



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES

“PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE TELEVISIÓN
DIGITAL TERRESTRE (TDT) CON ÁREAS DE ADJUDICACIÓN
EN EL ECUADOR”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Tipo: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTOR: FELIPE SANTIAGO VALLE ESPINOZA

TUTOR: ING. JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMÍREZ Ph.D

Riobamba-Ecuador

2018

@2018, Felipe Santiago Valle Espinoza.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

FIRMA DE RESPONSABILIDADES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica: “PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT) CON ÁREAS DE ADJUDICACIÓN EN EL ECUADOR”, de responsabilidad de Felipe Santiago Valle Espinoza ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Derechos compartidos

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna.		
DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Patricio Romero		
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. Jefferson Ribadeneira Ph.D		
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Franklin Moreno.		
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Yo, Felipe Santiago Valle Espinoza declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT) CON ÁREAS DE ADJUDICACIÓN EN EL ECUADOR”, que fue elaborado en su totalidad por mi persona, bajo la dirección del Ingeniero Jefferson Ribadeneira haciéndonos totalmente responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Felipe Santiago Valle Espinoza

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi madre Raquel Valle, por ser el pilar más importante de mi vida, ya que me enseñó a luchar y a no rendirme frente a las adversidades de la vida, que con cada fracaso o logro que tenga sea una experiencia más para ser una mejor persona, y con su amor incondicional y sacrificio hicieron posible la culminación de esta etapa de mi vida, a mis abuelitos Anatolio y Diocelina, que siempre me supieron aconsejar, escúchame y brindarme su apoyo y cariño, que más que mis abuelitos fueron mis padres. A mi hermano Merguin Valle que con sus locuras y arrebatos siempre me sacaron una sonrisa hasta en los momentos más tristes, que, aunque ya no se encuentren a mi lado siempre los recordare y los tendré en lugar muy especial en mi corazón. A mis querido amigos que los considero como mis hermanos Daniel, Katy, Marlo, Mayrita y Dianita, con quienes he compartido muchas experiencias a lo largo de nuestra vida politécnica, recuerdos inolvidables los cuales se quedaran grabados para siempre en mi memoria.

Felipe

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi madre porque día a día con su infinito amor y confianza ha sido la base fundamental para conseguir este logro, dándome la fortaleza para seguir adelante. A mi Tutor, el Ing. Jefferson Ribadeneria que me brindó su apoyo incondicional conjuntamente con sus conocimientos y paciencia, haciendo posible el desarrollo y presentación del proyecto de titulación.

Felipe

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Modulación OFDM.....	5
<i>1.1.1. Funcionamiento</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2. OFDM con el estándar ISDB-Tb.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3. Ortogonalidad.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.4. Parámetros OFDM para televisión digital</i>	<i>9</i>
<i>1.1.5. Transformada Rápida de Fourier (FFT/IFFT).....</i>	<i>10</i>
1.2. Red de Frecuencia Única (SFN).....	11
<i>1.2.1. Definición</i>	<i>11</i>
<i>1.2.2. Gap-Fillers.....</i>	<i>12</i>
<i>1.2.3. Clasificación de las Redes SFN.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.3.1. Red SFN de ámbito extenso.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.3.2. Red SFN de ámbito reducido</i>	<i>14</i>
<i>1.2.3.3. Red SFN centralizado</i>	<i>14</i>
<i>1.2.3.4. Red SFN descentralizado</i>	<i>15</i>
<i>1.2.4. Ventajas y Desventajas de una SFN.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.4.1. Ventajas.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.4.2. Desventajas</i>	<i>16</i>
1.3. Estándar de Televisión Digital Terrestre	16
<i>1.3.1. Definición de ISDB-Tb</i>	<i>16</i>
<i>1.3.2. Codificación de audio y video</i>	<i>17</i>
<i>1.3.3. Entrelazado en tiempo y en frecuencia</i>	<i>17</i>

1.3.3.1.	<i>Entrelazado en tiempo</i>	17
1.3.3.2.	<i>Entrelazado en frecuencia</i>	18
1.3.4.	<i>Modulación de la portadora</i>	18
1.3.4.1.	<i>Modulación QPSK</i>	18
1.3.4.2.	<i>Modulación DQPSK</i>	19
1.3.4.3.	<i>Modulación 16-QAM</i>	19
1.3.4.4.	<i>Modulación 64-QAM</i>	20
1.3.5.	<i>Parámetros de transmisión para one-seg y el estándar ISDB-Tb</i>	21
1.3.6.	<i>Transmisión Jerárquica</i>	23
1.3.7.	<i>Offset de frecuencia</i>	24
1.3.8.	<i>Intervalo de guarda</i>	25
1.3.9.	<i>Bandas de guarda</i>	27
1.3.10.	<i>Modos de operación del sistema</i>	28

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	30
2.1.	Introducción	30
2.2.	Planificación De Frecuencias	30
2.2.1.	<i>Requerimientos para el plan de frecuencias</i>	31
2.2.2.	<i>Asignación y Adjudicación</i>	31
2.2.3.	<i>Área de servicio y Frecuencia Disponible</i>	31
2.2.4.	<i>Redes de referencia</i>	32
2.2.5.	<i>Configuración de referencia de planificación</i>	33
2.2.6.	<i>Análisis de cobertura y tipos de recepción</i>	33
2.2.7.	<i>Modelo de propagación para las redes TDT</i>	34
2.2.8.	<i>Re-uso de Frecuencia (Co-Canal)</i>	35
2.2.9.	<i>Ecuaciones de intensidad de campo para la recepción</i>	36
2.2.9.1.	<i>Cálculos de intensidad de campo para la recepción</i>	38
2.2.10.	<i>Algoritmo de planificación</i>	39

2.2.10.1.	<i>Coloreado grafico secuencial</i>	40
2.2.11.	<i>Procesos para generar un plan de frecuencias</i>	41
2.3.	Normativa Técnica para el Servicio de Radiodifusión de la TDT	42
2.3.1.	<i>Sistema de radiodifusión para TDT</i>	42
2.3.2.	<i>Tipos de canales</i>	43
2.3.3.	<i>Tipos de señal</i>	45
2.3.4.	<i>Potencia y sistema radiante</i>	45
2.4.	Zona Geográfica del Ecuador	45
2.4.1.	<i>Áreas de operación</i>	45
2.5.	Banda de Frecuencia y Canalización de Canales	47
2.5.1.	<i>Banda de frecuencia</i>	47
2.5.2.	<i>Canalización de canales</i>	47
2.6.	Parámetros Técnicos	48
2.6.1.	<i>Condiciones de operación de una SFN en el Ecuador</i>	51
2.7.	Descripción y parámetros de Ecuador TV	52
2.7.1.	<i>Ancho de banda y segmentación</i>	52
2.7.2.	<i>Parámetros OFDM</i>	52
2.7.3.	<i>Modos 1, 2 y 3 para el sistema ISDB-Tb</i>	54
2.7.4.	<i>Diseño de la red SFN</i>	55
2.7.4.1.	<i>Interferencias</i>	56

CAPÍTULO III

3.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	59
3.1.	Planificación de frecuencias	59
3.2.	Parámetros para planificación del sistema de televisión digital para Ecuador TV	61
3.2.1.	<i>Áreas de adjudicación</i>	61
3.3.	Elección del modo de transmisión apropiado para Ecuador	62
3.4.	Plan de frecuencias para TDT en el Ecuador	79

3.5.	Número mínimo de redes SFN para el Ecuador.....	87
3.6.	Asignación de frecuencias por áreas de adjudicación para Ecuador	89
	CONCLUSIONES.....	92
	RECOMENDACIONES.....	94
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Estándares de televisión digital y su origen.....	16
Tabla 2-1:	Parámetros de Transmisión.	21
Tabla 3-1:	Tasas de transmisión para one-seg.	22
Tabla 4-1:	Tasas de transmisión para 13 segmentos en ISDB-Tb.	23
Tabla 5-1:	Parámetros para 13 segmentos.	28
Tabla 1-2:	RPC's usada para el plan de frecuencia en el Ecuador.....	33
Tabla 2-2:	Coloreado secuencial de la figura 3-2	40
Tabla 3-2:	Ejemplo de un canal lógico full-seg.	44
Tabla 4-2:	Ejemplo de un canal lógico one-seg.	44
Tabla 5-2:	Tipo de señales de televisión digital.....	45
Tabla 6-2:	Frecuencias asignadas a las bandas de frecuencia principal.....	47
Tabla 7-2:	Frecuencias asignadas a las bandas de frecuencia auxiliar.....	47
Tabla 8-2:	Canalización de las bandas de frecuencia principal	47
Tabla 9-2:	Intensidad de emisión de espuria admisible.	49
Tabla 10-2:	Relación de protección para televisión digital y analógico	49
Tabla 11-2:	Especificación de la máscara crítica del espectro de transmisión.	50
Tabla 12-2:	Clases y su PER máximo.....	50
Tabla 13-2:	Codificación para Ecuador.	51
Tabla 14-2:	Multiprogramación.	51
Tabla 15-2:	Cálculos de intervalos de guarda y distancias máximas de reflexión.....	54
Tabla 1-3:	Parámetros de transmisión Ecuador TV.	61
Tabla 2-3:	Asignación de zonas y frecuencias para Ecuador Tv.	61
Tabla 3-3:	Modos de ISDB-Tb para maximizar la cobertura.....	78
Tabla 4-3:	Modos ISDB-Tb para maximizar la capacidad y modulación.....	79
Tabla 5-3:	Modo ISDB-tb para maximizar cobertura.	79
Tabla 6-3:	Coloreado para el servicio provincial.....	80
Tabla 7-3:	Coloreado secuencial y asignación de frecuencias.....	81
Tabla 8-3:	Asignación de un color a un frecuencia o canal	90
Tabla 9-3:	Asignación de frecuencias para cada zona adjudicada.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Esquema básico de OFDM con 8 portadoras.....	6
Figura 2-1:	Organización del Canal Radioeléctrico.....	6
Figura 3-1:	Distribución de Portadoras OFDM en Tiempo y Frecuencia.....	7
Figura 4-1:	Diagrama de bloques del proceso de modulación OFDM	7
Figura 5-1:	Ortogonalidad de portadoras.....	8
Figura 6-1:	Topología de un red MFN y SFN.	12
Figura 7-1:	Gap-fillers en caso interior.....	13
Figura 8-1:	Gap-fillers en casos exteriores	13
Figura 9-1:	Red SFN con modulación centralizada	14
Figura 10-1:	Red SFN con modulación descentralizada.....	15
Figura 11-1:	Esquema de modulación y codificación interna.....	18
Figura 12-1:	Diagrama del sistema de modulación y constelación QPSK.	19
Figura 13-1:	Diagrama del sistema de modulación y constelación DQPSK.	19
Figura 14-1:	Diagrama del sistema de modulación y constelación 16-QAM.....	20
Figura 15-1:	Diagrama del sistema de modulación y constelación 64-QAM.....	21
Figura 16-1:	División de un canal de 6MHz en 13 segmentos más bandas de guarda.....	23
Figura 17-1:	Ejemplo de capas jerárquicas A, B y C y segmentación.....	24
Figure 18-1:	Off-set.	24
Figura 19-1:	Prefijo Cíclico.	25
Figura 20-1:	Señal reflejada.....	26
Figura 21-1:	Portadoras en un ancho de banda de 6MHz.....	26
Figura 22-1:	Canalización simultanea TV analogía y TV digital.	27
Figura 23-1:	Separación en frecuencias de audio y video.	28
Figura 1-2:	Distancia de re-uso en una red se espacio abierto.....	36
Figura 2-2:	Gráfico referente a la Tabla 1-2.	40
Figura 3-2:	Método Smallest-last.	41
Figura 4-2:	Control master, transmisor, antena transmisora.....	42
Figura 5-2:	Estación repetidora ubicada en el cerro cacha (Riobamba).	43
Figura 6-2:	Canal lógico.	44
Figura 7-2:	Mascara de espectro de transmisión.....	50
Figura 8-2:	Sistema radiante para el transmisor.	55
Figura 9-2:	Potencia de señal útil y componentes interferentes.....	57
Figura 10-2:	Color de interferencias.....	58

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1-2:	Áreas de servicio tentativas para Ecuador.	32
Mapa 2-2:	Áreas de adjudicación en términos de hexágonos en el Ecuador.	39
Mapa 3-2:	Distribución de frecuencias según ARCOTEL.	46
Mapa 4-2:	Estaciones Transmisoras de Ecuador TV	56
Mapa 1-3:	Cobertura y transmisores de Ecuador TV.....	60
Mapa 2-3:	Posibles áreas de adjudicación para planificación de frecuencias regional.....	62
Mapa 3-3:	Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/4.	63
Mapa 4-3:	Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/8.	64
Mapa 5-3:	Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/16.	65
Mapa 6-3:	Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/32.	66
Mapa 7-3:	Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/4.	70
Mapa 8-3:	Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/8.	71
Mapa 9-3:	Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/16.	72
Mapa 10-3:	Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/32.....	73
Mapa 11-3:	Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/4, optimizado los retardos.	77
Mapa 12-3:	Tentativa para adjudicación de frecuencias en las provincias.	80
Mapa 14-3:	Cobertura e interferencias en una red SFN, intervalo de guarda de 1/4, FFT 8K.....	88
Mapa 15-3:	Cobertura e interferencias en dos redes SFN, intervalo de guarda de 1/4, FFT 8K	88
Mapa 16-3:	Cobertura e interferencias en tres redes SFN, intervalo de guarda de 1/4, FFT 8K.....	89
Mapa 17-3:	Cobertura e interferencias tres redes SFN, IG de 1/4, FFT 8K, 5 frecuencias. ...	91

GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Comparativa del porcentaje de cobertura para el modo 3.	69
Gráfico 2-3:	Comparativa del porcentaje de cobertura para el modo 2.	76
Gráfico 3-3:	Porcentaje de cobertura modo 2 y modo 3.	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	8
Ecuación 2-1	9
Ecuación 3-1	9
Ecuación 4-1	9
Ecuación 5-1	9
Ecuación 6-1	10
Ecuación 7-1	10
Ecuación 8-1	10
Ecuación 9-1	10
Ecuación 10-1	11
Ecuación 11-1	11
Ecuación12-1	11
Ecuación 13-1	22
Ecuación 14-1	24
Ecuación 15-1	24
Ecuación 16-1	25
Ecuación 17-1	26
Ecuación 18-1	26
Ecuación 19-1	27
Ecuación 20-1	27
Ecuación 21-1	27
Ecuación 22-1	27
Ecuación 23-1	27
Ecuación 1-2	34
Ecuación 2-2	35
Ecuación 3-2	36
Ecuación 4-2	36
Ecuación 5-2	36
Ecuación 6-2	36
Ecuación 7-2	36
Ecuación 8-2	36
Ecuación 9-2	37
Ecuación 10-2	37
Ecuación 11-2	37

Ecuación 12-2	37
Ecuación 13-2	37
Ecuación14-2	42
Ecuación 15-2	49
Ecuación 16-2	57
Ecuación 17-2	57
Ecuación 18-2	57

ANEXOS

Anexo A : Distribución geográfica de las zonas de Adjudicación

Anexo B: Asignación de canales por zonas para la TDT abierta (privados o comunitarios)

Anexo D: Ubicación, cobertura y modificación de retados para los transmisores

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

TDT: Televisión Digital Terrestre

SFN: Single Network Frequency (Red de Frecuencia Unica)

MDF: Multiple Frequency Network (Red de Frecuencia Múltiple)

ISDB-Tb: Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial Brazil (Radiodifusión Digital de Servicios Integrados Terrestres con modificación brasilera)

ISDB-T: Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial (Radiodifusión Digital de Servicios Integrados Terrestres)

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales)

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en cuadratura)

PSK: Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase)

DFT: Discrete Fourier Transform (Trasformada Discreta de Fourier)

IDFT: Inverse Discrete Fourier Transform (Trasformada Discreta de Fourier Inversa)

RF: Radio Frequency (Radio frecuencia)

FFT: Fast Fourier Transform (Transformada Rápida de Fourier)

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

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase de Cuadratura)

DQPSK: Differential Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura Diferencial)

16QAM: 16 Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en Cuadratura de 16 Estados)

64QAM: 64 Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en Cuadratura de 16 Estados)

SD: Standard Definition (Definición Estándar)

HDTV: High Definition Television (Televisión de Alta Definición)

ISI: Inter Symbol Interference (Interferencia Inter-Símbolo)

ICI: Inter Carrier Interference (Interferencia entre Portadoras)

CP: Cyclic Prefix (Prefijo Cíclico)

ZP: Zero Padding (Relleno de Ceros)

FEC: Forward Error Correccion (Corrección de Errores Hacia Delante)

MPEG-4: Moving Picture Experts Group (Grupo de expertos en imagines en movimiento)

AVC: Advanced Video Codec (Código de Video Avanzado)

ACC: Advanced Audio Codec (Código de Audio Avanzado)

HE-AAC: High-Efficiency Advanced Audio Codec (Código de Audio Avanzado de Alta Eficiencia)

ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones

FPS: Frames Per Second

T_G: Tiempo de Guarda

t_r: Tiempo de retardo

T_s: Tiempo de Simbolo

ARCOTEL: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones

CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones

MINTEL: Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información

CITDT: Comité Internacional Técnico para la Introducción de la Televisión Digital Terrestre

GATR: Grupo de Aspectos Técnicos y Regulatorios

TS: Transport Stream

NIT: Network Information Table

NTSC: National Television System Committee, (Comité Nacional de Sistema de Televisión)

TOT: Time off-set Tables

EPR: Effective Radiated Power (Potencia Efectiva Radiada (PER))

RN: Reference Networks (Red de Referencia)

RPC: Reference Planning Configurations (Configuración de Plan de Referencia)

RESUMEN

La televisión digital terrestre (TDT) con respecto a la difusión de televisión analógica, brinda mayor robustez a la señal frente a ruido e interferencias. Además, permite la transmisión de varios canales de televisión por un mismo canal radioeléctrico y optimiza el uso del espectro radioeléctrico mediante el uso de redes de frecuencia única (SFN) permitiendo liberar ciertas bandas de frecuencias que usualmente se le asigna a la radiodifusión. Para el proceso de transición de televisión analógica a digital, se lleva a cabo un proceso llamado simulcast, donde, señales analógicas y digitales deben coexistir. Por consiguiente, el objetivo fue determinar una planificación de frecuencias para el país, donde, se debe tener en cuenta zonas de coordinación, ubicación de transmisores y distancias de protección para el despliegue de la red de TDT con las frecuencias asignadas. En primer lugar, se desplegó la red de transmisores del canal de televisión Ecuador TV, el cual cuenta con 96 transmisores en las diferentes provincias del país. El estudio técnico detalla los diferentes parámetros del estándar ISDB-Tb y elementos técnicos que constituye la propuesta. Además, se determinó el modo apropiado para la transmisión y la cobertura de la señal radiada en base a la recomendación internacional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la norma técnica establecida por la agencia de control y regulación de las telecomunicaciones (ARCOTEL). Se determinó la distancia óptima para el re- uso de la frecuencia, se modificó los retardos para optimizar la red SFN y minimizar las interferencias propias de la red. Se determinó que el modo 3 es el recomendado con un intervalo guarda de un cuarto, ya que la distancia máxima entre transmisores no supera la distancia de modo, la modulación de 64-QAM para la transmisión. Una vez optimizada la red de TDT se procedió mediante un algoritmo de coloreado secuencial a determinar zonas de adjudicación apropiadas y establecer el número de frecuencias a usarse. Finalmente, se presentan las recomendaciones para la planificación de frecuencias que constituye un útil manual para el despliegue de redes de TDT en Ecuador.

Palabras clave: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DE LAS COMUNICACIONES>, <TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT)>, < RED DE FRECUENCIA ÚNICA>, <ISDB-TB (ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL)>, <RADIODIFUSIÓN>, <ESTUDIO TÉCNICO>, <PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS>.

SUMMARY

The digital terrestrial television (DTT) respecting to the analog television broadcast, provides greater soundness to the signal against noise and interference. In addition, it allows the transmission of several television channels by the same radio channel and optimizes the use of the radio electric spectrum by using single frequency networks (SFN) allowing the release of certain frequency bands usually assigned to broadcasting. For the process of transition from analog to digital television, the simulcast is carried out, where analog and digital signals coexist. Therefore, the objective was to determine a frequency planning for the country, where, it must be taken into account coordination areas, location of transmitters and protection distances for the deployment of the DTT network with the assigned frequencies. First of all, the network of transmitters of the television channel of Ecuador TV was deployed, which has 96 transmitters in the different provinces of the country. The technical study details the different parameters of the ISDB-TB standard and technical elements that constitute the proposal. In addition, the appropriate mode for the transmission and coverage of the radiated signal was determined based on the international recommendation of the International Telecommunication Union (ITU) and the technical standard established by the telecommunications control and regulation agency (ARCOTEL). The optimal distance for the reuse of the frequency was determined, the delays were modified to optimize the SFN network and minimize the interference inherent to the network. It was determined that mode 3 is the recommended one with a guard interval of a quarter, since the maximum distance between transmitters does not exceed the distance of the mode, the modulation of 64-QAM for the transmission. Once the DTT network was optimized, a sequential coloring algorithm was used to determine appropriate allocation zones and establish the number of frequencies to be used. Finally, the recommendations for the planning of frequencies that constitute a useful manual for the deployment of DTT networks in Ecuador are presented.

Keywords: <TECHNOLOGIES AND SCIENCES OF ENGINEERING>, <COMMUNICATIONS TECHNOLOGY>, <TERRESTRIAL DIGITAL TELEVISION (DTT)>, <UNIFORM FREQUENCY NETWORK>, <ISDB-TB (DIGITAL TELEVISION STANDARD)>, <RADIODIFUSION>, <TECHNICAL STUDY>, <PLANNING FREQUENCIES>

INTRODUCCIÓN

Hoy en día uno de los dispositivos con más presencia en nuestros hogares es la televisión, un dispositivo que se ha ido mejorando desde su aparición hasta nuestros días, no obstante, su transmisión en el Ecuador en su mayoría es analógica, la cual tiene muchos limitantes en cuanto a la calidad de audio y video, ya que es muy sensible a ruido y a interferencias, sin embargo, el país se encuentra en una transición análogo-digital, es decir que, las transmisiones digitales y analógicas son simultáneas, a esto se lo llama “Simulcast”. El proceso llamado apagón analógico, según el MINTEL se realizará a mediados de junio del 2018, pero tiene un condicionante, el cual se refiere, a que por lo menos el 90% de la población debe estar preparada para recibir la señal digital en sus hogares. (<https://tdtecuador.mintel.gob.ec/>)

La televisión digital terrestre (TDT) en comparación a la transmisión de televisión analógica ofrece múltiples ventajas como: mayor calidad de audio y video, imagen y sonido. Al ser su transmisión en formato digital se aprovecha de mejor manera el espectro radioeléctrico, y en consecuencia se libera bandas de frecuencia para el uso de nuevas tecnologías (MINTEL, 2009). Otra de las ventajas que ofrece, es la posibilidad de crear redes de frecuencia única (SFN), las cuales permiten crear una red de transmisores funcionando a la misma frecuencia, sin interferirse y elevando su nivel de señal en áreas donde se superponen, cubren extensas zonas con la posibilidad de implementar gap-filler en zonas de sombra.

En el mundo se conocen cuatro estándares de televisión digital: ATSC estándar estadounidense creado por la Advanced Television System Committee, fue adoptado en 1995 y funciona con un ancho de banda de 6, 7 u 8 MHz, DVB-T estándar europeo, creado por Digital Video Broadcasting, se compone por diferentes campos: televisión terrestre (DVB-T), televisión por satélite (DVB-S) y televisión por cable (DVB-C), funciona con un ancho de banda de 6, 7 u 8 MHz en UHF, DTMB creado exclusivamente para funcionar en territorio chino, se basa en dos estándares cada uno con su propio modo de transmisión: ADTB-T para portadora única y BMB-T para múltiples portadoras, esta estandarizado en 8 MHz de ancho de banda, ISDB-T estándar japonés, creado por la Association of Radio Industriess and Business (ARIB) y Digital Broadcasting Expert Group (DIBEG), una de sus características es el uso de one-seg, usa un ancho de banda de 6 hasta 8 MHz, en países Latinoamericanos se adoptó este estándar pero con variaciones brasileñas y se lo conoce como ISDB-Tb. (García, 2017, pp.13-14)

Los sistemas de radiodifusión digital terrestre emplean tecnologías muy desarrolladas, sus características técnicas son diversas y pueden adaptarse a diversas condiciones, los proveedores de servicios y contenido, pueden elegir entre distintos modos de operación, el que mejor se adapte a la zona de cobertura, poseen un mecanismo de protección de errores que ayuda a reducir el impacto por las malas condiciones de propagación.

El proceso para implantar una red o realizar una planificación de radiodifusión terrestre, básicamente consta de dos pasos: en primer lugar, se necesita seleccionar una frecuencia o un canal apropiado, que permita brindar servicio de radiodifusión en un área geográfica determinada. La asignación de frecuencias se debe llevar a cabo de manera que los transmisores no causen interferencia entre sí. En segundo lugar, se realiza la planificación de una red de transmisores que usaran la frecuencia asignada para distribuir los programas de audio y video.

La planificación de frecuencias se basa en la posibilidad de realizar predicciones de un servicio o coberturas adecuadas, lo que requiere de métodos que permitan predecir la intensidad de campo de un transmisor, otra de las características a tomar en cuenta es, las condiciones de recepción y el método de propagación de la onda. Al realizar un planeamiento de frecuencias las características técnicas son fundamentales para el desarrollo de la red, ya que, nos permiten saber si se provocará o no interferencias a otras redes que se encuentran en la misma zona, zonas aledañas o viceversa, una de estas características es la distancia de reutilización de la frecuencia. (Beutler, 2009, p.89)

El estado ecuatoriano al verse en la necesidad de implementar el servicio de televisión digital terrestre, el 18 de febrero del 2015 mediante ley orgánica de telecomunicaciones decide crear la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), la cual se encargaría de administrar, regular y controlar las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico.

ARCOTEL adecuando, formal y materialmente la normativa emitida por la Ex-CONATEL, remitió los reglamentos, normas técnicas y demás regulaciones predichas en esta ley. En la cual unos de los puntos importantes era que: el Ecuador adopta el estándar ISDB-T el 25 de marzo del 2010 mediante resolución N° 084-05-CONATEL-2010, con las modificaciones desarrolladas por Brasil para la transmisión y recepción de señales de televisión digital terrestre, el 15 de mayo del 2012 el Ex-CONATEL modifica la atribución de la banda 698 – 806 MHz y el 22 de agosto del mismo año, modifica la atribución de la banda 470 – 482 MHz, en el Plan Nacional de Frecuencias. (ARCOTEL, 2015, pp. 2-3)

El 03 de agosto del 2011 se crea el Comité Internacional Técnico para la Introducción de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador (CITDT), y dentro de este, se crea el Grupo de Aspectos Técnicos y Regulatorios (GATR), el cual se encargaría de la elaboración de la propuesta de la Norma Técnica para la operación de la TDT. El 25 de junio del 2013, se publica la ley orgánica de Continuación, donde se señala que el Estado Central mediante la Autoridad de Telecomunicaciones actualmente ARCOTEL, se encargaría de la administración para el uso y aprovechamiento técnico del espectro radioeléctrico. (ARCOTEL, 2015, pp. 2-3)

La Coordinación Técnica de Control emite el informe técnico con las pruebas de mediciones de la señal de TDT realizadas en las ciudades de Quito y Guayaquil el 19 de marzo del 2015, y el 30

de abril del mismo año, el secretario del CITDT, aprueba la norma técnica de televisión digital terrestre propuesta por el GATR, luego se puso en manos del ARCOTEL con el fin que dicho organismo conozca y efectúe el procedimiento pertinente. (ARCOTEL, 2015, pp. 2-3)

De acuerdo a la norma técnica emitida por ARCOTEL, se definen algunas características como: zona de sombra, estaciones matriz o repetidora el cual debe cumplir con una intensidad de campo de 51 dBuV/m al borde de cobertura principal, estas son características fundamentales para poder realizar una planificación más acorde al medio geográfico del Ecuador. (ARCOTEL, 2015, p.8)

El presente estudio se realiza con la finalidad de crear un planeamiento de frecuencias y asignación de áreas de adjudicación utilizando, métodos matemáticos, de predicción, y algoritmos de planificación, que, para este caso se usara el algoritmo de coloreado secuencial. Se Toma como base las normativas técnicas internacionales del estándar ISDB-Tb, y formar una red SFN que es una de las principales características de la TDT, para su creación en la zona geográfica del Ecuador, se basó en una red analogía ya existente del canal de televisión Ecuador TV. Lo que nos permitirá tener resultados más reales en las simulaciones.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es un plan de frecuencias eficiente para el despliegue de redes de Televisión Digital Terrestre (TDT) en el Ecuador?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el modo de transmisión que mejor se ajusta al entorno ecuatoriano?

¿Es factible crear redes SFN de cobertura nacional para el Ecuador?

¿Cuántas frecuencias se necesita por canal para asegurar la cobertura de TDT?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El espectro radioeléctrico constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente entre 8.9 KHz-3000 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial.

A través del espectro radioeléctrico es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones que tienen una importancia creciente para el desarrollo social y económico de un país. Por lo que, realizar una planificación de frecuencias es indispensable para la utilización más eficiente del espectro radio eléctrico y así liberar ciertas bandas de frecuencias asignadas tradicionalmente a la radiodifusión.

Con la llegada de la tecnología digital y adopción del estándar Japonés Brasileño ISDBT-Tb, así como el uso de nuevos sistemas de compresión de video permite reducir el número de frecuencias. Utilizando TDT se puede transmitir hasta 6 programas de televisión sin perder la calidad con el mismo ancho de banda de un canal analógico (6 MHz). Además, gracias a la posibilidad de utilizar redes SFN, que consisten en utilizar la misma frecuencia para varios transmisores aledaños de la red, se puede optimizar aún más el uso del espectro radioeléctrico.

Al liberar las frecuencias superiores de la banda de TDT, conocidas como Dividendo Digital, pueden ser utilizadas para diversos fines, por ejemplo, nuevos programas de televisión de ámbito regional o nacional, televisión de alta definición o la prestación de servicios de banda ancha móvil.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El presente trabajo tiene como finalidad el estudio de una planificación de frecuencias, para el despliegue de un red de TDT en el Ecuador usando áreas de adjudicación, lo que permitirá a transmisores existentes y futuros ser acoplados directamente a una de las frecuencias asignadas sin ningún problema.

Se usará redes SFN que es una de las principales características de la TDT, ya que usa menor potencia de transmisión debido a su ganancia interna y a su alta probabilidad de localización, facilitando cobertura a las zonas de sombra con la reutilización de frecuencias.

El presente estudio constituye un primer borrador para la planificación de frecuencias para TDT en el país como una alternativa a la planificación ya existente. El mismo que puede ser utilizado como una guía por organismos como el ARCOTEL para una posible y futura revisión de las normativas de la TDT.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar un plan de frecuencias eficiente para la televisión digital terrestre (TDT) en el Ecuador.

OBJETIVO ESPECIFICO

- Estudiar el modo de transmisión que mejor se adapte al Ecuador.
- Elaborar una síntesis del plan de frecuencias para el Ecuador.
- Realizar ejercicios de planificación de cobertura para la comprobación de la planificación de frecuencias realizadas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se investiga los fundamentos de la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), una Red de Frecuencia Única, en inglés Single Network Frequency (SFN), y el estándar de Radio Difusión de Servicios Integrados o en inglés Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-Tb), donde se especifica sus características de la tecnología empleada para la planificación de frecuencias.

1.1. Modulación OFDM

La modulación OFDM envía información modulada en QAM o en PSK un conjunto de portadoras ortogonales entre sí y de diferentes frecuencias, este proceso de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante IDFT y DFT correspondientemente.

Para corregir errores que son causados en la transmisión, la modulación pasa por un codificador de canal, la cual se denomina COFDM, siendo esta usada en el estándar ISDB-Tb debido a que es muy robusta al multitrayecto y al desvanecimiento de las condiciones meteorológicas y interferencias de RF.

Debido a las características de esta modulación, el receptor recibe las distintas señales con diferentes retardos y amplitudes, lo que favorece a la recepción positivamente y es posible crear redes de frecuencia únicas sin tener problemas de interferencia. (Gallardo, 2006, pp.6-7)

1.1.1. Funcionamiento

OFDM divide el total del ancho de banda haciendo que el espectro asociado a cada dato tome una porción, la cual se segmenta en N sub-canales, cada uno de estos se modula con un símbolo y se multiplexa en frecuencia. Se utilizan técnicas como la transformada rápida de Fourier (FFT), con la finalidad que el transmisor reduzca un gran número de filtros y moduladores, y el receptor reduzca demuladores y filtros complementarios.

La señal de OFDM se genera bajo ciertos parámetros como: el esquema de modulación, el intervalo de guarda y el número de sub-portadoras.

Para determinar el número de sub-portadoras esta se basa en el ancho de banda del canal, la duración de símbolo útil y la velocidad de los datos, a la vez que son separadas por el inverso de la duración del símbolo útil. Dependiendo de la aplicación que se use, se puede modificar la velocidad de datos y el intervalo de guarda, al igual que se puede usar las sub-portadoras en un rango de varios miles. Como se puede observar en la Figura 1.1 una idea del esquema OFDM. (Ashqui, 2016, pp.13-14)

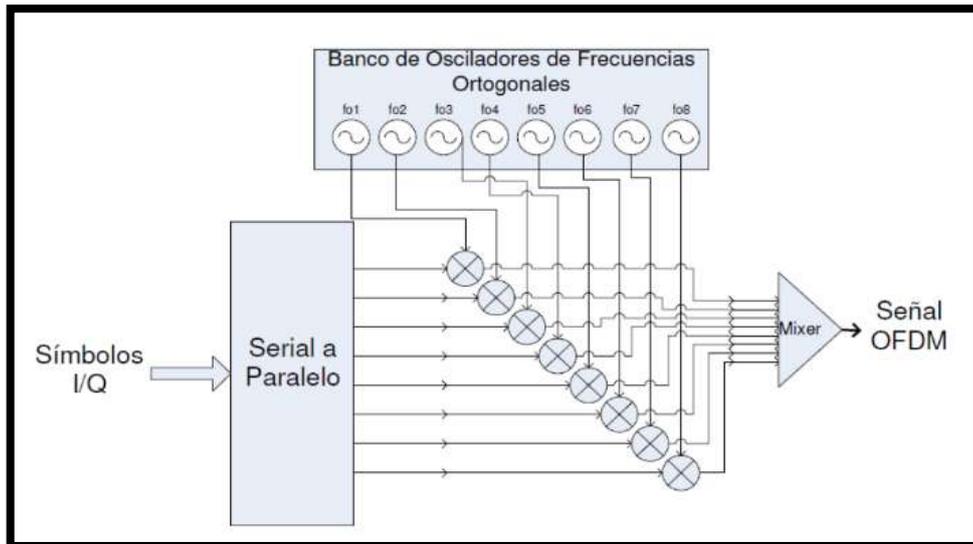


Figura 1-1: Esquema básico de OFDM con 8 portadoras
Fuente: (Jarrín y Morejón, 2012, p.2)

1.1.2. OFDM con el estándar ISDB-Tb

El estándar ISDB-Tb, se encargar de distribuir los datos entre portadoras tanto en tiempo como en frecuencia, como se puede observar en la Figura 2-1 que forman distintas secciones de frecuencia y tiempo, a estas secciones se le coloca una portadora OFDM.

El dominio del tiempo se divide en pequeños intervalos de tiempo, Y el dominio de la frecuencia se destina una determinada cantidad de sub-banda para cada portadora. (Pisciotta, 2010, pp.2-3)

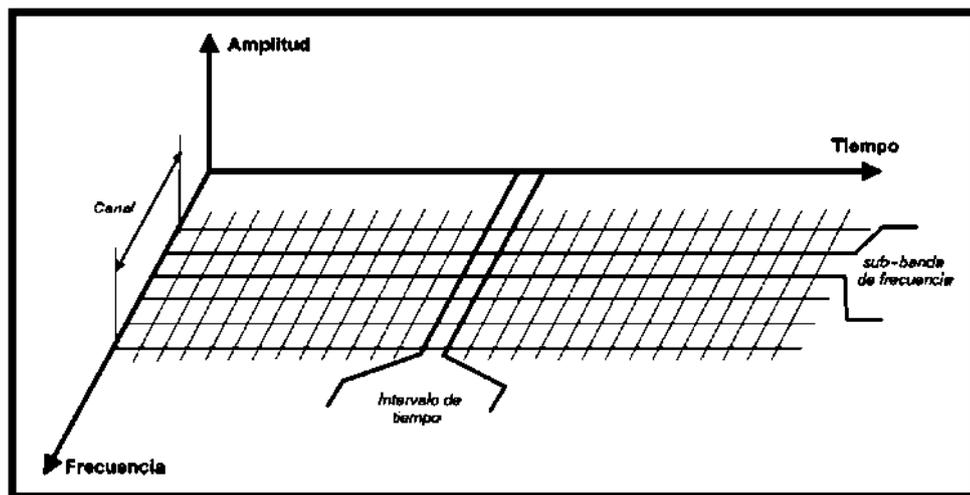


Figura 2-1: Organización del Canal Radioeléctrico.
Fuente: (Pisciotta, 2010 p.3).

En ISDB-Tb se establece un determinado número de portadoras transmitidas en un tiempo de símbolo al que se lo llama “Símbolo OFDM”, y una sucesión de S símbolos conforman un “Cuadro OFDM”, formando así cuadros de 204 símbolos OFDM.

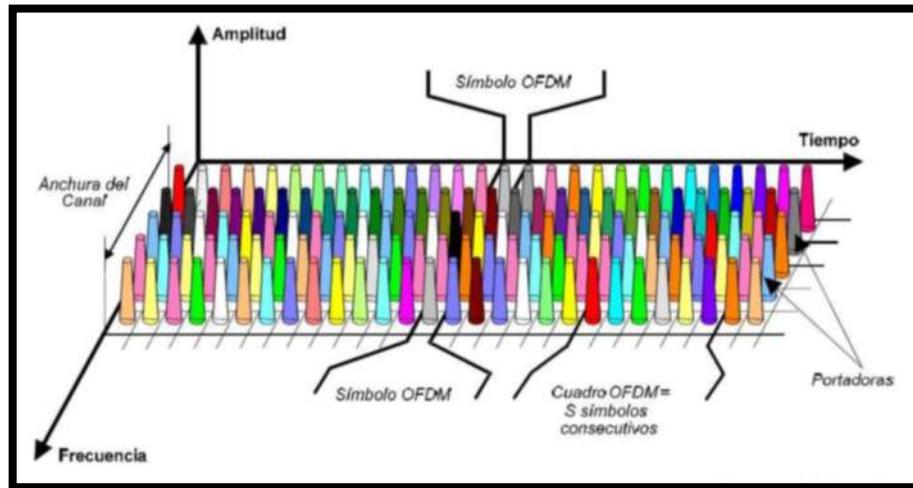


Figura 3-1: Distribución de Portadoras OFDM en Tiempo y Frecuencia.
Fuente: (Pisciotta, 2010 p.3).

La técnica que se emplea ISDB-Tb para mejorar la robustez del OFDM es COFDM (Código OFDM), este realiza una codificación tanto interna como externa para corregir errores de transmisión añadiendo bits de redundancia. La Reed Salomon o codificación externa se emplea al flujo de entrada antes de que esta realice la conversión serie a paralelo, mientras que la FEC (Forward Error Corrección) o codificación interna aplica un flujo de datos a cada uno de los diferentes mapeadores. (Pisciotta, 2010, pp.2-3)

En la Figura 6-1 podemos observar mejor el proceso de modulación que se realiza con el estándar ISDB-tb: al entrar el flujo de datos pasa de serie a paralelo, de acuerdo a la jerarquía que pertenece cada flujo de datos se realiza un mapeo para luego combinar las capas jerárquicas, pasa a efectuarse el entrelazado en tiempo y frecuencia y se añade las portadoras de control.

En el siguiente bloque al flujo resultante se aplica IFFT que transforma los datos de paralelo a serie, para que finalmente se forme el símbolo OFDM con la adición de un intervalo de guarda, al obtener el símbolo OFDM se realiza la conversión digital /análogo para tener una señal en banda base, la cual se modula en cuadratura y se obtiene múltiples portadoras ortogonales entre sí.

