir el transmisor y el enlace de microonda en el cerro Atacazo. Considerando que la mayoría de canales cuentan con infraestructura en el cerro Atacazo y no en la Cima de la Libertad, esta posibilidad no es conveniente, sin embargo, para canales sin infraestructura en el cerro Atacazo es una opción muy viable.
- La potencia calculada para los *gap-fillers*, de acuerdo a la recomendación UIT-R P.1546-4, no era necesariamente la requerida para cubrir el área

deseada, pero fue el punto de partida para la realización de un ajuste en su valor, el cual se hizo utilizando un software de simulación o para mayor precisión, se pueden realizar mediciones de campo a futuro.

- En ICS Telecom uno de los parámetros que más influye en la estimación del área de cobertura es el modelo empleado para calcular la propagación de la señal y los diferentes efectos que influyen sobre la misma. Entonces, se debe considerar que la Recomendación UIT-R 1546-4 no estipula las irregularidades del terreno, únicamente toma en cuenta la altura media; consecuentemente, no es la más adecuada para la geografía de la zona P, sin embargo, considera aspectos que las Recomendaciones UIT-R 370 y la UIT-R 525 omiten, como las reflexiones y otros fenómenos muy influyentes en la propagación de las señales OFDM. Por lo tanto, se realizó la simulación configurando la Recomendación UIT-R 525, que para la propagación en televisión analógica dio los resultados más cercanos a la realidad [21]; y para los fenómenos de reflexión y difracción se configuró la Recomendación UIT-R 526.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable implementar el presente diseño para realizar pruebas de campo y comprobar si las predicciones de cobertura realizadas en el software ICS Telecom se acercan al resultado de las mediciones. La implementación puede ser parcial o total, pero se debe por lo menos instalar los dos transmisores, para que operen como *SFN*, y un *gap-filler* que se puede instalar en diferentes zonas de sombra para realizar las pruebas de campo.
- Existen múltiples zonas pobladas dentro de la zona P, que no se cubren con el transmisor ubicado en el cerro Pichincha, a las cuales no se da cobertura debido a la dificultad y al alto costo de llevar la señal hasta estos sitios a través de enlaces de microondas o satelitales. Considerando que la mayoría de estas zonas se encuentran a los costados de carreteras con tendido eléctrico, la manera más adecuada de llevar la señal de televisión digital a

estos lugares es a través de fibra óptica. De esta forma, a más del servicio de televisión, se pueden brindar otros como Internet de banda ancha, telefonía, etc.

- Ante la necesidad de continuar en el camino hacia el apagón analógico y no quedarse a la espera del avance y experiencias de otros países, es imperativo la publicación de una norma técnica en nuestro país para TDT y el *simulcast*, para iniciar las pruebas y posterior implementación.
- Para obtener una simulación más precisa de las predicciones de cobertura realizadas en el software ICS Telecom es recomendable utilizar el *gridstep* factor (factor para establecer cada cuantos grados se desea que se realicen los cálculos), con el valor de 1° , pues si se escogen valores de 5° o 10° la predicción no será tan exacta y al momento de realizar una prueba de campo los valores obtenidos pueden ser muy diferentes a los obtenidos en la simulación, además, es importante mencionar que la diferencia de tiempo que se demora el programa con un factor de 1° y el de 5° o 10° no es significativo.
- La geografía de la zona P es muy particular, en especial por la facilidad de instalar los sistemas de transmisión, en el cerro Pichincha, para cubrir la ciudad principal, Quito; esto es equivalente a tener una torre de transmisión de aproximadamente 1.000 metros, porque h_m se aproxima a este valor. Por lo tanto, sería importante que el órgano correspondiente realice pruebas de campo, para hacer los ajustes necesarios en los modelos de propagación y generar curvas en base a nuestra realidad.
- La falta de libros acerca del tema ha sido un inconveniente que se presentó durante el desarrollo del proyecto, por ello, se cree necesario el establecimiento de algún convenio o acuerdo con algunas universidades de Brasil y Argentina, para poder tener acceso a libros y documentos electrónicos.

- La capacitación es un factor importante para la correcta implementación de la TDT en el Ecuador, por ello, se cree necesario que tanto el estado como las empresas privadas involucradas en el tema, inviertan o auspicien cursos, seminarios, etc., dentro y fuera del país.

