



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

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

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

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

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

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

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL
CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL
TERRESTRE CON LA NORMA ISDB-Tb**

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

JENNY BELÉN CARRILLO AUQUILLA

belencarrillo77@hotmail.com

DIANA DÉBORA FREIRE RIERA

diani_freire@hotmail.com

DIRECTORA: MSc. TANIA IVANOVA PÉREZ RAMOS

tania.perez@epn.edu.ec

Quito, Febrero 2014

DECLARACIÓN

Nosotras Jenny Belén Carrillo Auquilla y Diana Débora Freire Riera, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Jenny Belén Carrillo Auquilla

Diana Débora Freire Riera

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jenny Belén Carrillo Auquilla y Diana Débora Freire Riera bajo mi supervisión.

MSc. Tania Pérez
DIRECTORA DEL PROYECTO

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación lo dedico principalmente a mi familia, Alicita, Eduardo y Kleber para demostrarles que al igual que ellos, pude conquistar un reto trazado y ahora voy a ir por más, pero esta vez serán metas espirituales, pues estamos convencidos que el servicio a nuestro Padre Jehová desembocará en que Él nos mantenga en su lugar secreto con verdadera paz, seguridad y felicidad familiar.

Dedico este trabajo a Alejandro Rueda por ser mi mejor amigo y pareja, pues con su amor incondicional y calidad humana ha caminado junto a mí sobre el emocionante sendero que une la vida estudiantil con el ámbito profesional.

Jenny Belén Carrillo Auquilla

DEDICATORIA

A mi madre Débora Riera, que durante toda mi vida ha sido un padre y una madre, que con esfuerzo, trabajo y ejemplo ha hecho de mí una persona de bien, que a pesar de cualquier error que pude haber cometido, estuvo ahí acompañándome y brindándome su amor incondicional. A mi padre William Freire, que desde el cielo se encuentra guiando cada uno de mis pasos y mostrándome de forma abstracta todo el cariño y amor que tiene hacia mí. A mi hermano Esteban Freire para que sueñe y sepa que cualquier meta por más difícil que pueda parecer es alcanzable, siempre y cuando se tenga constancia y muchas ganas de cumplirlo. A toda mi familia que con sus palabras de aliento y apoyo han logrado que culmine esta etapa tan importante en mi vida.

A Carlita, Gabriel, Fabián, Santiago y Carlos; por su amistad incondicional, cariño sincero y apoyo en cada uno de los buenos y malos momentos que he tenido que enfrentar. A mis más queridas amigas del colegio, Gaby y Zuly, que a pesar de la distancia han sabido demostrarme sus más sinceros deseos de éxito y en momentos difíciles han sabido aconsejarme de la mejor manera para no tomar malas decisiones.

A mis dos compañeras fieles a las cuales amo con todo mi corazón, Mikaela Alejandrina que me acompañó hasta la mitad del camino de mi carrera universitaria y por cuestiones externas tuvo que partir a un lugar mejor; y a Angie Carolina que me alegra el día solo con mirarla pues me llena de amor y defiende en todo momento.

A todos los que de una manera u otra se han cruzado en mi vida y han contribuido con un granito de arena para que sea lo que hoy día soy.

Diana Débora Freire Riera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Dios Jehová por todo su amor y propósito para con la humanidad y por haberme mantenido en su pueblo mientras cursaba los estudios universitarios.

Un agradecimiento muy sentido a mi familia, Alicita, Eduardo y Kleber quienes han sido el pilar fundamental de mis proyectos y el cálido refugio que me ha mantenido llena de amor durante mi existencia.

Agradezco profundamente a la Ing. Tania Pérez y a todos los profesores de la Escuela Politécnica Nacional por haber enseñado su cátedra con entereza entusiasmo y cariño, por impartir la ciencia para el bienestar del hombre y por su apoyo incondicional mientras elaboré el presente proyecto de titulación.

Extiendo mis agradecimientos a la Superintendencia de Telecomunicaciones, a sus distinguidas autoridades y a todos los funcionarios, quienes me brindaron una amplia apertura para la realización de mi proyecto de titulación.

Finamente agradezco a todos mis amigos y amigas quienes a lo largo de mi vida me permitieron compartir gratos momentos llenos de aventuras y emociones sin igual; congregación, trípode, chivitas, family and friends, cargas, IEEE, Polis, y amigos Supertel.

Jenny Belén Carrillo Auquilla

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme sabiduría, salud y perseverancia para culminar con este trabajo; a mi madre por estar en todo momento conmigo, apoyándome y brindándome todo lo necesario para no decaer durante este largo camino; a mi directora de proyecto de titulación, Ing. Tania Pérez que con su paciencia y efectivos consejos hizo posible la realización de este proyecto.

Agradezco a la Superintendencia de Telecomunicaciones en especial a quienes conforman la Dirección Nacional de Gestión y Control de Radiodifusión y Televisión: Ing. Gustavo Orna, Ing. Ivonne Vásquez por permitirme acceder a todo el material necesario para el desarrollo de este trabajo, además de compartir su experiencia y conocimiento.

Al Licenciado José Andrade, por sus consejos iniciales, ayuda incondicional y preocupación por la culminación de este proyecto. A mis amigos, en especial a Belén, por su constancia y confianza.

A la Escuela Politécnica Nacional por haberme acogido durante estos años, y a cada uno de los profesores que pasaron por mi aula impartiendo sus conocimientos y experiencias que han hecho de mí lo que ahora soy: una persona de bien.

Gracias a todos ustedes.

Diana Débora Freire Riera

ÍNDICE

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
INDÍCE DE TABLAS.....	XVII
RESUMEN.....	XIX
PRESENTACIÓN.....	XXI
CAPÍTULO 1.....	1
ANÁLISIS DE LA TELEVISIÓN EN EL ECUADOR.....	1
1.1. HISTORIA	1
1.1.1. COMIENZOS DE LA TELEVISIÓN EN EL ECUADOR.....	1
1.1.2. CREACIÓN DEL CANAL 4 EN GUAYAQUIL	3
1.1.3. ACTUALIDAD DE LA TELEVISIÓN EN EL ECUADOR.....	4
1.2. EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA TV.....	5
1.2.1. TELEVISIÓN BLANCO Y NEGRO	6
1.2.2. TELEVISIÓN ANALÓGICA A COLOR	6
1.2.3. TELEVISIÓN DIGITAL	8
1.2.3.1. Formato	9
1.2.3.2. Fuentes de señal HD.	11
1.2.3.3. Estándares de la televisión digital terrestre.....	12
1.3. TELEVISIÓN NACIONAL	13
1.3.1. ASPECTOS TÉCNICOS	13
1.3.2. PRINCIPALES OPERADORAS DE TELEVISIÓN EN ECUADOR.....	15
1.4. PROCESO DE ELECCIÓN DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb PARA ECUADOR	17
1.4.1. ASPECTOS HISTÓRICOS	17
1.4.2. ESTUDIO Y PRUEBAS TÉCNICAS REALIZADAS POR LA SUPERTEL	20
1.4.2.1. Pruebas de televisión digital terrestre en el Ecuador	20

1.4.2.2.	Ejecución de pruebas en la ciudad de Quito	21
1.4.2.3.	Resultado de las pruebas	22
1.4.3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ESTABLECIDAS POR LA SUPERTEL	24
1.5.	REFERENCIAS.....	27
CAPÍTULO 2.		29
ESTUDIO DE LA NORMA ADOPTADA ISDB-Tb.		29
2.1.	TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE.....	29
2.1.1.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA TDT.....	29
2.1.1.1.	Portabilidad.....	29
2.1.1.2.	Movilidad	29
2.1.1.3.	Flexibilidad	30
2.1.1.4.	Multicasting.	30
2.1.1.5.	Interactividad	31
2.1.2.	OFDM	32
2.1.2.1.	Características	35
2.1.2.2.	Sistema OFDM	36
2.1.2.3.	Interferencia entre portadoras.....	36
2.1.2.4.	Interferencia entre símbolos.....	38
2.1.2.5.	Mapeo.....	41
2.1.2.6.	Modulación	42
2.1.2.7.	Demodulación	43
2.1.2.8.	Ventajas de OFDM	44
2.1.2.9.	Desventajas de OFDM	44
2.1.3.	COMPRESIÓN MPEG.....	45
2.1.3.1.	Características.....	47
2.1.3.2.	Compresión de datos de MPEG-4.....	47
2.1.3.3.	Proceso de exploración en zig-zag y codificación de longitud variable	48
2.1.3.4.	Funcionamiento	49
2.1.3.5.	Reducción de errores	51
2.1.4.	CAPAS DEL SISTEMA TDT.	51
2.1.5.	SET-TOP BOX	52

2.2.	ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb.....	53
2.2.1.	DIVISOR EN NIVELES JERÁRQUICOS	54
2.2.2.	DIAGRAMA EN BLOQUES DEL SISTEMA ISDB-TB	55
2.2.2.1.	Re-Multiplexador.....	55
2.2.2.2.	Flujo binario único BTS	57
2.2.2.3.	Separador de canales.....	58
2.2.2.4.	Codificación.....	59
2.2.2.5.	Aleatorizador de bits.....	60
2.2.2.6.	Entrelazado de bytes.....	61
2.2.2.7.	Ajuste de retardo.....	63
2.2.2.8.	Codificador Convolutacional	63
2.2.2.9.	Modulación	65
2.2.2.10.	Combinador Jerárquico	66
2.2.2.11.	Entrelazado de tiempo (Time Interleaving)	67
2.2.2.12.	Entrelazado de frecuencia (Frequency Interleaving).....	67
2.2.2.13.	IFFT e intervalo de guarda	68
2.3.	ELECCIÓN DE CUATRO COMBINACIONES DE PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE LAS TASAS BINARIAS DE TRANSMISIÓN UTILIZADAS EN LA NORMA ISDB-Tb.....	69
2.3.1.	ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS MODULACIONES UTILIZADAS EN LA NORMA ISDB-Tb	70
2.3.1.1.	Modulación QPSK.....	70
2.3.1.2.	Modulación DQPSK	73
2.3.1.3.	Modulación QAM.....	75
2.3.2.	CONSTRUCCIÓN DE LA TABLA “TASA DE DATOS DE UN ÚNICO SEGMENTO” DE LA NORMA ISDB-TB.....	80
2.3.3.	DETERMINACIÓN DE LAS COMBINACIONES DE PARÁMETROS MAS UTILIZADOS EN EL PAÍS.....	83
2.3.3.1.	Análisis de las tasas de transmisión del estándar ISDB-Tb.....	83
2.3.3.2.	Parámetros utilizados por la SUPERTEL para realizar pruebas previas a la adopción de la norma ISDB-Tb	85
2.3.3.3.	Combinaciones de parámetros de las señales digitales que actualmente se transmiten en el Ecuador.....	87

2.4. REFERENCIAS.....	90
CAPÍTULO 3.....	92
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD	92
3.1. TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE.....	92
3.1.1. PRUEBAS SUBJETIVAS - PERCEPCIÓN DEL USUARIO	92
3.1.1.1. Recomendación UIT-R BT.500.....	92
3.1.1.2. Pruebas subjetivas realizadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones.....	93
3.1.2. ANÁLISIS TEÓRICO.....	96
3.1.3. SOFTWARE ICS TELECOM: ELECCIÓN DEL MODELO DE PROPAGACIÓN Y DETERMINACIÓN DE PATRONES DE RADIACIÓN	102
3.1.3.1. Modelos de Propagación	104
3.1.3.2. Subdivisión de modelos en base a sus referencias.....	106
3.1.3.3. Elección modelo de propagación.....	107
3.1.3.4. Configuración de los sistemas de transmisión de TV digital en el Software ICS Telecom	109
3.1.3.5. Determinación de la cobertura de señal de los sistemas de transmisión de TV digital.....	113
3.1.3.6. Área de cobertura principal de los canales de TV digital que operan en el Cerro Pichincha.....	119
3.1.3.7. Análisis de las áreas de cobertura	122
3.1.4. MEDICIONES DE SEÑALES DIGITALES RECIBIDAS CON EQUIPOS ESPECIALIZADOS.....	124
3.1.4.1. Importancia de obtener mediciones de señales reales de televisión digital	124
3.1.4.2. Equipos especializados	125
3.2. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TDT	129
3.2.1. DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA	129
3.2.1.1. Criterios para un solo sentido	129
3.2.1.2. Criterio para un trayecto o una conexión bidireccional.....	130
3.2.2. DISPONIBILIDAD DE ENLACE.....	131
3.2.3. REGISTRO DE EVENTOS DE ERROR	131
3.2.4. FLUCTUACIÓN DE FASE (JITTER)	132

3.2.5.	ISI.....	132
3.2.6.	RF / IF POTENCIA DE LA SEÑAL.....	133
3.2.7.	POTENCIA DE RUIDO	133
3.2.8.	ANÁLISIS DE LA SEÑAL IQ.....	133
3.2.9.	SYSTEM TARGET ERROR (STE).....	134
3.2.10.	PORTADORA RESIDUAL (CARRIER SUPPRESSION)	135
3.2.11.	DESEQUILIBRIO DE AMPLITUD (AI)	135
3.2.12.	ERROR DE CUADRATURA (QE)	136
3.2.13.	RESIDUAL TARGET ERROR (RTE)	136
3.2.14.	FLUCTUACIÓN DE FASE.....	136
3.2.15.	RELACIÓN PORTADORA-RUIDO C/N.....	137
3.2.16.	PATRÓN DE ECO.....	138
3.2.17.	MER (Modulation Error Ratio/Tasa de Error de Modulación).....	138
3.2.18.	EVM (Error Vector Magnitude).....	141
3.2.19.	BER (Bit Error Rate)	142
3.2.20.	PR (Packet Radio)	143
3.2.21.	PER (Packet Error Ratio).....	143
3.2.22.	COMPARATIVA ENTRE LA MER Y EL EVM	144
3.2.23.	COMPARATIVA ENTRE EL BER Y EL PER	146
3.2.24.	RELACIÓN ENTRE BER Y E_b/N_o	147
3.3.	OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TDT	148
3.3.1.	CRONOGRAMA DE MEDICIONES.....	148
3.3.2.	PREPARACIÓN DE EQUIPOS Y ESCENARIO DE APLICACIÓN	149
3.3.2.1.	Escenarios de aplicación.....	149
3.3.2.2.	Preparación del equipo R&S® ETL.....	151
3.3.2.3.	Preparación del equipo R&S® ETH.....	152
3.3.3.	CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES ANALIZADAS.....	153
3.3.4.	EJECUCIÓN DE MEDICIONES DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS.....	154
3.3.4.1.	Mediciones con el equipo R&S® ETL.....	154
3.3.4.2.	Mediciones con el equipo R&S® ETH	159

3.3.5.	ANÁLISIS Y TABULACIÓN DE LAS MEDICIONES DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS.....	167
3.3.6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y OBTENCIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LA SEÑAL DIGITAL.....	171
3.4.	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS OBTENIDOS Y LOS MEDIDOS EN OTROS PAÍSES PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TDT.....	174
3.5.	REFERENCIAS.....	176
CAPÍTULO 4.....		178
PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LAS MEDICIONES DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE UNA SEÑAL TDT EN ECUADOR.....		178
4.1.	ESCENARIOS DE APLICACIÓN.....	178
4.1.1.	RECEPCIÓN FIJA.....	179
4.1.2.	RECEPCIÓN PORTÁTIL.....	179
4.1.3.	RECEPCIÓN PEATONAL.....	179
4.1.4.	RECEPCIÓN MÓVIL.....	179
4.2.	PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE UNA SEÑAL DE TDT EN ECUADOR Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb.....	180
4.2.1.	LA MER Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb.....	180
4.2.2.	EL BER Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb.....	181
4.2.3.	EL PER Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb.....	181
4.2.4.	LA C/N Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb.....	181
4.3.	PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	182
4.4.	EJEMPLO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	183
4.5.	REFERENCIAS.....	189
CAPÍTULO 5.....		190
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		190
5.1.	CONCLUSIONES.....	190
5.2.	RECOMENDACIONES.....	197
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		199
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....		204
ANEXOS.....		208
1.	INFORME DE ADOPCIÓN NORMA ISDB-Tb.....	1A
2.	NORMA ABTN NBR 1560 1_2007.....	2A

ÍNDICE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Estándares de TV analógica adoptados en diferentes países</i>	<i>7</i>
<i>Figura 1.2. Distribución de las componentes de una señal de TV.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.3. Resolución en SDTV y HDTV.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1.4. Estándares de TV digital adoptados en diferentes países.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.1. Capacidad de transmisión.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2.2. Cuarto nivel de interactividad de la TDT.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2.3. Funcionamiento básico del canal de retorno de la tecnología digital</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2.4. Canal dividido en el dominio del tiempo y frecuencia.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2.5. Organización del canal radioeléctrico y distribución de portadoras</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2.6. Símbolo OFDM ISDB-Tb.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2.7. Formación de segmentos ISDB-Tb.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2.8. Formación de un cuadro OFDM ISDB-Tb.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 2.9. Sistema OFDM.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2.10. Tren de pulsos.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2.11. Ortogonalidad de portadoras.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.12. Inserción intervalo de guarda.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.13. Determinación del intervalo de guarda.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.14. Posicionamiento de la ventana FFT.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.15. Intervalo de guarda.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 2.16. Evolución de los estándares de codificación de video</i>	<i>45</i>
<i>Figura 2.17. MPEG-2 vs MPEG-4.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 2.18. Conversión de píxeles al dominio de frecuencia.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 2.19. Exploración en zig-zag y código de longitud variable.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 2.20. Diagrama de bloques codificador MPEG-4.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 2.21. Diagrama de bloques decodificador MPEG-4.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 2.22. Arquitectura del sistema TDT.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.23. Transmisión simultánea de dos y tres capas.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 2.24. Diagrama de bloques general de un transmisor ISDB-Tb.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 2.25 Generación del BTS y separación de paquetes TSP.....</i>	<i>57</i>

<i>Figura 2.26. Estructura de los paquetes TSP a nivel de BTS.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 2.27. Ordenamiento del cuadro múltiplex.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 2.28. Codificación del canal.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 2.29. Generador de secuencia PRBS.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 2.30. Sincronización de cuadro OFDM y señal de habilitación del generador PRBS.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 2.31. Entrelazador y desentrelazador de bytes.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 2.32. Entrelazador de bytes para ISDB-Tb.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 2.33. Entrelazador de bytes para ISDB-Tb con relación ½.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 2.34. Codificador convolucional y bloque punzonado.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 2.35. Codificador convolucional, esquema de punzonado y secuencia de salida.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 2.36. Modulación.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 2.37. Configuración del modulador de la portadora.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 2.38. Proceso de inserción del CP.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 2.39. Significado de los coeficientes en la constelación QPSK.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 2.40. Fases en la constelación QPSK.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 2.41. Segmento “one-seg” en el canal ISDB-Tb.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 2.42. Diagrama doble de constelación para D-QPSK que muestra las dos constelaciones girada en 45° una con respecto a la otra.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 2.43. Representación de error en QAM.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 2.44. Constelación 16 QAM.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 2.45. Diferentes aplicaciones en un canal ISDB-Tb.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 2.46. Constelación y coeficientes 64-QAM.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 2.47. BER en función de SNR en QAM.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 2.48. Circuito de codificación del código convolucional con profundidad k de 7 y tasa de codificación ½.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 2.49. Modulación y código interno – robustez vs capacidad.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 2.50. Canales de TV digital registrados en el Sira TV.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 2.51. Aplicaciones y modulación en una transmisión jerárquica.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 3.1. Resultados en puntos fijos.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 3.2. Resultados para recepción móvil.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 3.3. Resultados para recepción portátil.....</i>	<i>95</i>