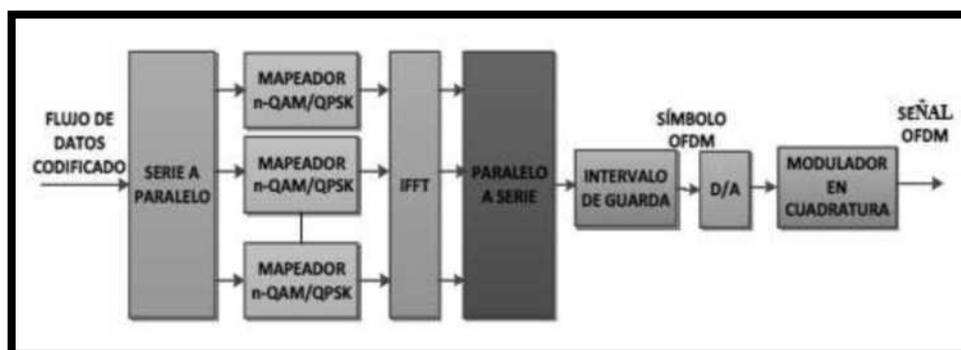


Figura 4-1: Diagrama de bloques del proceso de modulación OFDM
Fuente: (Jarrín y Morejón, 2012, p.14)

La razón por lo que se usa IFFT en un transmisor se debe a la salida del mapeador, ya que, la información se representa con números complejos, a estos números complejos se aplica el algoritmo IFFT el cual obtiene una secuencia numérica que es la suma de los valores complejos antes mencionados. (Jarrín y Morejón, 2012, pp.12-14)

1.1.3. Ortogonalidad

Para evitar interferencias entre portadoras que está dentro de cada uno de los símbolos OFDM. El dominio de la frecuencia corresponde a un pulso rectangular, mientras que cada símbolo OFDM se representa con ondas sinusoidales durante un intervalo de tiempo, para que la ortogonalidad se cumpla, la separación entre portadoras debe ser equivalente a la inversa del tiempo de duración de símbolo, como se puede observar en Figura 5-1. (Muñoz, 2015, p.20)

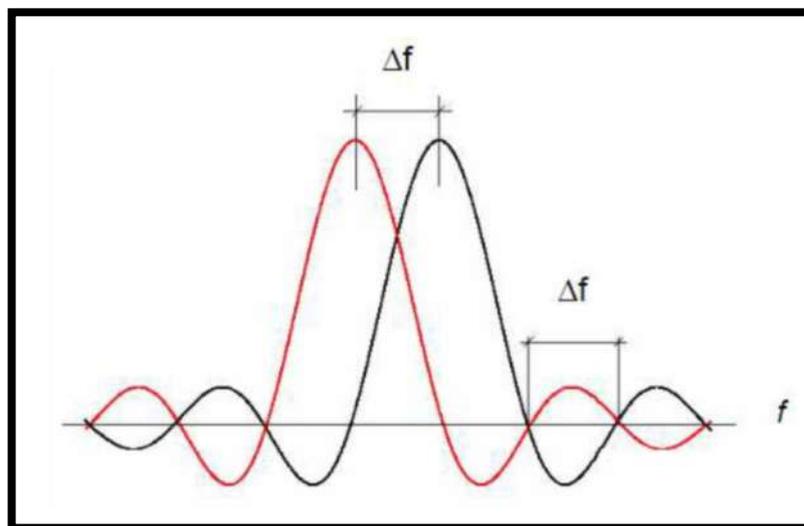


Figura 5-1: Ortogonalidad de portadoras
Fuente: (Jarrín y Morejón, 2012, p.4)

Con el incremento de eficiencia espectral, la ortogonalidad tiene otra ventaja, que es reducir la interferencia por multi-trayectoria, el cual consiste en ampliar la duración del tiempo del símbolo agregando un tiempo de guarda (T_G), el cual debe ser igual o mayor al tiempo máximo de retardo de las señales multi-trayectoria. (Jarrín y Morejón, 2012, p.4)

Se puede representar la condición de ortogonalidad así:

$$\Delta f = \frac{1}{T_U} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

Donde:

Δf : Separación entre portadoras.

T_U : Tiempo útil.

1.1.4. Parámetros OFDM para televisión digital

Para que un sistema de televisión digital sea óptimo, los parámetros OFDM deben ser optimizados, generalmente se dispone de algunos factores como: ancho de banda, velocidad o tasa de datos que se desea, tiempos de retardo de las señales reflejadas. Como anteriormente se mencionó, el intervalo de guarda (T_G) debe ser mayor al tiempo de retardo, y este valor depende de la modulación que se emplee para cada portadora.

Al escoger un T_G , se puede determinar un tiempo de símbolo (T_S). Para minimizar las pérdidas en la relación señal ruido introducidas por el T_G , el tiempo útil de símbolo (T_U) debe ser mucho mayor al T_G , se debe considerar el T_U no debe ser extremadamente grande, ya que esto obligaría a tener un número grande de portadoras, lo que provocará mayor ruido de fase y al offset.

Al establecer el valor de T_G y el de T_U se requiere determinar el número de portadoras (L) que se transmitirán en T_S .

$$T_S = T_U + T_G \quad \text{Ecuación 2-1}$$

El número de portadoras (L) necesarias, se calcula en base al ancho de banda disponible, como podemos observar en la Ecuación 5-1. Otra forma de determinar L es en base al cociente entre la tasa total de datos y la tasa de transmisión. (Pisciotta, 2010, p.10)

$$L = \frac{BW}{\Delta f} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Para determinar el número de portadoras necesaria mediante la capacidad de transmisión se aplica el teorema de Shannon. El teorema requiere del valor de relación señal-ruido(S/N), en este caso se transmiten portadoras de datos, por lo tanto, se reemplazará el valor de S/N por el valor de relación portadora-ruido(C/N). (Jarrín y Morejón, 2012, p.74). Los valores para C/N mínimo varían entre 3dB para QPSK en un canal Gaussiano hasta un aproximado de 28dB para 64-QAM en un canal Rayleigh. (Fischer, 2009, pp.20)

$$C(\text{bps}) = BW_T \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Donde se reemplazará S/N por C/N:

$$C(\text{bps}) = BW_T \log_2 \left(1 + \frac{C}{N} \right) \quad \text{Ecuación 5-1}$$

Para determinar la relación entre L y T_S se plantea la siguiente Ecuación 9-1 que según “Shannon estableció que al transmitir un velocidad menor o igual a 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” siendo así $C = R$. (Jarrín y Morejón, 2012, p.76) Usando una modulación 64-QAM ($b_p = 6$ bit). (Pisciotta, 2010, p.11)

$$R(\text{bps}) = \frac{b_p(L)}{T_S} \quad \text{Ecuación 6-1}$$

Donde:

R : Tasa de datos, $R = C$

b_p : Numero de bits por símbolo transmitidos en una portadora.

Una variante de la Ecuación 9-1 es cuando se presenta la relación entre tasa, tiempo y cantidad de información transmitida.

$$R(\text{bps}) = \frac{\log_2(M)}{T_S} \quad \text{Ecuación 7-1}$$

Donde, M es el valor total de puntos usados en la constelación 64-QAM, entonces $b_p = \log_2(M)$.

1.1.5. Transformada Rápida de Fourier (FFT/IFFT)

Los métodos que se usan para la modulación y demodulación se lo realiza en tiempo discreto mediante IFFT y la FFT, ya que existe un gran problema al momento de la generación y la detección en tiempo continuo de cientos de miles de portadoras equidistantes en frecuencia. Las señales transmitidas se encuentran muestreadas, debido a la naturaleza digital de los datos generados.

Al realizar el análisis en frecuencia es necesario el uso de la transformada de Fourier de una señal muestreada, la cual descompone una onda en sinusoides de frecuencias diferentes, para luego ser sumadas, y como resultado da la onda original.

La transformada de Fourier se define como:

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-jx} dx \quad \text{Ecuación 8-1}$$

Y su inversa:

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(w) e^{jwx} dw \quad \text{Ecuación 9-1}$$

Para ajustarse a valores discretos de los sistemas digitales la transformada de Fourier fue modificada y se la llamo Transformada Discreta de Fourier (DFT), que es un sistema discreto en el tiempo.

Está definida como:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{\frac{j2\pi kn}{N}} \quad 1 \quad \text{Ecuación 10-1}$$

Y su inversa

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} \quad 1 \quad \text{Ecuación 11-1}$$

Al realizar la transmisión con la técnica OFDM la banda se segmenta y se usan múltiples portadoras ortogonales, que son enviadas simultáneamente en el canal de transmisión, existe portadoras que no transporta información útil al sistema, las cuales son usadas para completar el total de las portadoras de la IFFT. (Illescas et al, 2011, p.77)

Para que el algoritmo IFFT trabaje eficientemente el número de puntos debe ser potencia de dos, es decir, que el modo 1 (2K) trabaja con 2048 puntos, modo 2 o (4k) trabaja con 4096 puntos y el modo3 (8k) con 8192 puntos. Para la detección de símbolos en el receptor se usa FFT, mientras que, IFFT es utilizada en el transmisor para generar los símbolos del sistema. (Jadán et al, 2003, p.121)

Los procesos numéricos que calcula la IFFT, lo hacen en una potencia entera de 2, es decir 2^n . Para la generación de símbolos OFDM, se emplea la transformada rápida de Fourier, el cual requiere de una frecuencia de muestreo f_{IFFT} que se deriva de un cociente de muestreo y el tiempo útil T_U . (Pisciotta, 2010, p.13)

$$f_{IFFT} = \frac{2^n}{T_U} \quad \text{Ecuación 12-1}$$

1.2. Red de Frecuencia Única (SFN)

1.2.1. Definición

Red de frecuencia única o SFN (Single Frequency Network), también se la conoce como red Isofrecuencia, se desarrolló para cubrir extensas zonas empleando un solo canal y transportar información por un conjunto de transmisores a la misma frecuencia y tiempo, sin interferirse y a la vez elevado el nivel de la señal en las áreas donde se superponen. Debido a que el estándar ISDB-Tb usa la técnica de multiplexación OFDM, el receptor recoge señales retrasadas tras recibir la señal principal, además, adiciona un intervalo de guarda al transmitir la información, y así, aprovechar los ecos recibidos para obtener la señal requerida, y lograr una señal más robusta y de mayor intensidad. (Jarrín y Morejón, 2012, p.15)

En sistema analógico para evitar las interferencias causadas por el multi-trayecto, usa diferentes frecuencias para cada zona por cada programa, a esto se lo conoce como MFN (Multiple

Frequency Network), mientras, que una red SFN usa una misma frecuencia como ya se mencionó anteriormente.

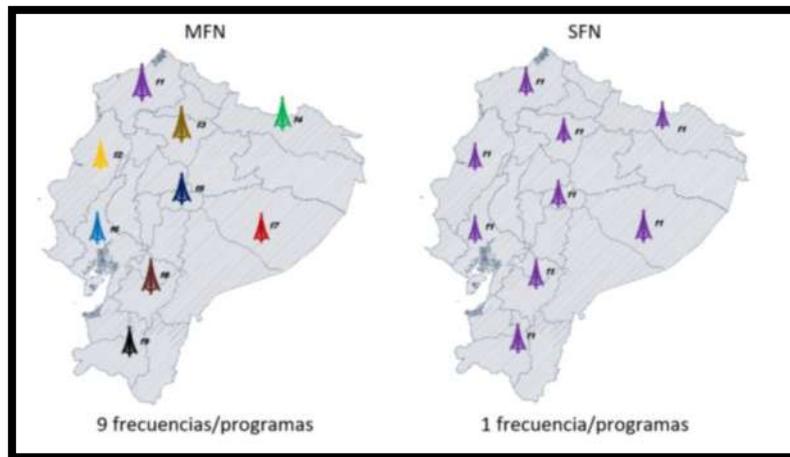


Figura 6-1: Topología de una red MFN y SFN.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018

La red isofrecuencia al asignar una única frecuencia para transmitir un mismo programa en una misma zona contribuye a un mejor uso del espectro radioeléctrico en la banda AM y FM, mejora la eficiencia de dicha zona, a la misma vez que permite contrarrestar las interferencias originadas por la propagación multi-trayecto. (Erazo, 2009, pp.60-62)

Al implementar un estructura de red SFN se puede dar cobertura a pequeñas áreas en donde la recepción es casi nula, es decir, se tiene la posibilidad de cubrir zonas de sombra, usando Gap-fillers o transmisores, también se optimiza el uso de potencia, ya que el receptor al recibir varias señales de distintos transmisores, dentro del tiempo de símbolo, causa que todas estas señales se sumen, lo que provoca una ganancia interna de la red, llegando a cubrir la misma área con menor potencia de transmisión que un sistema de transmisión digital MFN.

1.2.2. Gap-Fillers

Es un repetidor co-canal de baja potencia, se utiliza para cubrir zonas pequeñas de sombra dentro del área de cobertura del transmisor principal, los receptores gap-fillers deben ser de alta ganancia, la ventaja de este repetidor es: su bajo costo y su bajo consumo de potencia, su fácil instalación, ya que solo necesita de las antenas de transmisión y recepción. Estos repetidores no solo retransmiten la señal, también existen algunos gap-fillers que regeneran la señal antes de retransmitirlas.

Las zonas de sombra son obstáculos tales como infraestructuras (edificios, sótanos... etc) o zonas geográficas montañosas que dificultan la recepción de las señales, como se mencionó anteriormente se presenta dos casos en los que se puede usar los gap-fillers: para el primer caso se necesita tener cobertura dentro de lugares cerrados donde la señal es casi nula, entonces, se coloca

un receptor en un lugar alto (terrace de un edificio, torre de antenas... etc) para recibir la señal proveniente del transmisor y distribuir la señal en el lugar cerrado, para este caso no es necesario regenerar la señal, como podemos observar en la Figura 7-1.

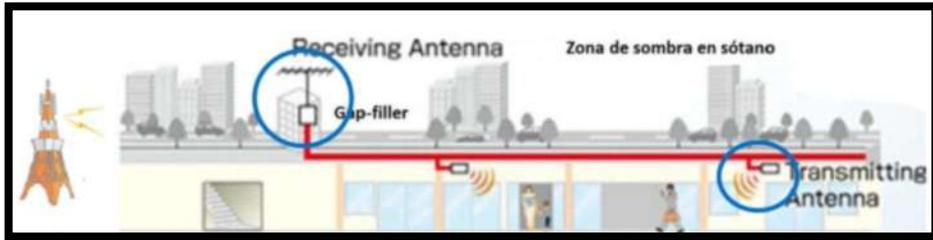


Figura 7-1: Gap-fillers en caso interior

Fuente: (Jarrín y Morejón, 2012, p.21)

El segundo caso se establece para lugares abiertos, donde el nivel de señal es débil o nula, debido a la presencia de obstáculos, por ejemplo, tras una colina o un conjunto de edificio muy altos, en este caso es necesario regenerar la señal del transmisor y usar un cancelador de ecos, para poder transmitir la señal deseada en la zona, en los dos casos se debe realizar un ajuste de retardo para evitar interferencias y permitir a la señal llegar de al receptor dentro del tiempo de símbolo. Figura 8-1. (Jarrín y Morejón, 2012, pp.20-21)

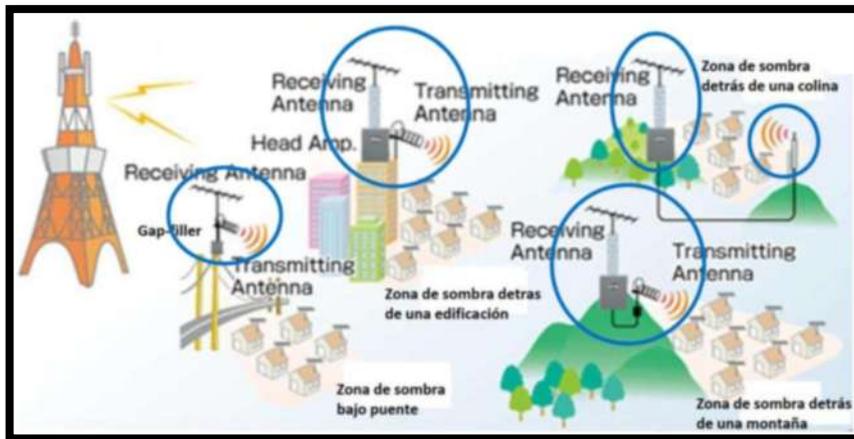


Figura 8-1: Gap-fillers en casos exteriores

Fuente: (Jarrín y Morejón, 2012, p.21)

Un cancelador de ecos es un algoritmo que se encarga de eliminar los efectos de retroalimentación causadas por el uso del mismo canal de frecuencia, el cual realiza un proceso digital tomando las señales de entrada y salida del transmisor y la señal de gap-filler, para determinar un tiempo estimando y nivel de eco generado, a este se le resta la señal de entrada y se elimina la influencia del eco, como las condiciones de transmisión no son contantes y depende de varios factores (factores climáticos, factores físico... etc) el proceso debe ser dinámico. (Jarrín y Morejón, 2012, p.21)

1.2.3. Clasificación de las Redes SFN

Las redes SFN se clasifican según el ámbito geográfico y de acuerdo a la ubicación de modulador OFDM.

Según el ámbito geográfico las redes SFN son:

1.2.3.1. Red SFN de ámbito extenso

Se caracteriza por dar cobertura a una amplia zona, por ejemplo, a una región o a un país, etc. Su funcionamiento se basa en una red con transmisores idénticos, donde, cada transmisor cubre un área determinada, y en conjunto cubrir la zona deseada. Es indispensable que los transmisores estén sincronizados, y añadir retardos si es necesario para evitar interferencias entre sí.

1.2.3.2. Red SFN de ámbito reducido

Son redes que brinda cobertura a una zona con un radio de entre 10 a 20 Km, este tipo de redes se las usa para cubrir una provincia en su totalidad, la inconveniencia de este tipo de redes es la interferencia, ya que pueden existir otras redes en los territorios contiguos, lo que conlleva a un escenario de redes que se interfieren entre sí.

Según la ubicación del modulador OFDM las redes SFN son:

1.2.3.3. Red SFN centralizado

Este tipo de red consiste en un grupo de transmisores con un solo modulador para toda la red SFN, donde, los datos, audio y video ingresan por separado, los datos ingresan directamente al multiplexor y las señales de audio y video a un codificador, para luego ser modulada en OFDM. La señal modulada se la envía por una red de transporte (microonda, fibra óptica, satelital, etc.), y cada estación transmisora ubica la señal recibida en un canal de radiofrecuencia asignado.

Figura 9-1

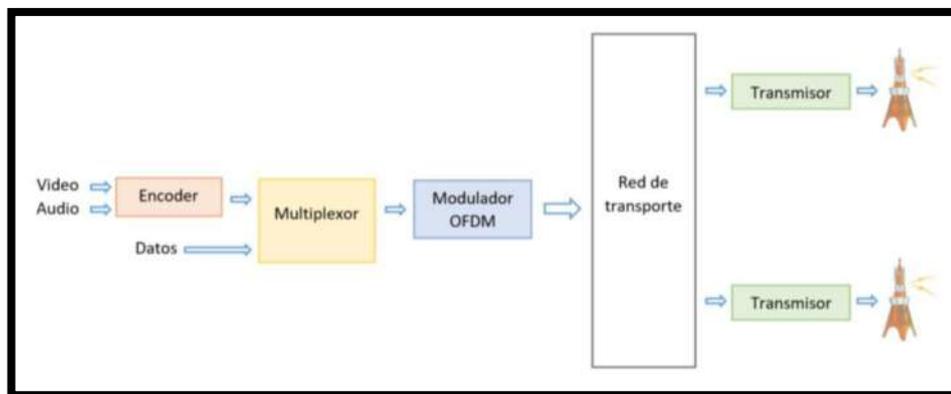


Figura 9-1: Red SFN con modulación centralizada.

Fuente: (Erazo, 2009, p.65) Modificado: Valle, Felipe; 2018

1.2.3.4. Red SFN descentralizado

A diferencia de la de red centralizada, los transmisores cuentan cada uno con un modulador OFDM, es decir, que se envía los datos, audio y video por la red de transporte hacia los transmisores y cada uno de ellos modulan la señal recibida, para luego ubicarla en un canal de frecuencia en la que se va a transmitir. Como se puede observar en la Figura 10-1

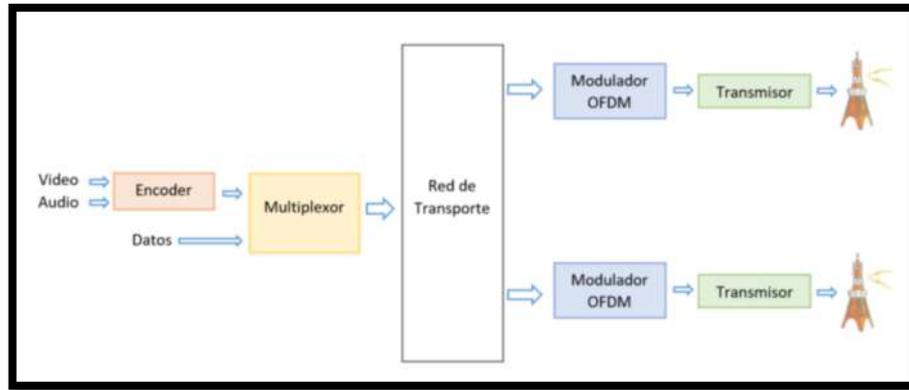


Figura 10-1: Red SFN con modulación descentralizada.

Fuente: (Erazo, 2009, p.66) Modificado: Valle, Felipe; 2018

1.2.4. Ventajas y Desventajas de una SFN

1.2.4.1. Ventajas

La red SFN usa eficientemente el espectro radioeléctrico, ya que usa una sola frecuencia en una red de transmisores para cubrir grandes zonas, siendo estas, zonas regionales, nacionales hasta incluso internacionales con una cobertura fiable. Actualmente el uso de canales de frecuencia no es eficiente para transmitir nueva programación.

La irradiación sobre la zona de cobertura es homogénea y el consumo de potencia en los transmisores es menor, debido a que varios de estos cubren un mismo conjunto de receptores, este efecto se lo conoce como ganancia interna de la red.

La Ganancia interna de la red se divide en dos factores siendo estos: el aditivo y el estadístico, el aditivo dice que, al tener varias señales procedentes de distintos transmisores, estas se superponen y aportan de manera constructiva a la señal deseada. Por otro lado, el factor estadístico señala que, “la desviación estándar de la suma de todas las señales es siempre menor que la suma de las desviaciones de cada señal”, pudiendo conseguir un mayor porcentaje de probabilidad de cobertura. (Jarrín y Morejón, 2012, p.18)

Al ser creciente la demanda de servicios de radiodifusión e introducir nuevos a la red SFN, puede exceder su capacidad ya que esta es finita, pero se puede compartir recursos creando SFN's adicionales y satisfacer las demandas exigidas.

Al configurar una red SFN se minimiza costos ya que se toma muy en cuenta el aspecto técnico y económico de la red, además, es flexible al crecimiento de zonas de cobertura ajustándose a la demanda del mercado. (Erazo, 2009, p.68)

Otra de las ventajas de la red SFN es tener la posibilidad de cubrir zonas nulas o de sombra, usando gap-fillers lo cuales retransmiten la señal en estas zonas, a un bajo costo.

1.2.4.2. Desventajas

Al implementar una red SFN no es posible dividir la red, dado que usa un solo canal de frecuencia, por lo que no es posible transmitir distinta programación en el área de cobertura, la solución a este problema es dividir la zona en regiones, siendo necesario efectuar concesiones de otras frecuencias.

Se debe tomar en cuenta una distancia mínima entre transmisores, ya que si no se respeta esta distancia puede provocar interferencias en las zonas donde se solapan las áreas de cobertura.

Se requiere que los transmisores envíen señales precisas, es decir, una sincronización de tiempo o con retardos controlados, de lo contrario existirá interferencia de la misma red.

La sincronización de frecuencia se torna crítica al tener varios transmisores, y pueden presentar pequeñas variaciones de frecuencia central. (Jadán et al, 2003, p.19)

1.3. Estándar de Televisión Digital Terrestre

Existen varios estándares de televisión digital los cuales fueron adoptados por diferentes países según sus necesidades, estos estándares son los siguientes:

Tabla 1-1: Estándares de televisión digital y su origen.

Estándar	Origen
ATSC (Advanced Television System Committe)	USA
DVB (Digital Video Broadcasting)	Europa
DTMB (Digital Terrestrial multimedia Broadcasting)	China
ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial)	Japón
ISDB-Tb (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial brasileña)	Brazil

Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

La diferencia entre cada estándar se encuentra en su esquema de modulación y la compresión de audio y video, en esta sección se revisará los aspectos más importantes del estándar ISDB-Tb que fue adoptado por Ecuador.

1.3.1. Definición de ISDB-Tb

Es un estándar desarrollado y modificado por entidades brasileñas usando como base el estándar japonés ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial), las modificaciones que se

realizaron a este estándar se encuentran en la compresión del audio y video y el middleware que se usa para la interactividad, con el objetivo de reducir costos, y mejorar la calidad de la señal.

El estándar ISDB-Tb es un sistema que está diseñado para la transmisión de comunicaciones móviles y fijas (en especial la móvil), fue creado con la finalidad de ofrecer flexibilidad, capacidad de transmisión y difusión de servicios multimedia, con un ancho de banda de 6MHz con una alta calidad en HD, además que le permite al usuario interactuar mediante un canal de retorno (internet) gracias al middleware Ginga.

El ruido térmico, interferencias multitrayecto, ruido urbano, atenuación en la recepción móvil y portátil son problemas con las que debe lidiar ISDB-T en las bandas UHF/VHF, para estos problemas se implementó un sistema de transmisión OFDM con tecnología Time Interleaving (entrelazado de tiempo), el cual le permite: usar antenas en interiores y servicio de recepción móvil a menor potencia de transmisión. (Guerra, 2017, p.215)

Para la transmisión de televisión el espectro se divide en 13 segmentos OFDM sucesivos cada uno de estos con una catorceava parte del ancho de banda total del canal, ISDB-T también ofrece un intercalado de tiempo para entregar una potente codificación al canal de recepción móvil ya que las variaciones de intensidad de campo son inevitables. (Jadán et al, 2003, p.161)

1.3.2. Codificación de audio y video

ISDB-tb para la compresión de video utiliza MPEG-4 AVC (H.264), para la compresión de audio usa MPEG-4 AAC nivel 4 o MPEG-4 HE-AAC v.1 nivel 4, para la modalidad estéreo usa MPEG-4 AAC nivel 2 o MPEG-4 HE- AAC v.1 nivel 2, para dispositivos portátiles MPEG-4 AAC nivel 2 (Jarrín y Morejón, 2012, p.12) y un middleware brasileño (DTVi), en bandas VHF usa 7 - 13 canales y en UHF usa 14 - 69 canales, con un ancho de banda de 6MHz. (Guerra, 2017, p.215)

La versión brasileña enfatiza en el mejoramiento de la codificación de audio y video para dispositivos portátiles, ya que usa en video H.264 a 30 FPS (Frames Per Second) y en audio MPEG-4 HE-AAC v.1 nivel 2, mientras que su similar japonés usa en video H.264 a 15 FPS y en audio MPEG-2 HE-AAC v.1 nivel 2. (Moncayo et al, 2014, p.11)

1.3.3. Entrelazado en tiempo y en frecuencia

1.3.3.1. Entrelazado en tiempo

Esta técnica se usa para evitar errores sucesivos de los paquetes de bits codificados, ya que son ordenados aleatoriamente y distribuidos en el tiempo, para luego reordenar la secuencia de bits, y así facilitar la recuperación de datos. (García, 2017, p.9)

Es útil contra los desvanecimientos prolongados del canal y aportar robustez contra el efecto Doppler lo que ayuda a la recepción móvil.

1.3.3.2. Entrelazado en frecuencia

Consiste en enviar la señal aleatoriamente, esto hace que los errores se distribuyan a lo largo de la frecuencia, al instante que la señal es receptada se puede ordenar y recuperar de mejor manera la información, haciendo que se evite las perdidas por multi-trayectoria. (García, 2017, p.9) También ayuda a contrarrestar los desvanecimientos rápidos del canal (fast fading).

1.3.4. Modulación de la portadora

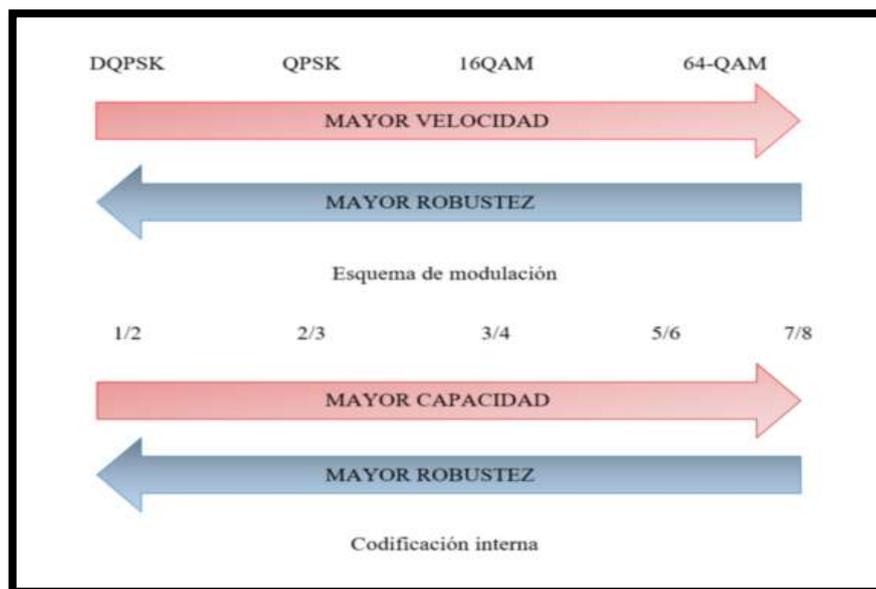


Figura 11-1: Esquema de modulación y codificación interna.

Fuente: (Moncayo et al, 2014, p.13) **Modificado:** Valle, Felipe; 2018.

En modulación DQPSK no necesitas de una señal de referencia, ya que se transmite la diferencia que existe entre un símbolo presente y el símbolo siguiente, esto hace que sea de tipo diferencial lo que es perfecto para la recepción móvil. Una característica en común con la modulación QPSK, es su desplazamiento de fase en $\pi/4$ por cada símbolo.

Las modulaciones QPSK, 16-QAM y 64-QAM son de tipo sistemático, al incrementar el número de bits de portadora por símbolo de 2, 4 y 6 bits, la tasa de bits también se incrementa, pero presenta un inconveniente, al ser la distancia entre puntos muy pequeña la señal tiende a ser más sensible al ruido e interferencias. (Parreño et al, 2014, p.67)

1.3.4.1. Modulación QPSK

Este tipo de modulación consiste en el desplazamiento de fase de cuatro símbolos, su entrada es únicamente de 2 bits por símbolos, y su salida mapeada es multibit. Al efectuar el mapeo, los 120 elementos de atraso se incluyen a la entrada de mapper para el entrelazamiento de bit. (ABNT NBR

15601, 2007 pág. 23). La separación entre fases adyacentes son equiespaciadas cada 90° , y representan los dígitos 00,01, 11, 10. (García, 2016, p.28)

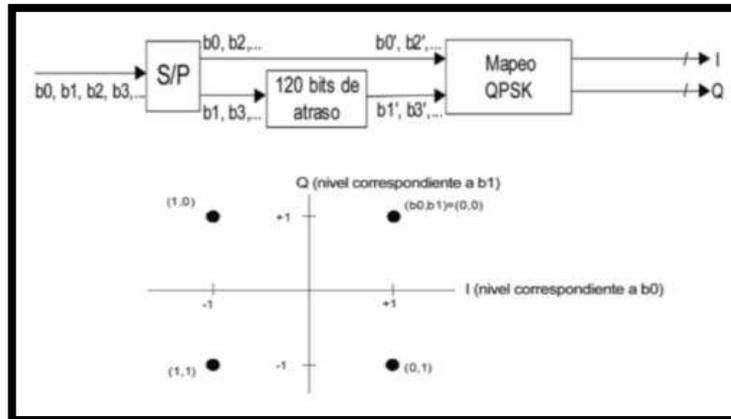


Figura 12-1: Diagrama del sistema de modulación y constelación QPSK.
Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p.23)

En la Figura 12-1 se observa el diagrama de constelación donde los ejes se los representa como I y Q, y está formado por cuatro puntos equidistantes del punto de origen y representan a las fases.

1.3.4.2. Modulación DQPSK

DQPSK es una técnica de modulación que al igual a la anterior modulación la señal de entrada es de 2 bit por símbolo, con un desplazamiento en $\pi/4$ para la salida de datos multibit (ABNT NBR 15601, 2007, p.22), es una modulación que se encuentra en modo diferencial, esto quiere decir que no requiere de una portadora síncrona en el receptor, pero depende de una condición anterior. (García, 2016, p.29)

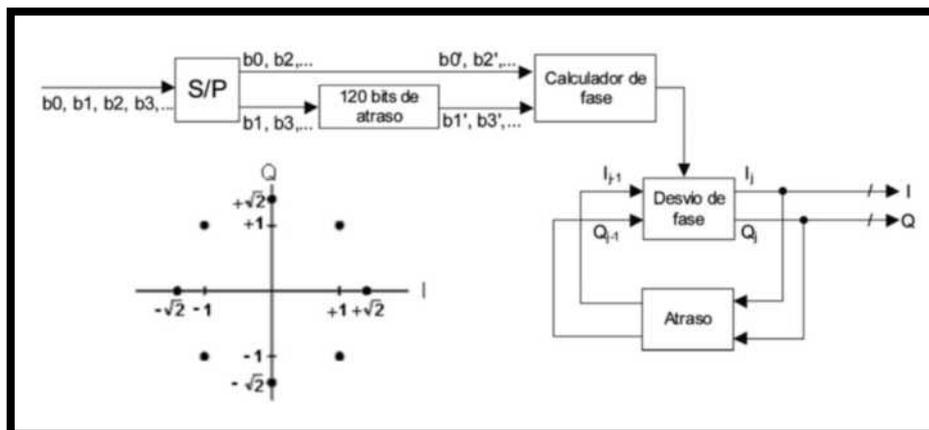


Figura 13-1: Diagrama del sistema de modulación y constelación DQPSK.
Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p.22)

1.3.4.3. Modulación 16-QAM

Es una modulación basada en código gray, logrando que cada punto de la constelación cambie en un bit con respecto a cualquier punto adyacente, disminuyendo la probabilidad de error, al

cambiar el valor de fase, amplitud o los dos el símbolo contendrá un bit erróneo. En cada cuadrante existe cuatro puntos y cada punto de la constelación representa 4 bits, así también se encuentra tres valores diferentes en fase y amplitud. (López, y Mora, 2006, p.37)

En la Figura 14-1 observamos la constelación de 16-QAM, donde los dos primeros bits representan al cuadrante donde nos encontramos y los otros dos es la posición del símbolo del cuadrante, al rotar 90° los dos últimos bits no cambian. (Hernaiz, 2008 p.6)

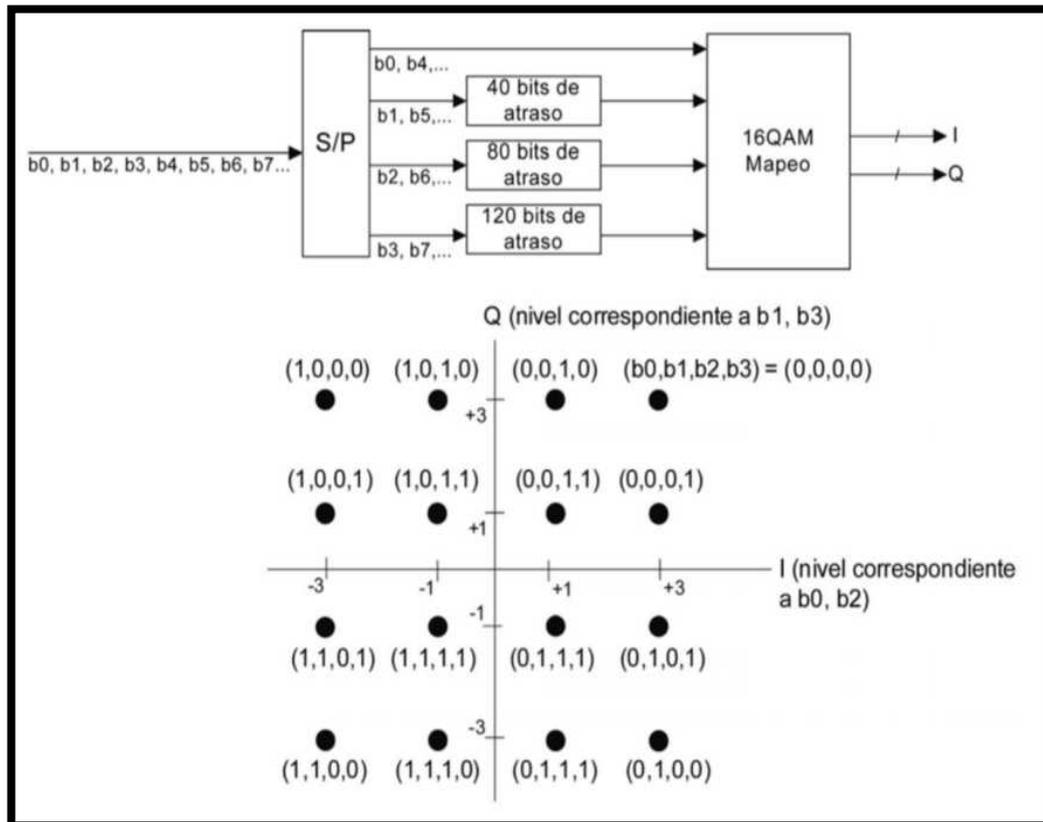


Figura 14-1: Diagrama del sistema de modulación y constelación 16-QAM.
Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p24)

1.3.4.4. Modulación 64-QAM

Es una modulación muy robusta, usada para la transmisión digita sobre el canal Downstream, soporta altas velocidades de transmisión por encima de los 28 Mbps en un canal de 6MHz. Al enviar 6 bits por símbolo, incrementa la velocidad de transmisión, pero al incrementa los bits por símbolo se hace más sensible a señales de interferencia y ruido, por lo que no se usa en canales de Upstream, es decir que mientras mayor sea el orden de este tipo de modulaciones son más sensibles al ruido. (López, y Mora, 2006, p.41)

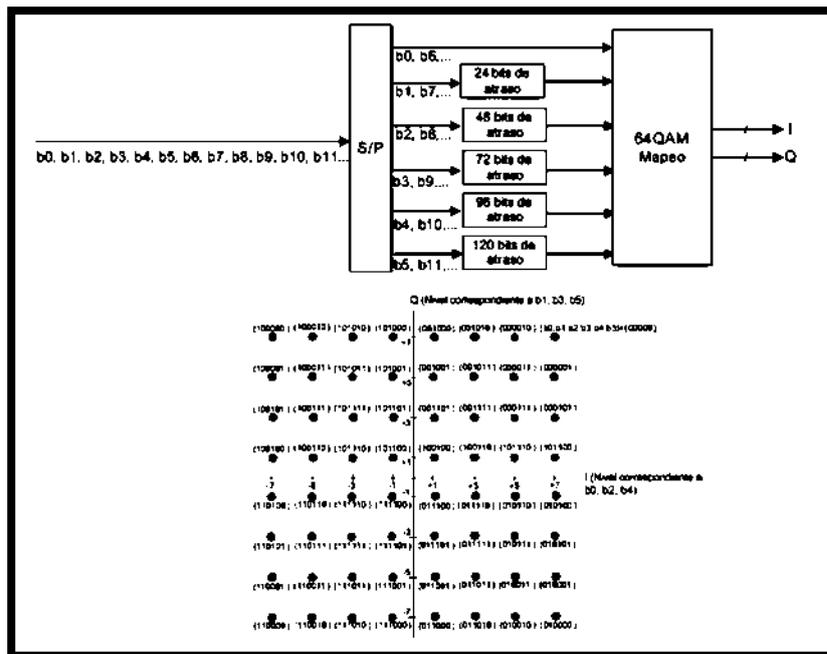


Figura 15-1: Diagrama del sistema de modulación y constelación 64-QAM.
Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p.24-25)

1.3.5. Parámetros de transmisión para one-seg y el estándar ISDB-Tb

En la tabla 2-1 se especifica los parámetros de codificación de canal, los cuales se usarán como base para las simulaciones del sistema de transmisión TDT.

Tabla 2-1: Parámetros de Transmisión.