5.3 COMENTARIOS

- Las redes de frecuencia única son posibles gracias a la técnica de multiplexación OFDM, permitiendo recibir varias copias de la misma señal, durante el intervalo de guarda, sin que éstas representen interferencia para el receptor. Por lo tanto, es fundamental escoger un intervalo de guarda acorde al tiempo que tarda la señal reflejada más lejana en llegar al receptor, de lo contrario, si se toma un intervalo de guarda muy pequeño se tendrán señales interferentes en lugar de señales que aporten; y si se toma un intervalo de guarda muy grande, se tiene una menor eficiencia espectral.
- Debido a que ISDB-Tb utiliza la modulación OFDM con codificación (COFDM) la cual es la clave para superar los problemas actuales en la recepción de señal de televisión analógica, tales como: ruido impulsivo, reducción rápida de la amplitud de la señal, distorsión de la señal debido a la multitrayectoria y ruido propio del canal; efectos presentes en medios de transmisión muy selectivos o variantes, como el aire.
- Aunque la televisión digital, gracias al sistema de transmisión basado en COFDM, supera los principales problemas de recepción de señales de televisión analógica, se generan nuevos inconvenientes: la sincronización en tiempo y frecuencia, se necesita equipos para la transmisión y recepción más complejos que por lo tanto son más costosos y en el receptor se tiene un umbral de señal a partir del cual se puede reproducir la señal.
- El área de cobertura, utilizada en el presente diseño, se ha tomado en base a la resolución No 1779-CONARTEL-01. Esto se debe a que para la

implementación de la TDT se utilizará la misma estructura de zonas geográficas que se ha estado utilizando actualmente.

- La utilización de las curvas presentes en el modelo de propagación UIT-R P.1546-4 no permiten realizar un cálculo preciso del nivel de intensidad de campo en un punto. Para mejorar este aspecto y facilitar los cálculos, la UIT ha publicado un documento electrónico, disponible en su página web, donde se ofrecen tablas con los valores de intensidad de campo para distancias y h_1 determinadas; con esta herramienta es posible tener un cálculo más preciso.
- Existen otras herramientas de software que permiten realizar la estimación del área de cobertura y calcular la confiabilidad de los enlaces de microonda, sin embargo ICS Telecom es una de las herramientas más completas presentes en el mercado.
- Es imprescindible que la academia adquiera una herramienta como ICS Telecom, que permite realizar, entre otras cosas, el cálculo del área de cobertura de diferentes sistemas de comunicaciones inalámbricas, como televisión analógica y digital, radio AM y FM, telefonía celular con sus diferentes tecnologías, Wimax, etc., sobre todo considerando que para instituciones educativas este tipo de software tienen precios especiales; también sería muy interesante que los estudiantes de la carrera desarrollen un software que permita realizar estos cálculos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGNES, Ligeti (1999). *Single frequency network planning*, Documento electrónico <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:8583/FULLTEXT01> Consultado el 04 de abril de 2011
- [2] AKHTAR, Ali Jalbani (2000). *Single frequency networks*, Documento electrónico <http://user.informatik.uni-goettingen.de/~seminar/dvb/AkhtarJalbani-reportOnSFN.pdf> Consultado el 03 de marzo de 2011
- [3] ALENCAR, Marcelo (2009). *Digital Television Systems*, Documento electrónico <http://es.scribd.com/doc/55118562/Digital-television-systems> Consultado el 01 de octubre de 2011
- [4] ASOCIACIÓN BRASILEÑA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). *ABNT NBR 15601 televisión digital terrestre sistema de transmisión*, Documento electrónico http://www.abnt.org.br/imagens/Normalizacao_TV_Digital/ABNTNBR15601_2007Vc_2008.pdf Consultado el 10 de septiembre de 2011
- [5] ASOCIACIÓN BRASILENA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). *ABNT NBR 15604 televisión digital terrestre receptores*, Documento electrónico http://www.dtv.org.br/download/es-es/ABNTNBR15604_2007Esp_2008.pdf Consultado el 10 de septiembre de 2011
- [6] AUCATOMA Lenin, CAMPOVERDE Ximena (2010). Establecimiento de una ruta alterna para enlaces de frecuencias auxiliares de radiodifusión y televisión entre las ciudades de Quito y Guayaquil, Documento electrónico <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2406/1/CD-3138.pdf> Consultado el 12 de octubre de 2011
- [7] BARREDA, Víctor (2009). *Estudio, diseño e instalación de un centro emisor de TDT con "gapfillers"*, Documento electrónico <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8286/1/memoria.pdf> Consultado el 12 de julio de 2011