<i>Figura 3.4. Canal Rice.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 3.5. Tipos de terreno de un DEM.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 3.6. Ingreso de parámetros en la ventana Tx/Rx parameters.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 3.7. Ingreso de parámetros en la pestaña Patterns de la ventana Tx/Rx parameters</i>	<i>112</i>
<i>Figura 3.8. Visualización del patrón de radiación tridimensional.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 3.9. Ingreso de parámetros en la pestaña Site de la ventana Tx/Rx parameters.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 3.10. Selección del modelo de propagación.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 3.11. Establecimiento de los parámetros del clutter.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 3.12. Ventana de parámetros de cobertura.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 3.13. Área de cobertura principal del canal 26.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 3.14. Área de cobertura principal del canal 32.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 3.15. Área de cobertura principal del canal 36.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 3.16. Área de cobertura principal del canal 41.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 3.17. Paleta de colores para un umbral de recepción de 60 dBuV/m.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 3.18. Área de cobertura del canal 26 (umbral de recepción 10 dBuV/m.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 3.19. Área de cobertura del canal 26 (umbral de recepción 74 dBuV/m.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 3.20. Analizador R&S ETL.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 3.21. Analizador R&S ETH.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 3.22. Determinación del tiempo de indisponibilidad.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 3.23. Estado de indisponibilidad de un trayecto o una conexión.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 3.24. Relación entre los parámetros que describen diferentes distorsiones IQ.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 3.25. Definición del TEV (Target Error Vector).....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 3.26. Distorsión del diagrama de constelación resultante del error de cuadratura</i>	<i>136</i>
<i>Figura 3.27. Posición de la sección del arco en el diagrama de constelación para definir la fluctuación de fase (64-QAM).....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 3.28. Representación gráfica del vector transmitido vs el vector objetivo.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 3.29. Representación gráfica EVM.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 3.30. Relación entre la probabilidad de error bit (BER) y la relación señal a ruido (Eb/No) ...</i>	<i>148</i>
<i>Figura 3.31. Medición de parámetros en ambiente cerrado.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 3.32. Medición de parámetros en ambiente abierto.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 3.33. Pantalla de configuración del equipo R&S ETL.....</i>	<i>151</i>

<i>Figura 3.34. Ingreso de parámetros en el equipo R&S ETH.....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 3.35. Señal demodulada-Teleamazonas.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 3.36. Límites de la señal demodulada-Teleamazonas.....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 3.37. Diagrama de constelación de la señal demodulada Teleamazonas.....</i>	<i>156</i>
<i>Figura 3.38. Errores en la transmisión de la señal demodulada Teleamazonas.....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 3.39. Parámetros técnicos para el control de la señal digital.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 3.40. Ingreso de radio frecuencia del canal Ecuavisa.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 3.41. Menú de opciones de mediciones del equipo ETH.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 3.42. Medidas de los parámetros pertenecientes al canal Ecuavisa.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 3.43. Imagen de televisión de señal analógica vs señal digital del canal Ecuavisa.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 3.44. Diagrama de constelación de la señal digital del canal Ecuavisa.....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 3.45. Comportamiento de las señales replicadas a partir de la señal digital Ecuavisa.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 3.46. Valor RMS de la señal digital de Ecuavisa.....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 3.47. Espectro de la señal digital de Ecuavisa.....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 4.1. Escenario de aplicación y equipo de prueba.....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 4.2. Parámetros de la señal demodulada MER-Ecuavisa con equipo ETL.....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 4.3. Parámetros de la señal demodulada MER-Ecuavisa con equipo ETH.....</i>	<i>186</i>
<i>Figura 4.4. Espectro de la señal demodulada Ecuavisa.....</i>	<i>187</i>

ÍNDICE TABLAS

<i>Tabla 1.1. Bandas de frecuencia operantes en Ecuador.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 1.2. Principales canales de Ecuador.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 1.3. Suscriptores de televisión pagada por empresa en Ecuador.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 1.4. Parámetros de operación de los estándares.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 1.5. Resultados de las mediciones y evaluaciones de los estándares con compresión MPEG-2.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 1.6. Resultados de las mediciones y evaluaciones de los estándares con compresión MPEG-4.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 1.7. Resultado final del análisis realizado de los estándares con compresión MPEG-2.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 1.8. Resultado final del análisis realizado de los estándares con compresión MPEG-4.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2.1. Combinaciones y fases respectivas DQPSK.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 2.2. Tasa de datos de un único segmento.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 2.3. Parámetros de operación de los estándares.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 2.4. Combinación de parámetros utilizados por las estaciones de Tx.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 2.5. Combinaciones de parámetros más utilizados.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 3.1. Selección del material de prueba.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 3.2. Escalas de calidad y degradación del UIT-R.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 3.3. Parámetros de transmisión y tasa de C/N requerida.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 3.4. Parámetros de transmisión y tiempos de retardo resultantes.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 3.5. Orden de los parámetros considerados mejor condición.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 3.6. Modelos con referencias completas basados en recomendaciones ITU-R.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 3.7. Modificación de altitud de acuerdo al código de clutter.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 3.8. Términos de atenuación de la ITU.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 3.9. Datos técnicos ingresados en el ICS Telecom para los transmisores que operan en la ciudad de Quito.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 3.10. Cálculo de la distancia desde el transmisor.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 3.11. Distancia desde el transmisor para cada canal.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 3.12. Características técnicas del equipo R&S ETL.....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 3.13. Relación entre la potencia pico y la potencia promedio de la constelación.....</i>	<i>146</i>

Tabla 3.14. Cronograma de mediciones.....	149
Tabla 3.15. Parámetros de los canales de TV digital.....	153
Tabla 3.16. Tabulación de datos obtenidos del equipo ETL.....	167
Tabla 3.17. Tabulación de datos obtenidos del equipo ETH.....	168
Tabla 3.18. Umbrales de parámetros obtenidos.....	169
Tabla 3.19. Valor de parámetros aceptables según CISCO.....	174
Tabla 3.20. Tabla comparativa documento CISCO y equipos ETH&ETL.....	175
Tabla 4.1. Características técnicas del canal 36.....	185
Tabla 4.2. Valores obtenidos.....	188
Tabla 4.3. Obtención de otros parámetros técnicos.....	189

RESUMEN

El presente proyecto de titulación se denomina “*DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE CON LA NORMA ISDB-Tb*” y tiene como objetivo determinar los principales parámetros técnicos que deben ser medidos para poder analizar la calidad de la señal de televisión digital terrestre en el Ecuador.

Una de las características del estándar ISDB-Tb es la posibilidad de emplear MPEG-4 para la compresión de datos, sin embargo la esencia de la norma se basa en el uso de OFDM. Es importante indicar que ISDB-T contempla un servicio de banda angosta denominado “*one-seg*”. El sistema de transmisión del estándar ISDB-Tb define una amplia gama de tasas de transmisión, específicamente define 60, las cuales son obtenidas a partir de tres parámetros fundamentales: modulación de la portadora, código convolucional e intervalo de guarda.

Para determinar las combinaciones de parámetros más utilizados en el Ecuador, se tomó en cuenta, tanto las señales que ya están al aire, así como las que se utilizaron para realizar las pruebas para la adopción del estándar de televisión digital; sin embargo, también fue indispensable tomar en cuenta las velocidades de transmisión que ofrece el estándar ISBD-Tb. El objetivo de establecer las combinaciones más utilizadas en el país, es tomar como base el trabajo y avances que se han logrado respecto a la televisión digital; y con ello partir de una premisa que independientemente de si es la ideal o no; constituye la realidad en la que se encuentra la televisión digital en el Ecuador.

Existen varios aspectos, consideraciones y parámetros que definen la calidad de la señal digital en un sistema de transmisión tales como: *disponibilidad del sistema, jitter, ISI, MER, PER, EVM, C/N, carrier suppression, etc.* Por lo que es apropiado para el país establecer los parámetros técnicos mínimos que se deben medir para catalogar la calidad de una señal digital como aceptable o no.

El desarrollo de este proyecto se presenta en cinco capítulos descritos a continuación:

En el Capítulo 1 se realiza una explicación de la situación actual de la televisión en el Ecuador y brevemente se mencionan las primeras transmisiones blanco/negro y a color que se realizaron en el país. Posteriormente, se presenta una reseña histórica del proceso de elección del estándar para televisión digital terrestre adoptado; es decir, se explica la justificación y los aspectos que se tomaron en cuenta al momento de discriminar las posibles opciones.

El Capítulo 2 presenta una explicación del sistema de transmisión de la norma ISDB-Tb considerando específicamente las técnicas de modulación, intervalos de guarda, modos de transmisión y la relación de FEC. Se estudian varias de las posibles combinaciones de parámetros, a partir de las cuales se establecen las tasas de transmisión del estándar ISDB-Tb, y se eligen las cuatro más utilizadas en el país.

En el Capítulo 3 se establecen las principales técnicas para el control de calidad de la señal de televisión digital terrestre y mediante el software computacional ICS-Telecom proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones, se verifica la cobertura proporcionada por los transmisores de televisión digital. Posteriormente se estudian varios parámetros técnicos involucrados en la transmisión de una señal digital y se escogen cuatro principales, los cuales siempre deben ser medidos antes de realizar el análisis de la calidad de la señal.

En el Capítulo 4 se establece un orden para la medición de los principales parámetros técnicos definidos para el control de la calidad de la señal digital. Se analizan posibles escenarios de aplicación y se realiza una prueba del protocolo definido.

En el Capítulo 5 se plantean las conclusiones y recomendaciones de la experiencia obtenida en el desarrollo del proyecto.

PRESENTACIÓN

La televisión digital tiene sus comienzos en el país, el 24 de marzo de 2010, cuando la prensa ecuatoriana informa que Ecuador decidió escoger el estándar tecnológico japonés-brasileño para la aplicación de la TDT en el país. Lo que se oficializó el 26 de marzo de 2010, cuando el Superintendente de Telecomunicaciones, Ing. Fabián Jaramillo, anunció que el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) aceptó la recomendación de la SUPERTEL, la cual se inclinó por la norma japonesa-brasileña de televisión digital ISDB-Tb/SBTVD, siendo en consecuencia adoptada como norma de televisión digital terrestre en el Ecuador.

En la actualidad, la televisión en el Ecuador constituye un medio de comunicación masivo, el cual cuenta con diez canales privados y cuatro canales operados por el estado; además, es importante indicar que existe una amplia gama de canales regionales y locales, algunos de carácter estatal y otros privados y comunitarios.

El Ecuador tiene previsto llevar a cabo el denominado “Apagón Analógico” entre el año 2016 al 2018, es decir que a partir del día que se fije como el día “del apagón”, nadie podrá tener señal televisiva si no cuenta con un artefacto digital o un decodificador adaptado a su receptor.

Al respecto, el CONATEL¹ emitió la Resolución RTV-681-24-CONATEL-2012 el 18 de octubre de 2012, en cuyo artículo dos establece lo siguiente:

“Aprobar el Plan Maestro de Transición a la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador, documento que se anexa a la presente Resolución. Para efectos de la operación de canales de televisión que cuenten con autorizaciones temporales para televisión digital terrestre, los medios se sujetarán a la normativa que apruebe el CONATEL, conforme a la propuesta que elaborarán la SENATEL y SUPERTEL”.

¹ CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador

El “*Plan Maestro de Transición a la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador*” tiene como objetivo principal establecer las condiciones para el proceso de transición a la Televisión Digital Terrestre – TDT en el Ecuador, bajo el estándar de televisión digital ISDB-T Internacional; y, como un objetivo específico define el mejoramiento de la calidad del servicio de televisión abierta en el país.

Sobre la base de lo anterior, es adecuado que para el caso del país, se establezcan parámetros técnicos mínimos a ser medidos, para ejecutar el control de calidad de la señal digital.

En este proyecto denominado “*DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE CON LA NORMA ISDB-Tb*”, se establecen los principales parámetros técnicos, mediante el estudio de varias combinaciones de esquemas de modulación basadas en la norma ISDB-Tb, y la simulación de éstas en el programa computacional ICS-Telecom de la SUPERTEL. Además se define un orden de medición para dichos parámetros. Entre los objetivos específicos planteados, se pueden citar los siguientes:

- Describir la situación actual de la televisión y su evolución en el país.
- Examinar el sistema de transmisión del estándar ISDB-Tb.
- Definir las combinaciones de parámetros más utilizados en el país para la emisión y la difusión de las señales digitales.
- Obtener los principales parámetros técnicos para realizar el control de calidad de la señal digital.
- Verificar la cobertura que proveen los transmisores que emiten señales de televisión digital, mediante el programa computacional ICS-Telecom de la SUPERTEL.
- Establecer un orden para la medición de los parámetros de control definidos mediante analizar posibles escenarios en los cuales se aplican estos.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE LA TELEVISIÓN EN EL ECUADOR

1.1. HISTORIA[1][2][3][4]

La televisión es uno de los inventos más extraordinarios de los últimos 100 años y el que más ha influido en el convivir actual. Nace a partir de la unión de una serie de fenómenos e investigaciones simultáneas desarrolladas de manera aislada.

El descubrimiento de la *fototelegrafía* a mediados del siglo XIX y la palabra “televisión” fueron usadas por primera vez en el año 1900, sus avances y desarrollo se debe a varios investigadores que experimentaron con la transmisión de imágenes vía ondas electromagnéticas.

1.1.1. COMIENZOS DE LA TELEVISIÓN EN EL ECUADOR

La historia de la televisión en el Ecuador comienza en la ciudad de Quito en el año 1954, cuando el misionero norteamericano Gifford Hartwell encuentra un equipo viejo abandonado en las bodegas de la industria “General Electric”, que habían pertenecido a una empresa de televisión en Estados Unidos.

Hartwell repara el equipo en el garaje de su casa hasta el 11 de julio de 1959, fecha en la cual decide trasladar los equipos a Quito para impresionar a los habitantes del territorio con su nueva tecnología.

Posteriormente, la televisión pasa a manos de la HCJB quienes conjuntamente con la Unión Nacional de Periodistas llevan los equipos a una gran feria celebrada en los patios del Colegio Americano, para que se pudiera ver televisión en blanco y negro.

Se iniciaron los trámites para la instalación de un canal de televisión en el Ecuador. Para ello, era indispensable que se elaborara un reglamento sobre el uso de las frecuencias de televisión, que no existía en el país puesto que no era un tema de interés hasta ese entonces.

El Primer Mandatario, Camilo Ponce Enríquez, firmó el Decreto N° 1917 publicado en el Registro Oficial con el número 985, el 5 de diciembre de 1959. Este decreto contiene el mencionado reglamento que ha sido elaborado por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, en el cual se determina que por televisión se entiende un sistema de telecomunicaciones para la transmisión de imágenes.

En este antecedente, se expide por primera vez un reglamento para las televisoras y se aprueba el reglamento para la instalación de estaciones transmisoras de televisión.

En 1959 sale al aire el primer canal ecuatoriano denominado "Telecuador". Posteriormente, la misión evangélica tuvo que esperar hasta 1961, para que se otorgue el permiso de funcionamiento para HCJB TV, con operación en Quito. El decreto ejecutivo se publica en el registro oficial el 12 de mayo de 1961, con el número 821, firmado por el Dr. José María Velasco Ibarra, Presidente del Ecuador.

Así empieza la historia de la televisión comercial en el país. La primera empresa comercial fue la compañía ecuatoriana de televisión, formada por Jaime Nebot Velasco, José Rosenbaum y la agencia "Publicidad Palacios".

Gracias a la "*Feria de Octubre*", la televisión llega al puerto de Guayaquil, y tras un convenio con la Casa de la Cultura se instala una antena. La prensa de la época celebró esta noticia con la misma euforia que la llegada del primer avión.

Los años 60 marcaron en el país un notable desarrollo de la televisión, puesto que se crea el Canal 2 en Guayaquil, el Canal 8 en Quito, Telecentro, Canal 10; proyectos liderados por Jorge Mantilla Ortega, Leonardo Ponce, Alvarado Roca, Marcel Rivas, Ismael Pérez, Luis Hanna, Antonio Granda Centeno, entre otros.

Años más tarde, específicamente el 22 de febrero de 1974, Teleamazonas (Ex-HCJB TV) inicia sus transmisiones y se la considera como la primera red a color del país.

1.1.2. CREACIÓN DEL CANAL 4 EN GUAYAQUIL[5]

Según el libro *"La Primera Pantalla"*, del escritor manabita Fernando Macías Pinargote, la historia del nacimiento de la televisión en el Ecuador está ligada a algunos personajes, entre ellos el matrimonio conformado por Michael Rosembaum de origen alemán y la manabita Linda Zambrano oriunda de Bahía de Caráquez. Michael era hijo de inmigrantes judíos alemanes que habían huido de los estruendos de la segunda guerra mundial y se habían radicado en Ecuador.

En 1958, ambos amantes de la tecnología y los artículos innovadores, realizan un viaje a varios países de Europa y asisten a la Feria Internacional de la Tecnología en Alemania, donde se encuentran con la novedosa televisión. Curiosos por el invento, antes de retornar a Ecuador, deciden adquirir equipos de televisión de la fábrica alemana Grunding para traerlos al país, en abril de 1959.

Con la ayuda de un técnico arman los equipos y realizan exhibiciones de televisión, primero en Quito y después en Guayaquil. En Quito no logran apoyo para la instalación de un canal de Televisión, lo que sí encuentran de alguna manera en Guayaquil.

La televisión nace propiamente el 1 de junio de 1960, cuando el Estado ecuatoriano otorga la primera frecuencia de televisión a nombre de Linda Zambrano, para el inicio de operación del Canal 4 (con sede en Guayaquil) que corresponde a RTS, Red Telesistema.

Linda Zambrano recibió de manos de Sixto Durán Ballén, Ministro de Obras Públicas de aquél entonces, el documento histórico que la convertía en la primera concesionaria de un canal de televisión en la historia del país. El Canal 4 fue oficialmente inaugurado el 12 de diciembre de 1960, fecha en la cual se celebra el día de la Televisión Ecuatoriana.

Al principio se realizaban transmisiones en circuito cerrado, siendo los familiares más cercanos de Linda Zambrano sus primeros colaboradores. En estas actividades, Vicente Bowen Centeno se convirtió en el primer camarógrafo del país.