Parámetros	Valores
Número de Segmentos	13
Ancho del Segmento	6000/14=428,57 KHz
Banda UHF	5,575 MHz 1 (modo 1) 5,573 MHz 1 (modo 2) 5,572 MHz 1 (modo 3)
Número de Portadoras	1405 (modo 1) 2809 (modo 2) 5617 (modo 3)
Modulación	DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Duración de Símbolo	252 μs (modo 1) 504 μs (modo 2) 1008 μs (modo 3)
Separación de Portadoras	Bws/108 = 3,968 KHz (modo 1) Bws/216 = 1,984 KHz (modo 2) Bws/432 = 0,992 KHz (modo 3)
Intervalo de Guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32, duración de símbolo activo 63; 31,5; 15,75; 7,875 μs (modo 1) 126; 63; 31,5; 15,75 μs (modo 2) 252; 126; 63; 31,5 μs (modo 3)
Duración Total de Símbolo	315; 283,5; 267,75; 259,875 μs (modo 1) 628; 565; 533,5; 517,75 μs (modo 2) 1260; 1134; 1071; 1039,5 μs (modo 3)
Duración de Cuadro de Transmisión	204 símbolos OFDM
Codificación de Canal	Código convolucional, tasa = 1/2 con 64 estados Punzado para las tasas 2/3, 3/4, 5/6, 7/8

Entrelazamiento Interno	Entrelazamiento intra e inter-segmentos (entrelazamiento en frecuencia) Entrelazamiento convolucional con profundidad de interleaving 0; 380; 760; 1520 símbolos (modo 1) 0; 190; 380; 760 símbolos (modo 2) 0; 95; 190; 380 símbolos (modo 3)
-------------------------	---

Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p.6)

Para realizar los cálculos de las tasas de transmisión para los diferentes intervalos de guarda se utiliza la Ecuación 9-1. En la ecuación no se toma en cuenta la portadora de datos, de control, y tampoco los coeficientes de corrección, tanto el codificador interno como el externo, solo toma en cuenta la portadora de datos (L_D). (Jarrín y Morejón, 2012, p.89)

$$R(bps) = K_o \cdot K_I \frac{b_P(L_D)}{T_S} \quad \text{Ecuación 13-1}$$

Donde:

K_o : Coeficiente de codificador externo Reed Solomon (188/204).

K_I : Coeficiente del codificador convolucional.

b_P : Bits transmitidos por portadora (2-QPSK, 4-16-QAM Y 6-64-QAM).

L_D : Numero de portadoras de datos por segmento $L = 13(L_D)$.

T_S : Tiempo de símbolo.

En Tabla 3-1 se representa los valores en bits por segmento para los parámetros de transmisión

Tabla 3-1: Tasas de transmisión para one-seg.

Modulación de la portadora	Código interno o convolucional	Tasa de Transmisión R (kbps)			
		Intervalo de guarda 1/4	Intervalo de guarda 1/8	Intervalo de guarda 1/16	Intervalo de guarda 1/32
DQPSK QPSK	1/2	280,85	312,06	330,42	340,43
	2/3	374,47	416,08	440,56	453,91
	3/4	421,28	468,09	495,63	510,65
	5/6	468,09	520,10	550,84	567,39
	7/8	491,50	546,11	578,23	595,76
16-QAM	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	1021,30
	5/6	936,19	1040,21	1101,40	1134,78
	7/8	983,00	1092,22	1156,47	1191,52
64-QAM	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, 2007, p.9)

En la tabla 4-1 se especifican los valores para 13 segmentos, los cuales son la tasa total de datos transmitida jerárquicamente, estos parámetros varían según la configuración jerárquica.

Tabla 4-1: Tasas de transmisión para 13 segmentos en ISDB-Tb.

Modulación de la portadora	Código interno o convolucional	Tasa de Transmisión R (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
16-QAM	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
64-QAM	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, 2007, p.10)

1.3.6. Transmisión Jerárquica

Al usar la modulación OFDM con banda segmentada, el cual divide el ancho de banda en 14 segmentos al igual que el estándar ISDB-T, que van del 0 al 12, donde el segmento cero (color amarillo) se ubica en la parte céntrica del ancho de banda y se usa para la transmisión del servicio de “one-seg” a receptores móviles y portátiles, al encontrarse en el centro de la banda de frecuencia mejora la sintonización y baja el consumo de energía en los dispositivos, ya que no tendrá que desplazarse hacia otros segmentos de la banda, mientras que los segmentos que van del 1 al 11 (color azul) son usados para transmitir los servicios tanto en definición SD y/o HD, el segmento restante (color rojo) se divide en dos partes y se ubican a los laterales y son usados como bandas de guarda, como se puede observar en la Figura 16-1. Cabe mencionar que los 13 segmentos pueden ser usados para transmitir los servicios como SDTV, LDTV y/o HDTV en un máximo de 3 capas. (Moncayo et al, 2014, p.11)



Figura 16-1: División de un canal de 6MHz en 13 segmentos más bandas de guarda.

Fuente: (Moncayo et al, 2014, p.12)

Para el calcular el ancho de banda que ocupa los 14 segmentos, se utiliza la ecuación 9-1, sabiendo que un segmento se usa como bandas de guarda que se divide en dos, y ocupan un valor entre 20 y 200 kHz cada uno. Donde BW_s es el ancho de banda del segmento, y BW es el ancho de banda. (Pisciotta, 2010, p.14)

$$BW_s = \frac{BW}{14} \quad \text{Ecuación 14-1}$$

Entonces, el total del ancho de banda total BW_T ocupada por los 13 segmentos N_s es:

$$BW_T = N_s \cdot BW_s \quad \text{Ecuación 15-1}$$

En la figura 17-1 podemos observar un ejemplo donde se definen las 3 capas jerárquicas A, B y C, donde cada portadora puede ser modulada de dos maneras, modulación coherente o diferencial, las capas con modulación coherente deben posicionarse después de la capa que se encuentra con modulación diferencial, es decir, comenzando desde la capa A que se usa para recepción móvil (one-seg), la capa B usa modulación diferencial DQPSK (definición SD), la capa C usa modulación coherente QPSK, 16QAM Y 64-QAM (definición HD). (Granja, 2011, p.33)



Figura 17-1: Ejemplo de capas jerárquicas A, B y C y segmentación.

Fuente: (Granja, 2011, p.33)

1.3.7. Offset de frecuencia

En el estándar se define que la frecuencia se debe desplazar en 1/7 MHz equivalente a 142.857 KHz hacia el eje positivo, desde a la frecuencia central del canal. (ABNT NBR 15601, 2007 pág. 52)

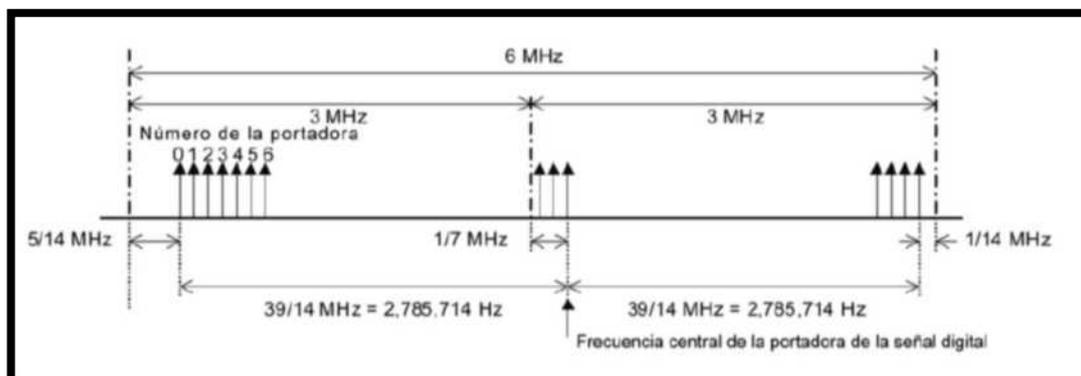


Figure 18-1: Off-set.

Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p.52)

1.3.8. Intervalo de guarda

Para proteger la señal frente a ecos se agrega un intervalo de guarda (Δ) configurable: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, los cuales se dejan entre símbolos OFDM consecutivos, con la finalidad de evitar interferencias entre símbolos (ISI) e interferencias entre portadora (ICI), en canales con señales multi-trayectoria. Las interferencias entre símbolo existirán cuando el retardo relativo sea mucho mayor que la duración del intervalo de guarda, es decir, que el retardo que la señal sufre a lo largo de la trayectoria, con relación al trayecto más corta, debe ser menor al intervalo de guarda, (Medina, 2017, p.15) (MEDINA, 2017 pág. 15) por lo tanto, “*el intervalo de guarda se define como la razón entre el tiempo de guarda y el tiempo útil de símbolo*”. (Jarrín y Morejón, 2012, p.77)

$$\frac{T_G}{T_U} = \Delta = \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \text{ ó } \frac{1}{32} \quad \text{Ecuación 16-1}$$

Donde $\Delta = \frac{1}{32}$ representa la peor condición, ya que es el menor valor del tiempo de guarda. Para asegurar una recepción de señales muti-trayectoria, el tiempo de retardo (t_r) de la señal reflejada debe ser menor o igual al intervalo de guarda, con respecto al punto de reflexión más alejado, la peor condición se la puede representar cuando $t_r = T_G$. (Pisciotta, 2010, p.12)

Para rellenar símbolos en OFDM se usa el prefijo cíclico (CP) y el relleno de ceros (ZP), estas dos opciones se usan para evitar las ISI y mantener le ortogonalidad, en CP se realiza una copia de las ultimas muestras del símbolo OFDM para usarlo como intervalo de guarda, entre tanto que el ZP añade una cola de ceros igual a la longitud del prefijo cíclico para usarlo como intervalo de guarda, la cual protege al sistema contra ecos producidos por la interferencia co-canal en la SFN, es muy común que ISDB-tb use el prefijo cíclico durante el intervalo de guarda, como se ve en la figura 19-1. (Jarrín y Morejón, 2012, pp.5-6)

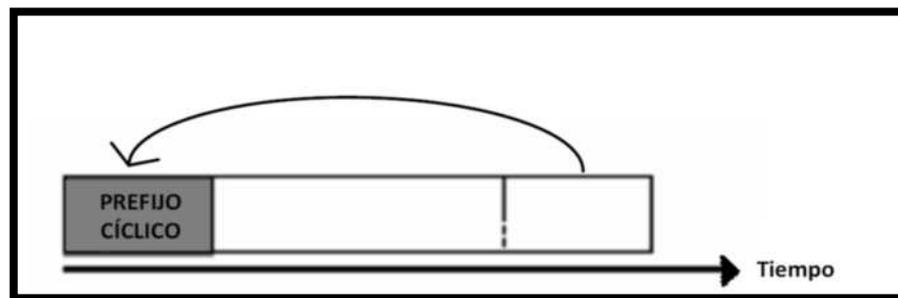


Figura 19-1: Prefijo Cíclico.

Fuente: (Medina, 2017, p.15)

Con la adición del intervalo de guarda se disminuye la capacidad de símbolo, pero es compensada con una protección eficaz de los datos, y se relaciona con la duración de símbolo.

En la Figura 20-1 se puede observar el retardo que existen en señales reflejadas con respecto a una señal directa, es decir que depende de la distancia recorrida y de los obstáculos que presente

el terreno, sabiendo que la velocidad de propagación es igual a la velocidad de la luz tenemos la siguiente ecuación 11-1. (Pisciotta, 2010, p.7)

$$t_r = \frac{d}{c} \quad \text{Ecuación 17-1}$$

Donde:

t_r : Tiempo de retardo, en segundos.

d : Diferencia entre la señal directa y reflejada, en Km.

c : Velocidad de la luz.

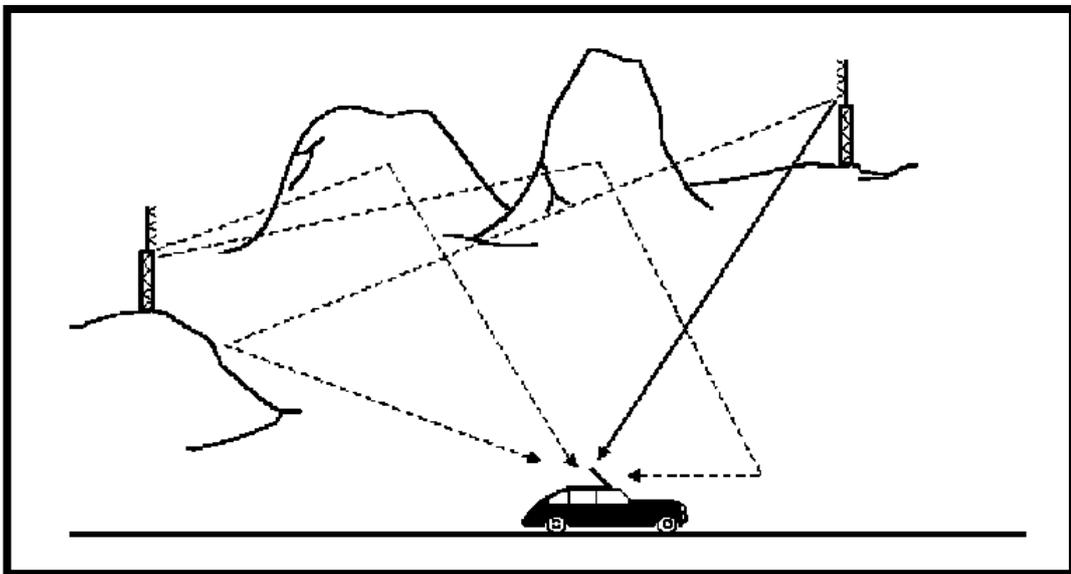


Figura 20-1: Señal reflejada.

Fuente: (Pisciotta, 2010, p.7)

Al no tener un valor t_r establecido en el estándar se puede determinar mediante L , para poder utilizar este valor se L debe cumplir tres condiciones.

1. Al existir espacios entre portadora ($L-1$), con separación de portadoras Δf , el ancho de banda que se ocupa es $\Delta f(L-1)$.

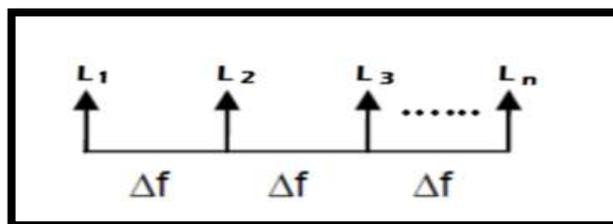


Figura 21-1: Portadoras en un ancho de banda de 6MHz

Fuente: (Jarrín y Morejón, 2012, p.78)

$$BW = \Delta f(L - 1) \quad \text{Ecuación 18-1}$$

2. El ancho de banda se calcula mediante el número de segmentos N_S .

$$BW = N_S(BW_S) \quad \text{Ecuación 19-1}$$

3. La separación de las portadoras se establece mediante la Ecuación 20-1. Donde, L_S es el número de portadoras existentes en el ancho de banda del segmento BW_S .

$$\Delta f = \frac{BW_S}{L_S} \quad \text{Ecuación 20-1}$$

Para cumplir estas tres condiciones se toma en cuenta a N_S con el valor de 13 segmentos, ya que no se toma en cuenta las bandas de guarda, entonces, se iguala la Ecuación 18-1 con la Ecuación 19-1.

$$\Delta f(L - 1) = N_S(BW_S) \quad \text{Ecuación 21-1}$$

Y reemplazamos el valor de Δf en la Ecuación 21-1.

$$\frac{BW_S}{L_S}(L - 1) = N_S(BW_S) \quad \text{Ecuación 22-1}$$

Despejando L, se obtiene la siguiente Ecuación.

$$L = (N_S \cdot L_S) + 1 \quad \text{Ecuación 23-1}$$

1.3.9. Bandas de guarda

El país actualmente está en una transmisión de simulcast, que es la transmisión mixta de televisión analógica y digital, en televisión analógica usa un espaciado de 6MHz entre canales adyacentes para evitar interferencias, el objetivo es usar esos espacios para la transmisión de canales digitales, como podemos observar en la Figura 22-1.

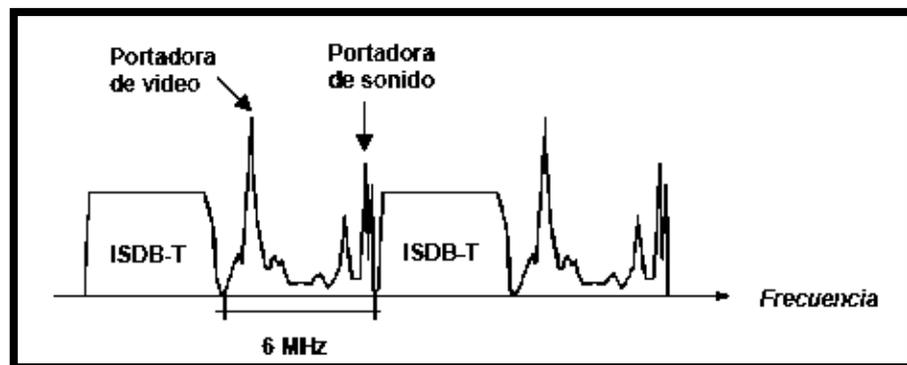


Figura 22-1: Canalización simultánea TV analógica y TV digital.

Fuente: (Pisciotta, 2010, p.17)

En la siguiente Figura 23-1, se observa la separación entre portadoras superior e inferior, siendo la separación de video más grande que la separación de audio en un canal analógico, mientras, en un canal digital la separación es simétrica.

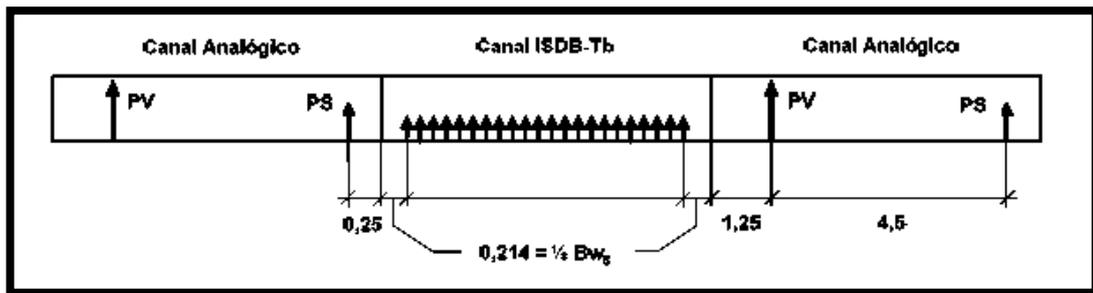


Figura 23-1: Separación en frecuencias de audio y video.

Fuente: (Pisciotta, 2010, p.18)

1.3.10. Modos de operación del sistema

El estándar ISDB-Tb presenta tres modos de operación para la separación entre portadoras (Δf) de acuerdo a la distancia entre estaciones de una red SFN, permitiendo que la recepción se adecuada y no sufra variaciones del canal a consecuencia del efecto Doppler (señal recepción móvil). Al emplear cualquiera de los tres modos de transmisión, el número de portadoras varían sus parámetros, pero la tasa útil debe ser exactamente la misma en todos los modos. (ABNT NBR 15601, 2007, p.5)

- Modo 1: FFT 2k
- Modo 2: FFT 4k
- Modo 3: FFT 8k

Tabla 5-1: Parámetros para 13 segmentos.

Parámetros		Modo 1 (2k)		Modo 2 (4k)		Modo 3 (8k)	
Ancho de banda BW_s		428,57 kHz					
Separación entre portadoras Δf		250/63 kHz		125/63 kHz		125/126 kHz	
Numero de portadoras activas por segmento L_s		108	108	216	216	432	432
Numero de portadoras de datos por segmento L_D		96	96	192	192	384	384
Modulación		QPSK	DQPSK	QPSK	DQPSK	QPSK	DQPSK
		16-QAM		16-QAM		16-QAM	
		64-QAM		64-QAM		64-QAM	
Símbolo por cuadro		204					
Periodo útil de símbolo		252 μ s		504 μ s		1008 μ s	
Relación $\Delta = \frac{T_G}{T_U}$	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 $T_S = T_U + T_G$		315 μ s		630 μ s		1260 μ s	
		283,5 μ s		567 μ s		1134 μ s	
		267,75 μ s		535,5 μ s		1071 μ s	
		259,875 μ s		519,75 μ s		1039,5 μ s	
Duración total de cuadro $T_C = S \cdot T_S$		64,26 ms		128,52 ms		257,04 ms	
		57,834 ms		115,668 ms		231,336 ms	
		54,621 ms		109,242 ms		218,484 ms	
		53,014 ms		106,029 ms		212,058 ms	

Frecuencia de muestreo de la IFFT f_{IFFT}	8,12698 MHz		
Numero de segmentos N_s	13		
Anchura de banda BW	$\frac{3000}{7}N_s + \frac{250}{63}$	$\frac{3000}{7}N_s + \frac{125}{63}$	$\frac{3000}{7}N_s + \frac{125}{126}$
	5,575 MHz	5,573 MHz	5,572 MHz
Número total de portadoras L	$108 \times N_s + 1$	$216 \times N_s + 1$	$432 \times N_s + 1$
	1405	2809	5617

Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p.8)

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Introducción

En el presente capítulo se detalla el diseño de la red SFN, y el desarrollo para la construcción de la red. El sistema de televisión a considerar para el análisis TDT en el Ecuador es: Ecuador TV (Empresa Pública de Televisión y Radio del Ecuador), esto se debe a que es una de las redes de televisión más grandes del país, cubre casi en su totalidad el territorio ecuatoriano, y así, poder tener un resultado óptimo de la red SFN.

Las características primordiales para realizar el diseño de la red SFN, es la selección del estándar, ancho de banda, EPR, banda de guarda, el modo de transmisión, retados si es necesario para que no exista interferencias en la misma red.

El presente trabajo, se basan en parámetros establecidos por la ABNT, lo que permitirá acoplar y realizar los cálculos matemáticos necesarios para que la red SFN, zonas de re-uso de la frecuencia y la adjudicación de zonas en el territorio. Y así tener un uso óptimo de espacio radioeléctrico y de las frecuencias a utilizar.

Usando el método deductivo y experimental, luego de una extensa revisión bibliográfica, se procese de a realizar los cálculos de parámetros de transmisión, elementos de la red SFN, con la utilización de ecuaciones mencionadas en el capítulo I, para luego diseñar y simular y la red.

Se aplicará la técnica de simulación usando un software especializado para la construcción, diseño de adjudicación y simulación de la red, permitiendo tener un resultado de valores aproximados a la realidad. En el capítulo III se detallará los resultados obtenidos y el correcto funcionamiento de la red y las áreas adjudicadas.

A continuación, se detalla paso a paso la elaboración de la red SFN para su elaboración se ha dividido en tres partes: cálculos matemáticos, diseño, simulación e implementación.

2.2. Planificación De Frecuencias

La planificación de frecuencias es el proceso de asignar y seleccionar frecuencias o canales disponibles a una zona geografía. Las cuales deben cumplir varias condiciones como: la calidad de servicio dentro del área asignada, que los transmisores no causen interferencia entre sí ni a redes aledañas.

Las características técnicas para una planificación son esenciales y se deben especificar en detalle para evaluar la compatibilidad entre redes. Luego se introduce en un algoritmo de asignación apropiado que conduce a un plan de frecuencia final

2.2.1. Requerimientos para el plan de frecuencias

Para realizar una transmisión de un determinado programa en un área extensa, por ejemplo, un país, no solo se necesita un transmisor sino un conjunto de transmisores. Cada uno de estos transmisores necesitan de un conjunto de parámetros técnicos, como la potencia radiada efectiva (ERP) y un diagrama de antenas, que debe tener una frecuencia o un canal asignando, la relación de protección para evitar interferencias entre las estaciones transmisoras, un método de predicción de propagación que se elige dependiendo las condiciones climáticas y geográficas del sector, para luego dividir las por zonas, también se debe especificar la altura de la antena, el tipo de recepción ya sea esta fija, portable o móvil y un valor de campo eléctrico mínimo en recepción. (Beutler, 2009, pp.90-91)

Toda esta información se usa para encontrar frecuencias apropiadas para todos los transmisores, lo que da lugar a usar el concepto de una red SFN. Que consiste en transmitir el mismo contenido en una misma frecuencia o canal en un conjunto de transmisores en una determinada zona geográfica.

2.2.2. Asignación y Adjudicación

Asignación: es la autorización dada por una entidad o autoridad (ARCOTEL), para utilizar una frecuencia o canal de radio frecuencia bajo condiciones específicas, en una estación de radiodifusión.

Adjudicación: es la entrada de un canal determinado para un plan de frecuencias acordado, adoptado por una entidad competente, para ser usado por uno o más administraciones bajo condiciones específicas, dando un servicio de radiocomunicación terrenal o espacial a uno o varios países o zonas geográficas.

La principal diferencia entre estos dos conceptos es que una asignación específica en detalle a un transmisor y el uso en la generación del plan de frecuencias, mientras que, una adjudicación es principalmente definido por su área geográfica asociada y el servicio que pueda brindar al construir una red SFN. (Beutler, 2009, pp.90-91)

2.2.3. Área de servicio y Frecuencia Disponible

Área de servicio: es el conjunto de puntos de cobertura en una zona geográfica a cubrir con una intensidad de campo de mayor o igual intensidad que la de campo definida teóricamente, (ARCOTEL, 2015 pág. 5) y establece relación entre el área de cobertura y la frecuencia adjudicada. Un área de servicio no es una figura geométrica exacta, una forma de describir las dimensiones geométricas es emplear polígonos cuyos vértices se dan en términos de coordenadas geográficas para obtener una aproximación a la forma real del área de servicio, (Beutler, 2009, p.93) como se puede observar en el Mapa 1-2.



Mapa 1-2: Áreas de servicio tentativas para Ecuador.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

Frecuencia disponible: una frecuencia está disponible cuando, al ser usada por una estación de radiodifusión, no provoca ni recibe interferencias de otras estaciones, es decir, es totalmente compatible con las demás estaciones establecidas.

2.2.4. Redes de referencia

Son marcadores de posición que definen una interferencia sobre un área adjudicada, es decir, que al implementar una red SFN dentro del área de adjudicación se debe mantener por debajo de este envolvente de interferencias en cualquier punto.

Este concepto es usado para decidir si dos o más transmisores pueden compartir una frecuencia, para el caso de una asignación es muy sencillo, ya que las características técnicas son conocidas, como la ubicación del transmisor, ERP, diagramas de antenas, la altura de la antena, son datos que se puede usar para una propagación de modelo onda apropiado y poder calcular la intensidad de campo producido por el transmisor en cualquier punto del área de servicio, lo que permite evaluar el estado de cobertura de cualquier punto de recepción y compararlo con la intensidad mínima de campo requerida, al tener una interferencia de otros transmisores esos puntos son reconocido y se puede verificar si es necesario un relación de protección entre la señal útil y la suma de todas las interferencias. (Beutler, 2009, pp.94-96)

Para las adjudicaciones es más complejo, ya que se debe definir los vértices de un polígono que representa al área de servicio, al carecer de características técnicas de transmisores asociados, no es posible calcular la intensidad de campo, para esta situación se asigna una frecuencia al área de adjudicación bajo condiciones definidas con la ITU. (Beutler, 2009, pp.94-96)

2.2.5. Configuración de referencia de planificación

Al tratar con varias posibilidades para la planificación de frecuencias, la complejidad aumenta, para simplificar la tarea de la planificación para la TDT se desarrollan los RPC, el cual escoge solo las características representativas. Los parámetros de los RPC son escogidas de modo que las combinaciones sean compatibles con el modo de recepción y sus variantes se asemejen a un RPC. (Beutler, 2009, p.100)

La recepción que prevalece en Latinoamérica es la recepción portátil en interiores, la RPC escogida para este caso, representa la mayor cantidad de combinaciones posibles y son actualmente usadas en la zona. (Ribadeneira, 2016, p. 69) Como se muestra en la siguiente Tabla 1-2.

Tabla 1-2: RPC's usada para el plan de frecuencia en el Ecuador.

SEÑAL DE TDT		
Estándar	ISDB-Tb	
Modulación	64-QAM	
Tasa de Codificación (CR)	3/4	
Intervalo de Guarda (GI)	1/8	
FFT	8K	
Tasa Binaria	18.25 Mbps	
Distancias SFN	60 Km	
CNR	AWGN	20.1
	RICE	21.1
	RAYLEIGH	22.8
Emin portable en interiores (dB μ V/m)	79.9	
Ubicaciones %	95	
RP planificación Interna (Rayleigh)	23	
RP Fronteras (Rayleigh)	22	
Ancho de banda	6 MHz	

Fuente: (Ribadeneira, 2016, p.69)

2.2.6. Análisis de cobertura y tipos de recepción

Luego de definir las características técnicas necesarias para un transmisor y las áreas de adjudicación, es necesario especificar el tipo de recepción existen para los diferentes escenarios, la definición de cobertura, y la relación de protección para los sistemas de televisión.

Existen tres tipos de recepción para la radiodifusión terrestre estos son: portable, fijos y móvil.

Recepción Portable/Portable de bolcillo: la recepción portable se refiere a un dispositivo como una radio o televisión típica que se encuentran en nuestros hogares y se puede mover de un lugar a otro, a lo que ponemos describir como dispositivos de recepción portátil pero estacionario, por otro lado, tenemos los dispositivos con una recepción portable de bolcillo, se refiere a un modo de recepción que los dispositivos móviles usan (Tablet, Smartphone, etc.), es decir dispositivos pequeños de mano y con una velocidad de movimiento muy baja, la altura de la antena para los

dos caso es de 1,5 m, ya que las antenas se encuentran incorporadas a los dispositivo, sin embargo, la recepción se pude mejorar utilizando una antena más eficiente. (Beutler, 2009, pp.99-100)

La recepción portable incluye dos clases de recepción: la recepción portable en exteriores y la recepción portable en interiores, esta última puede estar entre 1,5 y 10 m de altura.

Recepción fija: este modo de recepción usa una antena directiva, que por lo general se instala en un sitio elevado de una casa o un edificio, para medir el valor de campo mínimo de intensidad se debe proporcionar un punto de recepción, esto significa que para la recepción fija se debe tener una antena receptora de 10 m de altura, medida desde el suelo.

Recepción móvil: se refiere a antenas que se encuentra en receptores en movimiento con una altura mínima de 1,5 m, por ejemplo, automóviles, autobuses, motos, etc.

Cabe aclarar que los tipos de recepción pueden tener diferencias significativas dependiendo el medio en se encuentre como las pérdidas de penetración causadas por paredes y ventanas que provocan atenuaciones, la ubicación del receptor en una habitación, etc. (Beutler, 2009, pp.99-100)

2.2.7. Modelo de propagación para las redes TDT

El modo de propagación utilizado para este estudio de plan de frecuencias es el modelo de propagación ITU-R 525/526. Donde la ITU-R 525 contemplan el cálculo de la atenuación en el espacio libre, y la ITU-R 526 la propagación por difracción.

El modelo ITU-R 525 se considera dos métodos para el cálculo de la propagación en espacio libre:

Enlace punto a zona: se presenta cuando un solo transmisor da servicio de radiodifusión a varios receptores distribuidos al azar en la zona de cobertura, la atenuación para cada receptor será distinta. (UIT-R P.525-3, 2016, p.1)

Enlace punto a punto: se presenta cuando existe atenuación un enlace entre antenas isotrópicas, también llamado “Perdida Básica de Transmisión en el espacio libre”. (UIT-R P.525-3, 2016, p.2)

$$L_{bf} = 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde:

L_{bf} : Perdidas de transmisión en el espacio libre dB.

d : distancia.

λ : longitud de onda.

La Ecuación 1-2 también se puede expresar en función de la frecuencia en reemplazo de la longitud de onda.

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde:

f : frecuencia.

El modelo ITU-R 526 considera la difracción de las ondas radioeléctricas sobre la superficie de la tierra y como se ve afectada por las irregularidades de la tierra y contempla tres tipos de terrenos:

Terreno liso: se puede considerar la superficie de la tierra, si la irregularidad del terreno es inferior al orden de 0,1 R, donde R es el valor máximo que puede tomar el radio de la primera zona de Fresnel en el trayecto de la propagación. Para este caso el modelo de predicción está basado en la difracción de la tierra esférica.

Terreno ondulante: este tipo de terreno está compuesto por obstáculos pequeños como colinas, las cuales no representan un obstáculo que se deba considerar, la ITU-R526 recomienda para estos casos usar la ITU-R 1546, ya que es la indicada para predecir la intensidad de campo, pero no como método de difracción. (ITU-R P.526-14, 2018, pp.3-4)

Obstáculos aislados: al propagar una señal esta se encuentra con varios obstáculos separados, los cuales se debe calcular las pérdidas que estos pueden provocar a la señal, sabiendo que los obstáculos reales no presentan formas complejas se presenta los siguientes modelos de predicción: Obstáculo único en arista en filo de cuchillo, obstáculo único en forma redondeada, cilindros múltiples aislados, dos aristas aisladas. (ITU-R P.526-14, 2018, p.15)

El modelo ITU-R526 se caracteriza por su precisión al calcular la intensidad de campo en recepción considerando el terreno y los obstáculos que existen entre el transmisor y el receptor de radiofrecuencia.

Para los dos métodos es imprescindible que exista línea de vista para estimar la zona de cobertura. Usando la Ecuación 2-2 se determina la distancia de re-uso de 23 km que se usa para la determinación de áreas de adjudicación para el país

2.2.8. Re-uso de Frecuencia (Co-Canal)

Para el cálculo de interferencias y el re-uso de las mismas en una red SFN, se necesita determinar la distancia que existen entre dos puntos, específicamente en RPC se necesita la distancia de separación para poder reutilizar la misma frecuencia o canal.

La distancia de reutilización depende varios parámetros de RN, RPC y la frecuencia asignada. Se define como la distancia entre los límites de dos áreas de servicio, es decir, que las dos áreas no se solapen y produzcan interferencias entre sí, como podemos observar en la Figura 1-2. Todos los cálculos se basan en la recomendación de ITU-R 525/526 que se utiliza para la región de Latinoamérica, donde se señala el modelo de propagación. (Beutler, 2009, pp.101-104)

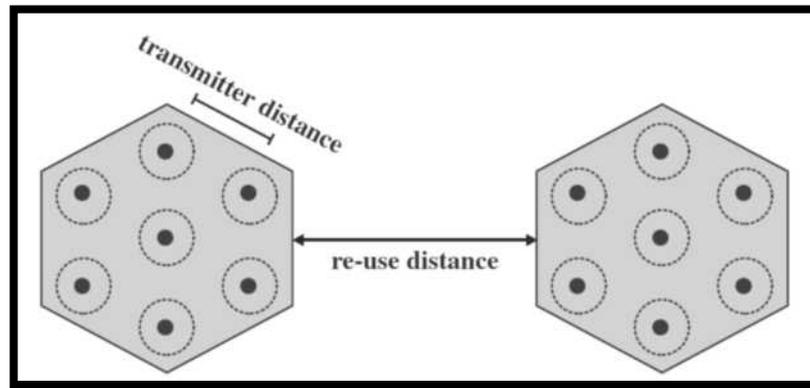


Figura 1-2: Distancia de re-uso en una red se espacio abierto.
Fuente: (Beutler, 2009, p.103)

La distancia de reutilización usa geometría hexagonal simétrica para el cálculo de las distancias, donde una red de referencia se encuentra rodeada por otras seis redes de referencia. La separación entre red de referencia se varia sistemáticamente para determinar la distancia entre la red central. La zona de servicio debe estar totalmente protegido al emplear una distancia de re-uso, por lo que, ningún punto dentro de la misma se vea afectado por interferencias de otras redes. Es decir que el espectro disponible de debe usa de manera que se proteja la cobertura de redes individuales. (Beutler, 2009, pp.101-104)

2.2.9. Ecuaciones de intensidad de campo para la recepción

Para cálculo de tanto la densidad de flujo de potencia como para la intensidad campo equivalente es necesario superar los umbrales de recepción recomendados con un cierto porcentaje, para eso se aplican las siguientes ecuaciones. (ITU-R BT 1368-13, 2017, p.100)

$$P_n = F + 10\log(kT_oB) \quad \text{Ecuación 3-2}$$

$$P_{smin} = C/N + P_n \quad \text{Ecuación 4-2}$$

$$A_a = G + 10\log(1,64 \lambda^2 / 4\pi) \quad \text{Ecuación 5-2}$$

$$\varphi_{min} = P_{smin} - A_a + L_f \quad \text{Ecuación 6-2}$$

$$E_{min} = \varphi_{min} + 120 + 10 \log(120\pi) \quad \text{Ecuación 7-2}$$

$$= \varphi_{min} + 145,8 \quad \text{Ecuación 8-2}$$

Para recepción fija en exteriores:

$$E_{med} = E_{min} + P_{mmn} + C_l \quad \text{Ecuación 9-2}$$

$$C_1 = \mu \cdot \sigma_t \quad \text{Ecuación 10-2}$$

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_m^2} \quad \text{Ecuación 11-2}$$

Para recepción portable en exteriores y móvil:

$$E_{med} = E_{min} + P_{mmn} + C_l + L_h \quad \text{Ecuación 12-2}$$

Para recepción portable en interiores y móvil de bolsillo:

$$E_{med} = E_{min} + P_{mmn} + C_l + L_h + L_b \quad \text{Ecuación 13-2}$$

Donde:

P_n : Potencia recibida de ruido (dBW)

F : Figura de ruido del receptor (dB)

k : Constante de Boltzmann ($k = 1.38 \times 10^{-23}$ (J/K))

T_o : Temperatura de referencia ($T_o = 290$ (K))

B : Ancho de banda del ruido receptor (ancho de banda efectivo de la tecnología de TDT)

P_{smin} : Potencia mínima de recepción (dBW)

C/N : Relación portadora a ruido requerida por el sistema (dB)

A_a : Apertura efectiva de antena (dBm²)

G : Ganancia de la antena relativa al dipolo media onda (dBd)

λ : Longitud de onda (m)

φ_{min} : Mínima intensidad de campo equivalente en el receptor (dB(W/m²))

L_f : Feeder loss (dB)

E_{min} : Intensidad mínima de campo equivalente en el receptor (dB(μV/m))

E_{min} : Mínima intensidad media de campo equivalente en el receptor (dB(μV/m))

P_{mmn} : Ruido hecho por el hombre (dB)

L_h : Pérdidas por altura (medida desde el piso 1,5 para la recepción) (dB)

L_b : Pérdidas por penetración en edificios o vehículos (dB)

C_1 : Factor de corrección por localización (dB)

σ_t : Desviación estándar total (dB)

σ_m : Desviación estándar a macro-escala (5,5(dB))

σ_b : Desviación estándar por penetración en edificios

μ : Factor de distribución (0,522 para 70%, 1,28 para 90%, 1,64 para 95% y 2,33 para 99%)

2.2.9.1. Cálculos de intensidad de campo para la recepción

Para esta sección se utilizará las ecuaciones antes descritas. Se usará varios datos adicionales como: CNR= 22.8 dB (Tabla 1-2), frecuencia del canal 26 ($f_a = 545$ MHz) (Tabla 8-2), el nivel de ruido $F = 7$ dB, $u = 1.64$ (95%), $c = 3.8 \times 10^8$ (m/s), $\sigma_b = 0$ desviación estándar del edificios, $f_r = 600$ MHz, $P_{mnn} = 0$ ruido artificial, feeder loss $f_l = 3$ dB valor obtenido de ITU 1368-12 Tabla 84.

$$G = 10 + 10 \log \left(\frac{545 \times 10^6}{600 \times 10^6} \right)$$

$$G = 9,58 \text{ dB}$$

$$L = \frac{3.8 \times 10^8}{545 \times 10^6}$$

$$L = 0,697 \text{ m}$$

$$P_n = 7 + 10 \log(1,38 \times 10^{-23} * 290 * 5,571 \times 10^6)$$

$$P_n = -129,518 \text{ dBW}$$

$$P_{smin} = 22,8 + (-129,518)$$

$$P_{smin} = -106,718 \text{ dBW}$$

$$L = \lambda$$

$$A_a = 9,58 + 10 \log(1,64 (0,697)^2 / 4\pi)$$

$$A_a = -2,399 \text{ dBm}^2$$

$$\varphi_{min} = -106,718 - (-2,399) + 3$$

$$\varphi_{min} = -101,319 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$$

$$E_{min} = -101,319 + 145,8$$

$$E_{min} = 44,481 \text{ dB}(\mu V/m)$$

$$\sigma_t = \sqrt{0 + 5,5^2}$$

$$\sigma_t = 5,5 \text{ dB}$$

$$C_1 = 1,64 (5,5)$$

$$C_1 = 9,02 \text{ dB}$$

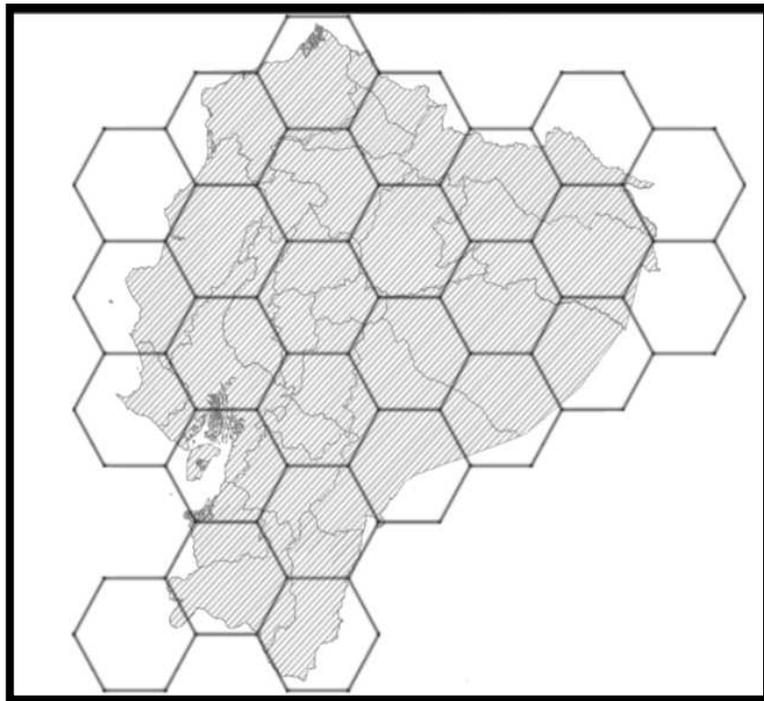
$$E_{med} = 44,481 + 0 + 9,02 + 1,5$$

$$E_{med} = 55,001 \text{ dB}(\mu V/m)$$

2.2.10. Algoritmo de planificación

La idea general de un plan de frecuencias se basa en asignar frecuencias o canales a distintas áreas geográficas, pero estas áreas deben ser independientes de las divisiones políticas del país, la ubicación del transmisor y la topografía circundante son factores determinantes para la forma del área de servicio. Para cubrir la zona entera se usan figuras geométricas simples como rombos o hexágonos, que se pueden generar una cobertura bidimensional sin espacios vacíos entre sí. Como podemos observar en el Mapa 2-2.