- [8] BETETA, Juan (2000). *Ganancia interna de una red SFN*, Documento electrónico <http://www.asenmac.com/tvdigital2/ganancia.htm> Consultado el 26 de junio de 2011
- [9] CONARTEL (2010). *Norma técnica para el servicio de televisión analógica y plan de distribución de canales (resolución no. 1779-conatel-01)*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 04 de septiembre de 2011
- [10] CONATEL (2010). *Resolución 072-04CONATEL-2010*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 03 de octubre de 2011
- [11] CONEXIÓN TOTAL S.A.C. (2010). *El estándar ISDB-T*, Documento electrónico <http://www.conexiontotal.com.pe/Gap%20fillerb.pdf> Consultado el 03 de marzo de 2011
- [12] DE LA FRAGA Luis (2001). *La transformada discreta de Fourier y la transformada rápida de Fourier*, Documento electrónico <http://delta.cs.cinvestav.mx/~fraga/Cursos/PDI/tdf.pdf> Consultado el 10 de abril de 2011
- [13] ERAZO, Héctor (2009). *Estudio y análisis de la tecnología de redes de frecuencia única (isofrecuencia), y su aplicación en la radiodifusión en las bandas de AM y FM para la optimización del espectro electromagnético en la ciudad de Quito*, Documento electrónico bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1451/1/CD-2125.pdf Consultado el 05 de mayo de 2011
- [14] ESCOBAR, Charles (2010). *Alternativas para la migración a televisión digital*, Documento Electrónico <http://docs.hipatia.net/tvdigital/Alternativas%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20TV%20Digital%206000.pdf> Consultado el 15 de junio de 2011

- [15] EUROPEAN BROADCAST UNION (2003). *OFDM receivers impact on coverage of inter-symbol interference and FFT window positioning*, Documento electrónico http://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_295-brugger.pdf Consultado el 20 de octubre de 2011
- [16] FISCHER Walter (2010). *Digital video and audio broadcasting technology*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 07 de noviembre de 2011
- [17] FRUCTUOSO, Carlos (2008). *TV digital Brasil-Perú*, Documento electrónico http://www.telecentros.pe/img_upload/3ebf28670cc26d6c98d026abe0126c40/Per__08_11_26_T_cnica.pdf Consultado el 1 de noviembre de 2011
- [18] GALLARDO, Juan Pablo (2006). *Estudio de un sistema OFDM-CDMA*, Documento electrónico http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf Consultado el 28 de abril de 2011
- [19] GÓMEZ David, SALIETO Ariana, FERNÁNDEZ Jorge, CARDONA Narcís (2007). *Planificación y Despliegue de Redes de TDT Móvil DVB-H utilizando Gap-fillers*, Documento electrónico http://www.furiapse.com/pdf/FURIA_iTEAM_TelecomID07_DVB-H.pdf Consultado el 13 de octubre de 2011
- [20] HICKIN, Ernest (2011). *Engineering Handbook*, Documento electrónico http://books.google.com.ec/books?id=V8Lk2ghPI7IC&pg=PA1933&lpg=PA1933&dq=microwave+engineering+for+the+broadcaster+ernest+hickin&source=bl&ots=b-TjHHzHS9&sig=bHyRHEKe3CQKd42Dnr3WmNRh5ko&hl=es&ei=CZu5Tq-iOciBtwfK3ZDOBw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CCcQ6AEwAg#v=onepage&q&f=false Consultado el 8 de noviembre de 2011
- [21] JARA, Alfonso (2005). *Multiplexación por división de frecuencia ortogonal codificada (COFDM)*, Documento electrónico <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfciij.37m/doc/bmfciij.37m.pdf> Consultado el 28 de marzo de 2011