Acto seguido, se hicieron muchos esfuerzos para incorporar equipamiento y tecnología al país. Es así que, un guayaquileño de apellido Noriega empezó a importar los primeros televisores marca *Emerson*, con el objetivo de que la población adquiriera el producto a un bajo costo y de esta manera difundir e incentivar la penetración de la televisión en Ecuador.

1.1.3. ACTUALIDAD DE LA TELEVISIÓN EN EL ECUADOR

La televisión en el Ecuador entra a formar parte principal de la impresionante red de comunicaciones y ocupa un nivel importante en la sociedad. Al ser una importante herramienta de comunicación, varios entes de la sociedad apuntan a tener poder sobre ella, tanto en el ámbito político, como en el económico.

La industria televisiva actúa bajo el modelo norteamericano, el cual se fundamenta en que el Estado es propietario de las frecuencias y es el único a través de sus organismos de regulación y control con el derecho de otorgarlas. Es decir, el Estado se reserva el derecho de conceder frecuencias, razón por la cual, utiliza algunas de éstas para programas estatales de educación y salud.

Han surgido nuevas y muchas estaciones de televisión, tanto a nivel nacional, regional como local. Hoy en día el país cuenta con un total de 81 concesionarios dedicados a brindar servicios de televisión abierta en el país, tanto en la banda VHF como UHF. Después de menos de un año de sus primeros estudios, el jueves 29 de noviembre de 2007, se inauguró el primer Canal Estatal denominado ECUADOR TV, canal encargado de transmitir las actividades realizadas por la Asamblea Nacional Constituyente en Montecristi.

Actualmente, existen 548 estaciones de televisión abierta (260 VHF y 288 UHF)², entre regionales y provinciales, articuladas al mundo globalizado. Las compañías operadoras de cable tienen 849.861 suscriptores y las compañías de televisión codificada satelital (DirecTV, CNT-TV y CLARO TV) poseen 398.065³ suscriptores, cifra que va creciendo poco a poco.

1.2. EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA TV

La evolución tecnológica de la televisión en el país, inicia con la primera transmisión a blanco y negro, la cual tuvo lugar el 12 de diciembre de 1960.

La televisión a color entró en funcionamiento en Estados Unidos y otros países en la década de 1950. En México, las primeras transmisiones a color se efectuaron en 1967 y en la década siguiente en España. En Ecuador, en abril de 1972, el empresario Antonio Granda Centeno adquirió los equipos y la frecuencia de HCJB, radioemisora con misión evangélica que conformó la Televisora del Amazonas, que años más tarde se condensó con el nombre de Teleamazonas.

Teleamazonas se comenzó a posicionar en el país como el "Canal de la familia ecuatoriana". Ecuador mediante este canal inició sus transmisiones de prueba el 5 de noviembre de 1973, pero no fue sino hasta el 22 de febrero de 1974 cuando este canal televisivo comenzó su programación regular desde su propia sede en el norte de Quito, en la Av. Antonio Granda Centeno y Brasil. Teleamazonas se convirtió en la primera televisora con red de repetidoras a nivel nacional con imagen a color en el Ecuador y Sudamérica. En el año 2004, Teleamazonas cumplió tres décadas de existencia. Actualmente, es uno de los canales que más invierte en tecnología para comunicaciones globales.

² Cifras tomadas del Resumen Estadístico del número de estaciones de Televisión Abierta, actualizado a junio de 2013, Fuente Superintendencia de Telecomunicaciones.

³ Cifras tomadas de Estaciones y número de suscriptores de los servicios de audio y video por suscripción autorizadas en el ámbito nacional, actualizado a septiembre de 2013, Fuente Superintendencia de Telecomunicaciones.

1.2.1. TELEVISIÓN BLANCO Y NEGRO[6][7][8][9]

La señal de video transmitida (televisión monocromática) por las primeras estaciones, solo incluía la información de brillo de la imagen, la cual se la podía percibir en la pantalla del receptor como una sucesión de puntos con menor o mayor intensidad (diferentes tonos de grises).

Esta modalidad de transmisión logra dotar a la imagen reproducida de definición suficiente para que el televidente pueda distinguir dentro de la imagen, los tamaños y formas relativos de los componentes de la escena.

1.2.2. TELEVISIÓN ANALÓGICA A COLOR[10][11][12]

Para agregar color a una imagen, se analizó la forma de incluir dentro del canal de televisión, la información de color (crominancia) sin perder la información de brillo (luminancia) existente.

De esta manera, la televisión a color se consigue transmitiendo una señal adicional a la luminancia, denominada crominancia, la cual se encarga de transportar la información de color. Mientras la señal de crominancia especifica la tonalidad y saturación de los diferentes elementos de la imagen, la de luminancia describe el brillo de esos mismos elementos. La cámara de televisión a color genera combinaciones de tres señales de video, y cada una corresponde a las variaciones de intensidad de los tres colores primarios: verde, azul y rojo, dando lugar a la señal de crominancia y luminancia.

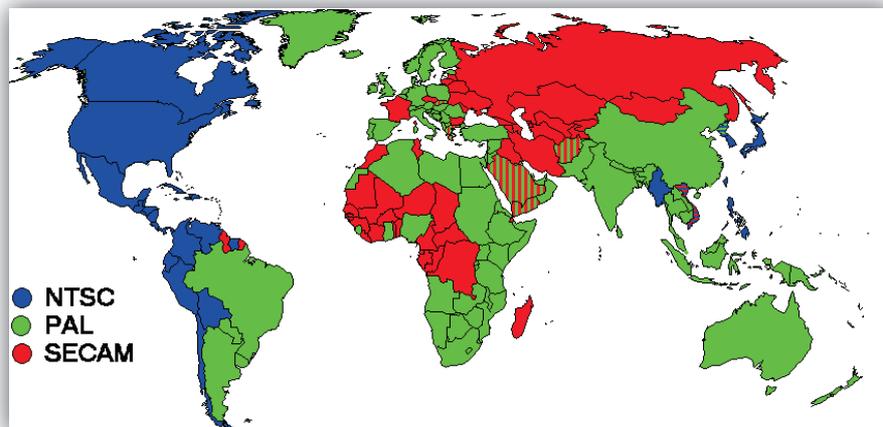
En el receptor, las tres señales de video a color se obtienen a partir de las señales de luminancia y crominancia y dan lugar a los componentes rojo, azul y verde de la imagen, que superpuestos reproducen una escena en color.

Si la señal de color llega a un televisor en blanco y negro, los circuitos del receptor sólo tienen en cuenta la señal de brillo y descartan los datos correspondientes a tonalidad y saturación.

La norma de televisión a color adoptada en Estados Unidos por el NTSC (National Television System Committee) es la utilizada en algunos países de América Latina. Existen varias normas de televisión analógica a saber entre ellas: PAL (Phase Alternating Line) utilizada en la mayor parte de Europa, SECAM (Sequential Color with Memory) utilizada en Francia y países de Europa Oriental.

Las diferencias entre estos tres sistemas de transmisión internacional se centran fundamentalmente en 3 áreas:

- El número de líneas horizontales en la imagen
- El ancho de banda de transmisión del canal
- La utilización de amplitud o frecuencia modulada para transmitir el audio y video



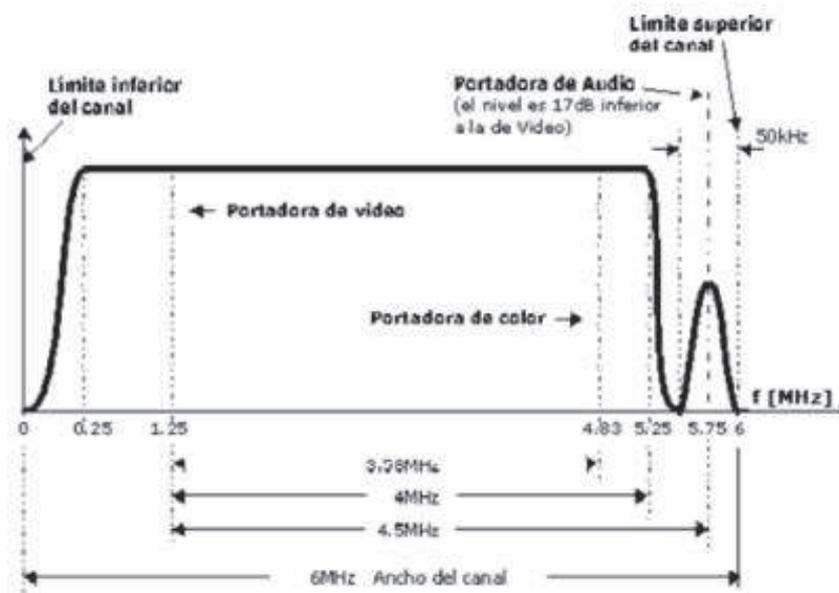
Fuente: [8]

Figura 1.1. Estándares de TV analógica adoptados en diferentes países.

El sistema que se utiliza para la transmisión de televisión analógica en nuestro país es el NTSC; el cual transmite 30 cuadros por segundo con 525 líneas de resolución cada uno.

La señal de audio se modula en FM (Modulación en Frecuencia) para obtener mayor calidad y ocupar poco ancho de banda; en cambio, la señal de video se modula en AM (Modulación en Amplitud). La razón por la que se quiere disminuir el ancho de banda es porque cuanto menor sea éste, mayor es el número de canales que pueden ser asignados en la banda de televisión comercial.

Para transmitir un solo canal analógico NTSC, se requiere un ancho de banda de 6 MHz, de los cuales el video utiliza un ancho de banda de 4.2 MHz. En la banda de 6 MHz se localiza también la señal de audio, la componente de video con banda vestigial, la subportadora de color y dos espacios que funcionan como banda de guarda entre los otros canales adyacentes como se observa en la figura 1.1.



Fuente: [9]

Figura 1.2. Distribución de las componentes de una señal de TV.

1.2.3. TELEVISIÓN DIGITAL[13][14]

La televisión digital debe su nombre a la tecnología que utiliza para transmitir su señal. En contraste con la televisión tradicional que codifica los datos de manera

analógica, la televisión digital codifica sus señales de forma binaria, habilitando la posibilidad de crear vías de retorno entre consumidor y productor de contenidos, lo que abre la opción de crear aplicaciones interactivas.

Existen diferentes formas de televisión digital, dependiendo del medio y el modo de transmisión, entre las que se encuentran las siguientes:

- Televisión digital por satélite
- Televisión digital por cable
- Televisión digital terrestre

La televisión de alta definición, también conocida por la sigla inglesa HDTV (High Definition Television), es un formato de televisión digital que mejora la calidad de la imagen transmitida.

Su adopción constituirá una etapa en la evolución de la calidad de imagen, comparable a lo que supuso el paso de la televisión en blanco y negro a la televisión en color. HDTV al proporcionar mejor calidad requiere mayor ancho de banda para su transmisión que las señales digitales convencionales.

La resolución que alcanzan las imágenes es de 1920x1080 píxeles, mucho mayor que la resolución estándar (720x486 píxeles). Esto supone más de dos millones de píxeles por imagen, lo que permite incluir más información o, lo que es lo mismo, una resolución mucho mayor.

Además, el formato de la imagen es panorámico, con una relación de aspecto 16:9 (es decir, 16 unidades de ancho por cada 9 unidades de alto en la imagen), a diferencia de la relación tradicional 4:3.

1.2.3.1. Formato

El formato define básicamente la resolución de las secuencias de vídeo, y son definidos habitualmente por el número de líneas visibles que presentan, existiendo

actualmente dos grupos o familias de formatos conocidas como 1080 y 720. Dichos formatos están perfectamente regulados por los organismos competentes para ello, a saber, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y la SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers), los cuales aseguran una completa interoperabilidad entre ellos.

El formato 1080 nació con un doble objetivo, duplicar la resolución horizontal del formato de definición estándar de 720 píxeles/línea, y el de mejorar la relación de aspecto pasando de 4:3 a un formato panorámico de 16:9. Esto implica una resolución horizontal de 1920 píxeles/línea, que unido a la necesidad de definir una relación de píxel cuadrado, converge en el actual formato de 1080 líneas activas.

Por el contrario, el formato 720 perseguía el duplicar la resolución temporal de 30 cuadros/s a 60 cuadros/s pero en este caso con barrido progresivo, con el objetivo de adaptarse de modo óptimo a los contenidos con escenas de elevado movimiento, como ocurre con los contenidos deportivos.

Al igual que el formato 1080, el formato 720 ofrece una mejora en su resolución espacial con respecto a la definición estándar, pero con una resolución horizontal de 1280 píxeles/línea ligeramente inferior a la del formato 1080.

La ITU ha decidido oficialmente respecto a un número total de 1125 líneas para los sistemas de 50 Hz y 60 Hz, con 1080 líneas activas y 1920 píxeles por línea. Una imagen activa de 1080 líneas x 1920 píxeles se denomina como el formato común de imagen (*CIF-Common Image Format*).

La frecuencia de muestreo de la señal de luminancia es 74,25 MHz y la frecuencia de muestreo de las señales diferencia de color es $0,5 \times 74,25\text{MHz} = 37,125\text{ MHz}$.

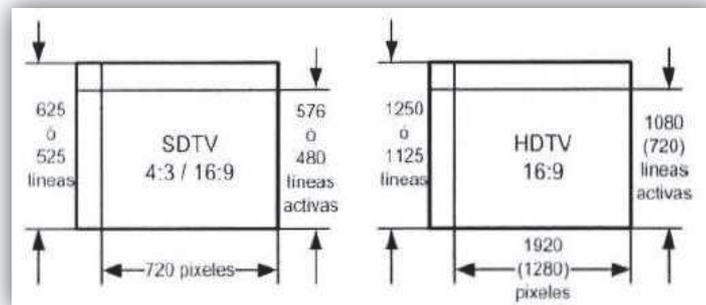


Figura 1.3. Resolución en SDTV y HDTV.

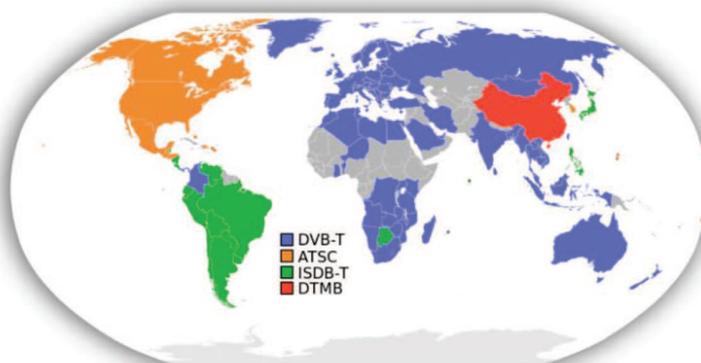
1.2.3.2. Fuentes de señal HD

Para obtener señales HD es necesario que tanto la señal como el receptor (televisor o decodificador) sean de alta definición. Las fuentes típicas de señal HD son las siguientes:

- **Cable.** Las compañías de televisión ofrecen emisiones en HDTV como parte de sus servicios. Es necesario un receptor adecuado para poder disfrutar este tipo de servicio, el cual es suministrado por la propia compañía. Algunos contenidos son ofrecidos en este formato por video bajo demanda.
- **Satélite.** La emisión de HDTV es posible por vía satelital. Para ello es necesario que el receptor sea compatible con esta tecnología.
- **Consolas.** Video Consolas, como PlayStation 3 y Xbox 360, son capaces de reproducir contenido en formato digital de alta definición. Las nuevas tarjetas gráficas para PC, constan de interfaces HDTV, lo que les permite ser utilizados para mostrar imágenes y videos en alta definición. El estándar de disco óptico Blue-ray Disc (25GB-50GB) provee almacenamiento para contenido de video en HD (unas 10 horas dependiendo de la codificación).

1.2.3.3. Estándares de la televisión digital terrestre

La transmisión de TDT se realiza siguiendo los parámetros técnicos establecidos por diferentes estándares tecnológicos. El uso de estos estándares por parte de los diferentes países responde a su ubicación geográfica y a su pertenencia a la esfera de influencia de los estados creadores de estándares.



Fuente: [14]

Figura 1.4. Estándares de TV digital adoptados en diferentes países⁴.

El ATSC estadounidense es empleado en Norteamérica: Canadá, Estados Unidos y México, así como en: Corea del Sur, Honduras, El Salvador, República Dominicana, Guatemala y Puerto Rico.

El estándar japonés ISDB-T se utiliza en Japón, Filipinas y con algunas variantes en la mayoría de los países del centro y sur de América: Brasil, Bolivia, Perú, Argentina, Paraguay, Chile, Venezuela, Ecuador, Nicaragua, Costa Rica y Uruguay. El DVB-T europeo se emplea en la Unión Europea, Australia, Argelia, Malasia, Marruecos, Nigeria, Sudáfrica, Namibia, Panamá, Colombia y Turquía. En China se usa el DTMB.

⁴ La figura editada por última vez el 12 de Noviembre de 2013.

1.3. TELEVISIÓN NACIONAL[9][15][16]

1.3.1. ASPECTOS TÉCNICOS[9]

El principio fundamental de la difusión analógica consiste en que desde el centro emisor se hacen llegar las señales de video y audio hasta los transmisores principales situados en lugares estratégicos, normalmente en lo alto de alguna montaña dominante. Estos enlaces se realizan mediante microondas punto a punto. Los transmisores principales cubren una amplia zona, en los lugares donde existen zonas de sombra, es necesario retransmitir la señal utilizando repetidores. La transmisión se realiza en las bandas de UHF y VHF.

En el Suplemento del Registro Oficial No. 335 de 29 de mayo de 2001, se publicó la NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ANALÓGICA Y PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE CANALES, en la que se establece las bandas de frecuencias, la canalización y las condiciones técnicas para la distribución y asignación de canales para la operación de estaciones en el servicio de televisión analógica en el Ecuador. Entre los principales aspectos contemplados se puede mencionar los tres siguientes:

- **Bandas de Frecuencia**

TELEVISIÓN VHF:		
Banda	Rango frecuencias	Canales
Banda I	54-72 MHz	2, 3, 4
	76-88 MHz	5 y 6
Banda III	174-216 MHz	7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13
TELEVISIÓN UHF:		
Banda	Rango frecuencias	Canales
Banda IV	500-608 MHz	19, 20, 21, 22, ..., 36
	614-644 MHz	38, 39, ..., 42
Banda V	644-662 MHz	43, 44, 45

Fuente: [9], página 18.

Tabla 1.1. Bandas de frecuencia operantes en Ecuador.

- **Reserva de canales**

Los canales 19 y 20 se reservan para el Estado, con el objetivo de facilitar el proceso de migración de televisión analógica a la televisión digital, y mediante Resolución No. 1838-CONARTEL-01 del 21 de junio del 2001, se reserva para el Estado Ecuatoriano los canales de televisión 48 y 49 UHF, de acuerdo con la zona geográfica, en todo el territorio nacional.