Las frecuencias asignadas a estas áreas de cobertura simétrica mediante la aplicación de un esquema determinista respetan el criterio de distancias y de reutilización de frecuencias. (Beutler, 2009, pp.16-17)



Mapa 2-2: Áreas de adjudicación en términos de hexágonos en el Ecuador.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

2.2.10.1. Coloreado grafico secuencial

La coloración de un grafo K es una asignación de colores a los vértices de K, la manera más simple de colorear los vértices es estableciendo una secuencia según sus grados. La asignación secuencial se puede aplicar en un orden descendente, comenzando en vértices de mayor grado, o ascendente, comenzado en un vértice de menor grado, dando un coloreado secuencial de modo que cada asignación corresponda a las relaciones de adyacencia. (Ribadeneira, 2016, p. 44)

La asignación de color en términos de algoritmos matemáticos el “color” de un vértice se suele representar con un numero entero, por ejemplo, el primer vértice de la secuencia se asignará el número cero, el siguiente obtiene el numero entero más pequeño, y así, sucesivamente con cada vértice vecino. Se ha demostrado que al seguir un orden descendente de vértices es más ventajosa y da mejores resultados, sin embargo, se debería verificar ambas posibilidades. En la Tabla 2-2 se puede observar la asignación de colores de la Figura 2-2 empleando este método. (Ribadeneira, 2016, p. 45)

Tabla 2-2: Coloreado secuencial de la figura 3-2

vértices	5	2	4	3	1
Color	0	1	2	2	1

Fuente: (Beutler, 2009, p.126)

La secuencia de asignación de vértices según los grados ascendente y descendente no es la única solución. Existe otro método para construir una secuencia, el llamado “Smallest-last”, a diferencia del esquema anterior su generación tiene mayor complejidad. En primer lugar, se configura una secuencia descendente, se toma el vértice con el menor grado, para desplazarlo a la última posición de una tabla auxiliar, luego, este vértice es eliminado del grafico original junto con todos sus bordes. Entonces, se crea un nuevo gráfico, con un vértice menos que el original. El procedimiento continúa hasta que todos los vértices hayan pasado a la tabla auxiliar. Si varios vértices tienen el mismo grado mínimo, se aplicará criterios adicionales para decidir que vértice se eliminar del gráfico, una posibilidad es eliminar por aleatoriedad y continuar con el procedimiento.

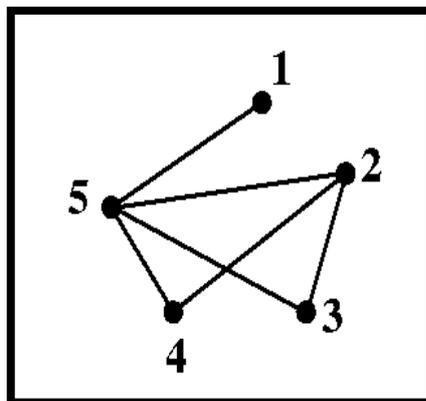


Figura 2-2: Gráfico referente a la Tabla 1-2.

Fuente: (Beutler, 2009, p.123)

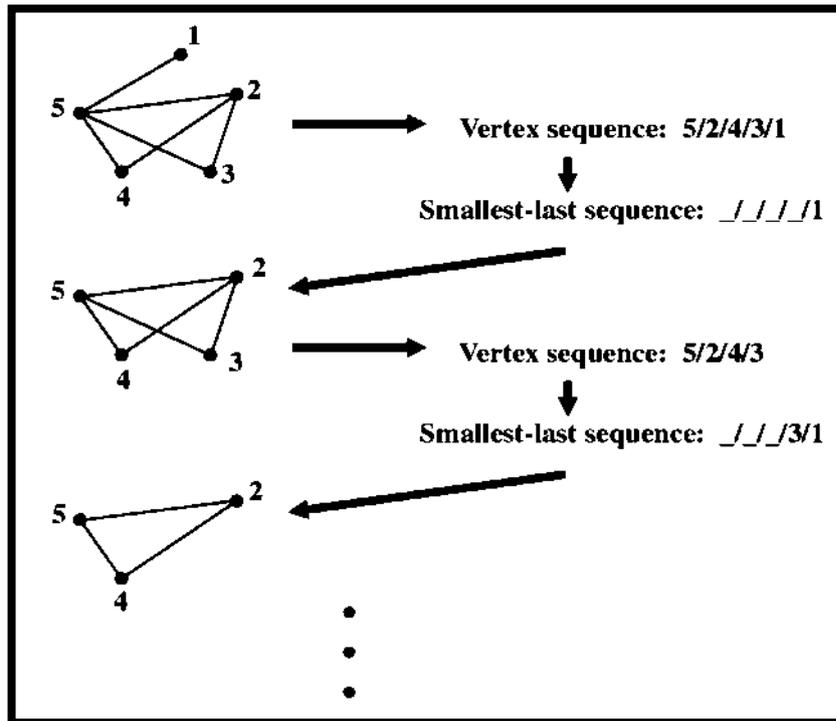


Figura 3-2: Método Smallest-last.
Fuente: (Beutler, 2009, p.127)

Cabe recalcar que los dos métodos de coloración gráfica descritos en esta sección, están basados y cumplen con todas las restricciones en términos de relaciones de adyacencia. Esto significa, que el plan de frecuencias obtenido no contiene ninguna interferencia adicional más allá de los niveles permitidos. (Beutler, 2009, pp.125-128)

2.2.11. Procesos para generar un plan de frecuencias

Para realizar un plan de frecuencias de debe identificar un conjunto de requisitos como la frecuencias o canales adecuados, primero se procede a evaluar el potencial de interferencia que existen entre cualquier requisito. Este proceso se llama análisis de compatibilidad, el cual permite decidir si es se puede o no compartir una frecuencia. Obteniendo esta información se lleva a cabo el según paso, que es asignar una frecuencia real, a esto se lo conoce como síntesis del plan.

Para el análisis de compatibilidad se necesita de una descripción completa de todas las características técnicas y los requisitos mínimos para determinar el nivel de interferencia que existe entre requisitos. Para el caso de transmisores, se toma en cuenta la ubicación geográfica, ERP, altura de la antena medida desde el suelo y el patrón de antenas. Para las adjudicaciones, se debe especificar los vértices del área adjudicada, RN y RPC. Proporciona un modelo de propagación de onda apropiado, son datos suficientes para evaluar el nivel de interferencias en un punto geográfico. De esta manera se podrá identificar de manera única los requisitos que puedan compartir un canal.

Existen dos maneras de usar el análisis de compatibilidad. El primero es realizar un cálculo detallado de los valores de intensidad de campo en los límites de las áreas de adjudicación. en segundo lugar, realizar un análisis en base a la comparación de distancias efectivas entre áreas de servicio asociadas con los requerimientos y distancias de reutilización relevantes para el uso de canales compartidos. (Beutler, 2009, pp.105-106)

Con el objetivo de minimizar los cálculos es posible establecer una matriz de distancias entre cada una de las áreas de adjudicación. Donde la distancia entre cada área adjudicada, se la representa como la distancias entre dos vértices más cercanos.

La dimensión de la matriz es de $m \times m$, donde su diagonal está formada por ceros y F^T es la matriz transpuesta de F . Una vez determinada tanto la matriz de distancias como la matriz de adyacencias se procede a realizar una comparativa, de forma que si la distancia supera a la distancia de re-uso se le asigna un 1, de lo contrario se le asigna un 0, para finalizar se realiza un algoritmo basado en coloreado secuencial (ver sección 2.2.10.1), para luego ser analizados. (Ribadeneira, 2016, pp. 80-79)

$$D = \begin{pmatrix} 0 & & F \\ & \ddots & \\ F^T & & 0 \end{pmatrix} \quad \text{Ecuación 14-2}$$

2.3. Normativa Técnica para el Servicio de Radiodifusión de la TDT

2.3.1. Sistema de radiodifusión para TDT

Estación matriz (control master): es el sitio donde se encuentra la instalación principal del canal de televisión como; el área master, set, cámaras, y demás instrumentos electrónicos que envía la señal al transmisor principal, para la radiodifusión de los servicios de televisión digital.



Figura 4-2: Control master, transmisor, antena transmisora.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

Estación repetidora y enlaces auxiliares: la estación repetidora se encarga de recibir y distribuir la señal en el área de cobertura asignada, mientras que los enlaces auxiliares son conexiones radioeléctricas o físicas necesarios para enlazar la estación matriz y el transmisor con la estación repetidora.



Figura 5-2: Estación repetidora ubicada en el cerro Cacha (Riobamba).
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

Estación auxiliar (Gap-Filler): son antenas usadas en zonas nulas o de sombra que la estación repetidora principal no cubre ya sea por obstáculos naturales o artificiales, cabe recalcar que estas antenas deben estar dentro de la zona de cobertura y no causar interferencias. (ARCOTEL, 2015, pp.4-5)

2.3.2. Tipos de canales

Canal físico: es la frecuencia real de la portadora por donde se transmite las señales de audio, video y datos de uno o varias estaciones de televisión dentro de la banda de 6MHz. También contiene un canal adyacente superior situado por encima del canal físico y un canal adyacente inferior situado por debajo del canal físico y se lo representa con un número o frecuencia.

Canal lógico: el canal lógico se usa para identificar el servicio del canal físico en la Figura 6-2 observamos cómo está compuesto el canal lógico, donde los dos primeros dígitos (Remote_control_key_id) indican el número de canal virtual, el tercer número (Service_type) indica el tipo de servicio y el cuarto número (Service_number) indica el número de servicio, el guion que separa al Remote_control_key_id del Service_type no es obligatorio, es decir se puede

usar otro tipo de separador como un punto o una coma, la forma en que se muestra el Service_type y el Service_number para que el usuario pueda seleccionar el canal dependerá de la implementación del receptor. (ABNT NBR 15604, 2008, pp.41-42)

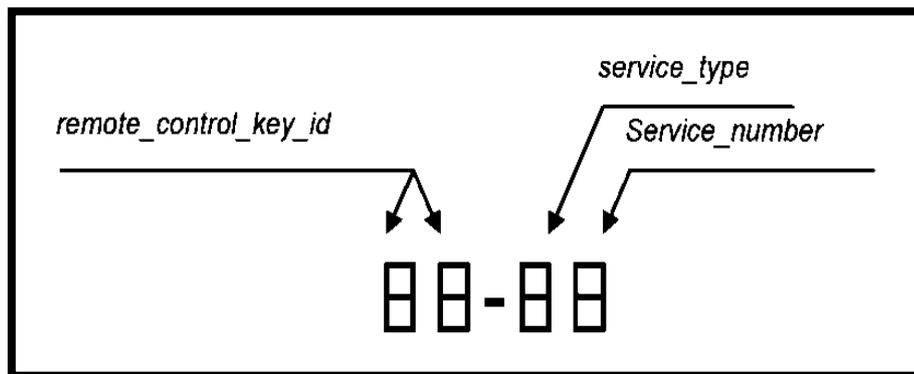


Figura 6-2: Canal lógico.
Fuente: (ABNT NBR 15604, 2008, pp.42)

En las siguientes Tablas 3-2 y 4-2 se puede observar un ejemplo de canal lógico en full-seg y one-seg.

Tabla 3-2: Ejemplo de un canal lógico full-seg.

Servicio a seleccionar	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E	Opción F
05.01	5	05	5.1	05.1	5.01	05.01
05.08	x	x	5.8	05.8	5.08	05.08
23.01	x	23	x	23.1	x	23.01
23.08	x	x	x	23.8	x	23.08
05.11	x	x	x	x	5.11	05.11
05.38	x	x	x	x	5.38	05.38
23.21	x	x	x	x	x	23.21
23.38	x	x	x	x	x	23.38

Fuente: (ABNT NBR 15604, 2008, p.42)

Tabla 4-2: Ejemplo de un canal lógico one-seg.

Servicio a seleccionar	Opción A	Opción B	Opción C	Opción D	Opción E	Opción F
23.31	x	23	x	23.1	x	23.31
23.38	x	x	x	23.8	x	23.38

Fuente: (ABNT NBR 15604, 2008, p.42)

Canal virtual: cada emisora televisa debe tener un canal virtual independientemente del canal físico asignado, el cual debe tener la misma numeración, que actualmente las emisoras se encuentran en transición de analógica a digital.

El campo "remote_control_key_id" contiene la información del número del canal el cual se encuentra en la tabla NIT. Está compuesta de 8 bits el cual representa el número del canal virtual al que debe aplicarse el TS asociado. El número asignado no debe exceder de los dos dígitos es

decir los valores van entre 1 y 99, los cuales se usan para la selección de la emisora de televisión y un dígito para la selección del canal lógico. (ABNT NBR 15604, 2008, p.41)

2.3.3. Tipos de señal

En la Tabla 5-2 tenemos 3 tipos de señales para la televisión digital terrestre, estas son:

Tabla 5-2: Tipo de señales de televisión digital.

Tipo	Resolución	Formato de salida de video	Relación de aspecto
Señal HDTV	Alta Definición	1080i (1920x1080i) 720p (1208x720p)	16:9
Señal SDTV	Similar a la señal de TV analógica	480i (720x480i) 480p (720x480p)	4:3 o 16:9
Señal LDTV	Baja Definición	360p (640x360p) 240p (320x240p)	4:3

Realizado por: Valle Felipe, 2018.

2.3.4. Potencia y sistema radiante

Tenemos tres tipos de potencia para la transmisión:

- Potencia de Salida antes del filtro de máscara es la potencia de operación del equipo transmisor.
- Potencia de salida después del filtro de máscara es la potencia que se dará al sistema radiante.
- Potencia efectiva radiada (PER) es la potencia irradiada por el sistema radiante.

El sistema radiante es el arreglo de antenas que se utiliza para la transmisión de señales de la televisión digital terrestre y tiene cuatro características definidas como: el Angulo de inclinación que es la inclinación del haz de radiación de la antena en el plano vertical este puede ser mecánico o eléctrico, el azimut de máxima radiación es el ángulo de orientación del lóbulo principal de radiación de la antena, patrón de radiación es la forma gráfica en se representa a la energía electromagnética se distribuye en el espacio tanto en plano horizontal(H) como en el plano vertical (E), y la polarización que puede ser horizontal, vertical, circular o elíptica, y está relacionada con la trayectoria de propagación de la señal que recibe o emite. (ARCOTEL, 2015, p.6)

2.4. Zona Geográfica del Ecuador

2.4.1. Áreas de operación

Área de operación independiente es la agrupación de varias parroquias y/o cantones de la misma provincia u otras provincias, unión de provincias o la integración varias áreas de operación zonales, a estas áreas se la identifica con una letra la cual indica el área de operación y un número ordinal, como se puede observar en el Mapa 3-2. (ARCOTEL, 2015, p.5)



Mapa 3-2: Distribución de frecuencias según ARCOTEL.

Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

Fuente: (SUPERTEL, 2011, p.26)

Debido a las condiciones geográficas de nuestro país existen poblaciones que no reciben las señales de transmisor principal a pesar de estar dentro del área de operación independiente, a estas zonas se las denominan Área de Operación Zonal y se les pueden asignar los canales que se definen en la Tabla 7-2.

Las áreas adjudicadas para la operación y radiodifusión de televisión digital terrestre están sujetas a la norma técnica emitida el 2015. En el Mapa 9-2 observamos las áreas de operación en el territorio ecuatoriano y en el Anexo A se especifica las zonas cubiertas. Sin embargo, estas zonas están sujetas a modificaciones en función de la optimización del espectro radioeléctrico.

Para la división zonal se tomaron algunas consideraciones como: la cobertura real de las emisiones de las estaciones de televisión, teniendo en cuenta los niveles de intensidad de campo eléctrico señalados en la normativa, potencia de transmisión, altura de las torres verificando la existencia de línea de vista entre los puntos de transmisión y recepción.

2.5. Banda de Frecuencia y Canalización de Canales

2.5.1. Banda de frecuencia

La banda de frecuencia son divisiones de frecuencias del espectro radioeléctrico, las cuales son asignados a varios usos o servicios de radiocomunicaciones que son determinados por la UIT, al asignar la banda de frecuencia a una estación el ancho de banda deber ser igual al ancho de banda más el doble del valor absoluto de la tolerancia de frecuencia. (Hernado et al, 2013, p.25)

En el Ecuador las bandas de frecuencias principales y auxiliares destinadas para el servicio de televisión digital terrestre son las siguientes:

Tabla 6-2: Frecuencias asignadas a las bandas de frecuencia principal

UHF	
BANDA IV	470 a 482 MHz
	512 a 608 MHz
	614 a 644 MHz
BANDA V	644 a 698 MHz

Fuente: (ARCOTEL, 2015, p.7)

Tabla 7-2: Frecuencias asignadas a las bandas de frecuencia auxiliar

Frecuencias Auxiliar
2200 – 2300 MHz
3600 – 3800 MHz
6425 – 7100 MHz
1270 – 12849 MHz

Fuente: (García, 2016, p.9)

2.5.2. Canalización de canales

Al realizarse la canalización, las bandas de frecuencia principal se dividen en 32 canales físicos, cada canal con un ancho de banda de 6MHz (ARCOTEL, 2015 pág. 7), como anteriormente vimos la frecuencia de la portadora se debe desplazar en el eje positivo $1/7$ MHz con relación a la frecuencia central (off-set).

Tabla 8-2: Canalización de las bandas de frecuencia principal

Canales UHF			
Canal Físico N°	Frecuencia Inicial (MHz)	Frecuencia Final (MHz)	Frecuencia Central (MHz)
14	470	476	$473 + 1/7$
15	476	482	$479 + 1/7$
21	512	518	$515 + 1/7$

22	518	524	521 + 1/7
23	524	530	527 + 1/7
24	530	536	533 + 1/7
25	536	542	539 + 1/7
26	542	548	545 + 1/7
27	548	554	551 + 1/7
28	554	560	557 + 1/7
29	560	566	563 + 1/7
30	566	572	569 + 1/7
31	572	578	575 + 1/7
32	578	584	581 + 1/7
33	584	590	587 + 1/7
34	590	596	593 + 1/7
35	596	602	599 + 1/7
36	602	608	605 + 1/7
37	No se usa para televisión	No se usa para televisión	No se usa para televisión
38	614	620	617 + 1/7
39	620	626	623 + 1/7
40	626	632	629 + 1/7
41	632	638	635 + 1/7
42	638	644	641 + 1/7
43	644	650	647 + 1/7
44	650	656	653 + 1/7
45	656	662	659 + 1/7
46	662	668	665 + 1/7
47	668	674	671 + 1/7
48	674	680	677 + 1/7
49	680	686	683 + 1/7
50	686	692	689 + 1/7
51	692	698	695 + 1/7

Fuente: (ARCOTEL, 2015, pp.7-8)

Una vez asignados los canales físicos se procede a la asignación de canales por zonas (Anexo B), es importante mencionar que el canal 37 este asignado al servicio de Radio astronomía. (ARCOTEL, 2015, p.8)

2.6. Parámetros Técnicos

En este apartado se detalla los parámetros técnicos para la instalación de una estación de televisión digital terrestre y sus emisiones, de acuerdo a la normativa técnica vigente. El estándar de transmisión escogido para el servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre es ISDB-T con la modificación brasileña.

Para la intensidad de campo mínima a proteger se fija como umbral de intensidad de campo con un valor de 51 dBuV/m, que al borde de área de cobertura se protegerá con antenas exteriores, es importante mencionar que los valores que se encuentren bajo el umbral se le considera como zonas nulas o de sombra. El valor para la tasa de error de modulación (MER) medido en el transmisor deber ser mayor o igual a 32 dB. (ARCOTEL, 2015, pp.8-9)

La intensidad de emisión de espuria admisible o potencia de emisión de espuria admisible debe cumplir con los siguientes parámetros descritos en la Tabla 9-2.

Tabla 9-2: Intensidad de emisión de espuria admisible.

Separación con relación a la portadora central de la señal digital	Atenuación mínima con relación a la potencia media medida en la frecuencia de la portadora central
>15MHz	60 dB para P > 25W, limitada a 1 mW en VHF y 20 mW en UHF
<-15MHz	Para P ≤ 25 W, limitada a 25μW en VHF y UHF

Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p.56)

La relación de protección de señal desea y señal no deseada comprendida entre canales de televisión digital y canales de televisión analógica se observa en la Tabla 10-2, la relación de protección presenta condiciones de peor caso involucrando la configuración OFDM 64-QAM FEC 3/4.(ABNT NBR 15608-1, 2008, p.46)

Tabla 10-2: Relación de protección para televisión digital y analógico .

	Señal deseada	Señal interferente	Relación de protección (dB) (Canal deseado = N)		
			Canal inferior (N-1)	Cocanal (N)	Canal superior (N+1)
Analógico sobre Analógico	NTSC	NTSC	-6	28 (con off-seg) 45 (sin off-seg)	-12
Analógico sobre Digital	NTSC	ISDB-Tb	-11	34	-11
Digital sobre Analógico	ISDB-Tb	NTSC	-26	7	-26
Digital sobre Digital	ISDB-Tb	ISDB-Tb	-24	19	-24

Realizado por: VALLE, Felipe 2018

La potencia efectiva radiada (PER) es la potencia que necesita el transmisor para generar el nivel de intensidad de campo mínima, se determina mediante la ecuación matemática. (ARCOTEL, 2015, p.9)

$$P.E.R. (kW) = P_T (kW) * 10^{\frac{G(dBd) - Pérdidas(dB)}{10}} \quad \text{Ecuación 15-2}$$

Donde:

$P_T (kW)$: Potencia nominal de transmisor.

$G(dBd)$: Ganancia del sistema radiante o ganancia del arreglo de antenas.

$Pérdidas (dB)$: Pérdidas por línea de transmisión, conectores, etc.

Máscara del espectro de transmisión: para evitar interferencias de las estaciones de televisión digitales, el nivel del espectro, fuera de la banda asignado para la transmisión de la señal de televisión se debe incorporar un filtro de mascara critica. En la Figura 7-2 y Tabla 11-2 se observan las atenuaciones mínimas de las emisiones externas de la banda con respecto a la potencia media del transmisor.(ABNT NBR 15601, 2007, p.54)

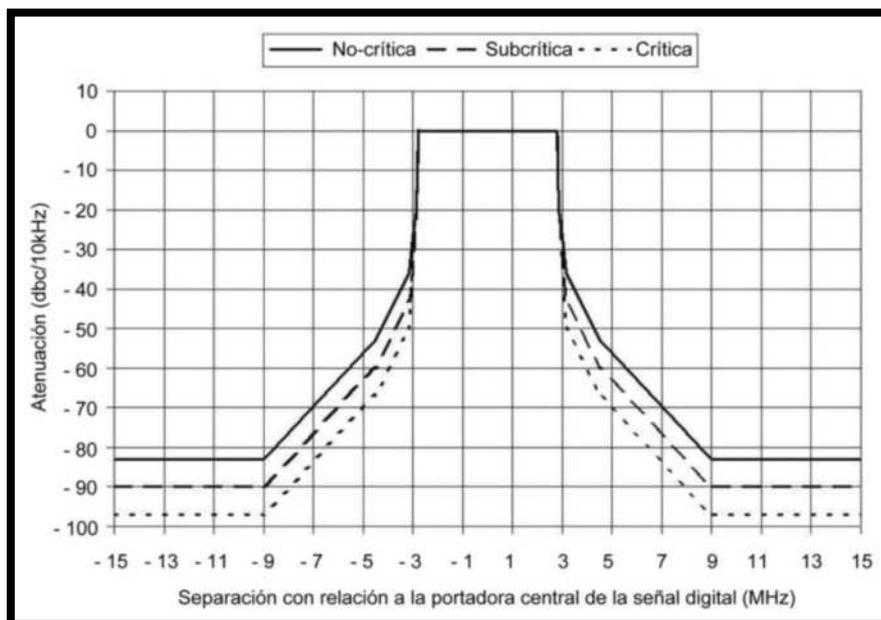


Figura 7-2: Mascara de espectro de transmisión.

Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p.54)

Tabla 11-2: Especificación de la máscara crítica del espectro de transmisión.

Separación o alejamiento con relación a la portadora central de la señal digital MHz	Atenuación mínima con relación a la potencia media, medida en la frecuencia de la portadora central, Máscara Crítica (dB)
-15	97
-9	97
-4.5	67
-3.15	50
-3	34
-2.86	20
-2.79	0
2.79	0
2.86	20
3.00	34
3.15	50
4.50	67
9	97
15	97

Fuente: (ARCOTEL, 2015, p.10)

Para la aplicación de las máscaras de debe tomar en cuenta las clases de estaciones siendo estas: clase A, clase B, Clase C. En la Tabla 12-2 se especifican los valores máximos de PER para cada una de las estaciones, con una altura de referencia de 150 m, medido desde la base del terreno.

Tabla 12-2: Clases y su PER máximo.

Clases	Máxima potencia PER (Hsnmt= 150)
	kW UHF
Especial	80
A	8
B	0.8
C	0.08

Fuente: (ABNT NBR 15601, 2007, p.56)

Cada clase se dividen en sub clases y la diferencia de potencia entre ellas es de 1 dB. Para considera que dos canales sean adyacentes, la diferencia entre las frecuencias centrales debe ser de 6MHz. (ABNT NBR 15601, 2007, p.56)

2.6.1. Condiciones de operación de una SFN en el Ecuador

Las variaciones de frecuencia RF deben ser menores a 1Hz para evitar interferencias dentro del área de cobertura de la red SFN.

La variación de muestreo IFF del reloj este dentro de ±0.3 ppm.

Se debe adoptar una diferencia de tiempo de trasmisión, para que el tiempo de retardo dentro de la zona de cobertura principal sea menor al intervalo de guarda, también se debe tomar en cuenta las condiciones geográficas del sector.

El código del país, se debe ajustar la zona horaria (local time offset descriptor) obligatoriamente a la hora UTC-3 con la hora local, el TOT (Time off-set Tables) donde consta el código del país, country_region_id se usará para el Ecuador continental el valor “000001” y en las Islas Galápagos “000010”. Y se configurar según la Tabla 13-2. (ARCOTEL, 2015, p.11)

Contry_code: campo con 24 bits que identifica el país usando 3 caracteres que son codificados dentro de 8 bits.

Contry_region_id: campo con 6 bits que identifica las regiones o zonas del país. (ABNT NBR 15603 2, 2009, p.67)

Local_time_off-set_polarity: campo con 1 bit que indica el valor de la polarización del campo, y será de “1”.

Tabla 13-2: Codificación para Ecuador.

Nombre del país	Código alfa-3	Código país (24 bit)
Ecuador	ECU	0100 0101 0100 0011 0101 0101

Fuente: (ARCOTEL, 2015, p.11)

Al recibir la autorización de ARCOTEL, y obtener un canal lógico de 6 MHz, las estaciones de radiodifusión televisiva podrán usar los diferentes formatos que ofrece el estándar ISDB-Tb.

Tabla 14-2: Multiprogramación.

HDTV (1080i)				OS
HDTV (720p)		HDTV (720p)		OS
HDTV (720p)		SDTV	SDTV	OS
SDTV	SDTV	SDTV	SDTV	OS

Fuente: (ARCOTEL, 2015, p.11)

2.7. Descripción y parámetros de Ecuador TV

En la actualidad las tres ciudades principales del Ecuador cuentan con cobertura de televisión digital emitida por el canal Ecuador TV, el cual transmite un canal LD (one-seg), canal SD y un canal HD, la señal se trasmite en el canal físico 26 en la Tabla 7-2 podemos ver las características de canalización.

2.7.1. Ancho de banda y segmentación

El estándar ISDB-Tb para su transmisión realiza una segmentación del ancho de banda, el cual divide en 14 segmentos, usando la ecuación 9-1 y ecuación 10-1.

$$BW_s = \frac{6000 \text{ kHz}}{14} = 428,57 \text{ kHz}$$

$$BW_T = 13(428,57 \text{ kHz}) = 5,571 \text{ MHz}$$

2.7.2. Parámetros OFDM

Los parámetros OFDM para necesarios para que no exista conflictos entre sí, aplicando el teorema de Shannon. Para aplicar esta ecuación se toma en cuenta algunos datos como: tipo de canal Rayleigh, modulación 64-QAM y código de 3/4 con una C/N de 23 dB (199 veces). Ecuación 8-1

$$C(\text{bps}) = 5,571 \log_2(1 + 199) = 42,58 \text{ Mbps}$$

Al tener en resultado de 42,58 Mbps se puede determinar la relación que existe entre el número de portadoras (L) y el tiempo de símbolo (T_s). Con la Ecuación 9-1 como se explicó en el apartado 1.1.4 el valor de $C = R$

$$42,58 \times 10^6 = \frac{6L}{T_s}$$

$$\frac{L}{T_s} = 7,09 \times 10^6$$

Luego se analiza el valor de $\Delta = \frac{1}{32}$ con la Ecuación 5-1 reemplazando en $T_s = T_U + T_G$

$$\frac{L}{T_U + T_G} = 7,09 \times 10^6$$

Con la Ecuación 18-1 se despeja T_U y se reemplaza en la anterior ecuación.

$$\frac{L}{\frac{T_G}{\Delta} + T_G} = 7,09 \times 10^6$$

$$\frac{L}{\frac{T_G}{32} + T_G} = 7,09 \times 10^6$$

$$\frac{L}{32T_G + T_G} = 7,09 \times 10^6$$

$$L = 7,09 \times 10^6 (33 T_G)$$

Para determinar el valor de T_G usamos la Ecuación 25-1, ya que, el estándar nos proporciona el valor de $L_S = 432$. En el modo 3

$$L = 13 (432) + 1 = 5617$$

$$5617 = 7,09 \times 10^6 (33 T_G)$$

$$T_G = 24,01 \times 10^{-6} \text{ s}$$

En el apartado 1.3.8 se explica que el valor de $T_G = t_r$, entonces podemos determinar la distancia que recorre la señal reflejada, despejando d , de la Ecuación 11-1.

$$d = 24,01 \times 10^{-6} \text{ s} (3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})$$

$$d = 7203 \text{ m}$$

$$d = 7,803 \text{ Km}$$

Entonces la distancia reflejada es de 7,803 km con respecto al punto más lejano.

El siguiente paso es el cálculo del espacio entre portadoras Δf , y el tiempo útil de símbolo con la Ecuación 22-1 y Ecuación 4-1 respectivamente.

$$\Delta f = \frac{428,57 \text{ kHz}}{432}$$

$$\Delta f = 0,992 \text{ kHz}$$

$$T_U = \frac{1}{992}$$

$$T_U = 1008 \mu\text{s}$$

Para finalizar se calcula la frecuencia de muestreo f_{IFFT} , entonces, para que todas las portadoras puedan ser muestreadas se debe cumplir una condición $2^n \geq L$. (Pisciotta, 2010, p.16) (PISCIOTTA, 2010 pág. 16)

$$2^n \geq 5617, \text{ el valor mas cercano a } n = 13$$

$$f_{IFFT} = \frac{2^{13}}{1008 \mu s}$$

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

Realizando el cálculo para los modos 1, modo 2 la frecuencia de muestro no cambia. Usando los valores del apartado 1.1.5 para T_U . Y L_S con 108 y 216 respectivamente.

2.7.3. Modos 1, 2 y 3 para el sistema ISDB-Tb

Al crear un sistema de TDT es necesario que este se adapte a la mayor cantidad de escenarios, por lo que, el estándar ISDB-Tb define los tres modos, para tener más opciones de configuración usando los parámetros T_U y L_S . usando las ecuaciones antes vistas los resultados se puede ver en la Tabla 15-2.

Tabla 15-2: Cálculos de intervalos de guarda y distancias máximas de reflexión.

	MODO 1				MODO 2				MODO 3			
T_U	252 μs				$T_{U2} = 2(T_U) = 504 \mu s$				$T_{U3} = 2(T_{U2}) = 1008 \mu s$			
$\Delta f = \frac{1}{T_U}$	$\frac{250}{63}$				$\frac{125}{63}$				$\frac{125}{126}$			
$L_S = \frac{BW_S}{\Delta f}$	108				216				432			
$L = 13L_S + 1$	1405				2809				5617			
$T_G (\mu s)$	1/4 T_U	1/8 T_U	1/16 T_U	1/32 T_U	1/4 T_{U2}	1/8 T_{U2}	1/16 T_{U2}	1/32 T_{U2}	1/4 T_{U3}	1/8 T_{U3}	1/16 T_{U3}	1/32 T_{U3}
	63	31,5	15,75	7,87	126	63	31,5	15,7	252	126	63	31,5
$d = T_G(c)$ (km)	18,9	9,45	4,72	2,36	37,8	18,9	9,45	4,72	75,6	37,8	18,9	9,45

Realizado por: Valle Felipe, 2018.

Para determinar el tiempo del delay, se toma la peor condición, el cual es que el receptor se encuentre junto al transmisor, entonces la señal reflejada toma un valor de 120 km (esta distancia es de ida y vuelta) para ello se emplea la Ecuación 17-1.

$$\frac{120 * 1000m}{3 * 10^8 \frac{m}{s}} = 400 \mu s$$

Para tener la certeza de que la multi-trayectoria no produzca interferencia en la misma red, el intervalo de guarda debe ser por lo menos de 400 μs , entonces para ISDB-tb para los nodos 1, 2 y 3 el tiempo de guarda será de 252 μs según la Tabla 16-2. Con este valor se puede obtener la distancia reflejada.

$$d = 252 \mu s * 3 * 10^8 \frac{m}{s} = 75.6 \text{ km}$$

Por lo tanto, la señal reflejada recorrerá 75.6 km y no tendrá ninguna interferencia de sí misma, para este caso el modo que cumple con esta condición es de modo 3 con intervalo de guarda 1/4.

2.7.4. Diseño de la red SFN

El diseño para el despliegue de la red SFN se tomó de la red analógica de Ecuador Tv, que es una de las redes de televisión que cubre más zonas del país.

La simulación de cobertura se realizó asignando una sola frecuencia en todo el territorio ecuatoriano, y luego se dividirá en tres zonas, siendo esto la región costa como primera zona, la región sierra como segunda zona y oriente como la tercera zona, cada una de las zonas contará con una frecuencia distinta.

En primer lugar, se debe introducir una estación transmisora con sus debidos parámetros, se debe introducir una potencia nominal que para la simulación se usó valores proporcionados por ARCOTEL en el Anexo D se puede observar más a detalle, frecuencia de 6 MHz. La infraestructura de la antena se mantendrá en 30 m para todos los transmisores, el nivel de intensidad recomendado por norma brasileña ISDB-Tb, para UHF es de 51 dB μ V/m, y la Network ID que identifica la red ECUADOR TV, la modulación se la realiza en 64-QAM 3/4.

Los parámetros que se usaron para el sistema radiante en los transmisores son: azimut, este parámetro es diferente para cada estación ya que depende la ubicación y el área de cobertura, ángulo de inclinación, la polarización de la antena transmisora es horizontal, mientras que, para el receptor es circular, ya que se toma en cuenta las dos opciones vertical y horizontal.

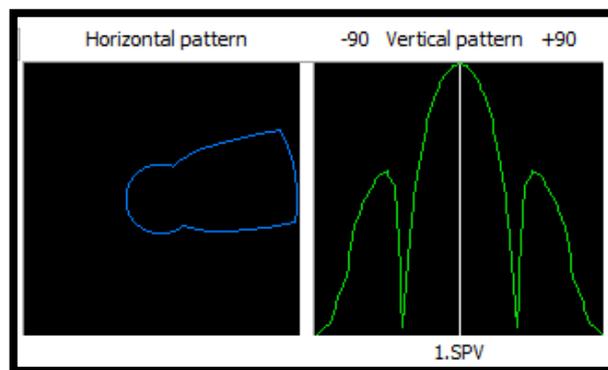
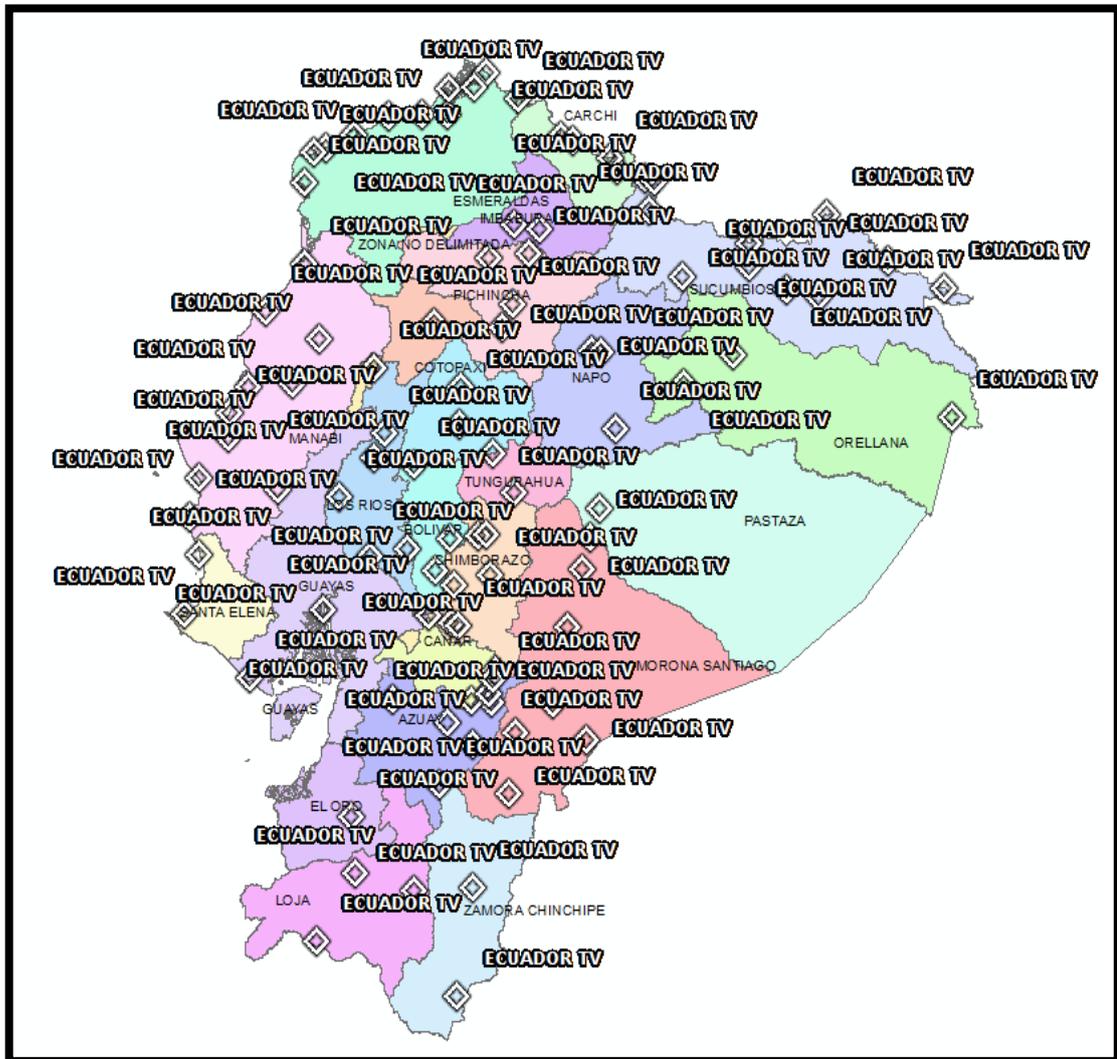


Figura 8-2: Sistema radiante para el transmisor.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

Las coordenadas usadas es WGS84. El siguiente paso es la configuración de propagación para la señal de ISDB-Tb, se coloca el valor del umbral de cobertura de 51 dB μ V/m, con una impedancia de 75 ohms.