- [22] LAURO, Roberto. digitalmassmedia (Comunicación personal, abril 2011)
- [23] LIENDO, Carlos (2011). *Señales de la TV Digital y experiencias de televidentes*, Documento electrónico <http://www.eradigital.com.ar/blog/?p=1346>
Consultado el 17 de agosto de 2011
- [24] LONDOÑO, Camilo (2004). *Multiplexación por división de frecuencia ortogonal*, Documento electrónico <http://lisi.uniandes.edu.co/seminario/OFDM.pdf>
Consultado el 03 de mayo de 2011
- [25] MATAMOROS, Ronald (2009). *Análisis técnico y de mercado para una infraestructura de tdt propuesta para lima metropolitana bajo SBTVD*, Documento electrónico <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/195>
Consultado el 28 de octubre de 2011
- [26] MAYORGA, Marco. Pontificia Universidad Católica del Perú (Comunicación personal, octubre 2011)
- [27] MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES DE CHILE (2010). Diario oficial de la república de Chile, Documento electrónico http://www.tvd.cl/prontus_tvd/site/artic/20101203/asocfile/20101203155716/05_09r_7219.pdf
Consultado el 22 de octubre de 2011
- [28] MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES DEL PERÚ (2009). *Informe anual de evaluación del proceso de implementación de la televisión digital terrestre (tdt) en el Perú*, Documento electrónico <http://tvdigitalperu.mtc.gob.pe/Documentos/Extracto%20informe%20anual%20DT.pdf>
Consultado el 21 de octubre de 2011
- [29] MIRIANOV Vladimir, OBERLI Christian, RÍOS Miguel (2006). *Análisis de los estándares de transmisión de televisión digital terrestre y su aplicabilidad al medio nacional*, Documento electrónico http://www.tvd.cl/prontus_tvd/descargas/antecedentes_docs/estudios_mtt/estudio_uc.pdf
Consultado el 27 de octubre de 2011

- [30] MUÑOZ, Pilar (2006). *Comparación de sistemas CP-OFDM con ZP-OFDM*, Documento electrónico bibing.us.es/proyectos/abreproy/11254/fichero/5_CAPITULO+1.pdf Consultado el 15 de mayo de 2011.
- [31] NIETO, Raúl (2010). *Sistemas de Transmisión por Fibra Óptica basados en Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, Documento electrónico <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/10654> Consultado el 04 de mayo de 2011
- [32] NUNZIO, Oscar (2010). *Sistema Argentino de TV Digital – SATVD*, Documento electrónico <http://www.slideshare.net/ipateaimagen/presentation-canal-7-abril-2010-f2> Consultado el 07 de octubre de 2011
- [33] OPENHEIMER, Luis (2011). *Los Gap Fillers y la SFN*, Documento electrónico http://www.subtel.gob.cl/seminario_tecnico_tvd/descargas/miercoles/luiz_rodrigo_openheimer_gap_filler_y_sfn.pdf Consultado el 10 de mayo de 2011
- [34] PISCIOTTA, Néstor (2010). *Sistema ISDB-Tb (Primera Parte)*, Documento electrónico <http://www.eradigital.com.ar/blog/wp-content/uploads/2010/09/Sistema-ISDB-Tb-Primera-parte.pdf> Consultado el 22 de marzo de 2011
- [35] PISCIOTTA, Néstor (2011). *C/N ISDB-Tb*, Documento electrónico enviado por e-mail el 29 de septiembre de 2011
- [36] PISCIOTTA, Néstor. Universidad Blas Pascal (Comunicación personal, septiembre 2011)
- [37] RODRIGUEZ, Joel. ATDI (Comunicación personal por correo electrónico y skype, septiembre a noviembre 2011)
- [38] ROHLING, Hermann (2011). *OFMD concepts for future communication systems*, Documento electrónico <http://sites.google.com/site/irdadeh/library-section/ebook-library/collection-11> Consultado el 20 de mayo de 2011

- [39] SERVICIOS DE COMUNICACIÓN AUDIOVISUAL (2011). *Decreto 835/2011*, Documento electrónico <http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/180000-184999/183617/norma.htm> Consultado el 21 de julio de 2011
- [40] STALLINGS, William (2000). *Comunicaciones y redes de computadoras* Documento electrónico <http://www.portalnet.cl/comunidad/archive/index.php/t-202073.html> Consultado el 05 de mayo de 2011
- [41] SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES (2011). *Estadísticas de radiodifusión y televisión*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 14 de septiembre de 2011
- [42] UIT (2009). *Recomendación UIT-R P.1546-4*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 10 de septiembre de 2011
- [43] UIT (2009). *Recomendación UIT-R P.526-11*, Documento electrónico proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones Consultado el 06 de septiembre de 2011
- [44] VAN NEE Richard, PRASAD Ramjee (2000). *OFDM for wireless multimedia communications*, Documento electrónico http://download1349.mediafire.com/z7zpjv8hk7mg/vtzqijnn5vk/OFDM+for+Wireless+Multimedia+Communications_Richard+van+Nee%2C+Ramjee+Prasad.pdf Consultado el 22 de junio de 2011
- [45] VERGARA, José (2008). *Simulación de un esquema de modulación/demodulación OFDM utilizando un modelo de canal multitrayectoria*, Documento electrónico www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-38117.pdf Consultado el 20 de abril de 2011

ANEXOS