- **El área de cobertura**

Es el área de operación autorizada o principal tendrá una intensidad de campo igual o mayor a la intensidad de campo mínima a proteger en el área urbana; y, el área de cobertura secundaria, la que corresponde a los alrededores de las ciudades a servir, tendrá una intensidad de campo entre los valores definidos a los bordes del área de cobertura y sin rebasar los límites de la zona geográfica.

Respecto a la televisión por cable, se puede mencionar que la aprobación técnica de las estaciones, se basa en el *“Reglamento para Sistemas de Audio y Video por Suscripción”*, Registro Oficial N° 325 de 24 de noviembre de 1999, de la Ley y Reglamento de Radiodifusión y Televisión vigente.

En cuanto a la televisión codificada satelital (DTH Televisión directa al hogar) (DBS Radiodifusión directa por satélite), se puede mencionar que ésta utiliza como medio de transmisión el espacio radioeléctrico, para señales codificadas de audio, video y/o datos, destinadas a la recepción exclusivamente a un grupo particular privado de suscriptores o abonados del sistema, que disponen de estaciones receptoras de estas señales

La aprobación técnica de las estaciones de servicios de Televisión Codificada Satelital, se basa en el Reglamento para Sistemas de Audio y Video por Suscripción, Registro Oficial N° 325 de 24 de noviembre de 1999, de la Ley y Reglamento de Radiodifusión y Televisión vigente.

1.3.2. PRINCIPALES OPERADORAS DE TELEVISIÓN EN ECUADOR [15][16]

La televisión en el Ecuador constituye un medio de comunicación masivo, el cual difunde varios programas en diferentes canales privados y estatales que se desarrollan en los ámbitos nacional, regional y local.

El país cuenta con diez canales privados y cuatro canales operados por el estado; además, es importante indicar que existe una amplia gama de canales regionales y locales, algunos de carácter estatal y otros privados y comunitarios. Entre los principales canales del Ecuador se tienen los siguientes:

Canal	Tipo de Programación	Tipo de Propiedad
Señal abierta		
Ecuavisa	Generalista	Privado
Ecuavisa HD	Variado	Privado
Teleamazonas	Generalista	Privado
Teleamazonas HD	Variado	Privado
RTS	Generalista	Estatal
RTS HD	Generalista	Estatal
Telerama	Variado	Privado
TC Televisión	Generalista	Estatal
TC HD	Generalista	Estatal
Gama TV	Generalista	Estatal
Canal Uno	Generalista	Privado
Canal Uno HD	Variado	Privado
Ecuador TV	Generalista	Estatal
Ecuador TV HD	Generalista	Estatal
RTU Televisión	Variado	Privado
UCSG Televisión	Generalista	Universitario
Latele	Variado	Privado
Canela TV	Musical	Privado
Oromar Televisión	Variado	Privado
Oromar HD	Variado	Privado

Fuente: [15], página 1.

Tabla 1.2. Principales canales de Ecuador.

Como se puede observar, existen 7 canales que están transmitiendo señales en HD (alta definición) los cuales tienen su propia página electrónica con su programación y novedades.

Por otro lado, el país cuenta con ocho canales de televisión pagada, en donde la empresa Direct-TV lidera la tabla en número de suscriptores.



Fuente:[9], página 1.

Tabla 1.3. Suscriptores de televisión pagada por empresa en Ecuador.

La televisión en el Ecuador, también ha ido cambiando en razón del veloz avance de la tecnología, es así que en el año 2010, se adoptó el estándar ISDB-Tb para la transmisión de señales digitales y por otro lado en el año 2013 varios canales han empezado su transmisión en alta definición. En este punto es importante aclarar que la alta definición "HD" no es Televisión Digital, sino que es parte de ella, pues existen varios tipos de resoluciones digitales (SD, ED, HD y LD).

Una vez adoptado el estándar ISDB-Tb, el CONATEL en el año 2010 otorgó frecuencias temporales al canal Ecuador TV con el objetivo de realizar pruebas de emisión de señales digitales en la ciudad de Quito, las cuales en el año 2011, también se realizaron en las ciudades de Guayaquil, Cuenca y Manta.

Posteriormente y con el respectivo otorgamiento de frecuencias autorizadas por el CONATEL; el 3 de mayo de 2013 se inauguró del sistema de televisión digital terrestre en Ecuador con la primera señal al aire correspondiente a la estación televisora de TC Televisión en Guayaquil y posteriormente el 9 de mayo se pone al aire la señal digital en alta definición de Ecuavisa en las ciudades de Guayaquil y Quito

El avance es progresivo en la transición hacia la Televisión Digital Terrestre (TDT), actualmente 12 estaciones cuentan con señal tecnológica digital (estándar de televisión ISDB-T Internacional). Dichas estaciones están funcionando gracias al trabajo coordinado entre el Gobierno Nacional y la empresa privada.

Es importante indicar que en diciembre de 2016, se planea implementar en Ecuador el Plan maestro de transición a la televisión digital terrestre, un cambio en la tecnología de la señal de televisión de analógica a digital, denominado "apagón analógico".

El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, dentro de planes y políticas, tiene previsto completar la primera fase de la transición a la TDT hasta diciembre de 2016 en las ciudades que tengan mayor población y hasta diciembre de 2018 se realizará el cambio definitivo a la llamada era digital.

1.4. PROCESO DE ELECCIÓN DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb PARA ECUADOR[17]

1.4.1. ASPECTOS HISTÓRICOS[18]

El día 22 de abril del 2008, el Ing. Paul Rojas Vargas, Superintendente de Telecomunicaciones, y el Señor Yukihiro Maekawa, en su calidad de Embajador de Japón en Ecuador, firmaron un convenio de cooperación técnica e instrumental con el propósito de coordinar el proceso de internación temporal de un equipo transmisor

de televisión digital con el estándar ISDB-T, así como los trámites y procedimientos necesarios para el uso y seguridad de este equipo mientras dure el préstamo.

La empresa Toshiba por medio de la embajada del Japón en el Ecuador, concedió por un período de un año, sin compromiso alguno y en calidad de préstamo, el equipo transmisor mencionado para ser utilizado por la Superintendencia de Telecomunicaciones SUPERTEL, en la ejecución de las pruebas y evaluación de los estándares de Televisión Digital Terrestre (TDT).

La Superintendencia de Telecomunicaciones utilizó el equipo transmisor únicamente para fines de pruebas y de análisis de ventajas y desventajas del proceso de digitalización de la señal de televisión digital con el estándar ISDB-T. Lo anterior se ejecutó de acuerdo a un plan de pruebas y su respectivo cronograma aprobado, luego de lo cual se entregó en la Embajada de Japón el equipo transmisor, para el proceso de devolución y re-exportación. Por su parte, la Embajada de Japón en Ecuador se comprometió a ejecutar el proceso de importación y re-exportación del equipo transmisor y llevar adelante procesos de capacitación técnica en las áreas de interés mutuo, relacionados con las funciones de la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Por otro lado, desde mayo de 2009 se realizaron pruebas técnicas con los estándares europeo y chino; con el estándar norteamericano ATSC no se realizaron pruebas y al respecto la SUPERTEL indico que: *“(...) a través de la coordinación con los diferentes promotores de los estándares así como con los respectivos gobiernos, ha gestionado en calidad de préstamo los equipos transmisores para ser utilizados en la ejecución de las pruebas y evaluación de los estándares de Televisión Digital Terrestre (...) A excepción del estándar ATSC que por motivos propios no envió el equipamiento dentro de los tiempos requeridos para el efecto.”*⁵

⁵ Texto citado del *Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Ecuador* elaborado por la SUPERTEL.

El 9 de diciembre de 2009, un sitio web tecnológico de Brasil informó que ya era prácticamente un hecho la adopción por parte de Ecuador del sistema japonés-brasileño y que solo se esperaba unos formalismos legales para proceder al anuncio oficial. El 24 de marzo de 2010, la prensa ecuatoriana informa que Ecuador decidió escoger el estándar tecnológico japonés-brasileño para la aplicación de la TDT en el país. Lo que se oficializó el 26 de marzo de 2010, cuando el Superintendente de Telecomunicaciones, Ing. Fabián Jaramillo, anunció que el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) aceptó la recomendación de la SUPERTEL, la cual se inclinó por la norma japonesa-brasileña de televisión digital ISDB-Tb/SBTVD, siendo en consecuencia adoptada como norma de televisión digital terrestre en el Ecuador. Posteriormente, algunos representantes del gobierno ecuatoriano suscribieron memorandos de cooperación con sus pares en Brasil y Japón.

El enviado especial del gobierno japonés Masamitsu Naito y técnicos de la NHK, integrantes de la comitiva oficial, después de entrevistarse con el vicepresidente Lenín Moreno, informaron que Japón donaría 40,000 decodificadores (STB) y que ya se encontraban en marcha el proceso de instalación de un transmisor para la señal digital de la cadena estatal Ecuador TV.

Ecuador adoptó la norma japonesa-brasileña de Televisión Digital Terrestre, transformándose en el sexto país en la región que adoptó el estándar ISDB-T. Con esta elección, Ecuador eligió el mismo estándar que Argentina, Brasil, Chile, Perú y Venezuela. En ese entonces, todavía quedaban por decidir en la región Bolivia, Costa Rica, Cuba y Paraguay, mientras que Uruguay, Colombia y Panamá optaron por la norma europea, DVB-T, y México y Honduras por la estadounidense ATSC.

Debido a que el apagón analógico se tiene previsto entre los años 2016 y 2018, es importante indicar que a partir de la fecha que se fije como el día “del apagón” nadie podrá tener señal televisiva si no cuenta con un artefacto digital o un decodificador adaptado al televisor, el cual según algunos analistas estiman, tendrá un costo individual entre \$25 y \$50 dólares.

Es importante que Ecuador haya escogido un estándar de televisión digital, pues el uso del sistema analógico presenta varias dificultades y limitaciones en la emisión de la señal televisiva. Por otro lado, se optimizará el uso del espectro radioeléctrico, ya que en la actualidad se designa una banda de 6 MHz, mientras que con ese mismo ancho, con la tecnología TDT, se podrá operar hasta ocho canales, según el grado de compresión.

1.4.2. ESTUDIO Y PRUEBAS TÉCNICAS REALIZADAS POR LA SUPERTEL

Previo a la elección del estándar ISDB-Tb para uso de la señal digital en el territorio ecuatoriano; la SUPERTEL elaboró el informe denominado: *“INFORME PARA LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR”*, el cual tenía como objetivo principal determinar el estándar de Televisión Digital Terrestre (ATSC, DVB-T, ISDB-T, SBTVD y DTMB) que técnicamente se adaptase de la mejor manera a las características de transmisión y recepción del Ecuador, considerando que el estándar que se adoptase debía coexistir con la televisión analógica durante el período de migración.

Además, a través del mencionado informe se pretendía evaluar los estándares de Televisión Digital Terrestre, bajo parámetros similares de transmisión y recepción, teniendo en cuenta la recomendación UIT-R BT.2035-11, *“Directrices y técnicas para la evaluación de sistemas de radiodifusión de televisión digital terrenal”*, cuyo objetivo es evaluar la calidad de funcionamiento del sistema o sistemas disponibles con diversas configuraciones de transmisión y recepción.

Entre los principales aspectos técnicos descritos en el Informe realizado por la SUPERTEL, se pueden distinguir los siguientes:

1.4.2.1. Pruebas de televisión digital terrestre en el Ecuador

Para realizar las mediciones del servicio de televisión digital se utilizaron señales en alta definición, cuyos contenidos correspondieron a escenas con movimientos tanto

lentos como rápidos. En cuanto a la recepción de la señal digital, se consideró cuatro clases de recepción, a saber: fija, portátil, peatonal y móvil.

Se realizaron dos clases de pruebas. En la primera se ejecutó una evaluación subjetiva de imagen y sonido, considerando los 5 niveles establecidos en la recomendación UIT-R BT.500 y en la segunda prueba se consideró la cobertura. Las mediciones de cobertura se realizaron con una antena direccional UHF, tipo yagi de 8 elementos con pantallas reflectoras, con una ganancia aproximada de 14 dBd, situada a 10 metros de altura sobre el suelo.

1.4.2.2. Ejecución de pruebas en la ciudad de Quito

El 20 de febrero de 2009 se dio inicio a la ejecución de las pruebas de Televisión Digital Terrestre con cada estándar. Se emplearon transmisores con una potencia de 500 W y un ancho de banda de 6 MHz. Los parámetros de configuración de cada estándar fueron los siguientes:

ESTÁNDAR	DVB-T	ISDB-T		SBTVD		DTMB
TIPO DE SEÑALES	1 HD	1 HD / One Seg		2 HD / One Seg		2 HD / 2 SD
Nº DE PORTADORAS	8K	8k		8k		8k
INTERVALO DE GUARDA	1/16	1/16		1/8		1/9
COMPRESIÓN	MPEG 2	MPEG 2		MPEG 4		MPEG 4
ESQUEMA DE MODULACIÓN	64QAM	QPSK	64QAM	QPSK	64QAM	64QAM
FEC	3/4	2/3	3/4	1/2	3/4	3/4
TIME INTERLEAVE	----	0.4 seg.	0.2 seg.	0.4 seg.	0.2 seg.	----
TASA DE TRANSMISIÓN	17,56 Mbps	440 kbps	17.8 Mbps	220 kbps	8 Mbps	8 Mbps
POTENCIA DE OPERACIÓN	500 W	500 W		500 W		500 W
MARCA TX	BTESA	TOSHIBA		TOSHIBA		BBEF

Fuente: [17], página 28.

Tabla 1.4. Parámetros de operación de los estándares.

En relación a la Tabla 1.4, es importante aclarar que para la norma ISDB-T se realizaron las pruebas considerando la modulación QPSK para 1HD y la modulación 64QAM para one-seg; lo propio se consideró para la norma SBTVD.

Los estándares multiportadora de TV digital, DVB-T e ISDB-T utilizan modulación OFDM y emplean la diversidad de frecuencia como mecanismo que permite recuperar la información transmitida en la señal.

El estándar SBTVD utiliza modulación BST-OFDM (Band Segmented Transmission-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) y el estándar DTMB para mejorar su rendimiento utiliza muchas tecnologías avanzadas, la de mayor interés, modulación TDS-OFDM (Time Domain Synchronization-Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Para estas pruebas se utilizó los canales 45 (DVB-T, DTMB) y 47 (ISDB-T, SBTVD) de la banda UHF, asignados por el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión, CONARTEL.

1.4.2.3. Resultado de las pruebas

Los resultados globales de la evaluación técnica y subjetiva, fueron presentados por la SUPERTEL en base a tres objetivos: cobertura, disponibilidad y calidad, los cuales se observan en las Tablas 1.5 y 1.6:

Pruebas	Objetivo	Parámetros	Resultados		
			Estándar	Medidos (promedio)	Ponderación al 30%
Técnicas	Cobertura	Intensidad de campo [dB μ V/m]	DVB-T	57.49	29.86 %
			ISDB-T	57.75	30.00 %
	Disponibilidad	Voltaje en el receptor [dB μ V]	Estándar	Medidos (promedio)	Ponderación al 10%
			DVB-T	26.49	9.90 %
			ISDB-T	26.76	10.00 %
		Ancho de banda	Estándar	Medidos	Ponderación al 10%
			DVB-T	< 6 MHz	10.00 %
		ISDB-T	< 6 MHz	10.00 %	
		Señal a ruido	Estándar	Medidos (promedio)	Ponderación al 10%
			DVB-T	18.77	9.37 %
ISDB-T	20.03	10.00 %			
Subjetivas	Calidad	Exteriores, Interiores,	Estándar	Medidos	Ponderación al 20%
			DVB-T	115	10.55 %
			ISDB-T	218	20.00 %
		Móvil	Estándar	Medidos	Ponderación al 10%
			DVB-T	3	6.00 %
		ISDB-T	5	10.00 %	
		Portátil, Peatonal y Personal	Estándar	Medidos	Ponderación al 10%
			DVB-T	--	--
		ISDB-T	82	10 %	

Fuente: [17], página 47.

Tabla1.5. Resultados de las mediciones y evaluaciones de los estándares con compresión MPEG-2.

Pruebas	Objetivo	Parámetros	Resultados		
			Estándar	Medidos (promedio)	Ponderación al 30%
Técnicas	Cobertura	Intensidad de campo [dB μ V/m]	SBTVD	56.17	28.90 %
			DTMB	58.30	30.00 %
	Disponibilidad	Voltaje en el receptor [dB μ V]	Estándar	Medidos (promedio)	Ponderación al 10%
			SBTVD	23.87	8.69 %
			DTMB	27.47	10.00 %
		Ancho de banda	Estándar	Medidos	Ponderación al 10%
			SBTVD	< 6 MHz	10.00 %
		DTMB	< 6 MHz	10.00 %	
		Señal a ruido	Estándar	Medidos (promedio)	Ponderación al 10%
			SBTVD	19.31	9.66 %
DTMB	19.98	10.00 %			
Subjetivas	Calidad	Exteriores, Interiores,	Estándar	Medidos	Ponderación al 20%
			SBTVD	256	19.54 %
			DTMB	262	20.00 %
		Móvil	Estándar	Medidos	Ponderación al 10%
			SBTVD	1	3.33 %
			DTMB	6	10.00 %
		Portátil, Peatonal y Personal	Estándar	Medidos	Ponderación al 10%
			SBTVD	101	10.00 %
			DTMB	80	2.38 %

Fuente: [17], página 48.

Tabla 1.6. Resultados de las mediciones y evaluaciones de los estándares con compresión MPEG-4.

1.4.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ESTABLECIDAS POR LA SUPERTEL

Una vez concluidas las pruebas técnicas y subjetivas, la SUPERTEL llegó a varias conclusiones importantes, las cuales sirvieron como base de conocimiento para la elección de la norma de televisión digital idónea para el país.

La SUPERTEL manifestó que el advenimiento de la Televisión Digital Terrestre permite optimizar el uso del espectro radioeléctrico a través de la creación de redes de frecuencia única y la multiplexación del canal de 6 MHz, proveyendo mayor robustez ante las interferencias. Además continuando con esta línea, es importante mencionar que la calidad del audio y video entregado por la Televisión Digital Terrestre, en sus modalidades HD y SD, es visiblemente superior a la calidad analógica, debido a que presenta inmunidad ante el ruido impulsivo, ante efectos como llovizna y doble imagen, comunes en la televisión tradicional.

Por otro lado, también se indicó que la Televisión Digital Terrestre propicia un cambio en la forma de “ver televisión” pues incorpora la interactividad a través de un canal de retorno ofrecido por el mismo sistema o por medios alternativos y de esta manera colabora en la reducción de la brecha digital de Ecuador. Se mencionó también que los esfuerzos realizados por el Estado a favor de la inclusión social, sin duda se verán fortalecidos con la entrada de nuevas tecnologías que abarquen a la mayoría de la población, como es el caso de la Televisión Digital Terrestre. Considerando el contexto internacional, respecto a los países que para ese entonces no habían tomado la decisión sobre el estándar de Televisión Digital Terrestre que utilizarían, el proceso seguido resultó oportuno para el país. La decisión no debía prolongarse en el tiempo, porque muchos de los beneficios ofertados podían haberse diluido, debido a que perderían oportunidad.