Para el cálculo de cobertura, se toma en cuenta la altura del receptor que colocaremos de 10 m en la sección 2.5.6 aclaramos el porqué de esta altura, distancia considerada es de 100 km, ya que se desea observar la propagación de la señal junto con otras propagaciones aledañas, y el umbral de recepción. El modelo de propagación en este caso se escoge el modelo ITU-R 525/526, en la

sección 2.2.7 se detalla el modelo. En el Mapa 4-2 se observa la ubicación de los transmisores en los diferentes cantones del Ecuador. En el siguiente capítulo se detalla los resultados de la propagación realizada.



Mapa 4-2: Estaciones Transmisoras de Ecuador TV
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

2.7.4.1. Interferencias

Para el cálculo de las interferencias se basan en dos parámetros, diferencia de tiempo de llegada al receptor y la relación portador-ruído con interferencia $C/N+I$. Para saber si la señal es constructiva/destructiva, se compara el tiempo del receptor con el intervalo de guarda y el tiempo útil de símbolo.

Es constructiva cuando el intervalo de guarda es mayor al tiempo de llegada al receptor, lo que mejora el nivel de intensidad de campo. Es destructiva cuando el intervalo de guarda es menor al tiempo de llegada al receptor, pero se puede equilibrar con un coeficiente suplementario, usando las ecuaciones de EBU.

Si el coeficiente suplementario de la *i*-ésima componente es igual a cero, producirá interferencia de la misma red, pero si su valor es uno, contribuye totalmente la señal deseada en el receptor. Para evitar estas interferencias de la propia red se añade un retraso en el tiempo de emisión a la señal de los transmisores. (Jarrín y Morejón, 2012, pp.154-157)

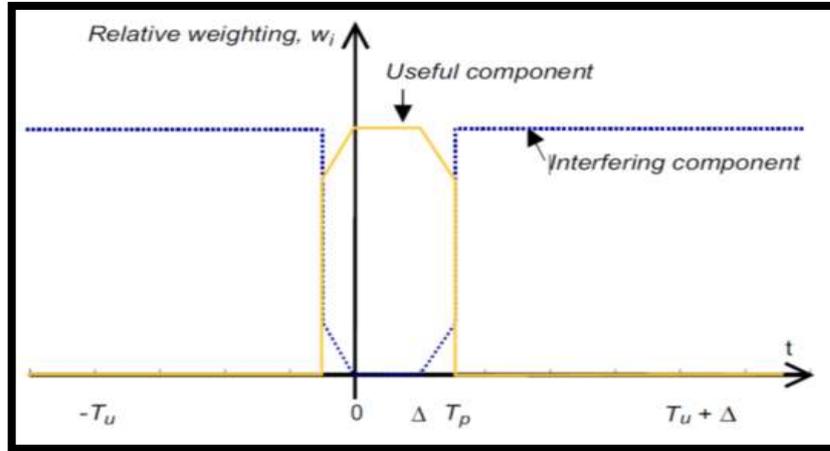


Figura 9-2: Potencia de señal útil y componentes interferentes.
Fuente: (Brugger y Hemingway, 2003, pp.4).

$$w_i = \begin{cases} 0 & \text{si } t \leq \Delta - T_p \\ \left(\frac{T_u+t}{T_u}\right)^2 & \text{si } \Delta - T_p < t \leq 0 \\ 1 & \text{si } 0 \leq t \leq \Delta \\ \left(\frac{(T_u+\Delta)-t}{T_u}\right)^2 & \text{si } \Delta < t \leq T_p \\ 0 & \text{si } T_p < t \end{cases} \quad \text{Ecuación 16-2}$$

$$C = \sum_i w_i C_i \quad \text{Ecuación 17-2}$$

$$I = \sum_i (1 - w_i) C_i \quad \text{Ecuación 18-2}$$

Donde:

C_i : Contribución de potencia de la *i*-ésima señal en la entrada del receptor.

C : Potencia total de la señal útil efectiva.

I : Potencia total de la interferencia efectiva.

w_i : Coeficiente suplementario *i*-ésima.

T_u : Duración de tiempo útil de símbolo. ($T_u/3$)

T_p : Retado relativo que considera EBU para la TDT.

Δ : Duración del intervalo de guarda.

t : Tiempo de arribo de la señal.

Para realizar el cálculo de interferencia, los parámetros a considerados son: intervalo de guarda de 252 μ s, tiempo útil de símbolo 1008 μ s, datos tomados de la Tabla 16-2 y de los calculos antes realizados, se selecciona un valor de protección igual a 22.8 tomada de la Tabla 1-2, el valor se aproxima ya que solo permite valores enteros se le da el valor de 23, si el valor C/N+I es menor al C/N, ese punto se encuentra con interferencia, pero si el valor se aproxima a C/N no se encuentra con interferencia, para el “Noise”, es decir el ruido toma el valor de -97 dBm ya que este valor se usa para transmisiones de sistemas ISDB-Tb y DVB. (Jarrín y Morejón, 2012, pp.157-158)

En la Figura 10-2 configuramos el color para distinguir y observar las interferencias en las simulaciones con el color violeta.



Figura 10-2: Color de interferencias.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

Las recomendaciones, si encuentran interferencias de la propia red, es modificar los retardos con los valores de entre -60 μ s a 60 μ s, “Launch delay” para modificarlos con el intervalo antes mencionados.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se explica los resultados de la planificación de frecuencias y áreas de adjudicación adecuados para el Ecuador, basados en la cobertura e interferencias en todas las zonas cubiertas por la red SFN. Al tener un tiempo de guarda superior, nos permite el uso de FFT mas grades, lo que se traduce en tiempo de símbolos más prologados, esto nos permite crear redes SFN con una cobertura nacional. Los valores de referencia para los cálculos y simulaciones que se ha tomado en cuenta son de la ABNT NBR 15601. (ABNT NBR 15601, 2007, pp. 6)

Al planificar la cobertura y las interferencias de televisión digital, estas deben coexistir con la televisión analógica durante el periodo de simulcast, los cuales se traducen en resultado de relación de protección (RP), lo que permitirá una mejor planificación y las condiciones mínimas de convivencia, usando modelos de canales como el Recean y Reyleigh, los cuales son usados como recepción fija en exteriores (azotea) y como recepción portable en interiores respectivamente, estos valores se puede obtener utilizando un factor de correlación equivalente a los valores CNR.

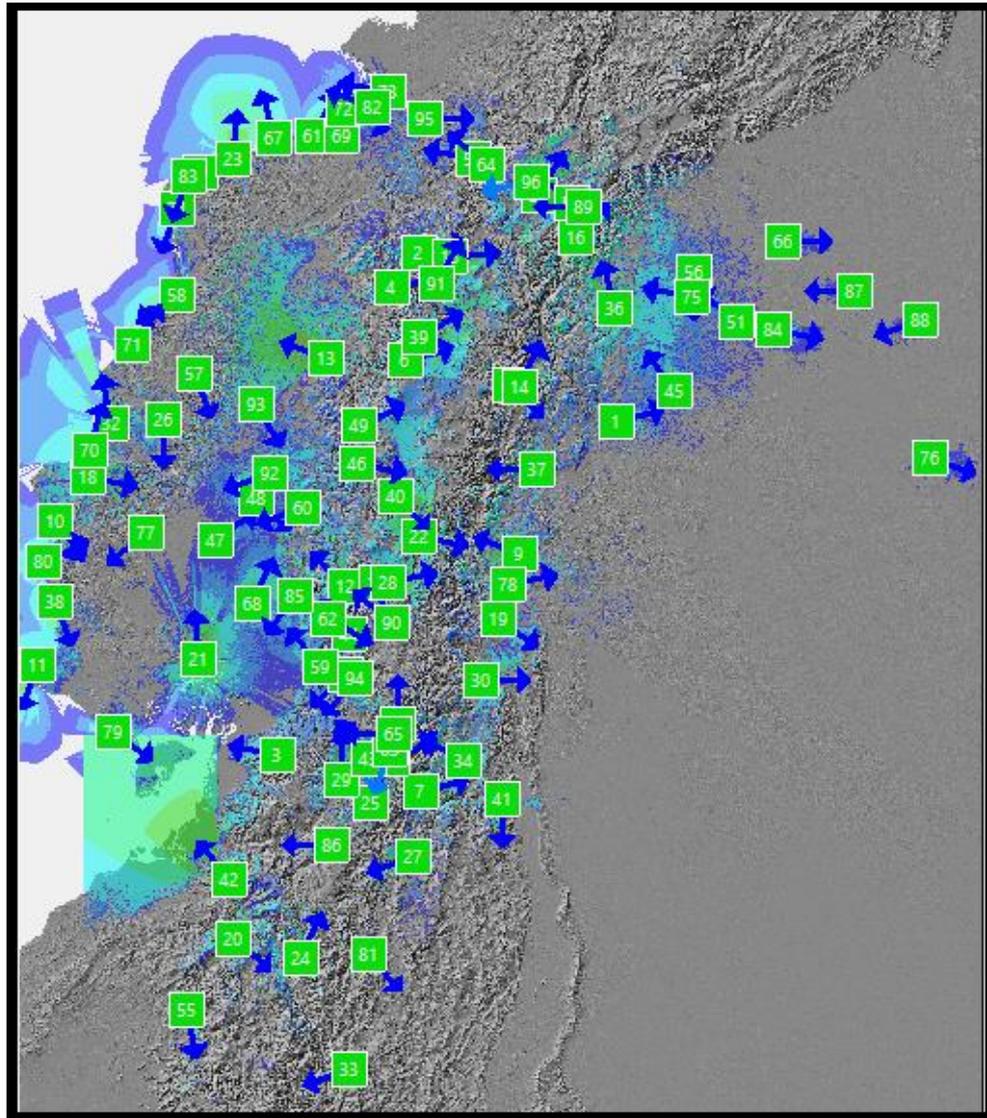
La metodología utilizada para la planificación a nivel nacional se puede usar para los demás países latinoamericanos, teniendo en cuenta que en las zonas fronterizas es necesaria una planificación ya que solo algunas frecuencias están disponibles para cada país, habitualmente estos canales de radiofrecuencia son divididos en pares e impares, por este motivo se busca una planificación de frecuencias adecuadas para determinar las áreas de adjudicación.

Al determinar las áreas de adjudicación mediante el tipo de cobertura, ya sea, nacional, regional o cantonal, se establece una intensidad de campo eléctrico mínimo a proteger dentro de las distancias de coordinación para cada zona, lo que permite optimizar el espacio radioeléctrico.

3.1. Planificación de frecuencias

En este apartado se analiza el resultado del nodo apropiado para transmisión de ISDB-tb en el Ecuador. El cual, se analiza la capacidad del modo en términos de ganancia, cobertura y tamaño máximo viable para la red SFN mediante simulaciones realizadas con herramientas profesionales de planificación, además, se optimizo los delay artificiales con el fin de maximizar la cobertura de la red SFN.

En este caso de estudio se usó la red de Ecuador TV que contiene 96 transmisores en todo el país. Mapa 1-3. En el Anexo D se pude observar la tabla con los delay y las ubicaciones de cada transmisor usado para la simulación.



Mapa 1-3: Cobertura y transmisores de Ecuador TV.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

Para la etapa de optimización de la red SFN como se menciona en el capítulo 2, consiste en adecuar los retardos artificiales de cada uno de los transmisores, de manera que se mitiguen las interferencias de la misma red. Teóricamente los transmisores se pueden colocar en cualquier lugar dentro de la zona adjudicada siempre y cuando cumplan con la distancia de re-uso, para este caso los retardos artificiales son de mucha utilidad para una buena cobertura con una mínima interferencia.

Al tener varias señales que llegan al receptor con distintas potencias y retardos con relación a la contribución inicial. Se modificó los retardos artificiales con respecto al tiempo de llegada de cada señal tomando en cuenta la señal con mayor potencia, es decir la señal principal. Esta señal al llegar fuera del intervalo de guarda es considerada como una señal destructiva, para lo cual se le agrega un retardo artificial de modo que la señal llegue dentro del intervalo de guarda.

3.2. Parámetros para planificación del sistema de televisión digital para Ecuador TV

Para la codificación y programación del canal digital sean basado en los siguientes parámetros: sistema de trasmisión, el segmento OFDM y señal de transmisión. En la Tabla 1-3 son los parámetros que uso para el canal Ecuador TV para su trasmisión, cobertura y optimización, y está basado en los cálculos antes realizados.

Tabla 1-3: Parámetros de transmisión Ecuador TV.

Parámetros	Valores
Número de Segmentos N_s	13
Ancho del Segmento BW_s	428,57 KHz
Banda UHF BW_T	5,572 MHz 1 (modo 3)
Número de Portadoras	5617 (modo 3)
Modulación	64-QAM
Duración de Símbolo	1008 μ s (modo 3)
Separación de Portadoras	$Bws/432 = 0,992$ KHz (modo 3)
Intervalo de Guarda	1/4 duración de símbolo activo 252 μ s (modo 3)
Tiempo útil de Símbolo	1008 μ s (modo 3)
Duración de Cuadro de Transmisión	204 símbolos OFDM
Codificación de Canal	Código convolucional, tasa = 1/2 con 64 estados Punzado para las tasas 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Distancia de re-uso	75.6 km

Realizado por: Valle Felipe, 2018.

3.2.1. Áreas de adjudicación

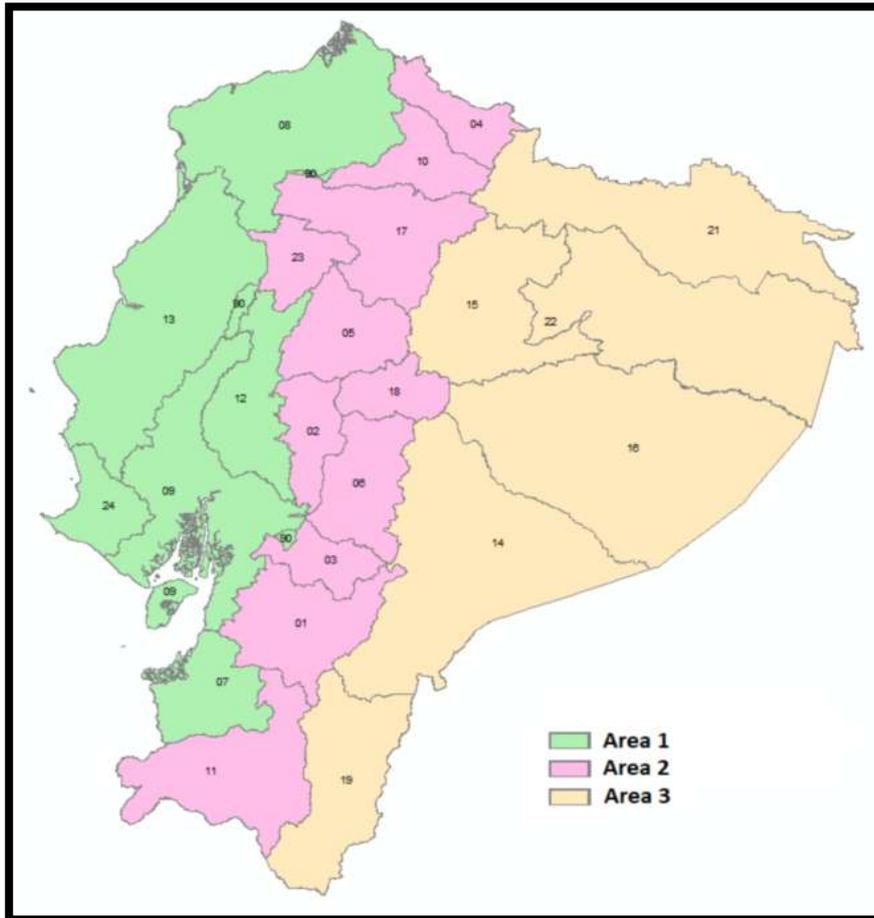
Las áreas de adjudicación frecuentemente obedecen a situaciones de perfil administrativo, político, etc. Al realizar la planificación se basó en la división política del país por regiones y por provincias para servicios regionales y locales respectivamente. En este caso para el servicio nacional, la adjudicación se la realizo agrupando varias provincias en una sola área de adjudicación de modo que se maximice el tamaño de las redes SFN y minimizar el número de frecuencias, así, tenemos las 3 zonas divididas en regiones como podemos observar en la Tabla 2-3. Y en el Mapa 2-3.

Tabla 2-3: Asignación de zonas y frecuencias para Ecuador Tv.

Región	Provincias	Frecuencia 1	Frecuencia 2	Frecuencia 3
Costa	Esmeraldas	A	A	A
	Manabí	A	A	A
	Guayas	A	A	A
	Santa Elena	A	A	A
	El oro	A	A	A
Sierra	Carchi	A	B	B
	Imbabura	A	B	B
	Pichincha	A	B	B
	Santo domingo	A	B	B
	Cotopaxi	A	B	B
	Tungurahua	A	B	B

	Bolívar	A	B	B
	Chimborazo	A	B	B
	Cañar	A	B	B
	Azuay	A	B	B
	Loja	A	B	B
Oriente	Sucumbíos	A	B	C
	Orellana	A	B	C
	Pastaza	A	B	C
	Morona Santiago	A	B	C
	Zamora Chinchipe	A	B	C

Realizado por: Valle Felipe, 2018.



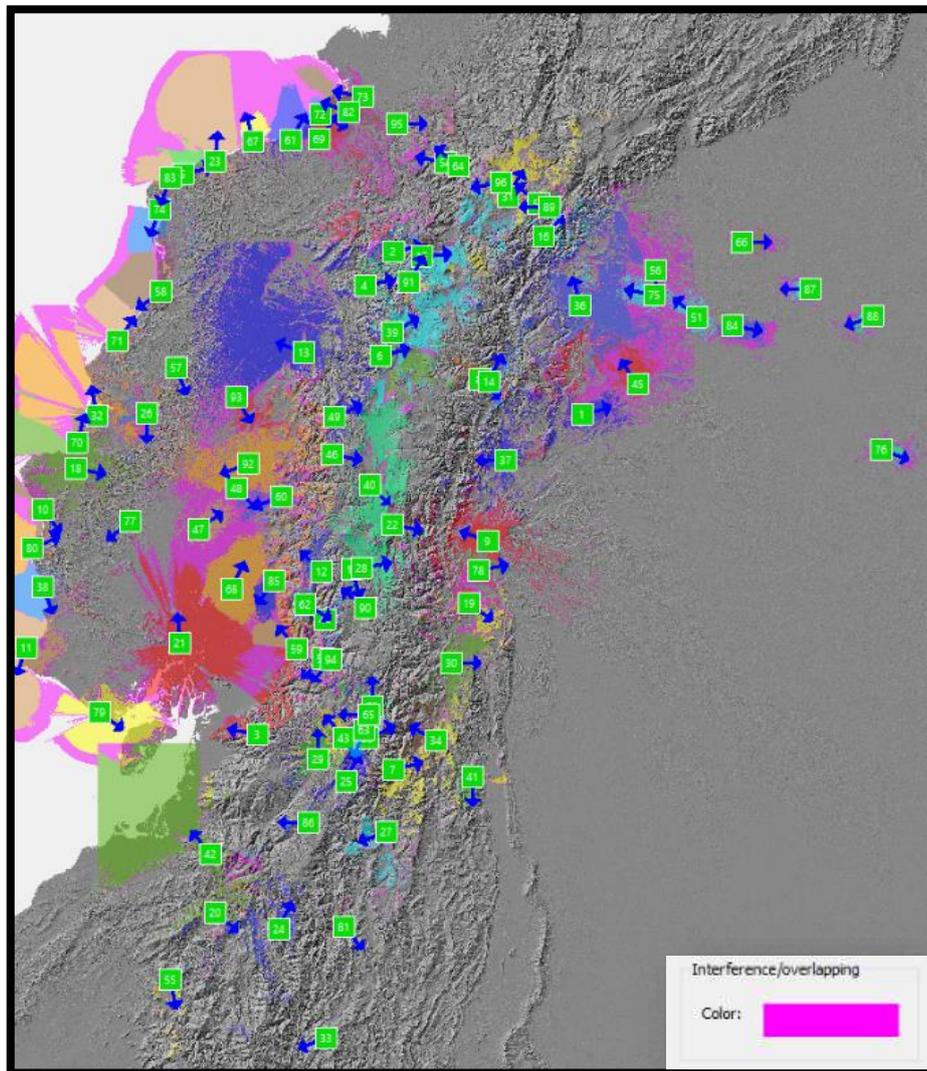
Mapa 2-3: Posibles áreas de adjudicación para planificación de frecuencias regional.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

Continuando con el criterio antes expuesto, para la planificación a nivel nacional se necesita 3 y 24 áreas de adjudicación para el servicio regional y provincial respectivamente. En la siguiente sesión se explicará la configuración de cada una de la configuración de las redes para maximizar la eficiencia de la red SFN y la idónea para el país.

3.3. Elección del modo de transmisión apropiado para Ecuador

Para la elección del FFT idóneo para Ecuador se realizó las simulaciones con los diferentes intervalos de guarda, comparando el modo 2 (FFT 4K) con el modo 3 (FFT 8K) ya que tienen intervalos de guardar con tiempos de guarda similares, dando como resultado los siguiente.

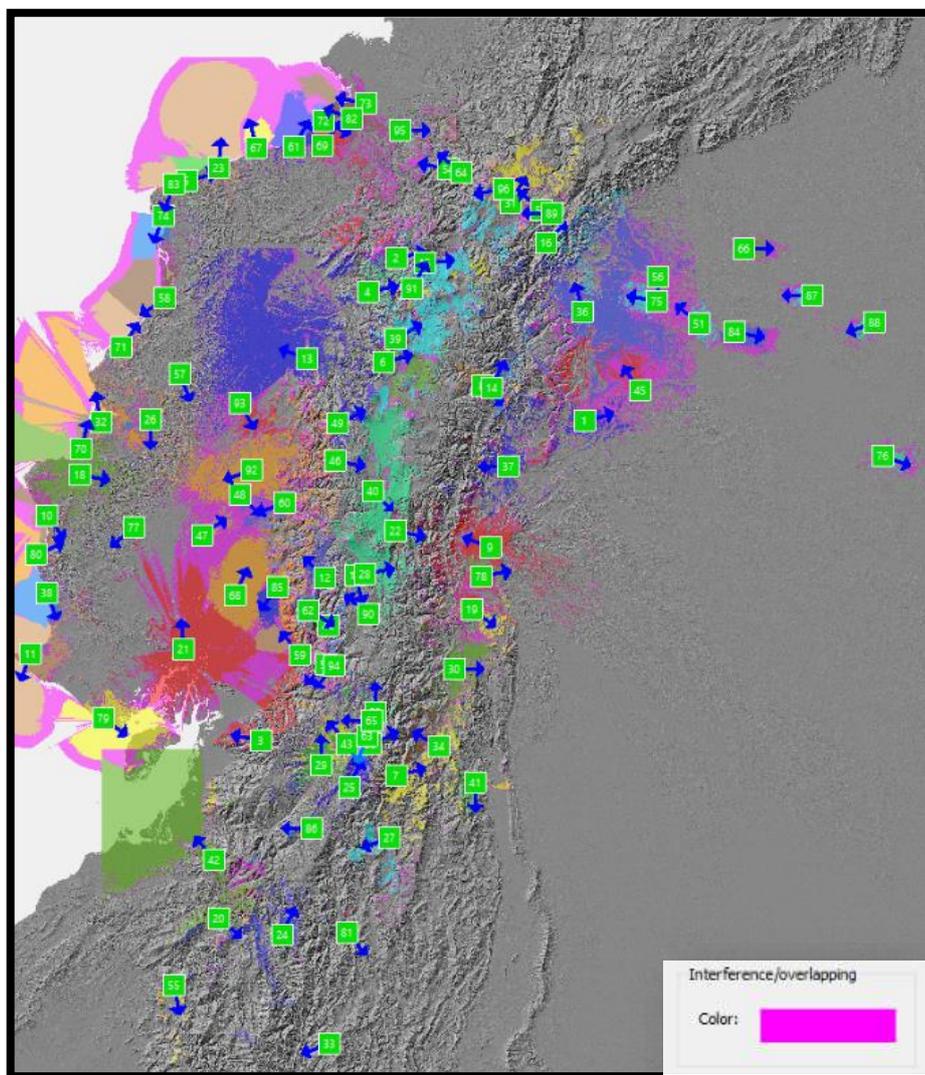
Para el modo 3 (8k) que tiene un intervalo de guarda de $1/4$, con $252 \mu\text{s}$ de tiempo de guarda y con una distancia máxima de 75.6 Km entre transmisores siendo así la máxima distancia que puede existir sin que exista interferencias de la misma red como podemos ver en el siguiente Mapa 3-3. Se obtuvo una cobertura de 91,46 % en las distintas zonas pobladas con una variante entre 3%, 5% de interferencias, sin embargo, de los transmisores 21, 47, 48, 60 y 59 de la zona de la costa el porcentaje provocando por las interferencias sube 22 %, 45 %, 31%, 26%, y 18% respectivamente, otro de las zonas que presenta interferencias grandes son en la zona con los transmisores 75, 51, 45, 1, 16 en esta zona las interferencias son de 23%, 15%, 24%, 14%, 35%, de cada una de las zonas a las que pertenecen cada transmisor.



Mapa 3-3: Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda $1/4$.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Para un intervalo de guarda de $1/8$ de un FFT de 8K con un periodo de símbolo útil $1008 \mu\text{s}$ y con un tiempo de guarda de $126 \mu\text{s}$, con una distancia mínima de 37,8 Km el cual presenta un incremento de interferencias de la misma red, lo que dio como resultado en el siguiente Mapa 4-

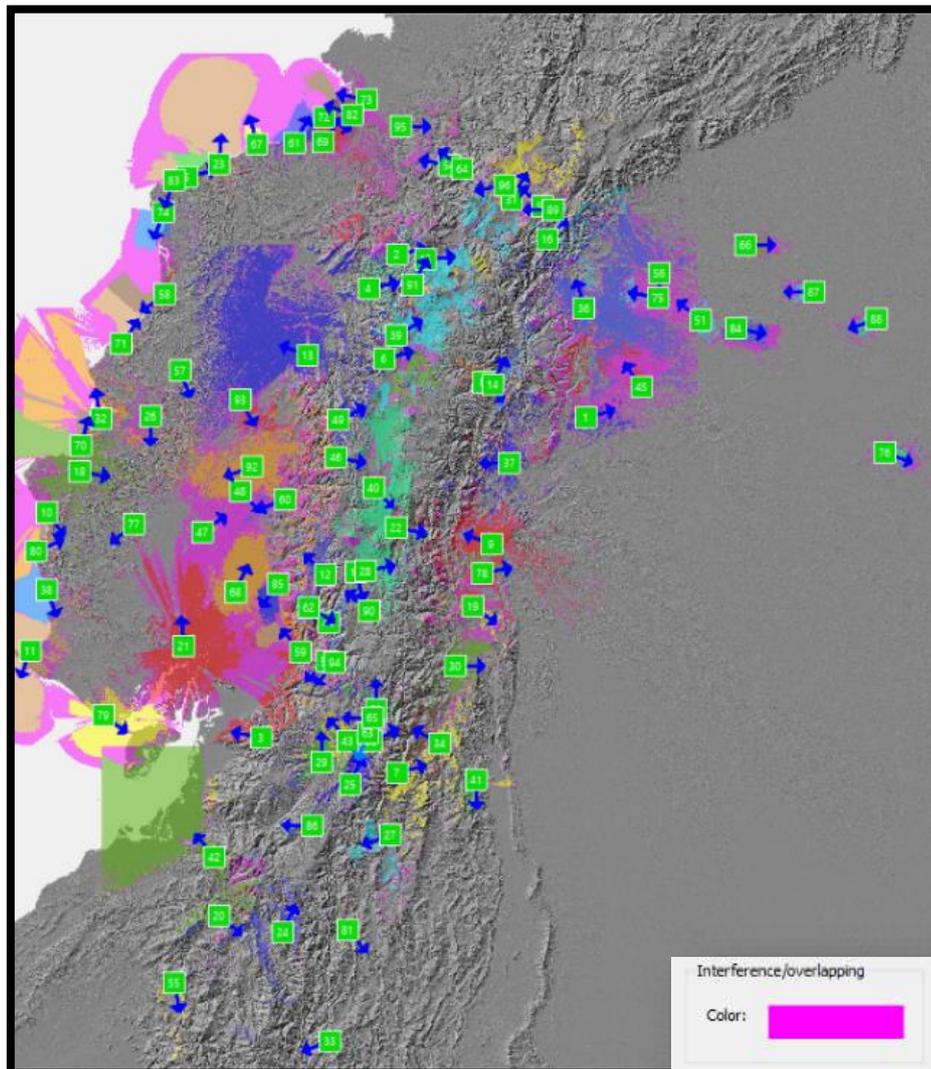
3. Con un porcentaje de cobertura del 87,73% En comparación con la primera simulación observamos que las interferencias incrementan en la mayor parte de las zonas de cobertura aumentando en 1% a 2% en relación al modo de 1/4, para este caso los transmisores en la región costa 79, 21, 47, 48, 93, 10, 72, 58, presentaron incrementos considerables con valores de 18%, 26%, 54%, 60%, 61%, 19%, 35%, 20%, respectivamente, en la zona sierra hubo incrementos en sectores con los transmisores 6, 39, 91 con un incremento de 13%, 11%, 18%, sin embargo son partes de la zona que no presentan poblaciones, para la zona del oriente existen incrementos considerables en varios transmisores, 19, 78, 1, 51, 56, 75, 84, 66, y 88, en promedio subieron 17% en interferencias con respecto al primer IG. El transmisor 45 tiene la mayor interferencia para esta zona con 31%.



Mapa 4-3: Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/8.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Al realizar la simulación con un intervalo de guarda de 1/16, perteneciente a 8k, la distancia máxima que alcanza es de 18.9 Km, se observa que las interferencias aumentan en la región sierra

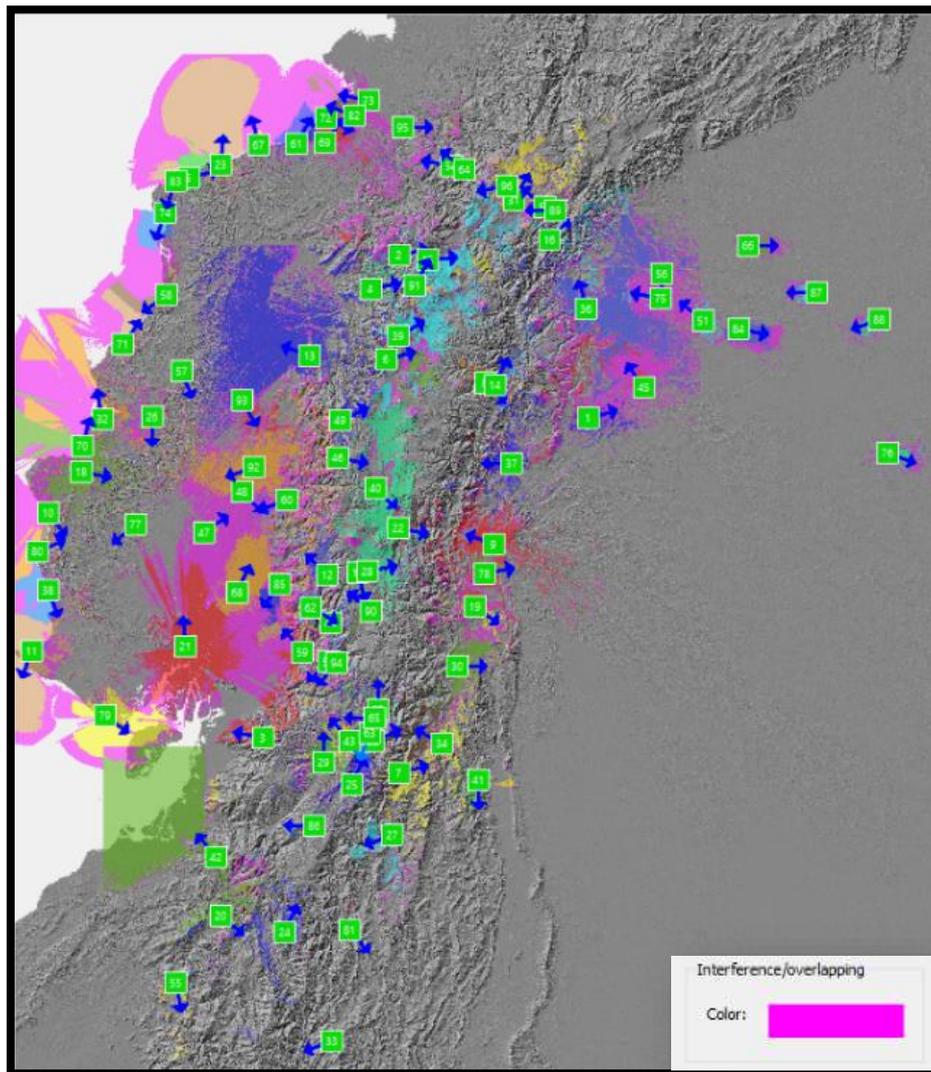
y costa, dando como resultado el siguiente Mapa 5-3, con un porcentaje de cobertura del 85,35%. Para esta simulación los porcentajes de interferencia son más notables en sectores de la sierra, sectores que anteriormente no existían interferencias altas, mientras que para la región costa los trasmisores anteriormente mencionados se observa incrementos de un 3% hasta un 4%, pero el incremento más notable es de 8%, y 10% 6%, en los transmisores 21, 47, 48 que son zona afectadas con interferencias extremadamente altas, para la región oriente, en promedio hay un incremento de interferencias de un 3% y una interferencia del 47% para el transmisor 51.



Mapa 5-3: Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/16.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Modificando el intervalo de guarda a 1/32 la distancia máxima disminuye a 9,45 Km para un FFT 8K, como resultado podemos observar en el Mapa 6-3. En este caso hay un incremento notable en sectores que presentaban un porcentaje de interferencia en comparación con los IG anteriores, por ejemplo el transmisor 6 en la región sierra su incremento fue de un 21%, para la región costa el cambio es notable ya que los transmisores que presentaban altos índices de

interferencias en los anteriores IG, se incrementan notablemente, como por ejemplo el transmisor 47 la mayor parte de su zona de cobertura esta interferida, para transmisores como 11, 62 y 59 sus porcentajes son del 23%, 22%, 68% de interferencias, estos son sectores que para los anteriores IG presentaban interferencias máximas de un 8%, para los transmisores de la región oriente, también existen incremento, estos transmisores son 45, 1, 56, 75 el porcentaje incrementa en 42%, 23%, 35, 55% respectivamente siendo esto interferencias muy altas. Cabe mencionar que los demás transmisores de la zona oriente hay un incremento de un 3 % hasta un 4% en comparación al anterior IG, con respecto a interferencias.



Mapa 6-3: Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/32.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018

En la Tabla 3-3 podemos observar más a detalle el porcentaje aproximado de la cobertura de cada transmisor.

Tabla 3-3: Porcentaje de cobertura para el modo 3.

Sector	Tx	Cobertura IG 1/4	Cobertura IG 1/8	Cobertura IG 1/16	Cobertura IG 1/32
Loreto	1	86,00%	83,00%	82,00%	77,00%
Apuela	2	94,00%	93,00%	91,00%	89,00%
Molleturo (Canton Cuenca)	3	95,00%	92,00%	90,00%	88,00%
Nanegal	4	95,00%	95,00%	92,00%	90,00%
Atacames	5	93,00%	92,00%	91,00%	90,00%
Sur De Quito	6	90,00%	87,00%	81,00%	79,00%
General Leonidas Plaza	7	95,00%	92,00%	90,00%	88,00%
Pimampiro	8	97,00%	95,00%	92,00%	90,00%
Puyo	9	97,00%	94,00%	93,00%	91,00%
Puerto Cayo (Jipijapa)	10	82,00%	81,00%	80,00%	78,00%
Salinas, La Libertad, St	11	95,00%	94,00%	91,00%	77,00%
Guaranda	12	95,00%	93,00%	91,00%	89,00%
Santo Domingo	13	97,00%	94,00%	92,00%	90,00%
Baeza	14	97,00%	95,00%	93,00%	90,00%
Ibarra	15	94,00%	96,00%	94,00%	91,00%
La Bonita	16	65,00%	63,00%	62,00%	61,00%
La Union (Canto Colta)	17	98,00%	96,00%	95,00%	91,00%
Portoviejo	18	94,00%	93,00%	90,00%	87,00%
Huamboya	19	92,00%	83,00%	81,00%	79,00%
Olmedo	20	80,00%	79,00%	77,00%	76,00%
Guayaquil	21	78,00%	74,00%	66,00%	65,00%
Baños	22	97,00%	95,00%	93,00%	91,00%
Esmeraldas	23	92,00%	91,00%	89,00%	87,00%
Loja, Catamayo	24	98,00%	98,00%	97,00%	95,00%
Sigsig, Chordeleg, Gualaceo	25	97,00%	95,00%	94,00%	92,00%
Chone	26	95,00%	93,00%	91,00%	89,00%
Gualaquiza	27	96,00%	94,00%	92,00%	90,00%
Riobamba, Chambo, Guano	28	95,00%	93,00%	91,00%	88,00%
Cuenca	29	97,00%	95,00%	94,00%	91,00%
Macas, Sucua	30	95,00%	92,00%	91,00%	88,00%
Tulcan, Huaca	31	97,00%	94,00%	93,00%	91,00%
Bahia De Caraquez, San Vicente	32	92,00%	90,00%	89,00%	87,00%
Zamora	33	97,00%	96,00%	95,00%	93,00%
Santiago De Mendez	34	97,00%	95,00%	92,00%	90,00%
El Pan, Sevilla De Oro	35	95,00%	93,00%	91,00%	88,00%
Lumbaqui, El Dorado De Cascales	36	97,00%	94,00%	92,00%	89,00%
Tena, Archidona	37	95,00%	93,00%	92,00%	89,00%
Manglar Alto Canton Santa Elena	38	92,00%	90,00%	89,00%	87,00%
Quito	39	93,00%	89,00%	74,00%	72,00%
Ambato	40	97,00%	96,00%	95,00%	91,00%
Santiago Canton Tiwintza	41	96,00%	95,00%	93,00%	90,00%

Machala	42	97,00%	94,00%	91,00%	88,00%
Azogues, Biblian	43	96,00%	95,00%	94,00%	75,00%
Pallatanga	44	97,00%	95,00%	92,00%	89,00%
Puerto San Francisco De Orellana (Coca)	45	76,00%	69,00%	68,00%	58,00%
Zumbahua	46	93,00%	90,00%	89,00%	86,00%
Palenque	47	55,00%	46,00%	36,00%	26,00%
Mocache	48	69,00%	46,00%	40,00%	32,00%
Sigchos	49	95,00%	92,00%	84,00%	82,00%
Hiugra (Canto Alausi)	50	96,00%	94,00%	92,00%	90,00%
Dureno	51	85,00%	83,00%	53,00%	51,00%
Rivera (Canton Azogues)	52	96,00%	94,00%	92,00%	90,00%
El Carmelo (Tulcan)	53	96,00%	95,00%	93,00%	91,00%
El Chical (Tulcan)	54	97,00%	95,00%	93,00%	90,00%
Macara (Loja)	55	96,00%	93,00%	91,00%	89,00%
General Farfan	56	79,00%	83,00%	81,00%	65,00%
Flavio Alfaro	57	96,00%	94,00%	92,00%	89,00%
Pedernales	58	94,00%	80,00%	79,00%	75,00%
Cumanda, General Antonio	59	82,00%	79,00%	78,00%	32,00%
San Luis De Pambil (Canton Guaranda)	60	74,00%	73,00%	72,00%	75,00%
Las Peñas	61	95,00%	90,00%	89,00%	86,00%
Chillanes	62	96,00%	94,00%	93,00%	78,00%
Guachapala, Paute	63	97,00%	95,00%	93,00%	91,00%
Maldonado	64	94,00%	92,00%	90,00%	89,00%
Taday, Pindilig, Canton Azogues	65	95,00%	91,00%	90,00%	88,00%
Palmar	66	96,00%	83,00%	91,00%	89,00%
Rioverde	67	55,00%	45,00%	44,00%	42,00%
Babahoyo	68	97,00%	95,00%	92,00%	90,00%
Borbon Canto Eloy Alfaro	69	95,00%	92,00%	91,00%	88,00%
Crucita	70	88,00%	87,00%	86,00%	84,00%
Jama	71	90,00%	88,00%	87,00%	86,00%
Valdez	72	88,00%	65,00%	63,00%	65,00%
Mataje	73	89,00%	88,00%	86,00%	84,00%
Muisne	74	95,00%	93,00%	91,00%	89,00%
Nueva Loja	75	77,00%	70,00%	65,00%	45,00%
Nuevo Rocafuerto (Canton Aguarico)	76	88,00%	86,00%	75,00%	73,00%
Olmedo	77	93,00%	91,00%	89,00%	88,00%
Palora	78	88,00%	83,00%	80,00%	77,00%
Gral Villamil (Canton Playas)	79	87,00%	82,00%	79,00%	75,00%
Puerto Lopez	80	91,00%	90,00%	89,00%	87,00%
San Carlos De Las Minas	81	96,00%	95,00%	93,00%	91,00%
San Lorenzo	82	91,00%	91,00%	90,00%	88,00%
Tonchigue(Canto Esmeraldas)	83	91,00%	91,00%	89,00%	88,00%
Tarapoa	84	85,00%	83,00%	81,00%	79,00%

Montalvo	85	96,00%	95,00%	93,00%	90,00%
Nabon	86	95,00%	92,00%	91,00%	89,00%
Puerto El Carmen	87	95,00%	93,00%	92,00%	90,00%
Puerto Rodriguez	88	96,00%	83,00%	80,00%	75,00%
Santa Barbara	89	96,00%	92,00%	91,00%	88,00%
Guamote	90	97,00%	95,00%	94,00%	91,00%
San Jose De Minas (Canto Quito)	91	95,00%	82,00%	81,00%	78,00%
Quevedo	92	96,00%	93,00%	92,00%	89,00%
Paraiso La 14 (Manga Del Cura)	93	83,00%	39,00%	38,00%	38,00%
Chumchi	94	96,00%	92,00%	91,00%	88,00%
Tobar Donoso	95	96,00%	96,00%	94,00%	90,00%
Tufiño	96	94,00%	91,00%	90,00%	86,00%
		91,46%	87,79%	85,35%	81,66%

Realizado por: Valle Felipe, 2018.