Es preciso señalar que el acceso de los usuarios a las diversas ventajas e innovaciones de la Televisión Digital Terrestre trae consigo inversiones generadas por la compra de un nuevo terminal de televisión o un equipo decodificador.

Técnicamente, de acuerdo a los resultados de las pruebas descritos en las Tablas 1.5 y 1.6, la mencionada Superintendencia manifestó que *“al haber realizado en la ciudad de Quito pruebas de cobertura, disponibilidad del servicio y calidad de la señal, el desempeño de los estándares de televisión digital analizados, es muy similar; no presentan diferencias sustanciales en la resolución de imagen, audio y por condiciones climatológicas. Los estándares permiten la configuración de los equipos*

de acuerdo a las exigencias de programación o ancho de banda asignado, permitiendo la flexibilidad a cada operador para adaptar sus transmisiones de acuerdo a requerimientos establecidos. Los estándares pueden operar en un ancho de banda de 6 MHz, el mismo que es utilizado en el Ecuador, bajo la norma NTSC”.

La Superintendencia de Telecomunicaciones, en base al análisis efectuado recomendó principalmente lo siguiente: “De la evaluación efectuada, en los aspectos: técnico, (...) y de cooperación internacional, se pone a consideración el siguiente orden de prelación de los estándares de Televisión Digital Terrestre: 1° ISDB-T/SBTVD (Japonés con variaciones brasileñas), 2° DVB-T, 3° DTMB, 4° ATSC”⁶

Lo anterior, puede ser evidenciado en las Tablas 1.7 y 1.8:

Pruebas	Objetivo	Ponderación al 60 %	
Técnicas	Cobertura y Disponibilidad	DVB-T	59.13 %
		ISDB-T	60.00 %
Subjetivas	Calidad	Ponderación al 40%	
		DVB-T	16.55 %
		ISDB-T	40.00 %

Fuente: [17], página 47.

Tabla 1.7. Resultado final del análisis realizado de los estándares con compresión MPEG-2.

Pruebas	Objetivo	Ponderación al 60 %	
Técnicas	Cobertura y Disponibilidad	SBTVD	57.26 %
		DTMB	60.00 %
Subjetivas	Calidad	Ponderación al 40%	
		SBTVD	32.88 %
		DTMB	37.92 %

Fuente: [17], página 49.

Tabla 1.8. Resultado final del análisis realizado de los estándares con compresión MPEG-4.

⁶ Texto citado del Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Ecuador elaborado por la SUPERTEL.

1.5. REFERENCIAS

- [1] OLEAS GUZMÁN, AG (2010). *Historia y Evolución de la Televisión*, Documento Electrónico <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/464/3/Capitulo1.pdf>, Consultado el 10 de diciembre de 2011.
- [2] GUERRERO CÓRDOVA, Roberto. *Historia de la televisión en el Ecuador y en la ciudad de Loja*, Documento Electrónico http://www.utpl.edu.ec/blogjorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/roberto_guerrero-historia-de-la-TV-en-Ecuador-y-en-Loja.pdf, Consultado el 13 de diciembre de 2011.
- [3] SUPERTEL, (2011). *Breve Historia de la Televisión*, Documento Electrónico http://www.supertel.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=213:breve-historia-de-la-television-&catid=61:articulos-recomendados&Itemid=311, Consultado el 13 de diciembre de 2011.
- [4] <http://estructuraecuador.wordpress.com/category/historia-de-la-television/>, Último acceso: 14 de diciembre de 2011.
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Televisi%C3%B3n_en_Ecuador, Último acceso: 15 de diciembre de 2011.
- [6] <http://melca.com.ar/archivos/apuntes/Sistemas%20audiovisuales.%20Televisi%C3%B3n%20anal%C3%B3gica%20y%20digital/TL02204C.pdf>, Último acceso: 17 de diciembre de 2011.
- [7] <http://html.rincondelvago.com/imagen-de-television.html>, Último acceso: 17 de diciembre de 2011.
- [8] PÉREZ GARCÍA, Néstor (2013). «*Gestión del Espectro Radioeléctrico para TV Digital. Tema 1, Generalidades: Parte 1*» Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela, Consultado el 8 de enero de 2013.
- [9] SUPERTEL, «*Operación de las estaciones de televisión abierta analógica en canales adyacentes de la banda III VHF*», Quito, Consultado el 19 de octubre de 2013.
- [10] <https://docs.google.com/presentation/d/1Bc3R5I8G8-LSCwFpJxQtmdfGegduA52eLFQPQ2kjSwU/edit?pli=1#slide=id.p10>,

Último acceso: 10 de enero de 2012.

- [11] <http://www.siste.com.ar/serv02.htm>, Último acceso: 10 de enero de 2012.
- [12] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/179/1/38T00167.pdf>, Último acceso: 16 de noviembre de 2013.
- [13] http://wikitel.info/wiki/Televisi%C3%B3n_de_alta_definici%C3%B3n, Último acceso: 17 de enero de 2012.
- [14] <http://es.wikipedia.org/wiki/Televisi%C3%B3n>;
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Digital_broadcast_standards.svg, Último acceso: 16 de noviembre de 2013.
- [15] http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Canales_de_televisi%C3%B3n_de_Ecuador, Último acceso: 16 de noviembre de 2013.
- [16] <http://www.pcworld.com.ec/la-television-digital-en-ecuador-una-realidad-cercana/>, Último acceso: 16 de noviembre de 2013.
- [17] SUPERTEL (2010). «Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Ecuador», Consultado el 19 de enero de 2012.
- [18] <http://es.wikipedia.org/wiki/ISDB-T>, Último acceso: 17 de enero de 2012.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE LA NORMA ADOPTADA ISDB-Tb

2.1. TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE [19]

La Televisión Digital Terrestre (TDT), es el resultado de la aplicación de la tecnología digital sobre la señal de televisión analógica, proceso que permite optimizar el espectro radioeléctrico e implementar nuevos servicios a los usuarios como por ejemplo la interactividad.

La señal de Televisión Digital Terrestre es transmitida por medio de ondas hercianas terrestres, es decir, aquellas que se transmiten por la atmósfera sin necesidad de cable o satélite y se reciben por medio de antenas UHF convencionales.

El Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, en su página electrónica <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/>, manifiesta que: *“La TDT es una oportunidad que posibilita el desarrollo de múltiples programas y aplicaciones como Telegobierno, Telesalud y Teleducación, para el buen vivir de la población”*.

2.1.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA TDT [20]

2.1.1.1. Portabilidad

Posibilidad de recepción de la señal digital en diversos tipos de equipos portátiles, como celulares, PDAs, laptops, etc.

2.1.1.2. Movilidad

Posibilidad de recepción en movimiento, es decir capacidad de que un receptor en movimiento capte la señal digital con alta calidad para todo dispositivo móvil como celulares, PDAs los cuales pueden estar inclusive en vehículos desplazándose en velocidad.

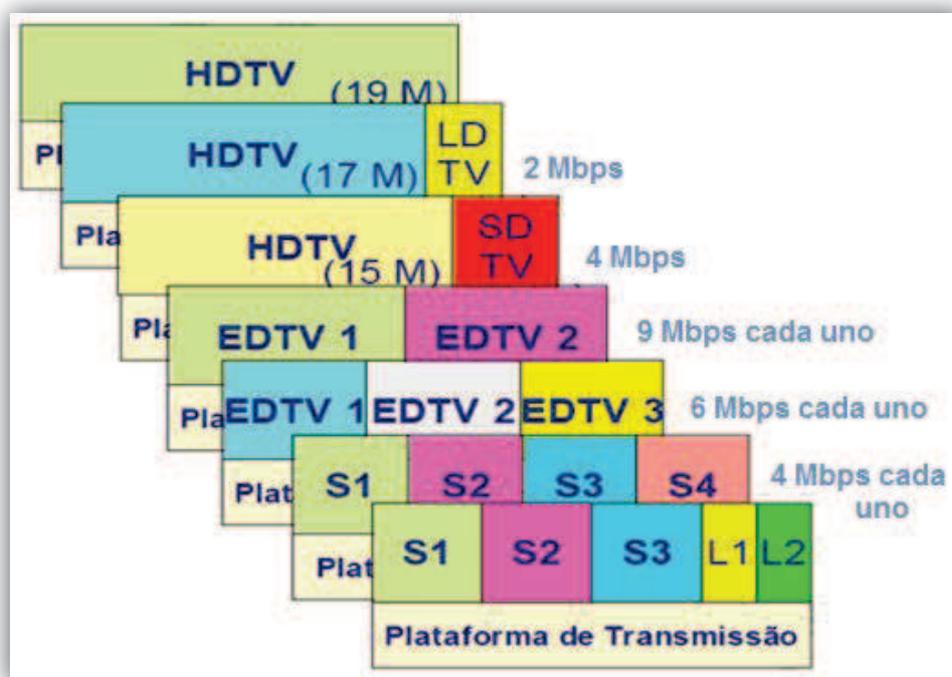
2.1.1.3. Flexibilidad

Posibilidad de utilización del sistema para diferentes aplicaciones y servicios.

2.1.1.4. Multicasting

El multicast está orientado hacia aplicaciones del tipo "uno para muchos" y "muchos para muchos". En el contexto de "ventajas de la televisión digital", el multicasting es la posibilidad de transmisión, en el mismo canal de 6 MHz, de señales con diferentes niveles de resolución, para recepción en diferentes tipos de equipamiento:

- LDTV (para recepción en celulares, PDAs)
- SDTV (para recepción, vía set-top box, en TVs analógicas)
- EDTV y HDTV (para recepción en TV digitales y TV con set-top box integrados)



Fuente: [20], página 14.

Figura 2.1. Capacidad de transmisión.

2.1.1.5. Interactividad

El sistema digital puede ofrecer interactividad, permitiendo al usuario una serie de novedades tales como elegir el ángulo de la cámara en una escena, responder encuestas, votar en elecciones virtuales en tiempo real, realizar sus reclamos y sugerencias en línea a las autoridades gubernamentales, realizar la compra de productos, buscar empleo, etc.

Con la finalidad de distinguir el grado de interactividad que se presenta en el mercado, se han establecido 4 niveles de interactividad. En el primer nivel se visualizan listas y mosaicos de elección, en donde se puede elegir varios aspectos de visualización de la imagen; el nivel dos presenta servicios colectivos ofrecidos por las operadoras que proveen el servicio. Por su parte el nivel tres comprende servicios restringido a portales web. El cuarto nivel es el más robusto y provee acceso abierto a Internet. En la Figura 2.2 se muestra una imagen de lo mencionado:



Fuente: [20], página 18.

Figura 2.2. Cuarto nivel de interactividad de la TDT.

La interactividad es posible gracias al canal de retorno que posee la tecnología digital. Este asunto aún no está resuelto del todo, debido a que cualquiera que sea la

tecnología empleada, habrá irremediablemente un costo adicional. En la Figura 2.3 se puede apreciar cómo trabaja el canal de retorno para la tecnología digital.



Fuente: [20], página 19.

Figura 2.3. Funcionamiento básico del canal de retorno de la tecnología digital.

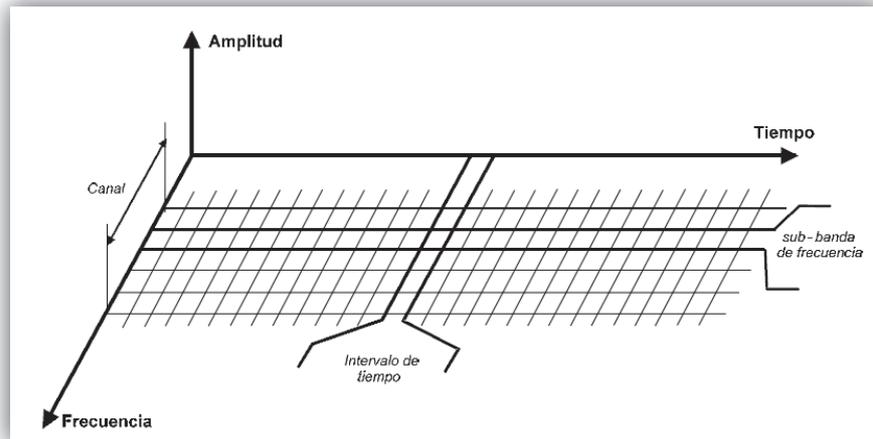
2.1.2. OFDM[20][21][22]

OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal) es una técnica para evitar la interferencia que normalmente se presenta en un canal inalámbrico por el desvanecimiento de las señales y las condiciones mismas del medio.

La solución se da mediante la utilización de múltiples portadoras ortogonales entre sí, además debido al crecimiento de la demanda de servicios que utilizan banda ancha, hacen que el espectro radioeléctrico se torne escaso y se deban utilizar técnicas para aprovechar de mejor manera el ancho de banda asignado para un determinado servicio.

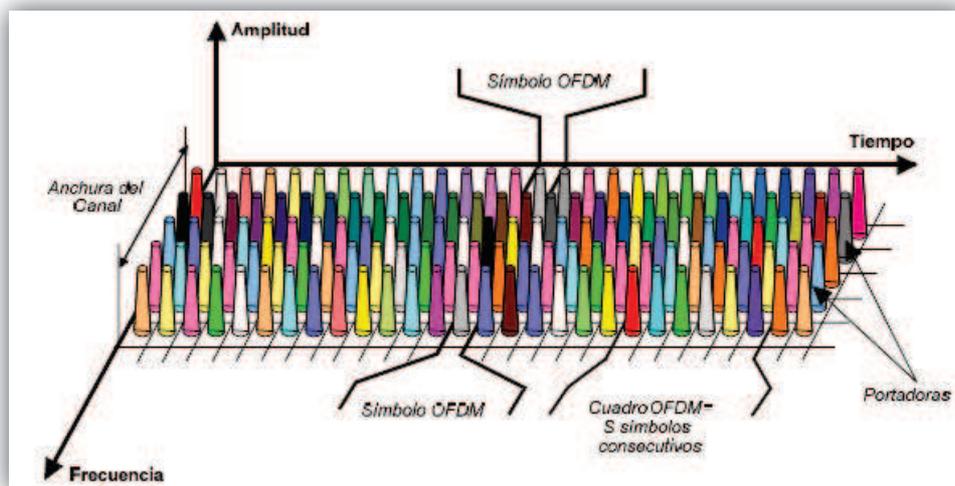
OFDM utiliza de mejor manera los recursos, debido a que combina la transmisión en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia, es así, que el canal radioeléctrico se organiza de la siguiente manera: el *dominio de la frecuencia* se

divide en una cierta cantidad de sub-bandas de reducido ancho de banda comparada con el total disponible en el canal y el *dominio del tiempo* se divide en pequeños intervalos de tiempo.



Fuente: [21], página 3.

Figura 2.4. Canal dividido en el dominio del tiempo y frecuencia.

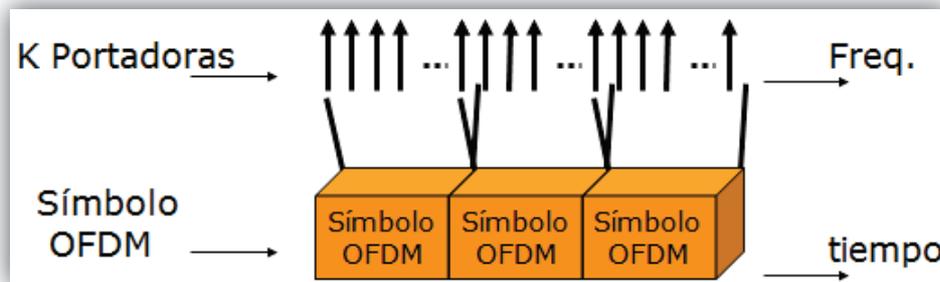


Fuente: [21], página 3.

Figura 2.5. Organización del canal radioeléctrico y distribución de portadoras.

Respecto del estándar ISDB-Tb, cada sector de la partición frecuencia-tiempo se utiliza para colocar una portadora específica. Una señal modulada a ser transmitida está formada por una sucesión de símbolos OFDM.

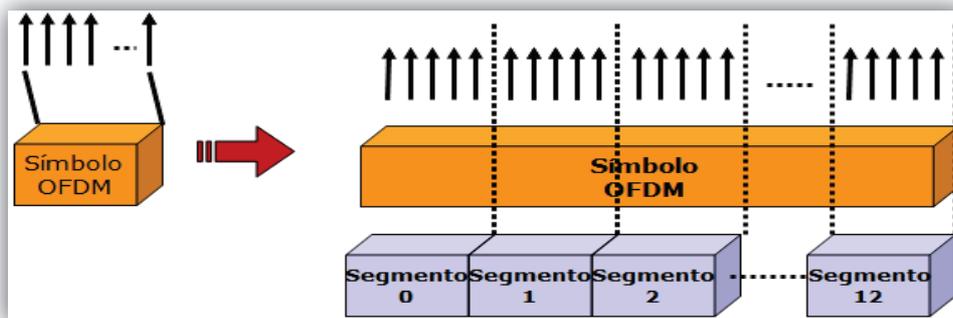
Cada *símbolo OFDM* está formado por miles de portadoras que son transmitidas simultáneamente en un intervalo de tiempo.



Fuente: [22], diapositiva 157.

Figura 2.6. Símbolo OFDM ISDB-Tb.

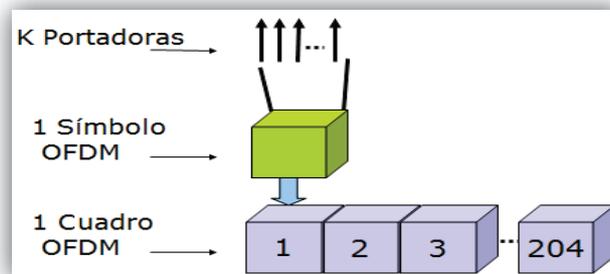
Las portadoras que forman cada símbolo OFDM son agrupadas en 13 grupos, llamados *Segmentos*.



Fuente: [22], diapositiva 158.

Figura 2.7. Formación de segmentos ISDB-Tb.

Una sucesión de 204 símbolos OFDM se denomina *Cuadro OFDM*.



Fuente: [22], diapositiva 173.

Figura 2.8. Formación de un cuadro OFDM ISDB-Tb.

Durante cada intervalo de tiempo, las portadoras son moduladas con unos pocos bits (entre 2 y 6) de datos codificados. El número de bits transmitidos por cada portadora depende del tipo de modulación empleado, para ISDB-Tb: 2 bits para QPSK, 4 bits para 16-QAM y 6 bits para 64-QAM.