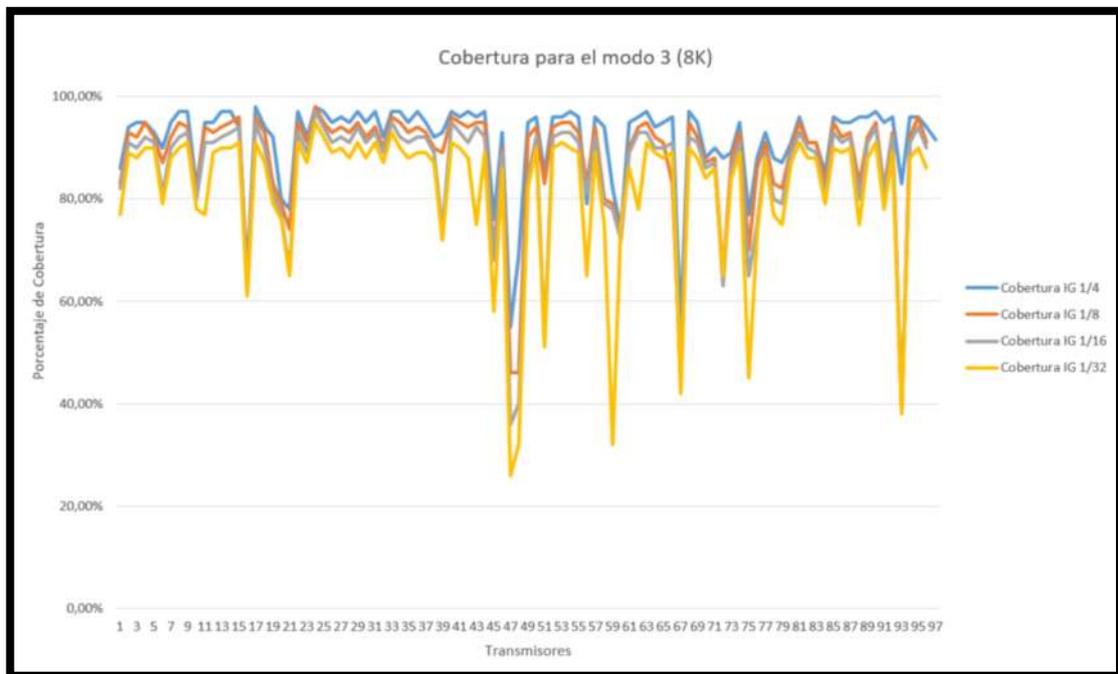


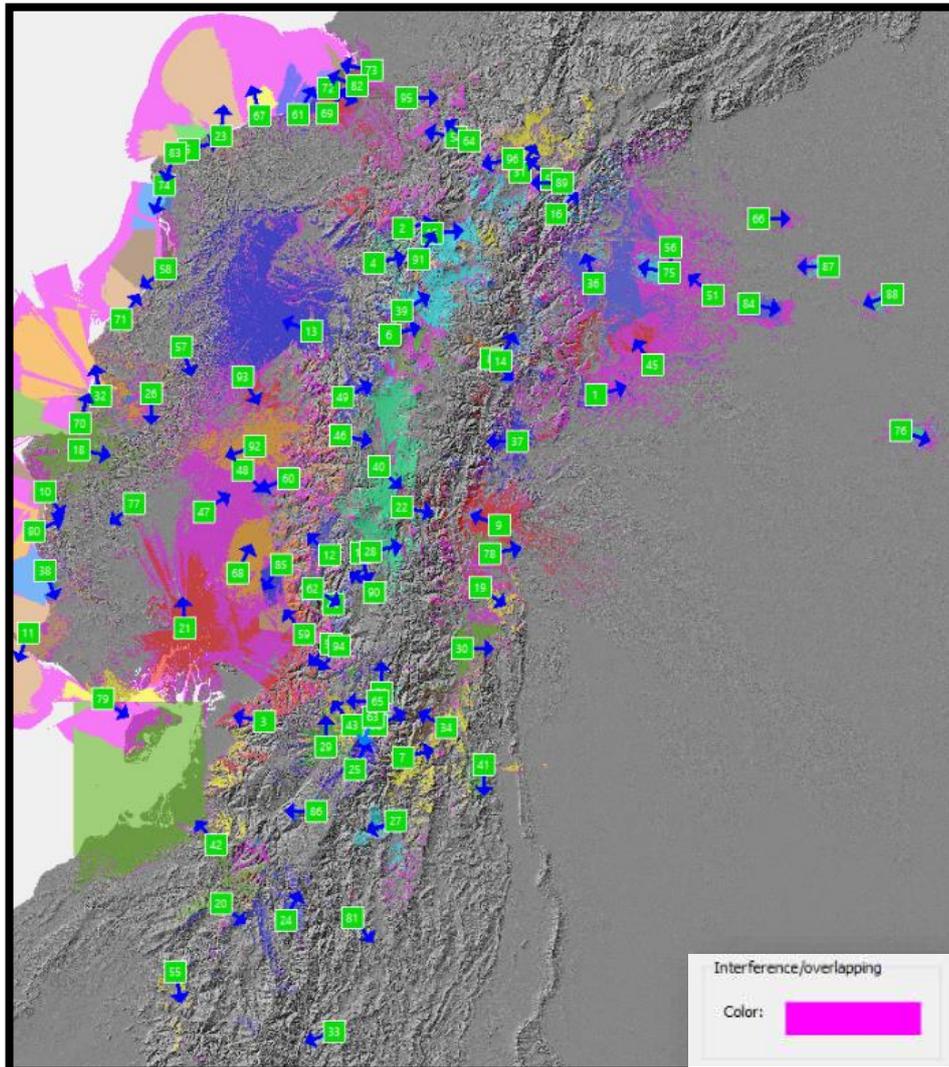
Gráfico 1-3: Comparativa del porcentaje de cobertura para el modo 3.

Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Para las siguientes simulaciones se realizaron con el modo 2 (FFT 4K) la primera diferencia que se observa a comparación del modo 3 es en el tiempo de guarda, en la tabla 16-2 podemos observar estos resultados numéricos, como el tiempo de guarda disminuye, por ende, su distancia máxima también disminuirá dando. Para este caso se tomará la comparación con el modo 3 con un IG de 1/4 ya que es el intervalo de guarda que menos porcentaje de interferencias presenta.

Para un intervalo de guarda 1/4 de FFT 4K, el tiempo de guarda es de 126 μ s, observamos que es la mitad de tiempo de guarda a comparación del modo 3, esto se traduce a una distancia más pequeña de 37,8 Km, lo que resulta en un aumento de interferencias en la red, como observamos

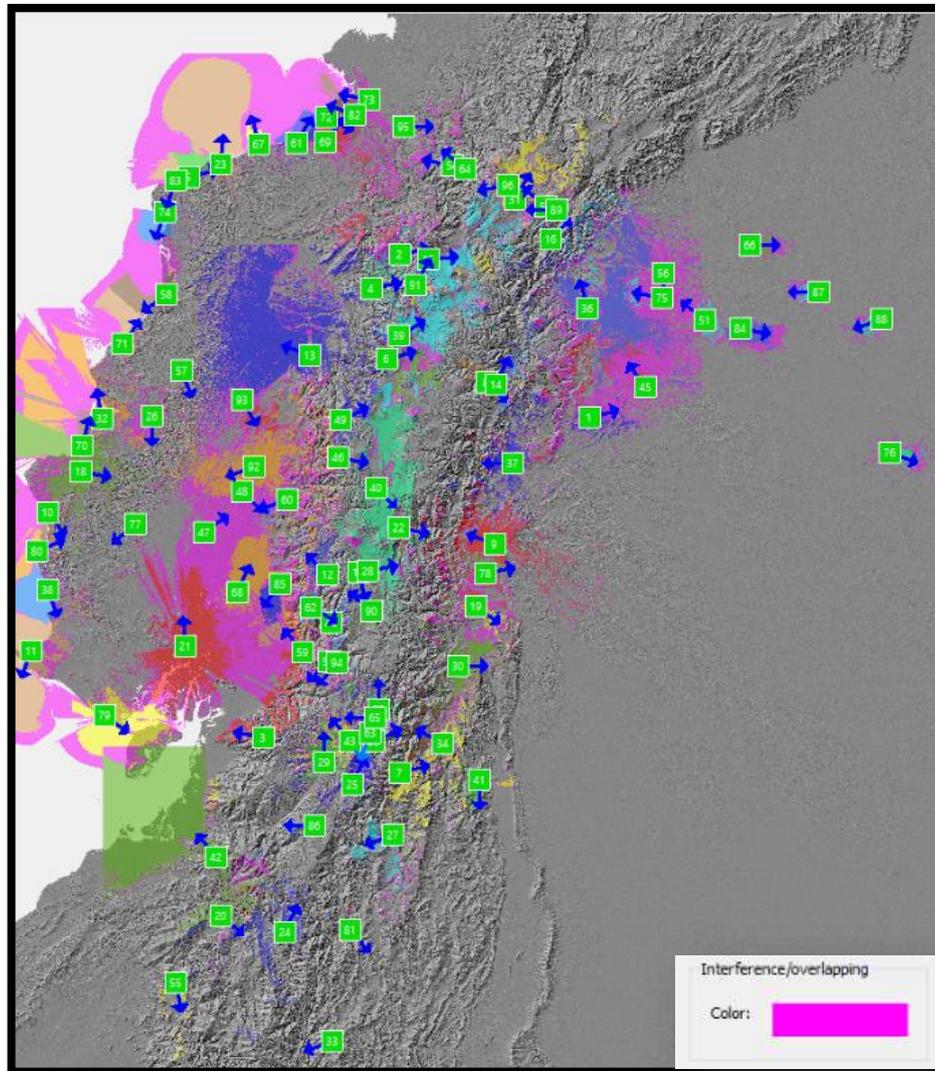
en el Mapa 7-3. El aumento de interferencias para este IG a comparación de su igual del modo 3, un incremento del 6.46 % en la zona de los transmisores ubicado en la región sierra por ejemplo (64, 95, 3, 52, 73), para la simulación con el mismo IG 8K se encontraba con un 3% o 4% de interferencias, para la zona costa vemos que también incrementó las interferencias, la más notable son en los transmisores 47 y 48, que las interferencias son de 72% y 62%, es decir que no existe buena cobertura en esa zona, en el transmisor 21 tiene un incremento del 31% de interferencias, otra de las interferencias notables es el transmisor 75 con un 25 %.



Mapa 7-3: Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/4.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Modificando el intervalo de guarda a 1/8 para modo 2, tenemos un tiempo de guarda de 63 μ s, y una distancia 18,9 Km en sectores como la región sierra aumenta las interferencias lo cual no ocurre para IG con distancias más grandes. Como podemos observar las interferencias incrementa el porcentaje de cobertura para esta simulación es de 80,83 % en general, con un 19,17% de interferencias. Los transmisores más notables para la región costa es el 21 que aumento a un 52% en interferencias, el transmisor 47 con 84%, así también el transmisor 48 con un 86%, esto

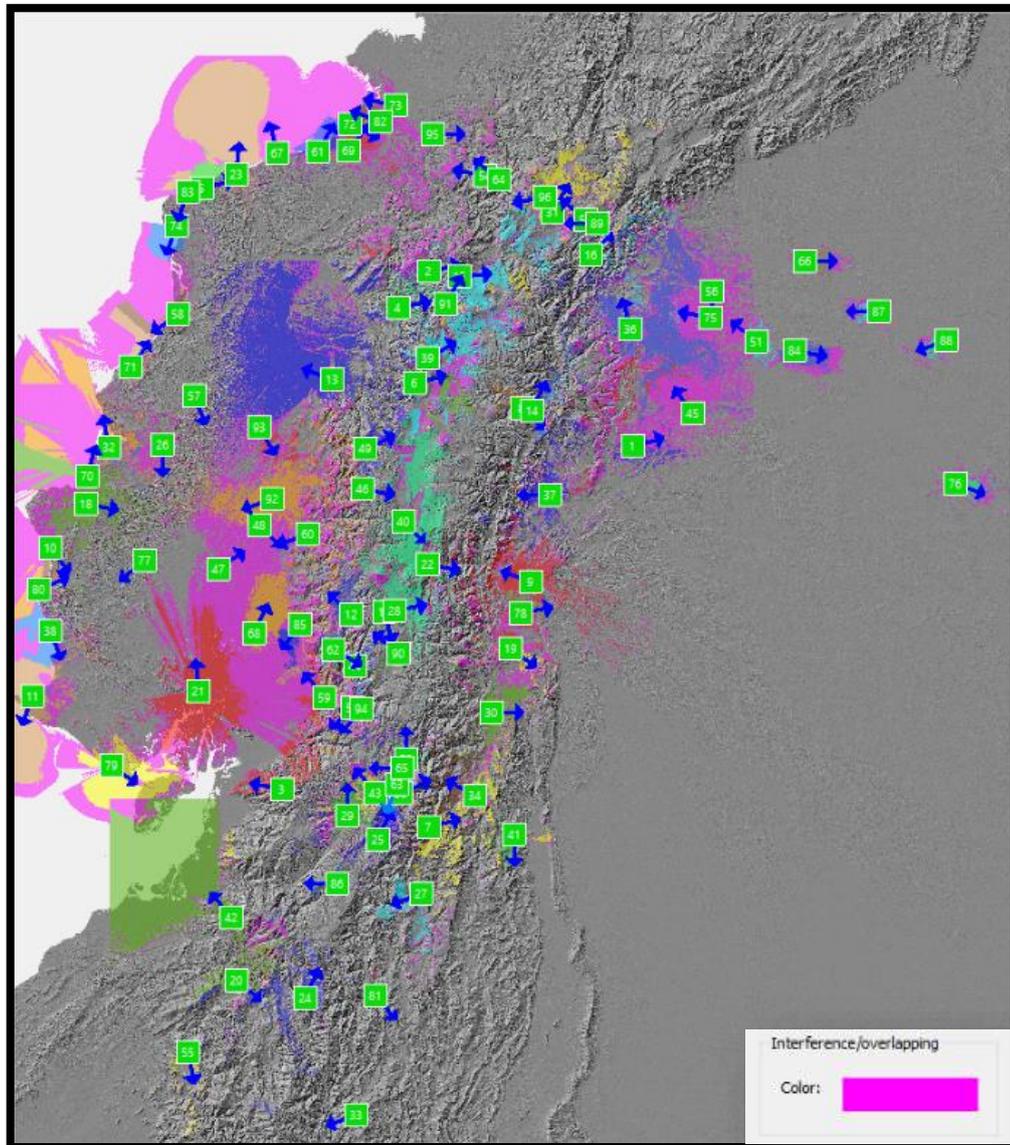
también ha producido interferencias a los transmisores aledaños, para la zona sierra el transmisor 6 y 39 la interferencia del 21% y 25% respectivamente, para el sector nororiente se nota un gran porcentaje de interferencias en comparación a los IG anteriores, por ejemplo el transmisor 45 tiene una interferencia de 79 %, el transmisor 75 con una interferencia de 55%. Mapa 8-3.



Mapa 8-3: Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/8.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018

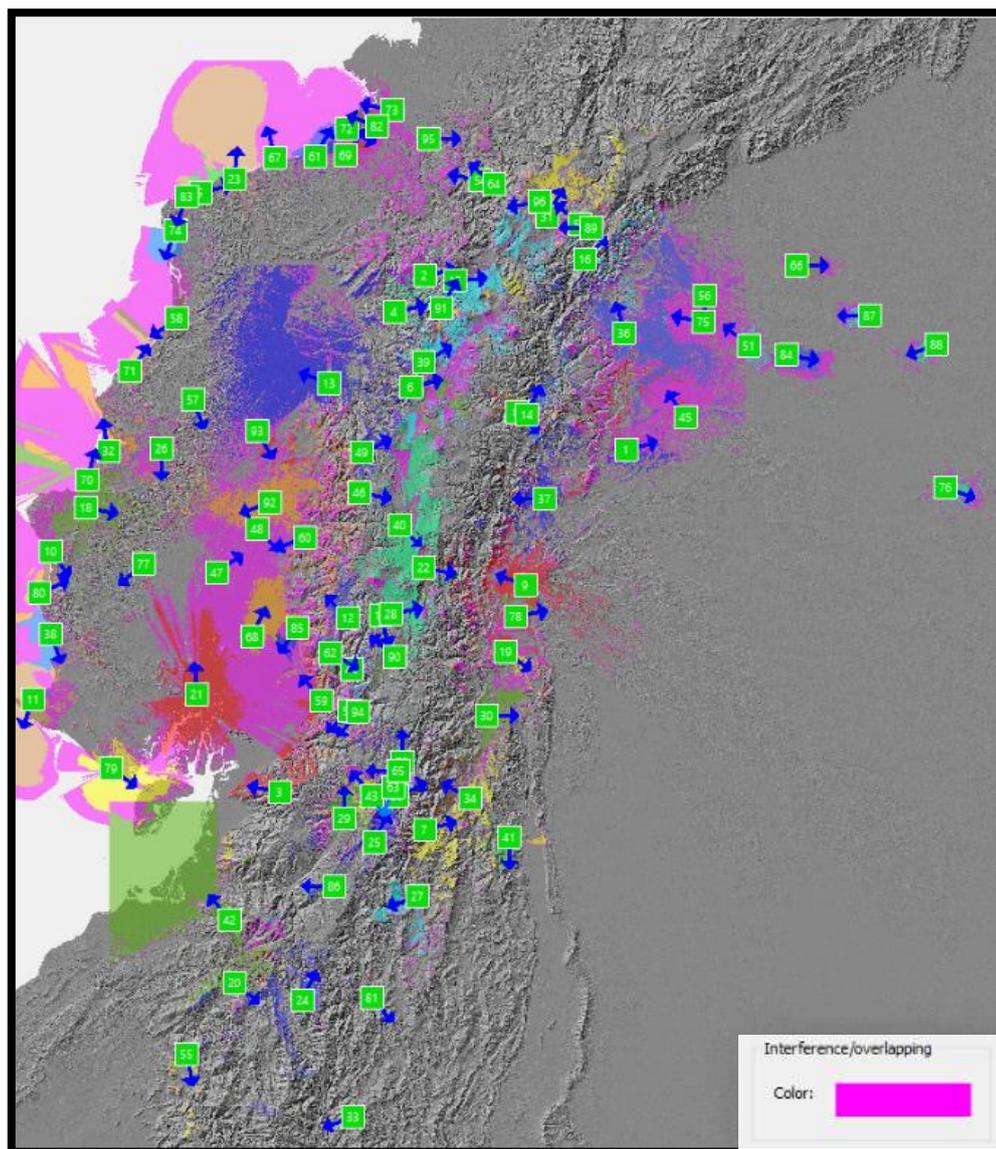
Para un intervalo de guarda de 1/16 de FFT 4k el tiempo de guarda se reduce hasta los 31,5 μ s al igual que la distancia a 9,45 Km, con un tiempo útil de 504 μ s, se realizó la simulación con estos datos lo que se muestra en el Mapa 9-3. El resultado no es muy óptimo con relación al intervalo de 1/4 de FFT 8K, el porcentaje de cobertura es de 77,39 % y un porcentaje de 22,61% de interferencia en las 3 regiones, siendo las zonas más evidentes de interferencia en los transmisores 21, 47 y 48 con un alto porcentaje de interferencia, en la región sierra también se presenta interferencias en transmisores 40, 6, 39 con un porcentaje de 15%, 42%, 31% respectivamente,

para la zona del oriente incrementa un 5% más que el porcentaje del anterior intervalo de guarda 1/8.



Mapa 9-3: Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/16.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Para este IG de 1/32 del modo 2 con un tiempo de guarda 15,7 μ s y una distancia de 4,72 Km, los resultados no fueron los mejores es decir el incremento de interferencia paso de un 22.61 % a un 24.42% con respecto al intervalo anterior, su cobertura llega un 75.58% de las zonas cubiertas sin interferencias, en comparación con el intervalo de guarda de 1/4 del FFT 8K es un valor grande. En el Mapa 10-3. Podemos observar las interferencias para este IG.



Mapa 10-3: Cobertura ISDB-Tb, FFT 4K, Intervalo de guarda 1/32.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018

En la Tabla 4-3 podemos observar más a detalle el porcentaje aproximado de la cobertura de cada transmisor para el modo 2.

Tabla 4-3: Porcentaje de cobertura para el modo 2.

Sector	Tx	Cobertura IG 1/4	Cobertura IG 1/8	Cobertura IG 1/16	Cobertura IG 1/32
Loreto	1	80,00%	78,00%	76,00%	75,00%
Apuela	2	90,00%	88,00%	87,00%	86,00%
Molleturo (Canton Cuenca)	3	80,00%	87,00%	86,00%	85,00%
Nanegal	4	91,00%	89,00%	86,00%	86,00%
Atacames	5	90,00%	89,00%	89,00%	88,00%
Sur De Quito	6	84,0%	79,00%	58,00%	43,00%
General Leonidas Plaza	7	89,00%	86,00%	84,00%	82,00%
Pimampiro	8	91,00%	88,00%	83,00%	81,00%
Puyo	9	90,00%	87,00%	86,00%	84,00%

Puerto Cayo (Jipijapa)	10	78,00%	78,00%	76,00%	74,00%
Salinas, La Libertad, St	11	91,00%	89,00%	85,00%	83,00%
Guaranda	12	90,00%	89,00%	86,00%	84,00%
Santo Domingo	13	89,00%	87,00%	85,00%	83,00%
Baeza	14	92,00%	90,00%	88,00%	85,00%
Ibarra	15	93,00%	91,00%	87,00%	84,00%
La Bonita	16	61,00%	59,00%	57,00%	56,00%
La Union (Canto Colta)	17	92,00%	90,00%	88,00%	86,00%
Portoviejo	18	90,00%	87,00%	85,00%	84,00%
Huamboya	19	83,00%	79,00%	77,00%	75,00%
Olmedo	20	79,00%	76,00%	74,00%	73,00%
Guayaquil	21	69,0%	48,00%	40,00%	39,00%
Baños	22	93,00%	90,00%	87,00%	85,00%
Esmeraldas	23	88,00%	86,00%	85,00%	85,00%
Loja, Catamayo	24	95,00%	91,00%	88,00%	86,00%
Sigsig, Chordeleg, Gualaceo	25	91,00%	88,00%	86,00%	85,00%
Chone	26	90,00%	87,00%	84,00%	83,00%
Gualaquiza	27	91,00%	89,00%	86,00%	85,00%
Riobamba, Chambo, Guano	28	90,00%	87,00%	84,00%	82,00%
Cuenca	29	92,00%	90,00%	87,00%	85,00%
Macas, Sucua	30	89,00%	86,00%	83,00%	82,00%
Tulcan, Huaca	31	93,00%	90,00%	86,00%	85,00%
Bahia De Caraquez, San Vicente	32	87,00%	94,00%	90,00%	88,00%
Zamora	33	93,00%	89,00%	86,00%	84,00%
Santiago De Mendez	34	92,00%	88,00%	85,00%	83,00%
El Pan, Sevilla De Oro	35	90,00%	87,00%	84,00%	82,00%
Lumbaqui, El Dorado De Cascales	36	91,00%	89,00%	87,00%	85,00%
Tena, Archidona	37	89,00%	86,00%	83,00%	81,00%
Manglar Alto Canton Santa Elena	38	86,00%	83,00%	80,00%	78,00%
Quito	39	86,0%	75,00%	69,00%	67,00%
Ambato	40	95,0%	93,00%	85,00%	83,00%
Santiago Canton Tiwintza	41	93,00%	90,00%	88,00%	87,00%
Machala	42	91,00%	87,00%	85,00%	84,00%
Azogues, Biblian	43	92,00%	90,00%	88,00%	86,00%
Pallatanga	44	91,00%	86,00%	83,00%	82,00%
Puerto San Francisco De Orellana (Coca)	45	33,0%	21,00%	20,00%	20,00%
Zumbahua	46	90,0%	87,00%	85,00%	83,00%
Palenque	47	28,0%	16,00%	15,00%	15,00%
Mocache	48	38,0%	14,00%	14,00%	14,00%
Sigchos	49	89,0%	86,00%	84,00%	83,00%
Hiugra (Canto Alausi)	50	91,0%	88,00%	85,00%	84,00%
Dureno	51	81,0%	79,00%	77,00%	75,00%
Rivera (Canton Azogues)	52	92,0%	90,00%	86,00%	84,00%

El Carmelo (Tulcan)	53	92,0%	89,00%	87,00%	85,00%
El Chical (Tulcan)	54	91,00%	87,00%	85,00%	83,00%
Macara (Loja)	55	90,00%	88,00%	86,00%	84,00%
General Farfan	56	80,00%	78,00%	76,00%	75,00%
Flavio Alfaro	57	89,00%	85,00%	82,00%	81,00%
Pedernales	58	77,00%	74,00%	71,00%	69,00%
Cumanda, General Antonio	59	76,00%	73,00%	70,00%	69,00%
San Luis De Pambil (Canton Guaranda)	60	70,00%	68,00%	66,00%	65,00%
Las Peñas	61	88,00%	86,00%	83,00%	80,00%
Chillanes	62	91,00%	88,00%	85,00%	82,00%
Guachapala, Paute	63	92,00%	89,00%	86,00%	85,00%
Maldonado	64	84,00%	81,00%	78,00%	77,00%
Taday, Pindilig, Canton Azogues	65	88,00%	86,00%	84,00%	83,00%
Palmar	66	81,00%	78,00%	75,00%	73,00%
Rioverde	67	43,00%	42,00%	39,00%	37,00%
Babahoyo	68	91,00%	88,00%	86,00%	85,00%
Borbon Canto Eloy Alfaro	69	89,00%	86,00%	83,00%	82,00%
Crucita	70	84,00%	81,00%	79,00%	78,00%
Jama	71	85,00%	82,00%	80,00%	78,00%
Valdez	72	63,00%	60,00%	58,00%	56,00%
Mataje	73	81,0%	78,00%	74,00%	72,00%
Muisne	74	90,0%	88,00%	83,00%	81,00%
Nueva Loja	75	75,0%	45,00%	36,00%	31,00%
Nuevo Rocafuerte (Canton Aguarico)	76	83,00%	80,00%	76,00%	75,00%
Olmedo	77	88,00%	85,00%	80,00%	78,00%
Palora	78	79,00%	65,00%	45,00%	39,00%
Gral Villamil (Canton Playas)	79	80,0%	76,00%	71,00%	69,00%
Puerto Lopez	80	90,00%	88,00%	84,00%	82,00%
San Carlos De Las Minas	81	95,00%	90,00%	86,00%	84,00%
San Lorenzo	82	91,00%	87,00%	83,00%	81,00%
Tonchigue(Canto Esmeraldas)	83	91,00%	88,00%	84,00%	82,00%
Tarapoa	84	83,00%	80,00%	76,00%	75,00%
Montalvo	85	95,00%	91,00%	88,00%	84,00%
Nabon	86	92,00%	89,00%	85,00%	83,00%
Puerto El Carmen	87	93,00%	90,00%	84,00%	82,00%
Puerto Rodriguez	88	83,00%	81,00%	77,00%	75,00%
Santa Barbara	89	92,00%	88,00%	83,00%	82,00%
Guamote	90	95,00%	91,00%	85,00%	84,00%
San Jose De Minas (Canto Quito)	91	82,00%	79,00%	74,00%	73,00%
Quevedo	92	93,00%	90,00%	85,00%	82,00%
Paraiso La 14 (Manga Del Cura)	93	32,00%	29,00%	28,00%	28,00%
Chumchi	94	89,00%	86,00%	83,00%	81,00%

Tobar Donoso	95	90,00%	87,00%	82,00%	80,00%
Tufiño	96	88,00%	84,00%	80,00%	79,00%
Total		84,5%	80,83%	77,39%	75,58%

Realizado por: Valle Felipe, 2018.

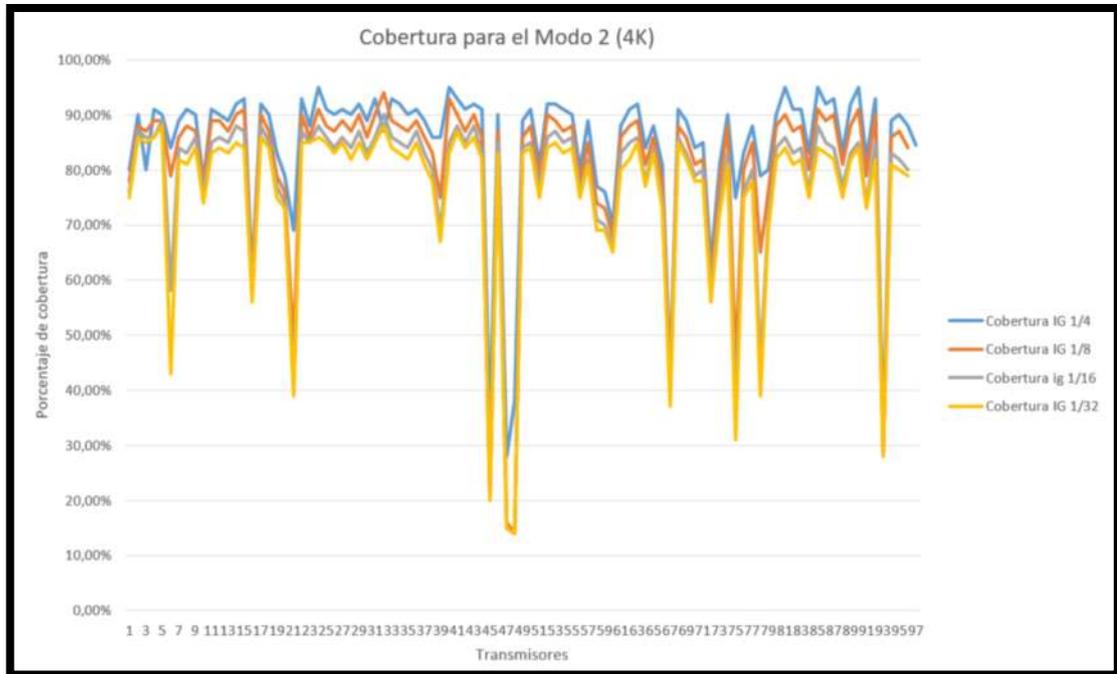


Gráfico 2-3: Comparativa del porcentaje de cobertura para el modo 2.

Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Al realizar las 8 simulaciones tanto para las 4 IG correspondientes al modo 2, como para las 4 IG del modo 3, el modo idóneo según estas comparativas es un IG de 1/4 con FFT 8K el cual se destacó sobre los demás, como podemos observar en la siguiente Grafica 3-3.

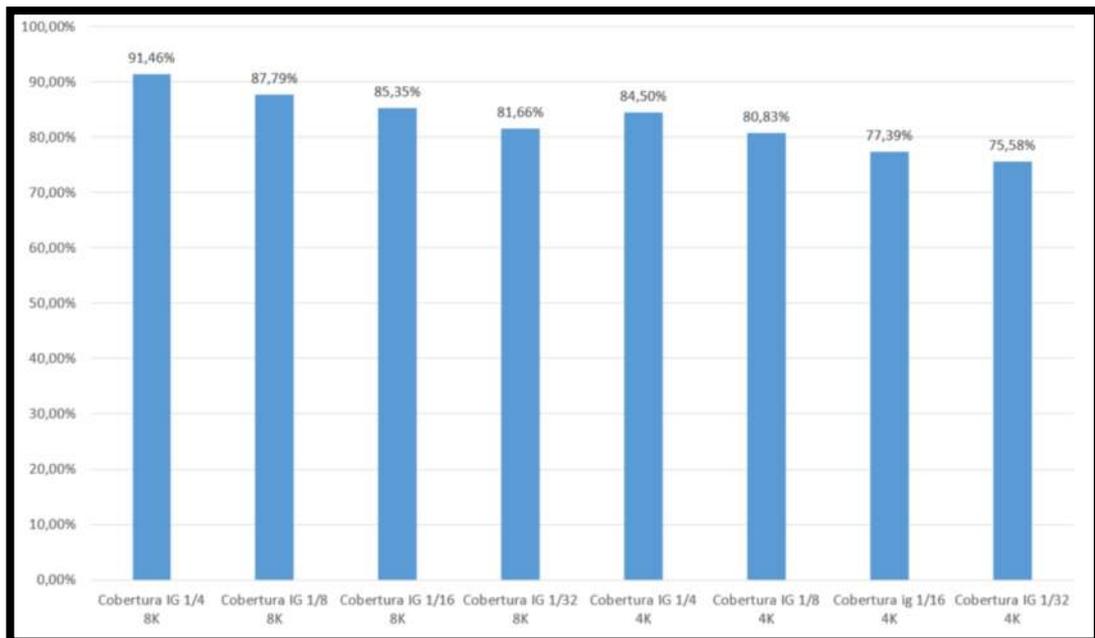
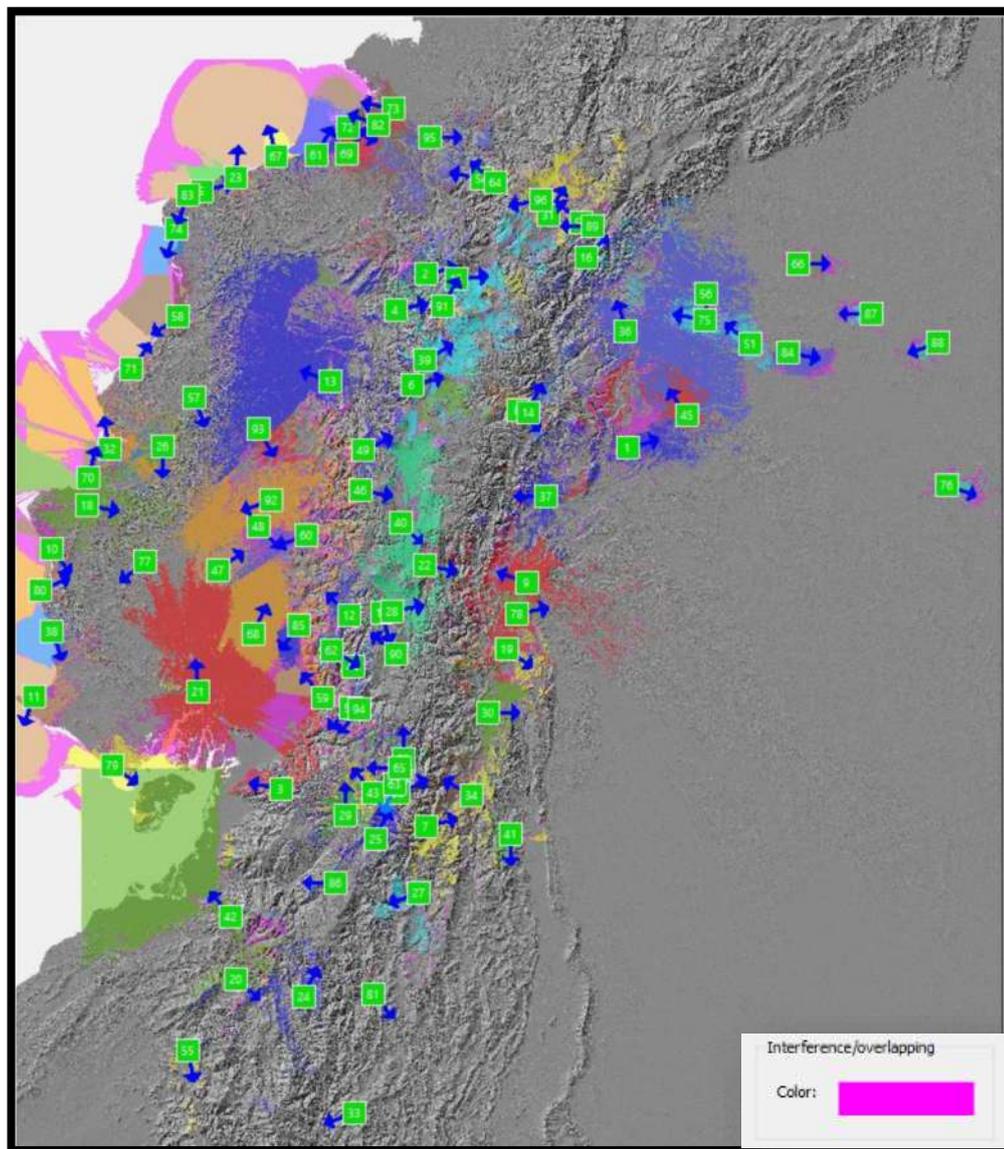


Gráfico 3-3: Porcentaje de cobertura modo 2 y modo 3.

Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Es el modo que menos interferencias tiene en toda la zona del Ecuador, zonas como los transmisores 21, 47 y 48 son zonas de mucho conflicto, los trasmisores 45, 51, 75, 56, también son algunos que producen altas interferencias entre sí, pero en este modo son los porcentajes de interferencias mucho más bajos, en comparación a los otros IG.

Otro punto a favor es las interferencias en la región sierra son mínimas con un porcentaje del 4% a 5%, con este FFT 8K se ha logrado reducir un porcentaje notable. Ya escogido el modo, se procedió a realizar una optimización de los retardos, para lograr reducir aún más las interferencias. Como podemos observar en el siguiente Mapa 11-3.



Mapa 11-3: Cobertura ISDB-Tb, FFT 8K, Intervalo de guarda 1/4, optimizado los retardos.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Como podemos observar con IG más pequeños se reduce la distancia lo que para este caso en particular las interferencias aumentan, para lo cual se escogió la IG de 1/4 (FFT 8K) con menos interferencias con un 91.46% de cobertura y un 8.45 % de interferencias se modificó los retardos

logrando un optimización idónea y determinar el modo apropiado para la planificación, donde fueron evaluados los diferentes modos llegando al resultado con el modo 3 con los siguientes parámetros para el despliegue de la red SFN, estos fueron comparados con los valores teóricos, dando como resultado la Tabla 7-3.

El modo seleccionado alcanza la distancia de 75.6 km, donde la distancia máxima entre transmisores no supera esta distancia, (Tabla 16-2 ponemos observar las distancias máximas de cada modo a detalle), se alcanza el 96 % de la población cubierta, utiliza una FFT de mayor tamaño de 8K, permitiendo el uso del intervalo de guarda de 1/4 y usar una codificación más robusta sin reducir la capacidad de transmisión conservando la distancia entre los transmisores, mejorando la ganancia en cobertura y usando una modulación más robusta.

El análisis de ganancia en la red que ofrece el modo seleccionado para ISDB-Tb con CNR requerido, lo que permite determinar que se puede incrementar la capacidad usando modulaciones de mayor orden a 64 QAM, a distancias máximas entre transmisores, como se mencionó anteriormente a altos FFT permite usar intervalos de guarda con una duración menor. Varios modos fueron evaluados, para este caso se tomó modos que tienen las mismas distancias SFN de 37,8 Km.

Tabla 5-3: Modos de ISDB-Tb para maximizar la cobertura.

Parámetros	ISDB-Tb	
	Modo 2	Modo 3
Tamaño de FFT	4 K	8 K
Modulación	64-QAM	64-QAM
Tasa de codificación	5/6	3/4
Intervalo de guarda	1/4	1/8
Capacidad	46.28 Mbps	42.58 Mbps
CNR Rice	22.6 dB	21.06 dB
CRN Rayleigh	25.65 dB	22.82 dB

Realizado por: VALLE, Felipe 2018

El modo 3 usa un FFT de mayor tamaño, lo que se traduce en un intervalo de guarda más pequeño manteniendo la distancia entre transmisores, al reducir el intervalo de guarda permite una codificación más robusta sin reducir la capacidad de transmisión, en comparación al modo 2 con una diferencia de 1,54 dB y 2,83 dB para recepción fija y portable respectivamente, sin embargo, el uso de FFT altos implica un menor desempeño en recepción móvil. En capacidad observamos una diferencia entre los modos 3,7 Mbps una pequeña diferencia transferencia de datos.

El análisis en ganancia en tamaño de la red SFN se puede analizar comparando y manteniendo la CNR, permitiendo incrementar la capacidad usando modulaciones de orden mayor como 64-QAM, y utilizar las distancias máximas usando FFT elevados con intervalos de guarda de menor duración.

Tabla 6-3: Modos ISDB-Tb para maximizar la capacidad y modulación.

Parámetros	ISDB-Tb	
	Modo 2	Modo 3
Tamaño FFT	4 K	8 K
Modulación	64-QAM	64-QAM
Tasa de codificación	5/6	3/4
Intervalo de guarda	1/4	1/4
CNR	22.82 dB	22.82 dB
Distancias SFN	37,8 Km	75,6 Km
Capacidad	40,74 Mbps	42,58 Mbps

Realizado por: VALLE, Felipe 2018.

Como podemos ver al usar el modo 3, el cual implica distancias más grandes entre los transmisores en comparación con el modo 2, pero a costa de la movilidad, sin embargo, el estudio está dedicado a recepción fija en azoteas, lo que permite usar el máximo de FFT (8K) con la finalidad de máxima la capacidad.

Al optimizar la red SFN, con los parámetros de la Tabla 7-3 y los de retardos que se puede observar en el Anexo D, es posible disminuir un 2% de en promedio las interferencias de todas las zonas. La elección del modo 3 para el estándar deber estar equilibrado entre una ganancia de cobertura, capacidad y tamaño máximo en la red.

Tabla 7-3: Modo ISDB-tb para maximizar cobertura.

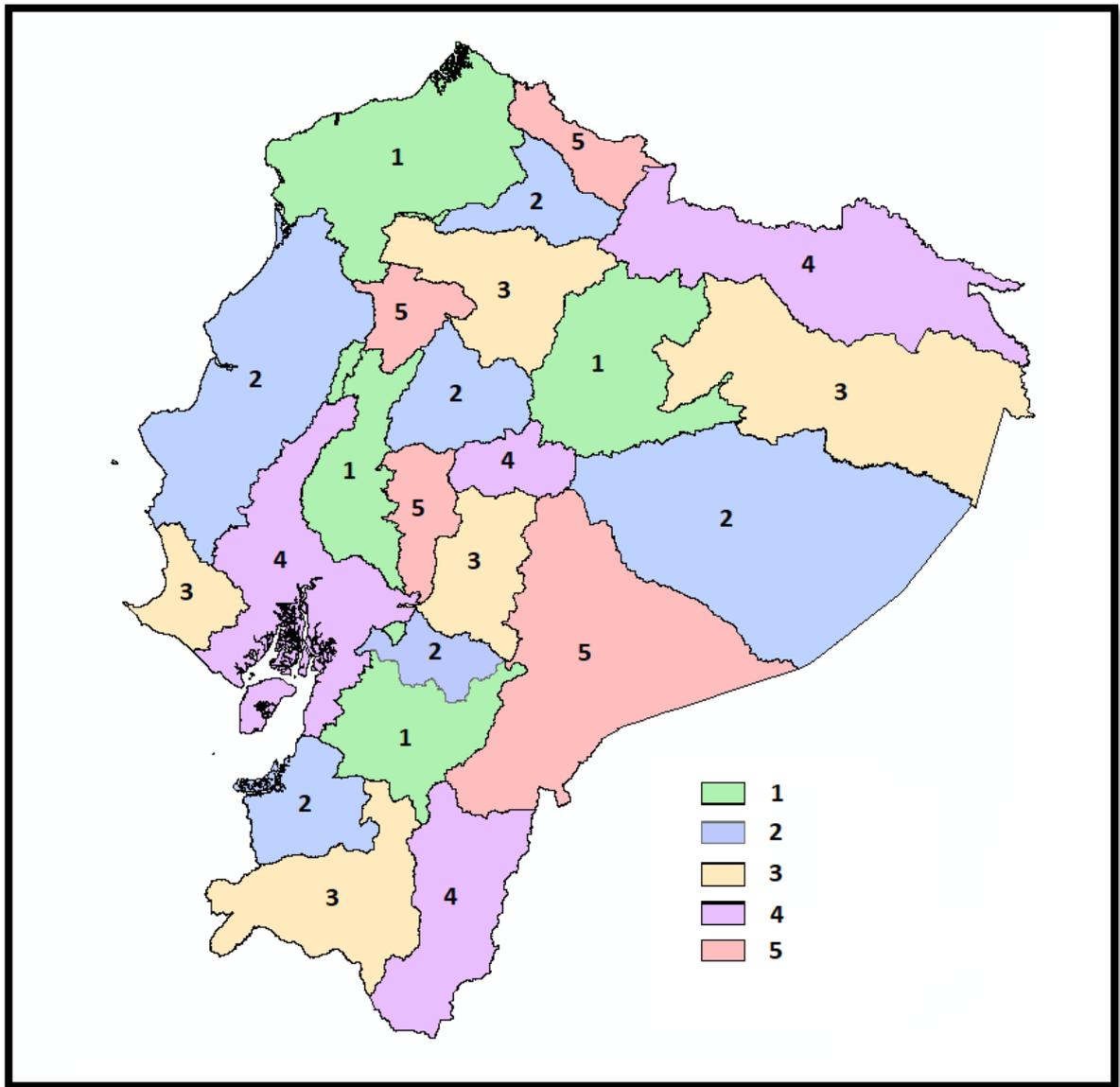
Parámetros	Modo 3
Tamaño FFT	8k
Modulación	64 QAM
Tasa de codificación	3/4
Intervalo de guarda	1/4
Capacidad	42.58 Mbps
CNR Rayleig	22.8 dB
Tiempo de guarda	252 μ s
Tiempo útil de símbolo	1008 μ s
Tiempo total de símbolo	1260 μ s

Realizado por: VALLE, Felipe 2018.

3.4. Plan de frecuencias para TDT en el Ecuador

Al determinar las condiciones del plan de frecuencias se realiza una síntesis para la misma, donde se usó grafos para la adyacencia de cada una de las áreas de adjudicación. Para ello se usó la distancia de 23 km (ver sección 2.2.7), que es la distancia calculada donde se puede encontrar interferencias al ser re-usadas, por lo tanto, el área que se encuentran dentro de esta distancia son analizadas.

Usando un algoritmo de coloreado secuencial se realizó la asignación de frecuencias a cada provincia donde se necesitó de 5 frecuencias para cubrir todo el país, cumpliendo con la distancia antes mencionada para que no existan interferencias en la red como podemos observar en el Mapa 12-3, y resumida en la Tabla 8-3. En la tabla 7-3 se detalla la asignación del coloreado.



Mapa 12-3: Tentativa para adjudicación de frecuencias en las provincias.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018.

En la Tabla 8-3 se especifica la asignación del área de adjudicación:

Tabla 8-3: Coloreado para el servicio provincial.

Área de adjudicación	1	7	11	19	14	3	6	9	2	13	24	12
Color	1	2	3	4	5	2	3	4	5	2	3	1
Área de adjudicación	5	18	23	15	16	22	21	17	10	8	4	20
Color	2	4	5	1	2	3	4	3	2	1	5	x

Realizado por: VALLE, Felipe 2018

Al determinada tanto la matriz de distancias como la matriz de adyacencias se procede a realizar una comparativa, de forma que si la distancia supera a la distancia de re-uso se le asigna un 1, de lo contrario se le asigna un 0, para finalizar se realiza un algoritmo basado en coloreado secuencial, que se realizó con un programa matemático especializado como octave. El resultado se observa en la siguiente Tabla 9-3.

Tabla 9-3: Coloreado secuencial y asignación de frecuencias.

PROV 1	PROV 2	DIST (m)	DIST (km)	BIN	FREC
Azuay	Bolívar	43052,164	43,052	1	6
Azuay	Cañar	0	0	0	2
Azuay	Carchi	332007,546	332,008	1	6
Azuay	Cotopaxi	143090,360	143,090	1	6
Azuay	Chimborazo	0	0	0	3
Azuay	El Oro	0	0	0	2
Azuay	Esmeraldas	263395,398	263,395	1	6
Azuay	Guayas	0	0	0	4
Azuay	Imbabura	298355,444	298,355	1	6
Azuay	Loja	0	0	0	3
Azuay	Los Ríos	45436,044	45,436	1	6
Azuay	Manabí	124541,787	124,542	1	6
Azuay	Morona Santiago	0	0	0	5
Azuay	Napo	153843,671	153,844	1	6
Azuay	Pastaza	101006,452	101,006	1	6
Azuay	Pichincha	203913,548	203,914	1	6
Azuay	Tungurahua	115914,053	115,914	1	6
Azuay	Zamora Chinchipe	0	0	0	4
Azuay	Sucumbíos	286284,241	286,284	1	6
Azuay	Orellana	207124,421	207,124	1	6
Azuay	Santo Domingo De Los Tsáchilas	198971,025	198,971	1	6
Azuay	Santa Elena	86926,105	86,926	1	6
Azuay	Zona No Delimitada	10343,254	10,343	x	x
Bolívar	Cañar	1555,600	1,556	0	2
Bolívar	Carchi	203501,640	203,502	1	6
Bolívar	Cotopaxi	0	0	0	2
Bolívar	Chimborazo	0	0	0	3
Bolívar	El Oro	117552,832	117,553	1	6
Bolívar	Esmeraldas	117638,271	117,638	1	6
Bolívar	Guayas	0	0	0	4
Bolívar	Imbabura	150694,840	150,695	1	6
Bolívar	Loja	127829,504	127,830	1	6
Bolívar	Los Ríos	0	0	0	1
Bolívar	Manabí	55475,140	55,475	1	6
Bolívar	Morona Santiago	43149,668	43,150	1	6
Bolívar	Napo	55537,463	55,537	1	6
Bolívar	Pastaza	77123,362	77,123	1	6
Bolívar	Pichincha	60264,266	60,264	1	6
Bolívar	Tungurahua	0	0	0	4
Bolívar	Zamora Chinchipe	127460,390	127,460	1	6
Bolívar	Sucumbíos	171651,427	171,651	1	6
Bolívar	Orellana	144619,347	144,619	1	6

Bolívar	Santo Domingo De Los Tsáchilas	52861,575	52,862	1	6
Bolívar	Santa Elena	107754,919	107,755	1	6
Bolívar	Zona No Delimitada	15214,749	15,215	x	x
Cañar	Carchi	318961,768	318,962	1	6
Cañar	Cotopaxi	111023,313	111,023	1	6
Cañar	Chimborazo	0	0	0	3
Cañar	El Oro	65112,469	65,112	1	6
Cañar	Esmeraldas	233448,392	233,448	1	6
Cañar	Guayas	0	0	0	4
Cañar	Imbabura	267960,801	267,961	1	6
Cañar	Loja	69454,068	69,454	1	6
Cañar	Los Ríos	11190,144	11,190	0	1
Cañar	Manabí	113376,869	113,377	1	6
Cañar	Morona Santiago	1263,482	1,263	0	5
Cañar	Napo	142588,674	142,589	1	6
Cañar	Pastaza	108743,237	108,743	1	6
Cañar	Pichincha	177669,820	177,670	1	6
Cañar	Tungurahua	87455,772	87,456	1	6
Cañar	Zamora Chinchipe	55942,749	55,943	1	6
Cañar	Sucumbíos	278297,477	278,297	1	6
Cañar	Orellana	206515,252	206,515	1	6
Cañar	Santo Domingo De Los Tsáchilas	168124,961	168,125	1	6
Cañar	Santa Elena	80798,287	80,798	1	6
Cañar	Zona No Delimitada	0	0	x	x
Carchi	Cotopaxi	129025,505	129,026	1	6
Carchi	Chimborazo	211396,134	211,396	1	6
Carchi	El Oro	433653,514	433,654	1	6
Carchi	Esmeraldas	0	0	0	1
Carchi	Guayas	214430,599	214,431	1	6
Carchi	Imbabura	0	0	0	2
Carchi	Loja	441570,118	441,570	1	6
Carchi	Los Ríos	159594,974	159,595	1	6
Carchi	Manabí	145032,887	145,033	1	6
Carchi	Morona Santiago	202868,330	202,868	1	6
Carchi	Napo	35714,204	35,714	1	6
Carchi	Pastaza	163845,780	163,846	1	6
Carchi	Pichincha	25163,578	25,164	1	6
Carchi	Tungurahua	161249,442	161,249	1	6
Carchi	Zamora Chinchipe	427283,486	427,283	1	6
Carchi	Sucumbíos	0	0	0	4
Carchi	Orellana	72163,334	72,163	1	6
Carchi	Santo Domingo De Los Tsáchilas	107245,231	107,245	1	6
Carchi	Santa Elena	370528,745	370,529	1	6

Carchi	Zona No Delimitada	75691,909	75,692	1	6
Cotopaxi	Chimborazo	28034,461	28,034	1	6
Cotopaxi	El Oro	211867,731	211,868	1	6
Cotopaxi	Esmeraldas	50627,167	50,627	1	6
Cotopaxi	Guayas	20998,333	20,998	0	4
Cotopaxi	Imbabura	59152,023	59,152	1	6
Cotopaxi	Loja	235362,739	235,363	1	6
Cotopaxi	Los Ríos	0	0	0	1
Cotopaxi	Manabí	35665,458	35,665	1	6
Cotopaxi	Morona Santiago	47257,701	47,258	1	6
Cotopaxi	Napo	0	0	0	1
Cotopaxi	Pastaza	39053,691	39,054	1	6
Cotopaxi	Pichincha	0	0	0	3
Cotopaxi	Tungurahua	0	0	0	4
Cotopaxi	Zamora Chinchipe	234697,945	234,698	1	6
Cotopaxi	Sucumbíos	98555,636	98,556	1	6
Cotopaxi	Orellana	88106,010	88,106	1	6
Cotopaxi	Santo Domingo De Los Tsáchilas	0	0	0	5
Cotopaxi	Santa Elena	145319,496	145,319	1	6
Cotopaxi	Zona No Delimitada	33784,391	33,784	x	x
Chimborazo	El Oro	109031,426	109,031	1	6
Chimborazo	Esmeraldas	158300,249	158,300	1	6
Chimborazo	Guayas	0	0	0	4
Chimborazo	Imbabura	174559,211	174,559	1	6
Chimborazo	Loja	112115,558	112,116	1	6
Chimborazo	Los Ríos	6496,850	6,497	0	1
Chimborazo	Manabí	111461,014	111,461	1	6
Chimborazo	Morona Santiago	0	0	0	5
Chimborazo	Napo	33168,196	33,168	1	6
Chimborazo	Pastaza	21346,468	21,346	0	2
Chimborazo	Pichincha	79794,508	79,795	1	6
Chimborazo	Tungurahua	0	0	0	4
Chimborazo	Zamora Chinchipe	96036,172	96,036	1	6
Chimborazo	Sucumbíos	169371,747	169,372	1	6
Chimborazo	Orellana	106851,321	106,851	1	6
Chimborazo	Santo Domingo De Los Tsáchilas	95982,418	95,982	1	6
Chimborazo	Santa Elena	104948,822	104,949	1	6
Chimborazo	Zona No Delimitada	9874,762	9,875	x	x
El Oro	Esmeraldas	326898,098	326,898	1	6
El Oro	Guayas	0	0	0	4
El Oro	Imbabura	371964,400	371,964	1	6
El Oro	Loja	0	0	0	3
El Oro	Los Ríos	118766,106	118,766	1	6

El Oro	Manabí	134569,322	134,569	1	6
El Oro	Morona Santiago	54306,761	54,307	1	6
El Oro	Napo	259822,853	259,823	1	6
El Oro	Pastaza	239745,477	239,745	1	6
El Oro	Pichincha	289742,942	289,743	1	6
El Oro	Tungurahua	202220,295	202,220	1	6
El Oro	Zamora Chinchipe	20210,458	20,210	0	4
El Oro	Sucumbíos	395615,209	395,615	1	6
El Oro	Orellana	333738,846	333,739	1	6
El Oro	Santo Domingo De Los Tsáchilas	265531,928	265,532	1	6
El Oro	Santa Elena	73756,102	73,756	1	6
El Oro	Zona No Delimitada	83121,630	83,122	x	x
Esmeraldas	Guayas	80269,340	80,269	1	6
Esmeraldas	Imbabura	0	0	0	2
Esmeraldas	Loja	355416,138	355,416	1	6
Esmeraldas	Los Ríos	46991,682	46,992	1	6
Esmeraldas	Manabí	0	0	0	2
Esmeraldas	Morona Santiago	190304,972	190,305	1	6
Esmeraldas	Napo	81898,509	81,899	1	6
Esmeraldas	Pastaza	183683,680	183,684	1	6
Esmeraldas	Pichincha	0	0	0	3
Esmeraldas	Tungurahua	128575,605	128,576	1	6
Esmeraldas	Zamora Chinchipe	360040,301	360,040	1	6
Esmeraldas	Sucumbíos	68933,136	68,933	1	6
Esmeraldas	Orellana	143408,035	143,408	1	6
Esmeraldas	Santo Domingo De Los Tsáchilas	0	0	0	5
Esmeraldas	Santa Elena	212159,182	212,159	1	6
Esmeraldas	Zona No Delimitada	0	0	x	x
Guayas	Imbabura	129432,207	129,432	1	6
Guayas	Loja	42811,517	42,812	1	6
Guayas	Los Ríos	0	0	0	1
Guayas	Manabí	0	0	0	2
Guayas	Morona Santiago	60707,787	60,708	1	6
Guayas	Napo	119873,878	119,874	1	6
Guayas	Pastaza	127740,398	127,740	1	6
Guayas	Pichincha	82367,748	82,368	1	6
Guayas	Tungurahua	73856,448	73,856	1	6
Guayas	Zamora Chinchipe	80534,907	80,535	1	6
Guayas	Sucumbíos	199447,454	199,447	1	6
Guayas	Orellana	211443,755	211,444	1	6
Guayas	Santo Domingo De Los Tsáchilas	23764,801	23,765	1	6
Guayas	Santa Elena	0	0	0	3
Guayas	Zona No Delimitada	0	0	x	x

Imbabura	Loja	394150,010	394,150	1	6
Imbabura	Los Ríos	84443,013	84,443	1	6
Imbabura	Manabí	63044,902	63,045	1	6
Imbabura	Morona Santiago	173973,374	173,973	1	6
Imbabura	Napo	19343,305	19,343	0	1
Imbabura	Pastaza	146495,367	146,495	1	6
Imbabura	Pichincha	0	0	0	3
Imbabura	Tungurahua	124315,553	124,316	1	6
Imbabura	Zamora Chinchipe	391046,901	391,047	1	6
Imbabura	Sucumbíos	0	0	0	4
Imbabura	Orellana	68746,446	68,746	1	6
Imbabura	Santo Domingo De Los Tsáchilas	28865,922	28,866	1	6
Imbabura	Santa Elena	277769,131	277,769	1	6
Imbabura	Zona No Delimitada	0	0	x	x
Loja	Los Ríos	134139,693	134,140	1	6
Loja	Manabí	188046,294	188,046	1	6
Loja	Morona Santiago	27786,207	27,786	1	6
Loja	Napo	263418,022	263,418	1	6
Loja	Pastaza	225389,118	225,389	1	6
Loja	Pichincha	303921,381	303,921	1	6
Loja	Tungurahua	213261,221	213,261	1	6
Loja	Zamora Chinchipe	0	0	0	4
Loja	Sucumbíos	399561,997	399,562	1	6
Loja	Orellana	329552,419	329,552	1	6
Loja	Santo Domingo De Los Tsáchilas	291262,354	291,262	1	6
Loja	Santa Elena	142929,022	142,929	1	6
Loja	Zona No Delimitada	96609,164	96,609	x	x
Los Ríos	Manabí	4350,129	4,350	1	6
Los Ríos	Morona Santiago	71555,466	71,555	1	6
Los Ríos	Napo	75471,884	75,472	1	6
Los Ríos	Pastaza	119242,864	119,243	1	6
Los Ríos	Pichincha	26963,037	26,963	1	6
Los Ríos	Tungurahua	36657,936	36,658	1	6
Los Ríos	Zamora Chinchipe	136560,803	136,561	1	6
Los Ríos	Sucumbíos	143759,630	143,760	1	6
Los Ríos	Orellana	162175,167	162,175	1	6
Los Ríos	Santo Domingo De Los Tsáchilas	0	0	0	5
Los Ríos	Santa Elena	63856,252	63,856	1	6
Los Ríos	Zona No Delimitada	0	0	x	x
Manabí	Morona Santiago	164216,086	164,216	1	6
Manabí	Napo	114522,118	114,522	1	6
Manabí	Pastaza	168703,475	168,703	1	6
Manabí	Pichincha	22683,967	22,684	0	3

Manabí	Tungurahua	97408,341	97,408	1	6
Manabí	Zamora Chinchipe	222717,216	222,717	1	6
Manabí	Sucumbíos	163163,615	163,164	1	6
Manabí	Orellana	198218,247	198,218	1	6
Manabí	Santo Domingo De Los Tsáchilas	0	0	0	5
Manabí	Santa Elena	0	0	0	3
Manabí	Zona No Delimitada	0	0	x	x
Morona Santiago	Napo	24195,521	24,196	1	6
Morona Santiago	Pastaza	0	0	0	2
Morona Santiago	Pichincha	85301,997	85,302	1	6
Morona Santiago	Tungurahua	0	0	0	4
Morona Santiago	Zamora Chinchipe	0	0	0	4
Morona Santiago	Sucumbíos	156409,888	156,410	1	6
Morona Santiago	Orellana	83294,785	83,295	1	6
Morona Santiago	Santo Domingo De Los Tsáchilas	135251,996	135,252	1	6
Morona Santiago	Santa Elena	179662,730	179,663	1	6
Morona Santiago	Zona No Delimitada	68181,020	68,181	x	x
Napo	Pastaza	0	0	0	2
Napo	Pichincha	0	0	0	3
Napo	Tungurahua	0	0	0	4
Napo	Zamora Chinchipe	248698,795	248,699	1	6
Napo	Galápagos	1206646,874	1206,647	1	6
Napo	Sucumbíos	0	0	0	4
Napo	Orellana	0	0	0	3
Napo	Santo Domingo De Los Tsáchilas	56532,066	56,532	1	6
Napo	Santa Elena	235109,038	235,109	1	6
Napo	Zona No Delimitada	101173,764	101,174	x	x
Pastaza	Pichincha	64939,702	64,940	1	6
Pastaza	Tungurahua	0	0	0	4
Pastaza	Zamora Chinchipe	180992,036	180,992	1	6
Pastaza	Sucumbíos	61047,530	61,048	1	6
Pastaza	Orellana	0	0	0	3
Pastaza	Santo Domingo De Los Tsáchilas	124227,203	124,227	1	6
Pastaza	Santa Elena	240002,039	240,002	1	6
Pastaza	Zona No Delimitada	149321,141	149,321	x	x
Pichincha	Tungurahua	30089,392	30,089	1	6
Pichincha	Zamora Chinchipe	296066,989	296,067	1	6
Pichincha	Sucumbíos	0	0	0	4
Pichincha	Orellana	56692,239	56,692	1	6
Pichincha	Santo Domingo De Los Tsáchilas	0	0	0	5
Pichincha	Santa Elena	232949,667	232,950	1	6

Pichincha	Zona No Delimitada	0	0	x	x
Tungurahua	Zamora Chinchipe	205752,413	205,752	1	6
Tungurahua	Sucumbíos	120356,882	120,357	1	6
Tungurahua	Orellana	66135,261	66,135	1	6
Tungurahua	Santo Domingo De Los Tsáchilas	71115,831	71,116	1	6
Tungurahua	Santa Elena	166020,092	166,020	1	6
Tungurahua	Zona No Delimitada	89261,933	89,262	x	x
Zamora Chinchipe	Sucumbíos	382971,961	382,972	1	6
Zamora Chinchipe	Orellana	299570,756	299,571	1	6
Zamora Chinchipe	Santo Domingo De Los Tsáchilas	294753,689	294,754	1	6
Zamora Chinchipe	Santa Elena	180553,611	180,554	1	6
Zamora Chinchipe	Zona No Delimitada	102810,583	102,811	x	x
Sucumbíos	Orellana	0	0	0	3
Sucumbíos	Santo Domingo De Los Tsáchilas	95072,700	95,073	1	6
Sucumbíos	Santa Elena	351140,554	351,141	1	6
Sucumbíos	Zona No Delimitada	108419,436	108,419	x	x
Orellana	Santo Domingo De Los Tsáchilas	128040,987	128,041	1	6
Orellana	Santa Elena	323094,131	323,094	1	6
Orellana	Zona No Delimitada	174530,777	174,531	x	x
Santo Domingo De Los Tsáchilas	Santa Elena	179690,696	179,691	1	6
Santo Domingo De Los Tsáchilas	Zona No Delimitada	0	0	x	x
Santa Elena	Zona No Delimitada	94905,170	94,905	x	x

Realizado por: VALLE, Felipe 2018

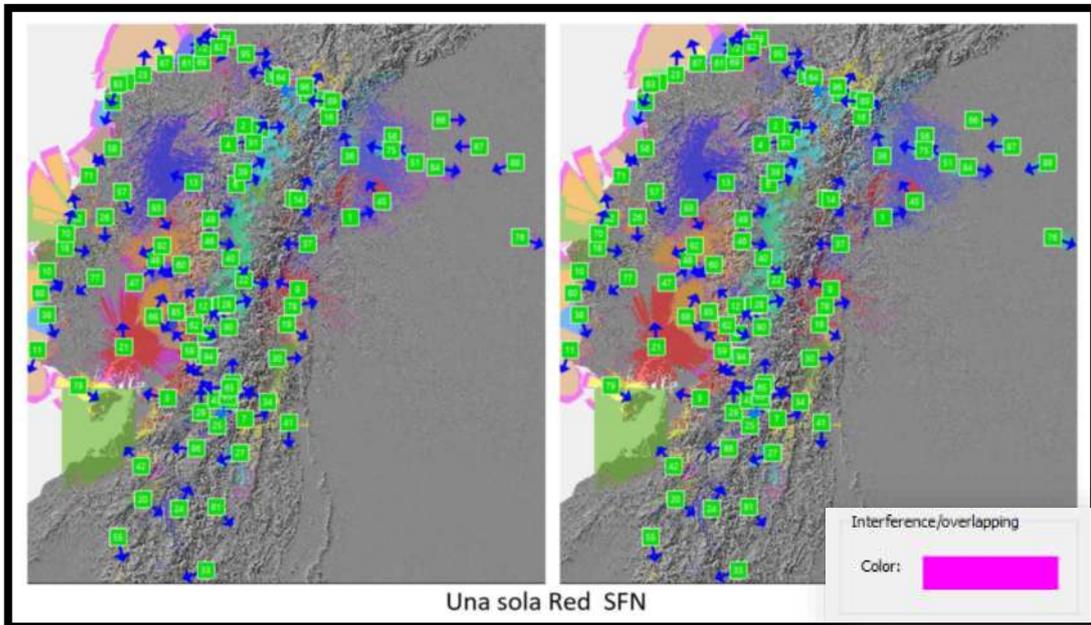
3.5. Número mínimo de redes SFN para el Ecuador

Para la planificación se ha elegido dividir al Ecuador en tres zonas para poder observar el rango de cobertura e interferencias, implementando una, dos y tres redes y observar si es posible cubrir todo el territorio y revisar cuál es el más óptimo para la región usando los parámetros antes vistos. En el Anexo D se detalla los parámetros, ubicaciones de los transmisores y retrasos optimizados para la televisión pública Ecuador TV.

En primer lugar, se analiza las interferencias producidas con la configuración previa a la optimización de los retardos (figura del lado izquierdo), optimizado los retardos (figura del lado derecho). Para el análisis se usó la relación de protección descritos en la Tabla 1-2.

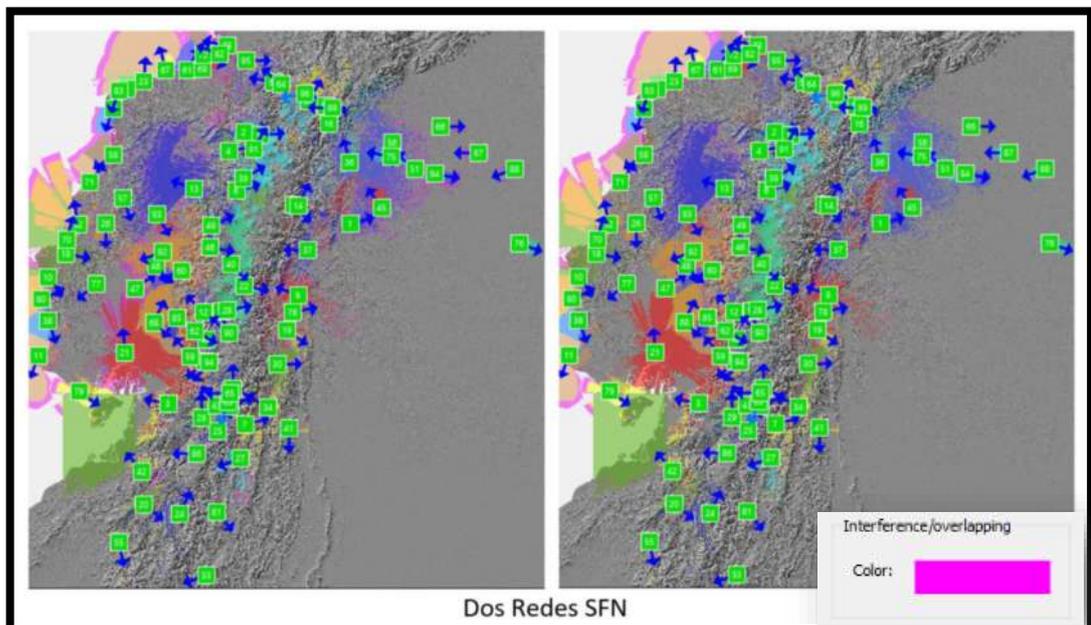
La configuración de una sola red SFN para el Ecuador presenta varias zonas con interferencia en la zona norte Imbabura y Carchi en los trasmisores 96, 31, 53, y 89 con un 15 % y centros sur en las provincias de Cañar (Tx 59), Manabí (Tx 85) con un 10%, Guayas (Tx 68, 21), es una zona

de alta interferencia con el 26%, se configuro los retardos sin embargo no se logró reducir en gran medida las interferencias.



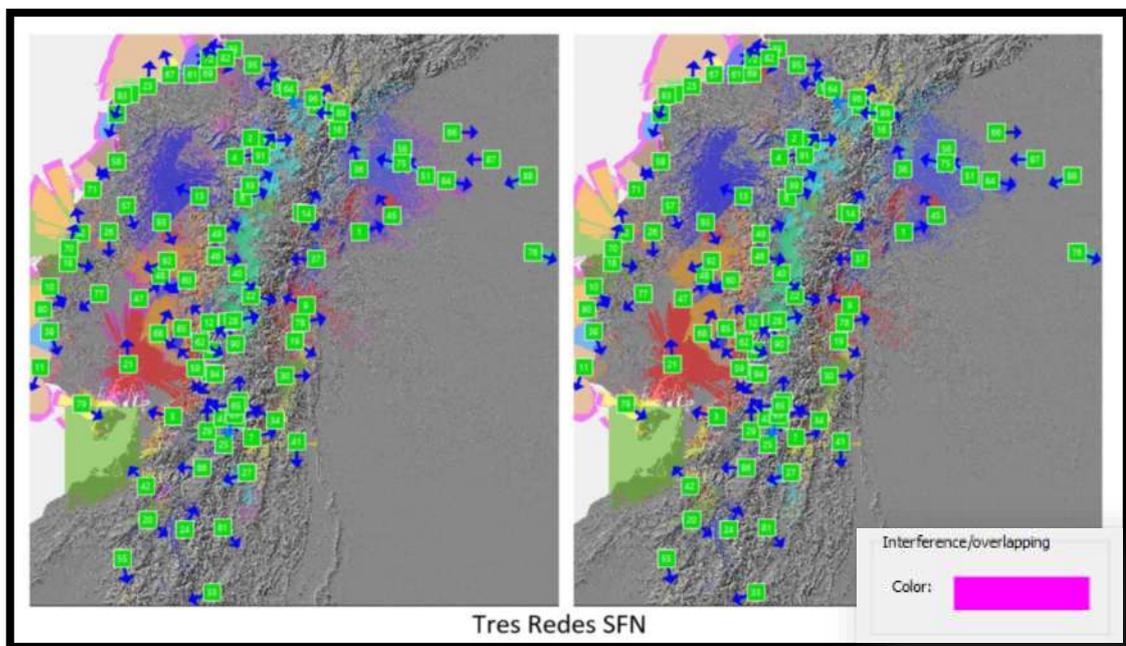
Mapa 14-3: Cobertura e interferencias en una red SFN, intervalo de guarda de 1/4, FFT 8K.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

En la Figura 14-3 podemos observar la red que cubre toda la región, la geografía del Ecuador también ayuda que no existan interferencias sin embargo existe varias zonas que se solapan y producen interferencias en la red SFN. Como observamos es posible cubrir todo el Ecuador con una sola red SFN, pero con un porcentaje alto de población con interferencia (12%). Mejorando un 2 % optimizando los retardos.



Mapa 15-3: Cobertura e interferencias en dos redes SFN, intervalo de guarda de 1/4, FFT 8K
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

En el Mapa 15-3 se implementó dos redes SFN una para la región costa y otra para la región sierra y oriente, en esta simulación no fue necesario realizar en todas las zonas una optimización de retardos, en la zona norte del país se encuentra un conjunto de transmisores que necesitaron un pequeño ajuste de retraso se logró un 2% de mejoría en la red en ese sector. En la zona centro sur que se encontró varias interferencias, pero disminuyó en 2 %, con respecto a la anterior configuración,



Mapa 16-3: Cobertura e interferencias en tres redes SFN, intervalo de guarda de 1/4, FFT 8K.
Realizado por: Valle, Felipe; 2018.

Para tercera simulación Mapa 16-3 se repartió en tres redes SFN, como se puede observar en la Tabla 2-3, en este caso se realizó pequeños ajustes en los retardos para optimizar las interferencias propias de cada red, al usar tres frecuencias, las interferencias se reducen notablemente en un 92 %, la geografía en la zona sierra ayuda a que las interferencias en la zona de la provincia del Guayas es la zona que presenta más problemas de interferencias con un 8 % de interferencias.

Como podemos observar en las tres distintas simulaciones usando el modo correcto y los retos optimizados para la transmisión y cobertura se llega a cubrir en su totalidad de los cantones principales de las provincias del Ecuador, la geografía también ayuda, ya que en el sector de la región sierra por ser una zona montañosa ayuda a que no exista interferencias de la misma red.

3.6. Asignación de frecuencias por áreas de adjudicación para Ecuador

Para realizar la planeación de frecuencias se tomó en cuenta para los resultados el modelo de propagación, la red de referencia, y la configuración que mejor minimice el número de frecuencias posibles. Se usó 5 frecuencias para realizar la simulación la cual el resultado en transmisión es idóneo y fue el esperado.

Las frecuencias usadas para la simulación se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 10-3: Asignación de un color a un frecuencia o canal

Color	Frecuencia	Canal
1	545	26
2	551	27
3	557	28
4	563	29
5	569	30

Realizado por: VALLE, Felipe 2018

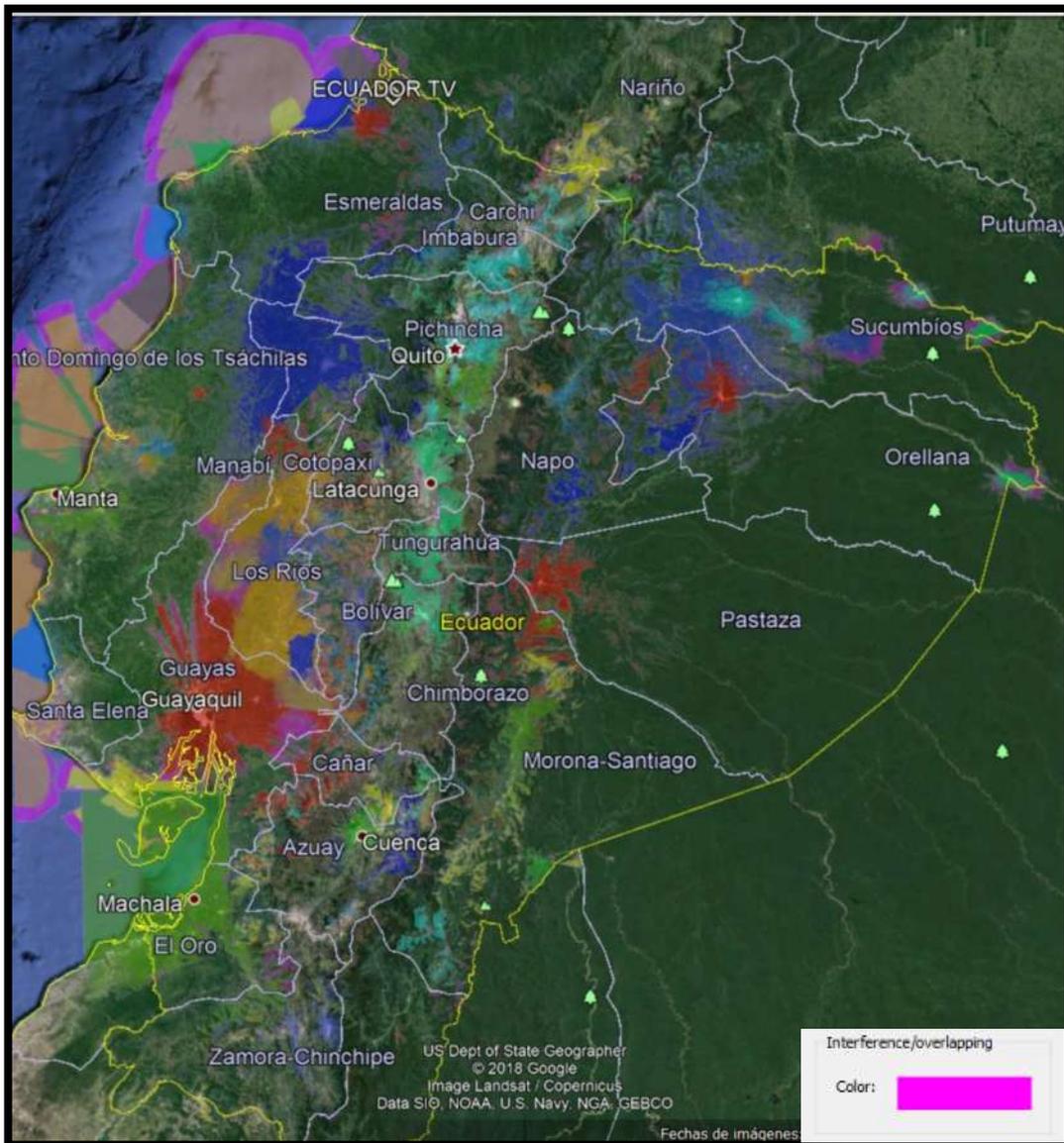
La asignacion de frecuencias se las realizo de la siguiente manera a cada transmisor de cada zona adjudicada:

Tabla 11-3: Asignación de frecuencias para cada zona adjudicada.

Provincia	Color	Frecuencia	Transmisor
Costa			
Esmeraldas	1	545	5, 67, 69, 72, 73, 74, 83, 82, 23, 61
Manabí	2	551	10, 18, 32, 57, 58, 70, 71, 77, 80, 26
Guayas	4	563	21, 79
Santa Elena	3	557	11, 38
Los Ríos	1	545	47, 48, 68, 85, 92, 93
El Oro	2	551	42
Sierra			
Carchi	5	569	31, 53, 64, 95, 96, 54
Imbabura	2	551	2, 8, 15
Pichincha	3	557	4, 6, 39, 91
Santo Domingo	5	569	13
Cotopaxi	2	551	46, 49
Tungurahua	4	563	22, 40
Bolívar	5	569	12, 60, 62
Chimborazo	3	557	17, 28, 44, 50, 59, 90, 94
Cañar	2	551	43, 52, 65
Azuay	1	545	3, 25, 29, 35, 63, 86
Loja	3	557	
Oriente			
Sucumbíos	4	563	16, 36, 51, 56, 66, 84, 87, 88, 89, 75
Napo	1	545	14, 37
Orellana	3	557	1, 45, 76
Pastaza	2	551	9
Morona Santiago	5	569	7, 19, 27, 30, 34, 41, 78
Zamora Chinchipe	4	563	33, 81

Realizado por: VALLE, Felipe 2018.

En el Mapa 17-3 se observa la simulación de interferencias y para las áreas adjudicadas con el modo 3, y cual se encuentra con una cobertura del 96 % y una interferencia de 4%. Con tres redes SFN pertenecientes a cada región.



Mapa 17-3: Cobertura e interferencias tres redes SFN, IG de 1/4, FFT 8K, 5 frecuencias.
Realizado por: VALLE, Felipe 2018.