2.1.2.1. Características

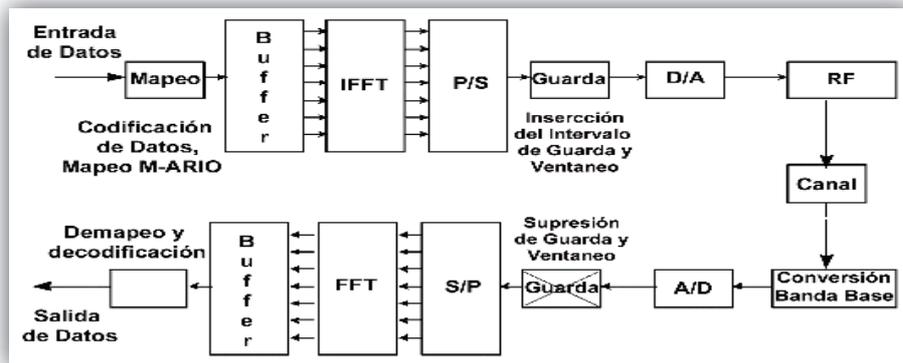
OFDM principalmente se caracteriza por:

- Codificación multiportadora
- Puede trabajar perfectamente con más de 1500 portadoras
- Baja tasa de símbolo por portadora
- Bajo umbral de relación S/N
- Resistente a reflexiones, interferencias
- La ortogonalidad de sus portadoras evita la interferencia entre señales

La ortogonalidad indica que sus portadoras se encuentran ubicadas con un desfase de 90° , lo que quiere decir que mientras una señal se encuentra en un máximo, la portadora adyacente se encuentra en un mínimo.

2.1.2.2. Sistema OFDM [23]

La Figura 2.9 ilustra el funcionamiento del sistema OFDM en la entrada y salida de datos por el canal de comunicaciones, que principalmente consiste en bloque de mapeo, buffers, convertidores serie-paralelo, convertidores A/D, IFFT y FFT.



Fuente: [23]

Figura 2.9. Sistema OFDM.

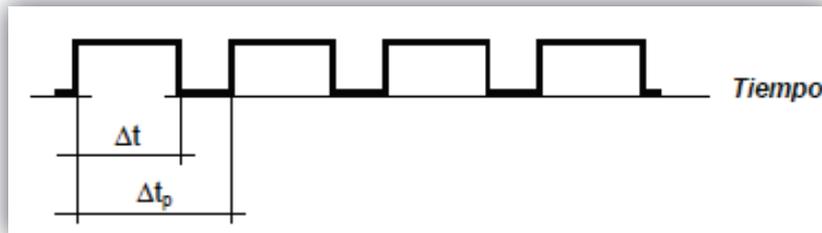
En referencia la Figura 2.9, es importante indicar que el mapeo de los datos de entrada se refiere a que “M” bits de entrada se agrupan para formar símbolos de datos, y por su parte el ventaneo se refiere a un mecanismo dirigido al control de flujo de datos que existe entre un emisor y un receptor.

2.1.2.3. Interferencia entre portadoras

Las portadoras dentro de cada símbolo OFDM mantienen una separación en frecuencia para evitar interferencia entre ellas. El valor de esta separación constituye la esencia del principio de funcionamiento del sistema de modulación OFDM, la *ortogonalidad*.

El principio de ortogonalidad se cumple cuando la separación entre portadoras es igual a la inversa del tiempo de duración del símbolo.

Las portadoras son transmitidas durante períodos de tiempo limitados, de manera repetitiva; es decir, se trata de un tren de pulsos donde Δt es el tiempo durante el cual se tiene un valor máximo y constante, y Δt_p es el tiempo que demora en repetirse la señal.



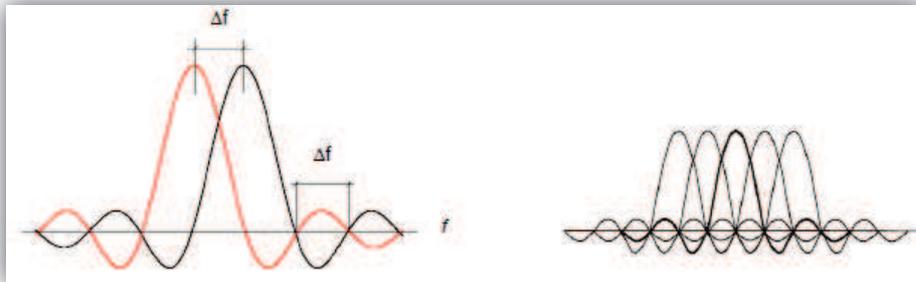
Fuente: [21], página 4.

Figura 2.10. Tren de pulsos.

La Transformada de Fourier de esta señal es una función discreta en el dominio de la frecuencia de la forma $y = \frac{\text{sen } \pi x}{x}$, con sus líneas espectrales separadas $\Delta f = \frac{1}{\Delta t_p}$.

De esta manera el espectro resultante está compuesto por tantas curvas de la forma $y = \frac{\text{sen } \pi x}{x}$ como portadoras existan, y los cruces por cero de cada una de estas curvas cumplirán con la relación $\Delta f = \frac{1}{T_u}$, donde T_u es el intervalo de tiempo correspondiente a un símbolo (tamaño de la ventana).

Las portadoras, al cumplir con la condición de ortogonalidad, garantizan que no existan interferencias entre ellas, ya que en la frecuencia central de una determinada portadora (máxima amplitud de la curva) las restantes portadoras tendrán valor nulo (cruce por cero).



Fuente: [21], página 6.

Figura 2.11. Ortogonalidad de portadoras.

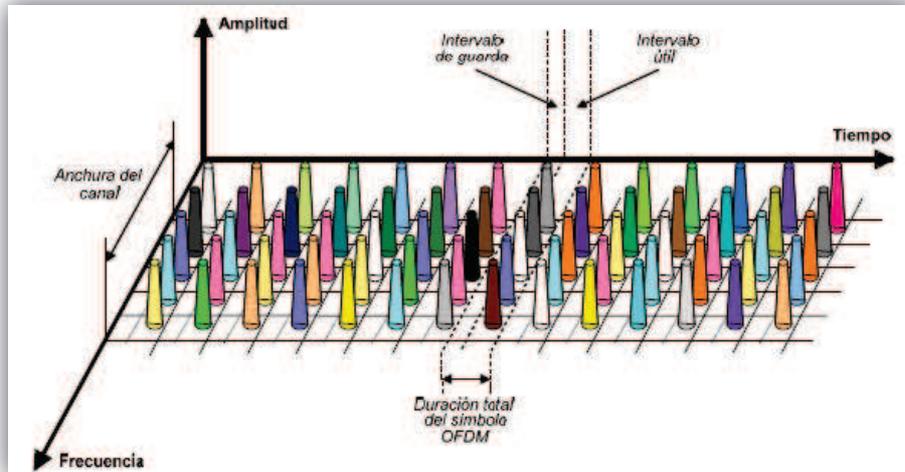
En un sistema con múltiples portadoras, solo la información transmitida en las portadoras más afectadas por interferencias o ruido en el canal se pierden, la información transmitida en las portadoras restantes son recuperadas correctamente mediante un código de corrección de errores; usualmente FEC.

2.1.2.4. Interferencia entre símbolos

Los receptores reciben básicamente la señal directa, sin embargo muchas veces también llegan a la antena réplicas de la señal original con un cierto tiempo de retardo, de esta manera, en el inicio de cada nuevo símbolo OFDM transmitido, se corre el riesgo que éste sea degradado por el final del símbolo antecedente.

Para evitar este efecto, se introduce un intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo OFDM. Este período de tiempo, no es un tiempo muerto ni tampoco presenta ausencia total de señal transmitida, en realidad constituye una mezcla entre el símbolo actual (señal directa) y las réplicas retardadas del símbolo OFDM previo.

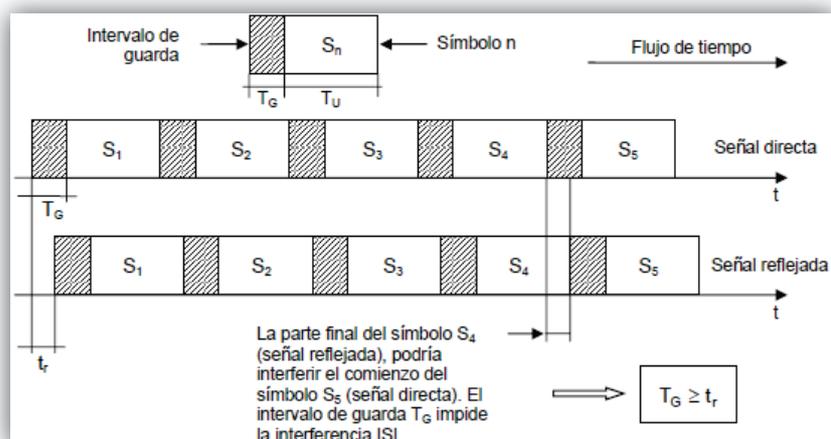
El intervalo de guarda aumenta la robustez de la señal frente a señales retardadas (ecos) provenientes de otros transmisores, que crean interferencias debido a los múltiples trayectos de las mismas.



Fuente: [21], página 6.

Figura 2.12. Inserción intervalo de guarda.

Para minimizar la interferencia entre símbolos (ISI) se inserta un intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo, cuya duración T_G sea mayor o igual al tiempo de retardo t_r . Este tiempo de retardo depende de la trayectoria que sigan las señales reflejadas antes de llegar al receptor.



Fuente: [21], página 7.

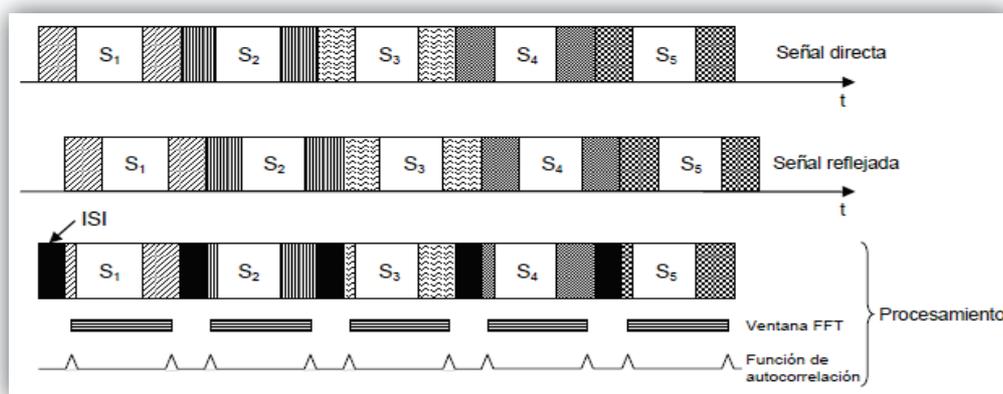
Figura 2.13. Determinación del intervalo de guarda.

La adición del intervalo de guarda resulta clave para posibilitar el correcto funcionamiento de las *redes de frecuencia única* (SFN).

El intervalo de guarda es ocupado por la parte final del símbolo que se transmite a continuación. Es decir, si se acaba de enviar el símbolo S_m a continuación y por un espacio de tiempo igual a T_G , se transmite la parte final del símbolo S_{m+1} y luego el símbolo S_{m+1} propiamente dicho. Si la parte final del símbolo S_{m+1} se repite en el intervalo de guarda que lo precede, todos los componentes de la señal que están presentes más de una vez dentro del período de tiempo libre de ISI podrán ser detectados fácilmente, por medio de la función de autocorrelación del receptor.

La función de autocorrelación permite encontrar el inicio y fin de la zona que está libre de ISI dentro de cada símbolo, permitiendo que el receptor posicione la ventana de muestreo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) dentro del sector libre de interferencias.

Esta ventana tiene una longitud igual a un símbolo y debido al efecto de búsqueda de la zona libre de ISI, esta ventana no queda perfectamente alineada con el símbolo que se está detectando, provocando un error de fase que se traduce en una rotación del diagrama de constelación con el que han sido moduladas las portadoras.

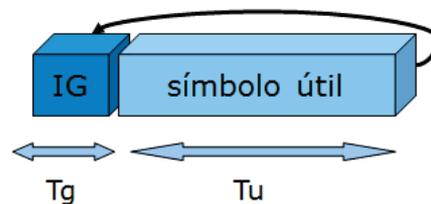


Fuente: [21], página 8.

Figura 2.14. Posicionamiento de la ventana FFT.

La adición de un intervalo de guarda constituye una pérdida en la capacidad de transmisión del canal, es decir, limita la velocidad teórica posible de transferencia de datos.

Los valores para los intervalos de guarda se obtienen de la relación entre el tiempo de guarda y el tiempo útil (T_G/T_U). Cuanto menor sea esta relación mayor será la tasa de transmisión útil y menor será la protección de la señal contra las múltiples trayectorias. Los cuatro valores posibles para dicha relación son: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ y $\frac{1}{32}$.



Fuente: [22], diapositiva 174.

Figura2.15. Intervalo de guarda.

2.1.2.5. Mapeo

Las portadoras $\phi_n(t)$ pueden ser expresadas en senos o exponenciales de la forma:

$$\phi_n(t) = \frac{1}{T} e^{j2\pi \frac{W}{N} nt} \text{ si } t \in [0, T] \quad (2.1) [23]$$

dónde:

- $\frac{W}{N}$ (hertz) = espaciamiento entre subportadoras
- W = ancho de banda disponible
- N = número de portadoras

La duración del símbolo OFDM es igual a:

$$T_{S\text{OFDM}} = N \cdot T_S \quad (2.2) [23]$$

donde T_S es el tiempo de símbolo que depende del esquema de mapeo utilizado.

Cada portadora se mapea a un valor de constelación complejo $X_{n,m}$ con los datos de entrada; el subíndice n corresponde al número de la portadora, y m hace referencia al símbolo OFDM completo o trama. m es un número entero para una transmisión continua.

El esquema de mapeo se selecciona dependiendo del requerimiento de eficiencia del espectro o potencia. Para el mapeo, los diagramas de constelación más frecuentemente utilizados son M-ario PSK o M-ario QAM.

2.1.2.6. Modulación

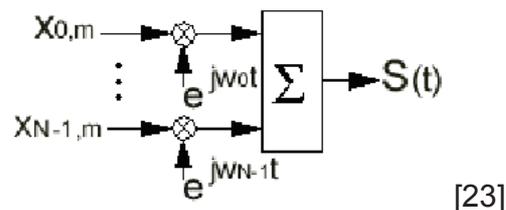
La onda a transmitir sobre el canal se origina de la suma de las subportadoras mapeadas:

$$S_m(t) = \sum_{n=0}^{N-1} X_{n,m} \phi_n(t - mT) \quad (2.3) \quad [23]$$

De esta manera, una trama o secuencia infinita de símbolos OFDM es una yuxtaposición de todos los símbolos individuales OFDM.

$$S(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} X_{n,m} \phi_n(t - mT) \quad (2.4) \quad [23]$$

A continuación, se muestra el diagrama de bloques de un modulador OFDM, donde por simplicidad, se ignoran los filtros inherentes al sistema de comunicación.



La señal compleja que se obtiene del modulador para múltiples portadoras es:

$$S(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n(t) e^{j(\omega_n t + \theta_n t)} \quad (2.5) \quad [23]$$

dónde:

- $A_N t$ = amplitud de la portadora
- $\omega_n = \omega_0 + n\Delta\omega$; ω_0 = frecuencia fundamental y $\Delta\omega$ = espaciamiento entre portadoras.

En OFDM, particularmente, al expresar la señal de la ecuación 2.5 como función trigonométrica permite demostrar la ortogonalidad de sus portadoras ya que las funciones seno y coseno tienen un desfase de 90° , es decir cumplen con la condición de ortogonalidad.

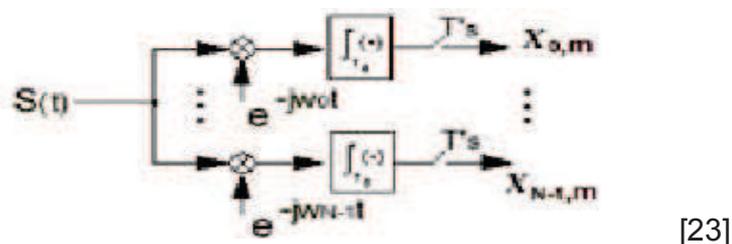
La señal OFDM puede definirse utilizando la transformada de Fourier, de la siguiente manera:

$$S_m k = e^{j2\pi f_c T \frac{k}{N}} \sum_{n=0}^{N-1} X_{n,m} e^{j2\pi n \frac{k}{N}} = N \cdot IDFT \{X_{n,m}\} \quad (2.6) \quad [23]$$

Es así, que la IFFT en un sistema OFDM se utiliza como modulador.

2.1.2.7. Demodulación

El receptor hace el proceso inverso de la transmisión, el cual recupera la señal que originalmente fue enviada. La estructura de un modulador se muestra a continuación:



Cada portadora $\phi_n(t)$ en OFDM es ortogonal con las otras, en este principio se basa la demodulación para aplicar correctamente la FFT que tiene la siguiente forma:

$$\int_0^T \phi_n(t) \phi_n^*(t) dt = T \cdot \delta(n-1) \quad (2.7) \quad [23]$$

Debido a esta forma de tratamiento de la señal, el demodulador llevará a cabo la relación:

$$X_{n,m} = \frac{1}{T} \int_{mT}^{(m+1)T} S(t) \phi_n^*(t) dt = T \cdot \delta(n-1) \quad (2.8) \quad [23]$$

Con este proceso se recupera los datos originales que fueron enviados; cabe mencionar que no se toma en cuenta el efecto del canal sobre la señal OFDM, ya que se trabaja con un modelo ideal.

2.1.2.8. Ventajas de OFDM

La principal ventaja de la técnica OFDM es la transmisión de información a altas velocidades en condiciones de desvanecimiento de la señal por efectos de las multi-trayectorias.

Otro aspecto importante es la alta eficiencia espectral debido a que la transmisión se la realiza con varias portadoras sin dejar canales libres como en la Televisión Analógica tradicional, aprovechando de mejor manera el ancho de banda.

Además, OFDM se caracteriza por la fácil implementación de la FFT y por ende del receptor, dando como resultado que el proceso de recepción en los terminales sea poco complejo al momento de recibir la información.

Se puede implementar, por ejemplo, en redes inalámbricas, enlaces del tipo ADSL, etc. Para el caso de la TDT se puede ofrecer servicios de internet, pague por ver e interactividad.