CONCLUSIONES

El modo apropiado para la transmisión en el Ecuador es el modo 3, al realizar simulaciones con sus diferentes intervalos de guarda y una comparación con el modo 2, se determinó que un IG de $1/4$, con un FFT 8K y un tiempo útil de símbolo de $252 \mu\text{s}$ es el más óptimo para las condiciones de Ecuador. La simulación dio como resultado una cobertura de 91,46% con un 8.54 % de interferencias, este porcentaje se logró reducir a un aproximado del 4,6% de interferencias, el sector con mayor interferencia (transmisor 47, 48 correspondiente a la provincia de Los Ríos), se logró reducir un 10% de interferencias optimizando sus retardos.

El estándar ISDB-Tb tiene la capacidad de transmitir tres capas con diferentes características, permitiendo la transmisión de una o varias programaciones simultaneas con diversas calidades, para este caso en particular se eligió una modulación robusta 64-QAM, con una capacidad de 42,58 Mbps usando una FEC de $3/4$ que corresponde a una relación de potencias de 20.1 dB, que permitirá una transmisión de alta calidad.

La planificación de frecuencias a nivel nacional en Ecuador, según los datos recogidos han sido analizados en escenarios reales, se han llevado a cabo simulaciones de cobertura con un simulador profesional, se analizó el estado actual del despliegue de la televisión digital terrestre (TDT) del canal Ecuador Tv. Se analizó las interferencias en tres casos de 1, 2 y 3 redes SFN, esta última dio como resultado que las interferencias se reducen a un aproximado del 4 %, por lo tanto, el país puede dividirse en tres áreas de adjudicación, y cubrir a todo el país con solo tres redes (frecuencias) para el caso de servicios.

Para el caso de servicios nacionales, dependiendo del tamaño de país, y la tecnología que use para la TDT, se puede cubrir todo el territorio con una sola red SFN, lo que implica una sola área de servicio para toda la nación, pero también involucra una disminución de capacidad, ya que se usa intervalos de guarda más grandes, sin embargo, para minimizar al máximo las interferencias y permitir desconexiones regionales es preferible tener más de un área de servicio. Para el caso de Ecuador y en especial para el canal público analizado, es preferible que exista una red por cada región de cobertura es decir tres redes SFN. En las simulaciones se usó un FFT 8K con IG de $1/4$ lo que permito una buena cobertura con un aproximado del 92% de cobertura, realizando una optimización de retardos en diferentes transmisores y se llegó a un porcentaje aproximado del 96 % de cobertura y un aproximado del 4 % de interferencias.

Para la planificación de redes locales, las áreas son mucho más pequeñas, sin embargo, esto se puede solucionar agrupando canales con la misma cobertura y así optimizar el espectro radioeléctrico, los canales con coberturas adyacentes puede ser unidos a una red SFN, siempre y

cuando la cobertura mejoré. Para este caso son necesarias 5 frecuencias en todo el territorio ecuatoriano.

RECOMENDACIONES

Es recomendable implantar el presente diseño y realizar pruebas de campo y verificar si la predicción de tanto la redes SFN como la adjudicación de frecuencias son favorables, y se acercan a las mediciones calculadas por el software, la red SFN puede implementarse ya sea parcial o completamente en una zona, teniendo en cuenta que por lo mínimo se debería tener dos transmisores para la operación de una red SFN.

En ciertos lugares del país en específico en la región sierra, se encuentran zonas de sombra que no cubre el transmisor principal, en estas zonas se recomienda instalar un gap-filler para cubrir la zona completa, ya que este es de bajo costo y usan la misma red SFN con baja potencia.

Se recomienda al ente encargado de regular y asignar las frecuencias, otorgar solo un rango de frecuencias a las entidades que brinden el servicio de televisión digital, obligado a las mismas a emplear una red SFN para todo el país, evitando solicitudes de nuevas frecuencias.

Para la convivencia en las zonas de fronteras se debe considerar los acuerdo y distribución de frecuencias pares e impares, ya que el re-uso de frecuencias dentro de las zonas fronterizas no es una opción viable, por lo tanto, las dichas distancias de coordinación deben ser definitivas cuidadosamente.

BIBLIOGRAFÍA

ABNT NBR 15601, *Televisión Digital Terrestre-Sistema De Transmisión Norma ISDB-Tb*. 2007.

ABNT NBR 15603 2, *Multiplexación y servicios de información (SI), Parte 2: Estructura de los datos y definiciones información básica de SI*. 2009.

ABNT NBR 15604, *Televisión digital terrestre-receptores*. 2008.

ABNT NBR 15608-1, *Televisión digital terrestre - Guía de funcionamiento Parte 1: sistema de transmisión - Guía para implementación de la ABNT NBR 15601: 2007*. 2008.

ARCOTEL, ECUADOR. *Listado de Frecuencias*. 2015.

ARCOTEL, ECUADOR. *Norma técnica del servicio de tv digital*. 2015.

ASHQUI, Saúl. *Implementación de un Sistema OFDM de Transmisión y Recepción Inalámbrica de Imagen a Través de Modulación QPSK y 8PSK*. [En línea] (tesis) (pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2016. [Citado el: 3 de 12 de 2017.] pp. 13-14. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/37219>.

BEUTLER, Roland. *Digital terrestrial broadcasting networks*. Stuttgart-Alemania : Springer, 2009. [Citado el: 10 de abril del 2018].

BRUGGER, Roland y HEMINGWAY, David. *OFDM receivers impact on coverage of inter-symbol interference and fft window positioning*. 2003.

ERAZO, Héctor. *Estudio y análisis de la tecnología de redes de frecuencia única (Isufrecuencia), y su aplicación en la radiodifusión en las bandas de AM y FM para la optimización del espectro electromagnético en la ciudad de Quito*. [En línea] (Tesis) (pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009. [Citado el: 29 de Enero de 2018.] pp. 60-68. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1451>.

FISCHER, Walter. *Tecnologías para la Radiodifusión Digital de Video y Audio*. Múnich-Alemania : Rohde&Schwarz, 2009. [Citado el: 10 de abril del 2018].

GALLARDO, Juan Pablo. *Estudio de un Sistema OFDM-CDMA*. [En línea] (Tesis). (maestría) Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2006. [Citado el: 8 de abril de 2018.] pp. 6-7. Disponible en:

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwixg9rpy_XcAhVrx1kKHdZGBAIQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fbibing.us.es%2Fproyectos%2Fabreproy%2F11244%2Ffichero%2FVolumen%2B1%25252F1_PORTADA.pdf&usq=AOvVaw0r2FvN7wTVcWX0MmHlae18.

GARCÍA, Carla. *Planteamiento de una metodología para la determinación de posibles zonas de sombra mediante algoritmos de interpolación en la banda de frecuencias UHF de TDT (Televisión Digital Terrestre).* [En línea] (tesis) (pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2016. [Citado el: 20 de diciembre de 2017.] pp.8; 29-28. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/13743>.

GARCÍA, Vanessa Estefanía. *Propuesta de guías para el laboratorio de investigación del DETRI, enfocadas al estudio del estándar de televisión digital ISDB-Tb.* [En línea] (tesis) (pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2017. [Citado el: 15 de enero de 2018.] pp. 9-14. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17037>.

GRANJA, Nelson . *Análisis del transport stream para el estándar de televisión digital ISDB-Tb.* [En línea] (tesis) (pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, Ecuador, 2011. [Citado el: 3 de Marzo de 2018.] p. 33. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4553>.

GUERRA, Luis. *Televisión digital en el Ecuador; Un enfoque técnico-social.* [En línea] (tesis) (pregrado) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador., 2017. [Citado el: 10 de febrero de 2018.] p.215 Disponible en: <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/310>.

HERNAEZ, Inmaculada. *Procesado de señal en comunicaciones.* Bilbao-España : Gráficas Zubi, 2008. [Citado el: 16 de enero de 2018].

HERNANDO, José, RIERA, José y MENDO, Luis. *Transmisión por Radio.* Madrid-España : Editorial Univeritaria Ramón Areces, 2013. [Citado el: 5 de abril del 2018].

ILLESCAS, María y VILLAMARÍN, Diego. *Implementación de un transmisor de pruebas de TV Digital terrestre ISDB-Tb para la emisión de aplicaciones interactivas.* [En línea] (tesis) (pregrado) Universidad de las Fuerza Armadas, Quito, Ecuador, 2011. [Citado el: 4 de febrero de 2018.] p.77 Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4289>.

ITU-R BT 1368-13, Unión Internacional de Telecomunicaciones. *Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands.* 2017.

ITU-R P.526-14. *Propagation by diffraction.* 2018.

JADÁN, Luis y PASPUEL, Ernesto. *Estudio comparativo entre los estándares de televisión digital terrena: ATSC (Advanced Television Systems Committee), DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) e ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial).* [En línea] (tesis) (pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2003. [Citado el: 2 de mayo de 2018.] pp. 19; 121; 161. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11353>.

JARRÍN , Rodrigo y MOREJÓN , Carlos. *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.* [En línea] (Tesis) (pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2012. [Citado el: 16 de Diciembre de 2017.] pp.4-21; 74-78; 89; 154-158. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4580>.

LÓPEZ, Ximena y MORA, Christian. *Análisis de técnicas de modulación adaptiva en redes inalámbricas de banda ancha (IEEE 802.16, Wimax).* [En línea] (tesis) (pregrado) Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, México, 2006. [Citado el: 8 de mayo de 2018.] pp. 37-41. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwidt-Hd1_rcAhUKyFkKHVSzDjYQFjAAegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fprofesores.fi-b.unam.mx%2Fvictor%2FLTesis_Ximema_Christian.pdf&usg=AOvVaw0Dyx3mhP9BBjUyUB8TeEEV.

MEDINA, Gonzalo. *Estudio de cobertura en el canal Ecuador TV para brindar el servicio de televisión digital terrestre (TDT) para el sector sur de la ciudad de Quito.* [En línea] (tesis) (pregrado) Universidad de las Américas, Quito, Ecuador, 2017. [Citado el: 22 de abril de 2018.] p. 15. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7395>.

MINTEL. TDT - Televisión Digital Terrestre - Ecuador. [En línea] Quito, 2009. [Citado el: 20 de noviembre de 2017.] Disponible en: <https://tdtecuador.mintel.gob.ec/>.

MIRANDA, David, FUENTES, Oscar y URBINA, Samlith. *Análisis del estándar ISDB-T para ser utilizado en una posible implementación de la televisión digital terrestre en Nicaragua.* [En línea] (tesis) (pregrado) Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, 2015. [Citado el: 4 de abril de 2018.] pp. 3; 30. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiLh_b-2_rcAhXwzVkKHaBGcfIQFjAAegQICbAC&url=http%3A%2F%2Fribuni.uni.edu.ni%2F1245%2F1%2F80670.pdf&usg=AOvVaw2hQmP9cqVPooPzofueMNE5.

MONCAYO, Tatiana y POZO, Mónica. *Generación del flujo único de paquetes de transporte TS de acuerdo a la norma ISDB-Tb y desarrollo de una aplicación para su análisis.* [En línea] (tesis) (pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2014. [Citado el: 4 de mayo de 2018.] pp. 11-13. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7304>.

MUÑOZ, Jorge. *Estudio de factibilidad para la implementación de un laboratorio de televisión digital terrestre (TDT) para el laboratorio de networking en la facultad de ingeniería industrial de la universidad de Guayaquil.* [En línea] (tesis) (pregrado) Universidad de Guayaquil,

Guayaquil, Ecuador, 2015. [Citado el: 18 de Febrero de 2018.] p. 20. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20233>.

PARREÑO, José y PONCE, Sandra. *Creación de nuevos servicios de televisión digital terrestre bajo el estándar ISDB-Tb para la plataforma Villageflow mediante el análisis de su estructura.* [En línea] (tesis) (pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, Ecuador, 2014. [Citado el: 9 de mayo de 2018.] p. 67. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8094>.

PISCIOTTA, Néstor. *Sistema ISDB-Tb (Primera Parte).* Córdoba, Argentina : Univeridad Blas Pascal, 2010. [Consulta: 10 de marzo del 2018].

RIBADENEIRA, Jefferson. *Planificación de frecuencias para televisión digital terrestre (TDT) en Sudamérica.* [En línea] (tesis).(doctoral) Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2016. [Citado el: 15 de Febrero de 2018.] pp. 68-70. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/2569>.

SUPERTEL, Superintendencia de Telecomunicaciones. *Estadísticas de radiodifusión y televisión.* 2011.

UIT-R P.525-3. *Cálculo de la atenuacion en el espacio libre.* 2016.

ANEXOS

Anexo A : Distribución geográfica de las zonas de Adjudicación

Área de Operación Independiente	Descripción del Área de Operación Independiente		Áreas de Operación Zonal
	Provincia	Inclusión y Excepciones en la Zona	
A1	Azúay	Excepto: Cantones Sigsig, Chordeleg, Gualaceo, Paute, Guachapala, El Pan y Sevilla de Oro, y la parte occidental de la cordillera de los Andes (cantón Camilo Ponce Enríquez y alrededores).	Cuenca
			Girón, santa Isabel
			Nabón
B1	Bolívar	Excepto: Parte Occidental de la Cordillera de los Andes (Cantones Echeandía, Caluma, Las Naves y alrededores).	Guaranda, san José de chimbo, San Miguel
			Chillanes
C1	Carchi	Incluye: Cantón Pimampiro y la parroquia Ambuqui de la provincia de Imbabura. Excepto: Parte occidental de la Cordillera de los Andes de la provincia del Carchi	Tulcán, Huaca
			Bolívar, Pimampiro
D1	Orellana y Sucumbíos		Nueva Loja (Lago Agrió)
			La Bonita (Sucumbíos)
			Puerto el Carmen de Putumayo (Putumayo)
			Tarapoa (Cuyabeno)
			Puerto Francisco de Orellana, La Joya de los Sachas
E1	Esmeraldas	Excepto: Cantones Quinindé y Muisne Parte occidental de la Cordillera de los Andes de la Provincia del Carchi.	Esmeraldas
			San Lorezo
G1	Guayas	Incluye: la parte occidental de la cordillera de los Andes de las provincias de Cañar (cantón La Troncal y alrededores), y Chimborazo (cantón Cumandá y alrededores). Excepto: los cantones El Empalme, Palestina, Balao, Alfredo Baquerizo Moreno, Balzar, Colimes.	Guayaquil, Samborondón, Yaguachi Nuevo, Milagro, Daule, Eloy Alfaro (Durán)
			La Troncal
			General Villamil(Playas)
F1	Santa Elena		Salinas, Santa Elena, La Libertad
			Parroquia Manglar Alto
H1	Chimborazo	Excepto: Canto Cumandá y alrededores	Riobamba, Chambo, Guano
			Alausí
			Guamote
J1	Imbabura	Excepto: Canto Pimampiro y la parroquia Ambuqui.	Ibarra, Otavalo, Cotacachi, Atuntaqui (Antonio Ante), Urcuquí(San Miguel de Urcuquí)
			Parroquias occidentales del cantón Cotacachi
L1	Loja	Excepto: los cantones Loja, Catamayo, Saraguro, y la parte occidental de la cordillera de los Andes (cantones Cética, Puyango, Pinéal, Olmedo, Paltas, Chaguatamba, Zapotillo y alrededores).	Gonzanamá, Quilanga
			Cariamanga (Calvas)
			Macará y Sozoranga
L2	Loja	Incluye: Catamayo y Saraguro	Loja, Catamayo
			Saraguro
M1	Manabí	Incluye: cantón Muisne de la provincia de Esmeraldas y cantones de la Zona Norte (desde el Canto Sucre).	Bahía de Caraquez(Sucre), San Vicente
			Muisne

		Excepto: cantón El Carmen.	Flavio Alfaro
			Jama
			Pedernales
M2	Manabí	Incluye: cantones de la zona sur (desde el cantón Chone). Excepto: el cantón Pichincha.	Portoviejo, Manta Montecristi, Jaramijó, Rocafuerte
			Puerto López
N1	Napo		Tena, Archidona
			Baeza, El Chaco
Ñ1	Cañar	Incluye: cantones El Pan, Sevilla de Oro, Guachapala, Paute, Chordeleg, Gualaceo, Sigsig y alrededores de la provincia de Azuay. Excepto: parte occidental de la Cordillera de los Andes (cantón La Troncal y alrededores)	Azogues, Biblián
			Cañar, El Tambo
			Paute, Gualaceo, Chordeleg
			El Pan, Sevilla de Oro
O1	El Oro	Incluye: la parte occidental de la Cordillera de los Andes de las provincias de Loja (cantones Célica, Puyango, Pindal, Olmedo, Paltas, Chaguarpamba, Zapotillo y alrededores), de Azuay (cantón Camilo Ponce Enríquez y alrededores), y el cantón Balao de la provincia del Guayas.	Machala, Santa Rosa, Pasaje, El Guabo, Balao, Arenillas
			Celica, Alamor(Puyancho), Pindal
			Piñas, Zaruma y Portovelo
P1	Pichincha	Incluye: la parroquia Mindo del cantón San Miguel de Los Bancos. Excepto: los cantones San Miguel de los Bancos, Pedro Vicente Maldonado, Puerto Quito, parroquia Manuel Comejo Astorga.	Quito, Machachi(Mejía), Sangolquí (Rumiñahui), Tabacundo (Pedro Moncayo), Cayambe
			Parroquia Mindo
			Parroquia Pacto
K1	Santo Domingo de los Tsáchilas	Incluye: los cantones El Carmen (provincia de Manabí), Quinindé (provincia de Esmeraldas), Puerto Quito, Pedro Vicente Maldonado, San Miguel de Los Bancos, parroquia Manuel Cornejo Astorga (provincia de Pichincha). Excepto: la parroquia Mindo (cantón San Miguel de Los Bancos).	Santo Domingo de los Colorados, el Carmen, San Miguel de los Bancos, Pedro Vicente Maldonado, La Concordia
			Parroquia Manuel Cordero Astorga
R1	Los Ríos	Incluye: los cantones Balzar, Colimes, Palestina, Alfredo Baquerizo Moreno de la provincia del Guayas y la parte occidental de la Cordillera de los Andes de la provincia de Bolívar (cantones Echeandía, Caluma y alrededores). Excepto: cantones Quevedo, Buena Fe, Mocache, Quinsaloma y Valencia.	Babahoyo, Alfredo Baquerizo Moreno, Baba
			Echandía
R2	Los Ríos	Incluye: cantones Quevedo, Buena Fe, Mocache, Valencia, e incluye la parte occidental de la Cordillera de los Andes de las provincias de Cotopaxi (cantones La Maná, Pangua, parroquia Pilaló (cantón Pujilí) y alrededores), Bolívar (Las Naves y alrededores), el cantón Pichincha de la provincia de Manabí y el cantón El Empalme de la provincia del Guayas.	Quevedo
			Pichincha
S1	Morona Santiago	Excepto: cantones Palora (Metzera), Limón Indanza, San Juan Bosco y Gualaquiza.	Macas, Sucúa
			Huamboya
			Taisha
			Santiago de Méndez
S2	Morona Santiago	Incluye: cantones Limón Indanza, San Juan Bosco y Gualaquiza.	General Leónidas Plaza (Limón Indanza), San Juan Bosco

			Gualaquiza
T1	Tungurahua y Cotopaxi	Excepto: la parte occidental de la Cordillera de los Andes de la provincia de Cotopaxi (cantones La Maná, Pangua, parroquia Pilaló (cantón Pujilí) y alrededores).	Ambato, Latacunga, Saquisilí, Pujillí Píllaro (Santiago de Píllaro), Cevallos, Quero, Pelileo (San Pedro de Pelileo), San Miguel (Salcedo), Tisaleo, Mocha
			Sigchos
			Baños
X1	Pastaza	Incluye: cantón Palora (Metzera) de la provincia de Morona Santiago.	Puyo
			Arajuno
Y1	Galápagos		Puerto Ayora (Santa Cruz)
			Puerto Baquerizo Moreno (San Cristóbal)
			Puerto Villamil (Isabela)
Z1	Zamora Chinchipe		Zamora
			Yantzaza, zumbi, Paquisha, Guayzimi (Nangaritza)
			Zumba
			28 de mayo
			Palanda

Fuente: (ARCOTEL, 2015 pág. 15) **Modificado:** Valle Felipe, 2018.

Anexo B: Asignación de canales por zonas para la TDT abierta (privados o comunitarios)

PARA MEDIOS DE COMUNICACIÓN PRIVADOS O COMUNITARIOS			
N°	Zonas	N° Zonas Cubiertas	Canal Físico UHF
A1	Azuay	14	24, 28, 29, 30, 31, 32, 42
B1	Bolívar	6	21, 25, 28, 29, 38
C1	Carchi, Imbabura	15	27, 28, 39, 41, 43, 45, 46, 47, 49
D1	Orellana, Sucumbíos	14	26, 27, 28, 30, 38
E1	Esmeraldas	15	23, 26, 27, 28, 38, 39, 42
F1	Santa Elena	8	24, 25, 28, 30, 31, 32, 42
G1	Guayas, Cañar, Chimborazo	28	24, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 34, 36, 38, 44, 46, 47
H1	Chimborazo	19	24, 27, 28, 30, 32, 42, 44
J1	Imbabura	8	25, 28, 29, 30, 31, 38, 42
K1	Santo Domingo de los Tsáchilas, Pichincha, Esmeraldas, Manabí	10	25, 28, 29, 30, 38, 42, 43
L1	Loja	12	27, 29, 31, 32, 33, 41
L2	Loja	9	24, 25, 27, 29, 30, 31, 42
M1	Manabí, Esmeraldas	8	25, 29, 31, 33
M2	Manabí, Esmeraldas	24	27, 29, 30, 31, 32, 39, 42, 43
N1	Napo	10	24, 29, 30, 31, 38, 42
Ñ1	Cañar, Azuay	22	24, 28, 25, 26, 28, 31, 32, 38, 42
O1	El Oro, Guayas, Azuay, Loja	32	25, 28, 29, 30, 32, 33, 42, 45,
P1	Pichincha	17	21, 23, 25, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 44, 46, 47,
R1	Los Ríos, Guayas, Manabí, Bolívar, Cotopaxi	13	24, 29
R2	Los Ríos, Guayas, Manabí, Bolívar, Cotopaxi	25	25, 27, 28, 30, 32, 42
S1	Morona Santiago	19	23, 24, 26, 28, 29, 32, 34, 42
T1	Cotopaxi, Tungurahua	20	24, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 36, 38, 42, 43,
X1	Pastaza, Morona Santiago	17	23, 24, 27, 28, 30, 38, 42
Y1			
Z1	Zamora Chinchipe	16	24, 26, 28, 30, 31, 41, 42
PARA MEDIOS DE COMUNICACIÓN PRIVADOS CON MENOS DE 15000 HABITANTES			
N°	Zonas	N° Zonas Cubiertas	Canal Físico UHF
A1	Azuay	2	25
B1	Bolívar	2	25, 27
C1	Carchi	2	31, 38
D1	Orellana, Sucumbíos	8	29, 31
E1	Esmeraldas	3	23, 45, 47
G1	Guayas	2	26
H1	Chimborazo	4	38, 40, 42,
L1	Loja	2	23, 25
N1	Napo	3	24, 26, 32
Ñ1	Azuay, Cañar	3	28, 36
M2	Manabí	4	28, 30, 39
O1	Loja	2	43, 45
R1	Bolívar	4	30, 32, 34
S1	Morona Santiago	4	22, 25, 26
X1	Pastaza	2	27
Y1			
Z1	Zamora Chinchipe	4	29, 31, 33, 35
PARA MEDIOS EXCLUSIVAMENTE COMUNITARIOS			
N°	Zonas	N° Zonas Cubiertas	Canal Físico UHF
A1	Azuay	1	25
B1	Bolívar	1	27
C1	Carchi	1	31
D1	Orellana, Sucumbíos	2	29
E1	Esmeraldas	1	33
F1	Santa Elena	1	29
G1	Guayas	1	28
H1	Chimborazo	1	38
J1	Imbabura	1	36

K1	Santo Domingo de los Tsáchilas, Pichincha, Esmeraldas, Manabí	1	31
L2	Loja	1	41
M2	Manabí	1	47
N1	Napo	2	26, 32
Ñ1	Cañar	1	36
O1	El oro	1	47
P1	Pichincha	1	27
R1	Los Ríos, Guayas	2	28, 30
S1	Morona Santiago	3	36
S2	Morona Santiago	2	36
T1	Tungurahua, Cotopaxi	1	41
X1	Pastaza	1	29
Y1			
Z1	Zamora Chinchipe	2	29, 31

Fuente: (ARCOTEL, 2015 págs. 7-11) **Modificado:** Valle, Felipe; 2018.

Anexo C: Ubicación, cobertura y modificación de retados para los transmisores.

Provincia	Cobertura (Ciudad Principal)	Longitud Tx	Latitud Tx	Ubicación Tx	Per	Cobertura Cantonal	# De Antena	Retardo
Orellana	Loreto	77°18'37,80"W	00°41'46,50"S	24 De Mayo	910	Loreto	1	5
Imbabura	Apuela (Canton Intag) Plaza Gutierrez Peñaherrera (Cantón Cotacachi)	78°31'05,40"W	00°21'22,10"N	Barrio Pueblo Viejo	2861	Plaza Gutiérrez (Calvario) Cota Cachi Apuela Cotacachi Peñaherrera Cotacachi	2	10
Azuay	Molleturo (Cantón Cuenca)	79°23'4.25"W	02°46'15.95"S	Campamento Copte	126	Molleturo Cuenca	3	0
Pichincha	Nanegal	78°41'38,90"W	00°08'25,80"N	Cartagena	510	Nanegal Quito-Distrito Metropolitano	4	0
Esmeraldas	Atacames	79°51'32,90"W	00°51'42,20"N	Cerro Atacames	951	Atacames	5	5
Pichincha	Sur De Quito	78°36'6.61"W	00°19'5.67"S	Cerro Atacazo	1050	Quito-Distrito Metropolitano	6	15
Morona Santiago	General Leonidas Plaza (Cantón Limón Indanza) San Juan Bosco	78°30'33.98"W	3° 0'2.15"S	Cerro Bosco	2066	General Leónidas Plaza Gutiérrez (Limón) San Juan Bosco	7	0
Imbabura	Pimampiro	77°57'52.92"W	0°28'15.12"N	Cerro Cabras	7381		8	20
Pastaza	Puyo	77°54'30.78"W	1°31'13.15"S	Cerro Calvario	13615,39	Puyo	9	0
Manabí	Puerto Cayo (Jipijapa)	80°45'15.21"W	01°18'44.04"S	Cerro Cantagallo	409	Puerto De Cayo Jipijapa	10	0
Santa Elena	Salinas La Libertad Sta. Elena	80°51'48.93"W	02°12'30.68"S	Cerro Capaes	10642,17	Salinas La Libertad Santa Elena	11	0
Bolívar	Guaranda	78°58'42.09"W	01°43'2.75"S	Cerro Cebadapamba	6066,94	Guaranda San José De Chimbo San Miguel	12	0
Santo Domingo de los Tsáchilas	Santo Domingo De Los Colorados	79°05'12.10"W	00°17'45.10"S	Cerro Chiguilpe Alto	81107,31	Santo Domingo De Los Colorados El Carmen La Concordia	13	25
Napo	Baeza	77°54'8.43"Ow	0°29'1.43"S	Cerro Condijua	11641,26	Baeza El Chaco	14	20

Imbabura	Ibarra	78°20'18.30"W	00°19'47.40"N	Cerro Cotacachi	6561,7	San Miguel De Ibarra Otavalo, Atuntaqui, Cotacachi, Urcuqui	15	25
Sucumbíos	La Bonita	77°33'37,08"W	00°27'10,26"N	Cerro Cuesta Del Paraiso	101	La Bonita	16	30
Chimborazo	Villa La Union (Canton Colta)	78°46'41,70"W	01°41'46,50"S	Cerro Cushca	126	Villa La Unión	17	0
Manabí	Portoviejo	80°32'46,1"W	01°02'44,5"S	Cerro De Hojas (Jaboncillo)	15000	Manta Montecristi Jaramijo Rocafuerte Tosagua Junin Santa Ana De Vuelta Larga Sucre Jipijapa Portoviejo	18	0
Morona Santiago	Huamboya	78° 1'58.91"W	1°55'3.43"S	Cerro Don Angel	455	Huamboya	19	
Loja	Olmedo	79°39'16,50"W	03°55'25,20"S	Cerro El Arrayan	508	Olmedo	20	5
Guayas	Guayaquil	79°52'46,8"W	02°10'47,6"S	Cerro El Carmen	55000	Guayaquil Eloy Alfaro (Duran) San Jacinto De Yaguachi Sam Borondón	21	10
Tungurahua	Baños	78°31'11,00"W	01°24'40,20"S	Cerro El Filo	2037	Baños De Agua Santa	22	0
Galápagos	Puerto Baquerizo Moreno	89°31'16.10"W	00°54'12.80"S	Cerro El Niño	4487,45	Puerto Baquerizo Moreno	0	0
Esmeraldas	Esmeraldas	79°39'29,60"W	00°56'38,60"N	Cerro Gatazo	6776,42	Esmeraldas	23	0
Loja	Loja Catamayo	79°14'38.4"W	04°01'53.4"S	Cerro Guachichambo (Ventanas)	4518,56	Loja Catamayo (La Toma)	24	0
Azuay	Sigsig Chordeleg Gualaceo	78°48'58.32"W	03°04'29.99"S	Cerro Guallil	10939,56	Sigsig, Chordeleg Gualaceo	25	0
Manabí	Chone	80°05'22.59"W	00°41'19.81"S	Cerro Guayas	1091,36	Chone	26	0

Morona Santiago	Gualaquiza	78°33'32,50"W	03°23'53,60"S	Cerro Guayusal	910	Gualaquiza	27	5
Chimborazo	Riobamba Chambo Guano	78°43'01.12"W	01°41'33.08"S	Cerro Hignug Cacha (Amula Grande)	4497,8	Riobamba Chambo Guano	28	0
Azuay	Cuenca	78°59'51,80"W	02°55'50,27"S	Cerro Icto Cruz	18595,16	Cuenca	29	0
Morona Santiago	Macas Sucua	78°08'26.72"W	02°18'14.35"S	Cerro Kilamo	4549,88	Macas Sucua Logroño	30	15
Carchi	Tulcán Huaca	77°47'10"W	00°42'57.3"N	Cerro Las Cuevas	17580	Tulcán Huaca	31	35
Manabí	Bahia De Caraquez, San Vicente	80°24'27,3"W	00°42'28,6"S	Cerro Loma De Viento	9015,71	San Vicente Bahia De Caraquez	32	0
Zamora Chinchi	Zamora	78°56'23"W	04°04'4,13"S	Cerro Loma El Cuello	2254,08	Zamora	33	0
Morona Santiago	Santiago De Mendez	78°14'38,80"W	02°48'19,70"S	Cerro Loma Seca	1138	Santiago De Mendez	34	30
Azuay	El Pan Sevilla De Oro	78°40'52,20"W	02°47'41,70"S	Cerro Loma Turi	241	El Pan Sevilla De Oro	35	0
Sucumbíos	Lumbaqui El Dorado De Cáscales	77°19'19,6"W	00°00'31,1"N	Cerro Lumbaqui	20015,31	Lumbaqui El Dorado De Cascales	36	0
Napo	Tena Archidona	77°47'53.48"W	00°59'38.03"S	Cerro Mirador	5105,05	Archidona Tena	37	35
Santa Elena	Manglar Alto (Cantón Santa Elena)	80°45'21,00"W	01°48'52,30"S	Cerro Olon	3846	Manglaralto Santa Elena	38	0
Pichincha	Quito	78°31'31,24"W	00°10'01,52"S	Cerro Pichincha	6101,41	Quito-Distrito Metropolitano Sangolqui Machachi	39	0
Tungurahua	Ambato	78°40'00.20"W	01°09'18.10"S	Cerro Pilisurco (Sagatoa)	31489,64	Ambato Quero Cevallos Tisaleo Pelileo Patate Pillaro Latacunga Mocha San Miguel	40	0

						Pujili Saquisilí		
Morona Santiago	Santiago (Cantón Tiwintza)	78°00'23,0"W	03°02'42,34"S	Cerro Puchunanga	908	Santiago	41	0
El Oro	Machala	79°41'02,70"W	03°33'02.60"S	Cerro Repen	71624,23	Machala Paccha El Guabo Pasaje Santa Rosa	42	5
Cañar	Azogues, Biblian	78°49'41.80"W	02°47'23.50"S	Cerro Rinsión	5384,2	Azogues Biblian	43	0
Chimborazo	Pallatanga	78°57'03,50"W	02°01'29,90"S	Cerro San Vicente	99	Pallatanga	44	10
Orellana	Puerto Francisco De Orellana(Coca)	76°57'26.10"W	00°30'09.70"S	Cerro Santa Mónica	4102,04	Puerto Francisco De Orellana (Coca)	45	5
Galápagos	Puerto Ayora	90°24'08.60"W	00°38'21.30"S	Cerro Santa Rosa	18030,18	Puerto Ayora	0	0
Cotopaxi	Zumbahua	78°54'22,85"W	00°57'31,51"S	Cerro Zumbahua	557	Zumbahua Pujili	46	0
Los Ríos	Palenque	79°45'44,90"W	01°26'25,00"S	Ciudadela Divino Niño	454	Palenque	47	40
Los Ríos	Mocache	79°31'00,10"W	01°10'40,80"S	Ciudadela Guillermo Juez	126	Mocache	48	30
Cotopaxi	Sigchos	78°53'46,00"W	00°42'54,80"S	Collanes	501	Sigchos	49	0
Chimborazo	Huigra (Cantón Alausi)	78°58'03,70"W	02°16'27,80"S	Comunidad Tilangue	125	Huigra Alausi	50	0
Sucumbíos	Dureno	76°34'57,91"W	00°04'06,52"N	Cooper	1333,61	Dureno Nueva Loja	51	20
Cañar	Rivera (Cantón Azogues)	78°39'01,70"W	02°35'09,30"S	Curva Grande	508	Rivera Azogues	52	0
Carchi	El Carmelo	77°35'21,6"W	00°40'03,10"N	El Carmelo	82,99	El Carmelo (El Pun) Tulcán	53	15
Carchi	El Chical	78°11'12,40"W	00°56'10,10"N	El Chical	82,99	El Chical Tulcán	54	40
Loja	Macara (Loja)	79°56'27,55"W	04°21'47,31"S	El Palto	721	Macara	55	0
Sucumbíos	General Farfán	76°50'43,10"W	00°14'13,53"N	General Farfán	100	General Farfán La Bonita	56	35

Manabí	Flavio Alfaro	79°54'10,40"W	00°23'48,60"S	Hacienda J.J	489	Flavio Alfaro	57	0
Manabí	Pedernales	80°00'12,30"W	00°05'55,40"N	Hacienda La Hernandez	2100	Pedernales	58	0
Galápagos	Puerto Villamil (Cantón Isabela)	90°57'32,70"W	00°57'10,86"S	Isabela Sector Artesanal	1079	Puerto Villamil	0	0
Chimborazo	General Antonio Elizalde (Cantón Bucay), Cumanda	79°07'46,90"W	02°13'08,60"S	La Lucia	126	General Antonio Elizalde Bucay Cumanda	59	25
Bolívar	San Luis De Pambil (Cantón Guaranda)	79°13'53,90"W	01°13'55,60"S	La Variante	454	San Luis De Pambil Guaranda	60	0
Esmeraldas	Las Peñas	79°10'14,30"W	01°04'52,30"N	La Y	2178	Las Peñas Valdez (Limonos)	61	0
Bolívar	Chillanes	79°04'51,40"W	01°55'43,10"S	Loma Cuchicahua	102	Chillanes	62	0
Azuay	Guachapala Paute	78°41'57,10"W	02°44'46,60"S	Loma Tomebamba	508	Guachapala Paute	63	0
Carchi	Maldonado	78°06'12,10"W	00°54'31,50"N	Maldonado	79,8	Maldonado Tulcán	64	45
Cañar	Taday Pindilig (Cantón Azogues)	78°40'29,10"W	02°38'29,20"S	Molle	126	Taday Azogues Pindilig	65	0
Sucumbíos	Palmar	76°17'41,67"W	00°25'12,85"N	Palmar	176,6	Palmar Santa Elena, Puerto El Carmen Del Putumayo	66	10
Esmeraldas	Rio verde	79°24'42,90"W	01°04'16,80"N	Panecillo	1231	Rio Verde	67	15
Los Ríos	Babahoyo	79°32'49,8"W	01°49'49,3"S	Periferia De Babahoyo	17988,71	Babahoyo	68	45
Esmeraldas	Borbón (Cantón Eloy Alfaro)	78°59'34,10"W	01°05'08,10"N	Periferia De Borbon	2066	Borbón Valdez (Limonos)	69	25
Manabí	Crucita	80°32'09,80"W	00°52'44,50"S	Periferia De Crucita	100	Crucita Portoviejo	70	0
Manabí	Jama	80°16'44,62"W	00°12'58,8"S	Periferia De Jama	2114	Jama	71	0
Esmeraldas	Valdez	78°59'08,27"W	01°15'00,18"N	Periferia De Limones	951	Valdez (Limonos)	72	5

Esmeraldas	Mataje	78°42'50,00"W	01°21'27,00"N	Periferia De Mataje	96	Mataje (Cab. En Santander), San Lorenzo	73	0
Esmeraldas	Muisne	80°00'35,60"W	00°37'50,60"N	Periferia De Muisne	927	Muisne	74	10
Sucumbíos	Nueva Loja	76°50'54.36"W	00°04'34.10"N	Periferia De Nueva Loja	8203,52	Nueva Loja	75	0
Orellana	Nuevo Rocafuerte (Cantón Aguarico)	75°24'17,80"W	00°55'09,90"S	Periferia De Nuevo Rocafuerte	494	Nuevo Rocafuerte	76	0
Manabí	Olmedo	80°11'50,80"W	01°23'23,00"S	Periferia De Olmedo	483	Olmedo	77	0
Morona Santiago	Palora	77°58'26,70"W	01°42'25,60"S	Periferia De Palora	455	Palora (Metzera)	78	0
Guayas	General Villamil (Cantón Playas)	80°23'49.70"W	02°37'51,33"S	Periferia De Playas	10376	General Villamil (Playas)	79	0
Manabí	Puerto López	80°49'20,82"W	01°33'56,59"S	Periferia De Puerto Lopez	3091	Puerto López	80	0
Zamora Chinchipe	San Carlos De Las Minas (Cantón Zamora)	78°49'31,90"W	04°01'02,80"S	Periferia De San Carlos De Las Minas	345	San Carlos De Las Minas Zamora	81	0
Esmeraldas	San Lorenzo	78°48'14,20"W	01°15'55,30"N	Periferia De San Lorenzo	5730	San Lorenzo	82	0
Esmeraldas	Tonchigue (Cantón Esmeraldas)	79°56'21,55"W	00°50'02,35"N	Periferia De Tonchigue	1231	Tonchigüe Atacames	83	0
Sucumbíos	Tarapoa	76°21'12,50"W	00°07'18,10"S	Periferia Tarapoa	483	Tarapoa	84	0
Los Ríos	Montalvo	79°16'45,20"W	01°46'45,10"S	Pisagua Bajo	126	Montalvo	85	40
Azuay	Nabon	79°03'31,10"W	03°20'16,30"S	Planta De Agua	483	Nabón	86	0
Sucumbíos	Puerto El Carmen	75°51'24,4"W	00°07'04,5"N	Puerto El Carmen De Putumayo	79,98	Puerto El Carmen Del Putumayo	87	0
Sucumbíos	Puerto Rodriguez	75°27'33,58"W	00°03'44,34"S	Puerto Rodríguez	63,53	Puerto Rodríguez Puerto El Carmen Del Putumayo	88	0
Sucumbíos	Santa Barbara	77°31'17,31"W	00°38'43,3"N	Santa Bárbara	82,99	Santa Bárbara La Bonita	89	50
Chimborazo	Guamote	78°41'30,20"W	01°57'07,10"S	Santa Cruz De Alivia	511	Guamote	90	0

Pichincha	San José De Minas (Cantón Quito)	78°25'02,80"W	00°09'57,50"N	Santa Rosa	126	San Jose De Minas Quito-Distrito Metropolitano	91	0
Los Ríos	Quevedo	79°26'28.8"W	01°01'13.70"S	Sector Las Delicias	11668,9	Quevedo, San Jacinto De Buena Fe	92	0
Los Ríos	Paraíso La 14 (Manga Del Cura)	79°30'55,34"W	00°35'02,10"S	Sector Orellana	457		93	0
Chimborazo	Chunchi	78°55'00,60"W	02°17'17,40"S	Tanques De Agua	511	Chunchi	94	0
Carchi	Tobar Donoso	78°29'33,70"W	01°11'05,70"N	Tobar Donoso	82,99	Tobar Donoso La Bocana De Camumbi Tulcán	95	0
Carchi	Tufiño	77°49'58,70"W	00°48'06"N	Tufiño	77,98	Tufiño Tulcán	96	60

Realizado por: Valle Felipe, 2018.