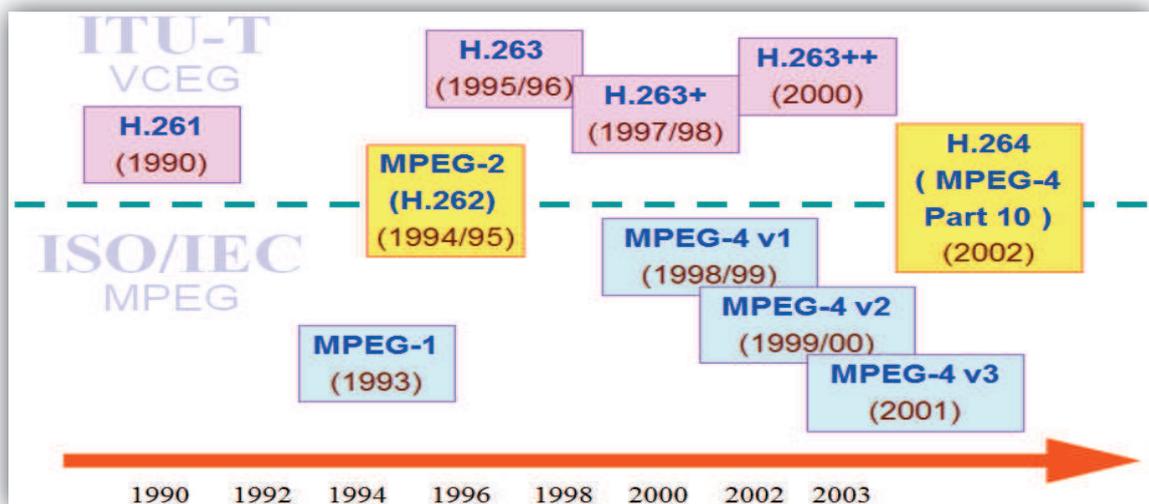
2.1.2.9. Desventajas de OFDM

Una debilidad de la técnica OFDM es su sensibilidad a errores por sincronización tanto en tiempo como en frecuencia, que generalmente se pueden producir por algo que paradójicamente la fortalece que es la alta velocidad de transmisión.

Un inconveniente de OFDM se puede presentar al momento de generar las portadoras ya que existen sistemas que trabajan con 4000 e incluso con 6000 portadoras, y, por lo tanto, es necesario tener un esquema fácil de producir dichas señales.

2.1.3. COMPRESIÓN MPEG [20][24][25][26][27][28]

Moving Pictures Experts Group (MPEG) es la designación para un grupo de estándares de compresión de audio y vídeo. A través de los años, MPEG ha evolucionado según las necesidades de la tecnología.



Fuente: [20], página 35.

Figura 2.16. Evolución de los estándares de codificación de video.

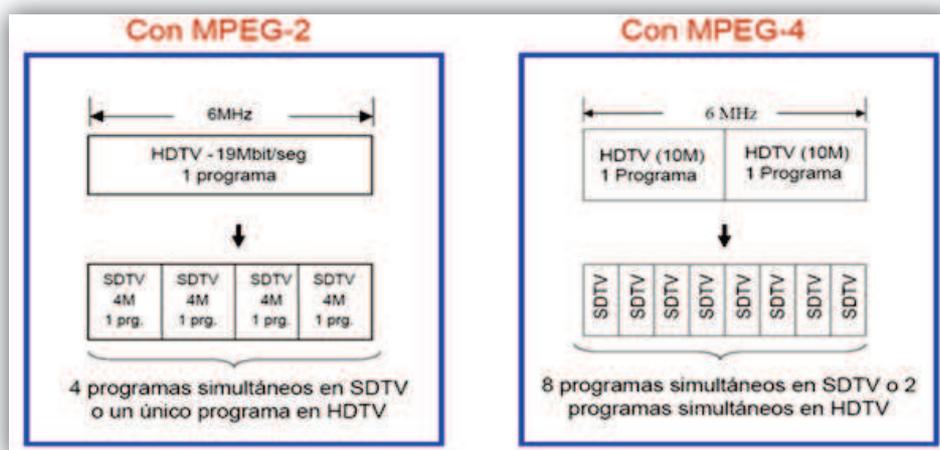
MPEG-2 es por lo general usado para codificar audio y vídeo para señales de transmisión, que incluyen televisión digital terrestre, por satélite o cable y con algunas mejoras, MPEG-2 es también el estándar actual de las transmisiones en HDTV.

Por su parte, MPEG-4 es el estándar de compresión de audio y video por excelencia de la Televisión Digital. Se fundamenta en la eliminación de la redundancia que

existe al momento de transmitir las imágenes. Se trata de enviar solo la información necesaria para la reconstrucción de la imagen en recepción, es decir solo los datos nuevos tienen prioridad (entropía), de esta manera se evita tener información redundante en el canal de comunicaciones y se optimiza la transmisión.

MPEG-4 reduce de un 30% a un 50% más el flujo de bits, comparado con MPEG-2, y además con una mejor calidad en las imágenes. MPEG-4 permite comprimir un programa de definición estándar en menos de 3 Mbps y uno de alta definición en 10 Mbps. También permite flujos de bits menores a 1 Mbps usados para la transmisión de televisión móvil. Una de las ventajas principales es que puede ser incorporado a un paquete de transporte MPEG-2.

El estándar MPEG-2 emplea técnicas de compresión eficientes y transmite sólo la información que ha cambiado respecto a un cuadro transmitido de referencia. Sin embargo, la codificación de un cuadro simple sigue siendo muy larga. Por su parte, el estándar MPEG-4 para ahorrar espacio, reconoce objetos individualmente dentro de un cuadro; es decir, es posible codificar cada objeto de la escena en forma individual. El estándar MPEG-4 es capaz de disminuir una mayor cantidad de bits obteniendo niveles de compresión que van de 8 a 12 veces más que los obtenidos en MPEG-2.



Fuente: [20]

Figura 2.17. MPEG-2 vs MPEG-4.

El poder de MPEG-4 se basa en que debido a su codificación en objetos, una gran variedad de funciones interactivas (no permitidas en MPEG-2, debido al retardo de codificación) pueden ser introducidas en los archivos de video. Por ejemplo, se puede colocar información en un objeto de la escena y la cual puede ser visualizada, al hacer clic sobre dicho objeto.

2.1.3.1. Características de MPEG-4

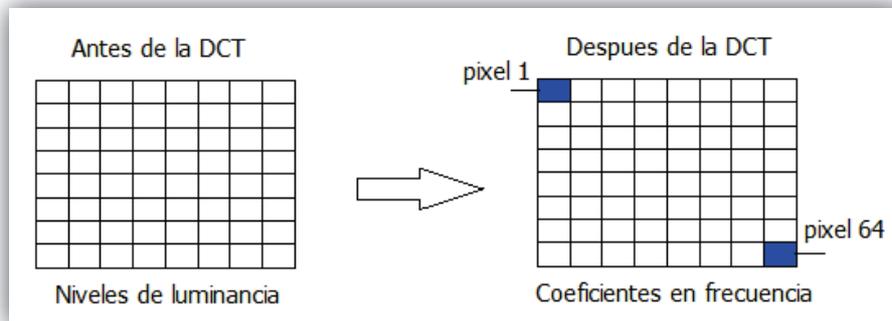
El estándar MPEG-4 se distingue por las siguientes características:

- Soporta los formatos de muestreo 4:2:0, 4:2:2 y 4:4:4.
- Provee hasta un máximo de 16 marcos de referencia.
- Una compensación de movimiento mejorada a $\frac{1}{4}$ de pixel de exactitud, comparado con el $\frac{1}{2}$ de pixel del MPEG-2.
- Estructuras de macrobloque flexibles (16x16, 16x8, 8x16, 8x4, 4x8, 4x4).
- 52 parámetros seleccionables de las tablas de cuantificación.
- Se aplican códigos de longitud variable.
- Una imagen es la suma de los objetos, el texto y el fondo que la conforman.
- La codificación de los objetos se hace por separado.
- Los objetos son manipulables.
- MPEG-4 introduce el concepto de VOP (*Video Object Plane*).

2.1.3.2. Compresión de datos de MPEG-4

Los datos combinados pueden ser de diferentes tipos como: voz, audio y video. El estándar MPEG-4 tiene la potencialidad de codificar dichos datos combinados sin tener inconvenientes con errores en la transmisión y recepción.

Utiliza la DCT (Transformada Discreta Coseno), la cual es un algoritmo que permite convertir de pixeles en el dominio del tiempo a pixeles en el dominio de la frecuencia.



Fuente: [25]

Figura 2.18. Conversión de píxeles al dominio de frecuencia.

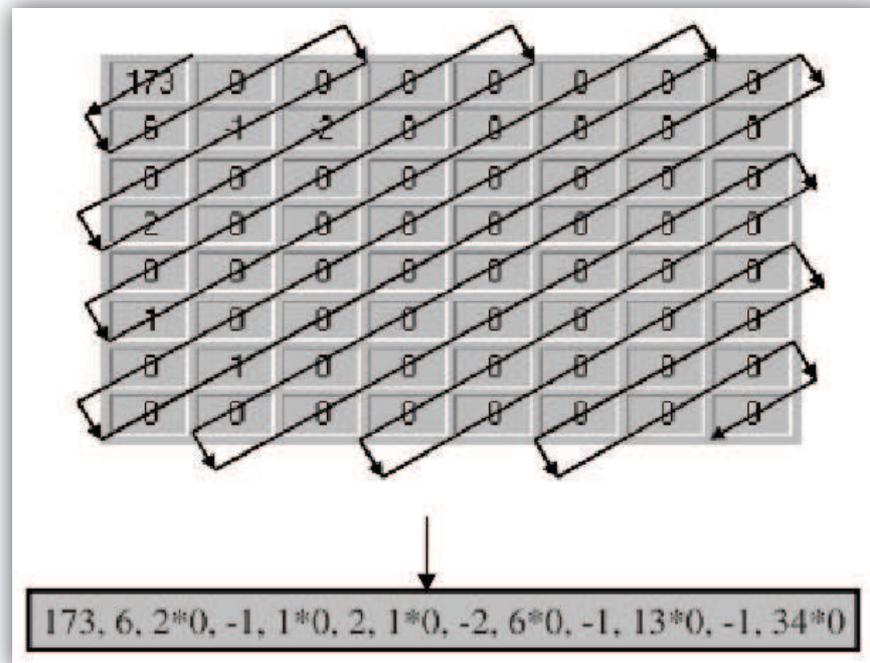
El algoritmo de la DCT transforma de niveles de luminancia a coeficientes en el dominio de la frecuencia. Teniendo 64 píxeles, los cuales representan el primero (píxel 1) la componente de DC, mientras que el último (píxel 64) corresponde a la componente de más alta frecuencia. Esta forma de cuantificación produce una matriz 8X8 en el dominio de la frecuencia.

2.1.3.3. Proceso de exploración en zig-zag y codificación de longitud variable

Después de la etapa de cuantificación, las matrices de 8x8 píxeles se leen mediante un proceso de exploración en zig-zag lo que genera un gran número de ceros adyacentes.

Luego, estos ceros son transmitidos mediante un código de longitud variable. El código de longitud variable identifica secuencias repetitivas de al menos tres caracteres, enviándose el carácter junto con el número que indica la cantidad de veces que debe ser repetido ese carácter.

Por ejemplo, para ahorrar espacio y disminuir el flujo de bits, en vez de transmitir 0,... 0, 10 veces, se transmite: 10*0.



Fuente: [28]

Figura 2.19. Exploración en zig-zag y código de longitud variable.

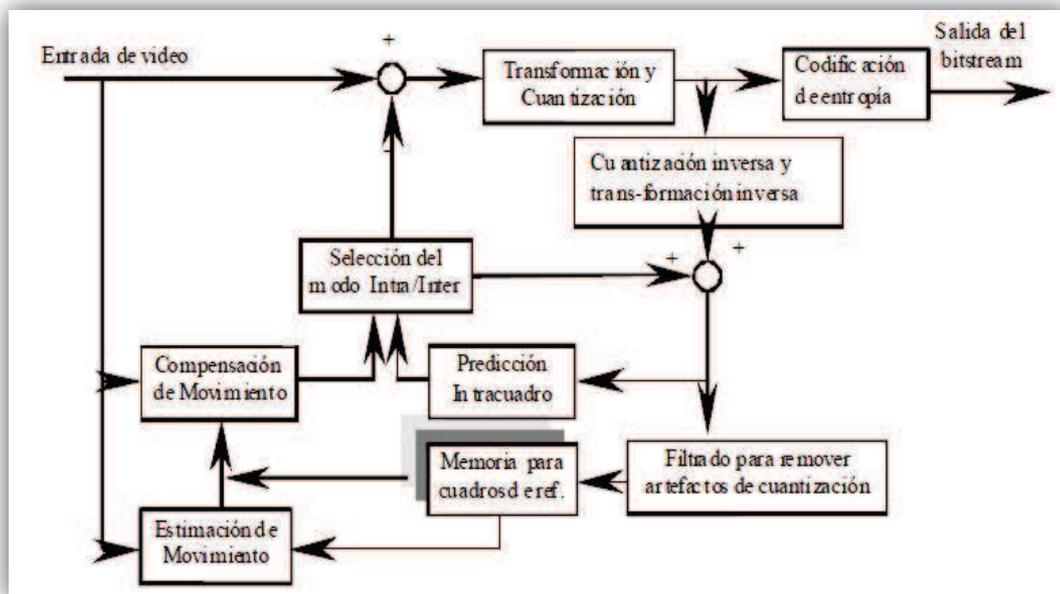
2.1.3.4. Funcionamiento [27]

El estándar de compresión MPEG-4 consiste en dos etapas, la primera es la codificación y la segunda que es la decodificación.

- **Codificador**

La codificación consiste en una entrada de la señal de video que se divide para tener una estimación de la compensación del movimiento, pero en este punto el codificador debe seleccionar entre un modo intra-cuadro y un modo inter-cuadro.

El modo de codificación intra se utiliza para reducir la redundancia espacial en un cuadro, mediante varios métodos que permiten la predicción de imágenes.



Fuente: [27]

Figura 2.20. Diagrama de bloques codificador MPEG-4.

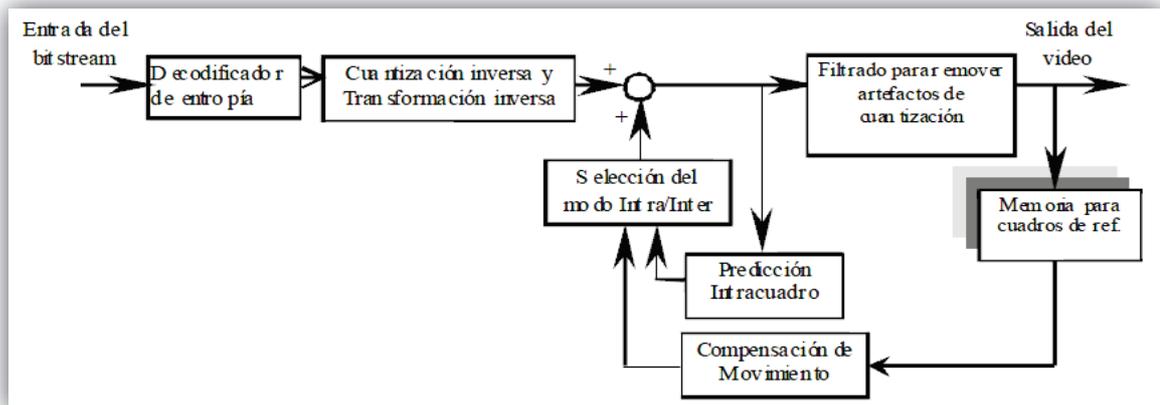
El modo de codificación Inter se utiliza para realizar una predicción más eficiente, mediante la codificación (Tipo P) y bidireccional (Tipo B).

El proceso se completa con la implementación de un bloque de transformación y cuantificación que hace de la compresión un método eficiente en la eliminación de la redundancia, por último existe una codificación entrópica que hace que se obtenga una salida del tren de bits comprimidos y codificados correctamente con MPEG-4.

- **Decodificador**

La decodificación se realiza implementando un proceso inverso al codificador, teniendo que el tren de bits ingresa a un bloque de decodificación entrópica, luego del cual se realiza una cuantificación y transformación inversa, haciendo un barrido en zig-zag invertido.

También existe en la decodificación un seleccionador intra o inter que permite realizar una predicción de cuadros mediante una memoria con cuadros de referencia, además de un filtrado permiten recuperar y tener ya una salida de video correcta.



Fuente: [27]

Figura 2.21. Diagrama de bloques decodificador MPEG-4.

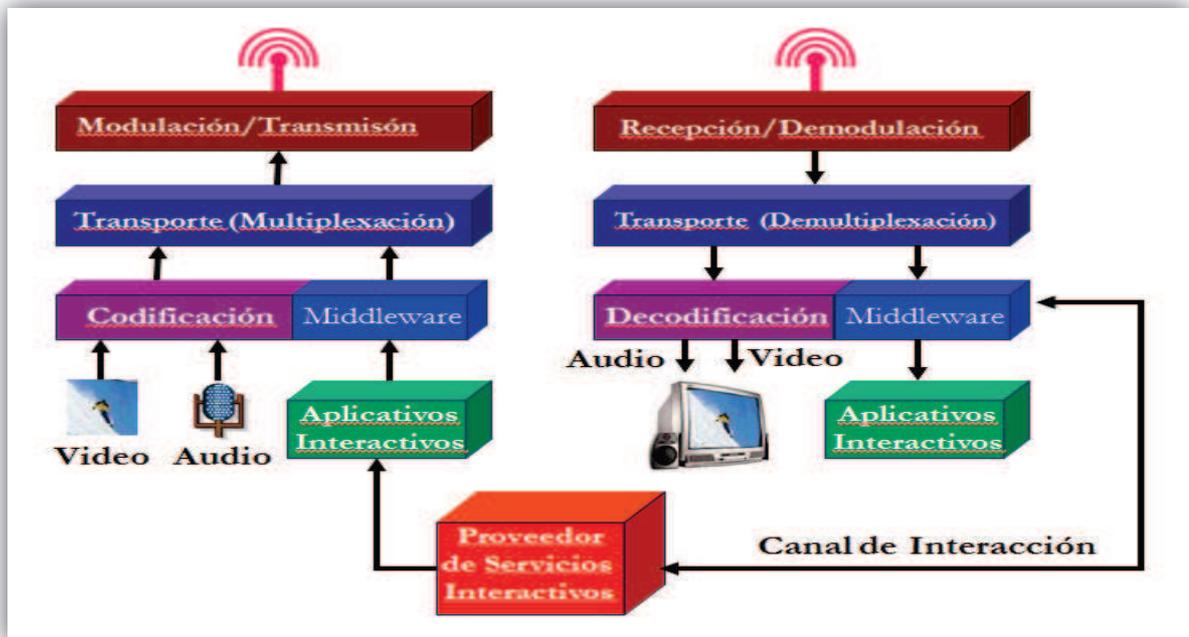
2.1.3.5. Reducción de errores

Se pueden reducir los errores mediante un método denominado “*Particionamiento de Datos*”, el cual consiste en dividir los datos de acuerdo a su importancia y significado en el tren de bits enviado.

Para evitar problemas en la transmisión primero se envían los datos con mayor prioridad y luego los datos con menor grado de prioridad.

2.1.4. CAPAS DEL SISTEMA TDT

La Figura 2.22 presenta un esquema de la arquitectura del Sistema TDT, en donde se visualiza incluso la funcionalidad de interactividad:



Fuente: [20]

Figura 2.22. Arquitectura del sistema TDT.

2.1.5. SET-TOP BOX[20]

Un Set-Top Box es un decodificador de TV, que recibe y decodifica la señal de TV digital, para luego mostrarla en un receptor de TV (analógico o digital).

Puede estar embebido dentro del receptor de televisión o puede estar implementado en una caja separada.

Su arquitectura es similar a la de un computador y clasificada por capas, a saber, capa de hardware, sistema operativo, la plataforma o middleware y la capa de aplicaciones.

2.2. ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL ESTÁNDAR ISDB-Tb[29][28]

El estándar ISDB-T (Integrated Services for Digital Broadcasting -Terrestrial) tiene su origen en Japón y su desarrollo comienza en la última parte de la década de 1990. Uno de los objetivos importantes en la investigación y desarrollo de la transmisión digital en Japón fue armonizar la transmisión HDTV (TV de Alta Definición) y la SDTV (TV Digital Estándar) al mismo tiempo. La utilización efectiva de frecuencias fue uno de los requerimientos básicos de esta nueva generación de transmisión, debido a que en Japón, el recurso de frecuencias era insuficiente.

En el año de 1999, ISDB-T se consagra como el estándar japonés de TV digital y fue Brasil, en el año 2008, quien como pionero regional tomó la iniciativa de adoptar ISDB-T como estándar, pero con algunas modificaciones, entre las que se destaca la posibilidad de emplear MPEG-4 para la compresión de datos.

Estos desarrollos, llevados adelante en estrecha colaboración con Japón, dan origen al estándar internacional cuya denominación es ISDB-Tb. Finalmente, el gobierno argentino decide adoptar este estándar en el año 2009, estableciéndose su implementación a partir de 2010.

En esencia, la base de los sistemas ISDB-T es la modulación OFDM. Es importante indicar que ISDB-T contempla un servicio de banda angosta denominado "one-seg".

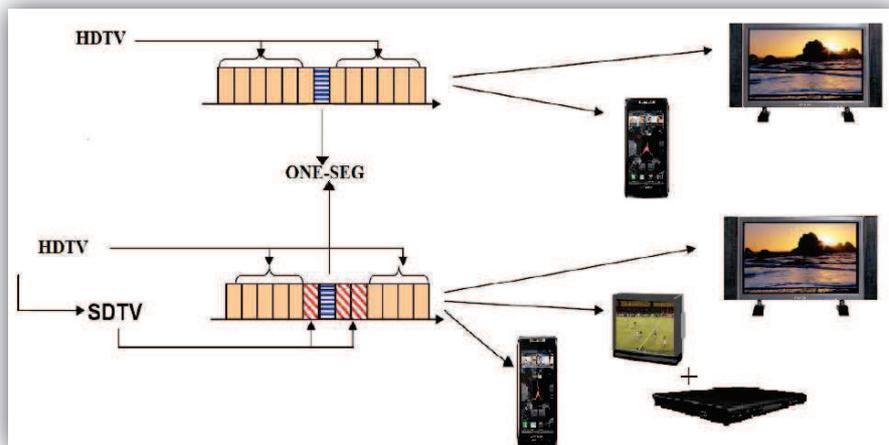
Además, resulta conveniente destacar que ISDB-Tb ha sido pensado para su aplicación sobre canales con un ancho de banda de 6, 7 y 8 MHz. Sin embargo, para fines particulares de Ecuador, el presente proyecto contempla únicamente un canal de 6 MHz.

A continuación se realizará una descripción completa del sistema de transmisión del estándar internacional de televisión digital terrestre ISDB-Tb, lo cual se realizará en base al ABNT: NBR 15601. (ANEXO).

2.2.1. DIVISOR EN NIVELES JERÁRQUICOS

Los niveles jerárquicos o capas jerárquicas teóricamente pueden establecerse uno por cada segmento de ISDB-Tb, es decir trece. No obstante, en la práctica, el número de capas jerárquicas que se pueden transmitir simultáneamente en un mismo canal RF (Radiofrecuencia) se limita a tres; ello con el propósito de implementar aplicaciones que requieren de mayor ancho de banda (SDTV y HDTV). Las capas en cuestión son llamadas A, B y C.

Precisamente, el divisor de niveles o capas jerárquicas es el bloque responsable de la agrupación de los paquetes de diferentes servicios en esos diferentes niveles jerárquicos o capas jerárquicas. Por ejemplo, el servicio one-seg es transmitido en la Capa A (con resolución de video LDTV, más audio y datos), mientras que la Capa B contempla transmisión de HDTV o múltiples SDTV. En un mismo canal RF se puede transmitir, de manera simultánea, los dos o las tres capas. Es importante resaltar que cada capa tiene sus propias modulaciones, tasa de codificación e intervalo de guarda.

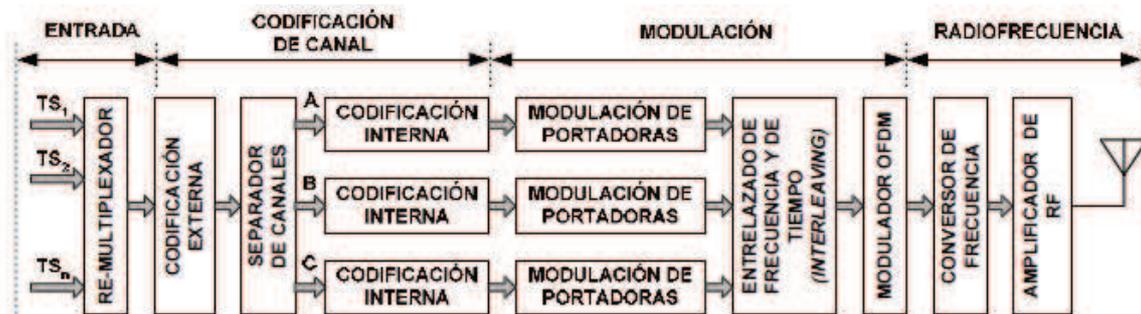


Fuente: [28], página 5.

Figura 2.23. Transmisión simultánea de dos y tres capas.

2.2.2. DIAGRAMA EN BLOQUES DEL SISTEMA ISDB-TB[21]

La Figura 2.24 muestra el diagrama de bloques general de un sistema de transmisión ISDB-Tb, en el mismo se distinguen las siguientes etapas: entrada, bloques de codificación del canal, bloques de modulación y etapa final de conversión de frecuencia (filtrado y amplificación de frecuencia).



Fuente:[21], página 27.

Figura 2.24. Diagrama de bloques general de un transmisor ISDB-Tb.

Los bloques de codificación del canal se encargan de añadir protección a los bits de datos, ajustar retardos y dispersar energía. El bloque separador, en cambio, permite dividir la información a transmitir en tres capas jerárquicas.

Los bloques de modulación realizan el mapeo de bits, combinan las capas A, B y C, arman el cuadro OFDM, insertan el intervalo de guarda y realizan los entrelazados en frecuencia y tiempo.

2.2.2.1. Re-Multiplexador

Mediante el proceso denominado “re-multiplexación” se consigue adaptar el flujo de transporte (TS) de MPEG-2 para posibilitar su funcionamiento en transmisión jerárquica y recepción parcial.

El re-multiplexador entrega a su salida un flujo binario único llamado BTS (TS de transmisión) mediante la combinación de los TS de entrada. El BTS agrega 16 bytes

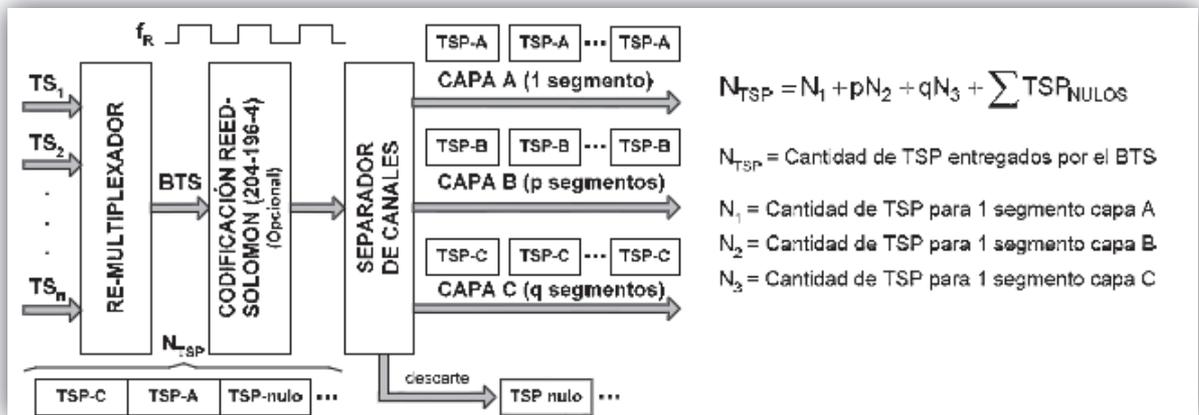
nulos a los paquetes TS y forma nuevos paquetes llamados TSP, cuya longitud es de 204 bytes (188+16). Otras de las características de los BTS son las siguientes: su flujo es sincrónico y tiene una tasa constante de 32,5079 Mbps, posiciona y dispone los paquetes TSP permitiendo la transmisión jerárquica y la recepción parcial.

Además, el BTS inserta una determinada cantidad de TSP nulos para poder mantener la velocidad binaria constante independiente de los parámetros de transmisión seleccionados para cada capa jerárquica.

Cabe mencionar que para el desarrollo del estándar, se impusieron las siguientes condiciones:

- Cada segmento deberá transportar la cantidad de bits de datos que correspondan a un número entero de paquetes TSP.
- Las capas integradas por más de un segmento, transportarán un total de bits de datos que correspondan a un número entero de paquetes TSP.
- La cantidad de paquetes en cada capa puede variar, dependiendo de la configuración de transmisión adoptada para cada capa.
- El reloj de sincronización f_R del flujo binario BTS será único para las tres capas y su valor exacto de frecuencia deberá derivarse de la frecuencia de muestreo de IFFT.

La Figura 2.25 ilustra los tres primeros requerimientos que dieron apertura al desarrollo del estándar.

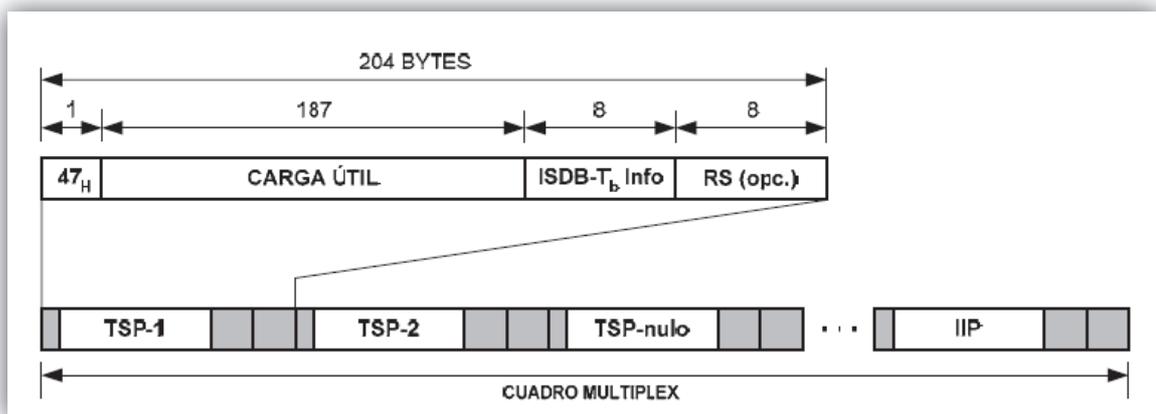


Fuente:[21], página 29.

Figura 2.25. Generación del BTS y separación de paquetes TSP.

2.2.2.2. Flujo binario único BTS

La asignación de cada paquete TSP es posible si el flujo binario BTS incluye la información necesaria para que el separador de canales pueda identificar de manera correcta a cada TSP.



Fuente:[21], página 32.

Figura 2.26. Estructura de los paquetes TSP a nivel de BTS.

Del campo “*ISDB-Tb Info*” de la Figura 2.26 se puede obtener la cabecera de cuadro, el indicador de la capa jerárquica, el contador de TSP e información auxiliar. El campo “*RS (opc.)*” permite añadir un bloque de paridad Reed Solomon (conocido también como codificación externa) que permite corregir hasta 4 bytes erróneos en cada TSP del flujo BTS.

El estándar ISDB-Tb usa el canal TMCC (Transmission Multiplexing Configuration Control) para transportar parámetros de configuración de la red y otra información auxiliar al receptor, permitiendo de esta manera su correcto funcionamiento. Esta información se añade dentro de un TSP especial denominado *IIP (ISDB-Tb Information Packet)* y cada cuadro multiplex incluye un paquete IIP.

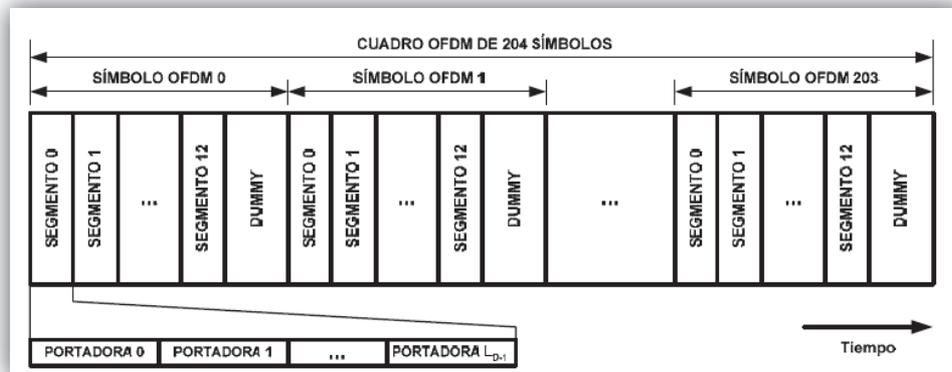
De esta manera, un paquete IIP contiene la siguiente información:

- TMCC que incluye: intervalo de guarda, esquema de modulación, codificación interna (K_i), cantidad de segmentos, entre otros,
- NSI (Network Synchronization Informaion) para la sincronización de SFN con: tiempo de retardo máximo, identificación de equipamiento, Synchronization Time Stamp (STS), entre otros.

2.2.2.3. Separador de canales

El separador de canales asigna cada TSP a la capa jerárquica correspondiente, mediante la detección del paquete IIP y el descarte de paquetes nulos, con el fin de mantener la máxima eficiencia posible en la tasa binaria de transmisión de datos.

La demodulación de los TSP debe realizarse en el orden correcto para que un receptor pueda regenerar los flujos TS originales. Adicionalmente, el receptor debe reinsertar los paquetes nulos en la misma posición que se encontraban en el BTS original. Para lograr una correcta regeneración del flujo TS, sin la necesidad de incluir un identificador que permita ubicar la posición de cada TSP, se debe construir el cuadro múltiplex con el siguiente orden preestablecido:



Fuente:[21], página 33.

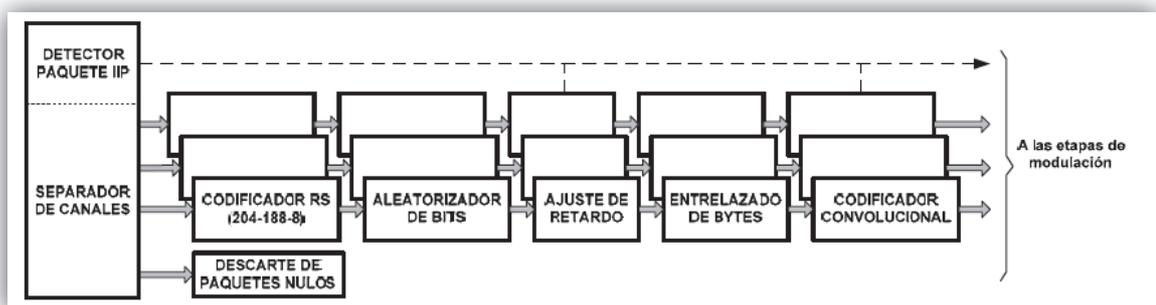
Figura 2.27. Ordenamiento del cuadro múltiplex.

Como se observa en la Figura 2.27. se sigue un orden ascendente por segmento y en las frecuencias de las portadoras de datos dentro de cada segmento.

El bloque “dummy” es el tiempo que consume la generación de las muestras correspondientes a las portadoras piloto, nulas e intervalo de guarda.

2.2.2.4. Codificación

La codificación del canal empieza con la detección del paquete IIP y el retiro del TMCC.



Fuente:[21], página 34.

Figura 2.28. Codificación del canal.

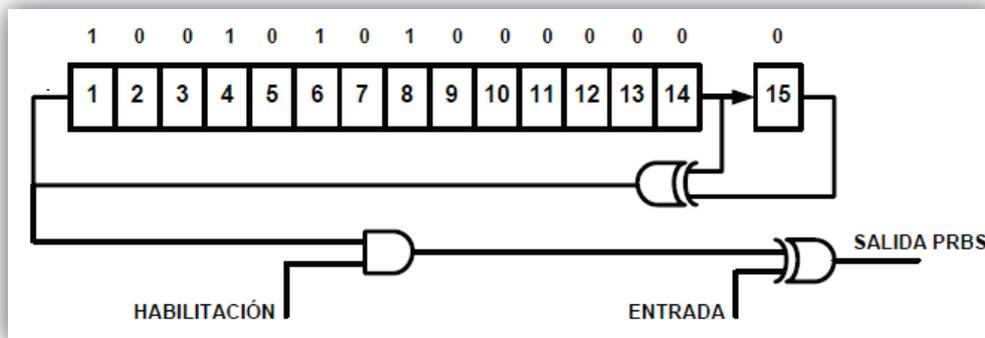
- **Codificador Reed-Solomon**

Los campos ISDB-Tb Info y RS (opc.) son sustituidos por 16 nuevos bytes de paridad Reed-Solomon, luego de que los TSP son separados por capa jerárquica. Este proceso, aplica al flujo de datos entrante una técnica de corrección de errores hacia delante (FEC). Los bytes de paridad Reed-Solomon son “etiquetas de identificación digital” compuestas de 16 bytes (128 bits) que el codificador añade a la parte final del TSP. El receptor para verificar la validez de los datos recuperados compara los 188 bytes del bloque recibido con los 16 bytes de paridad.

En caso de detectar errores, el receptor determina que el paquete recibido no corresponde a la etiqueta y genera uno parecido. Mientras mayor es la diferencia entre los bytes de paridad y el paquete recibido, mayor es la probabilidad de error al tratar de vincular la etiqueta correcta con el paquete corregido.

2.2.2.5. Aleatorizador de bits

Los bits transmitidos por cada capa deben ser aleatorizados, para asegurar la dispersión de energía del espectro radiado, mediante el esquema que se muestra en la Figura 2.29. Este circuito gracias a la operación lógica OR Exclusiva entre el bit de entrada y el polinomio: $G(x) = x^{15} + x^{14} + 1$ permite obtener una Secuencia Binaria Pseudo-Aleatoria (PRBS).

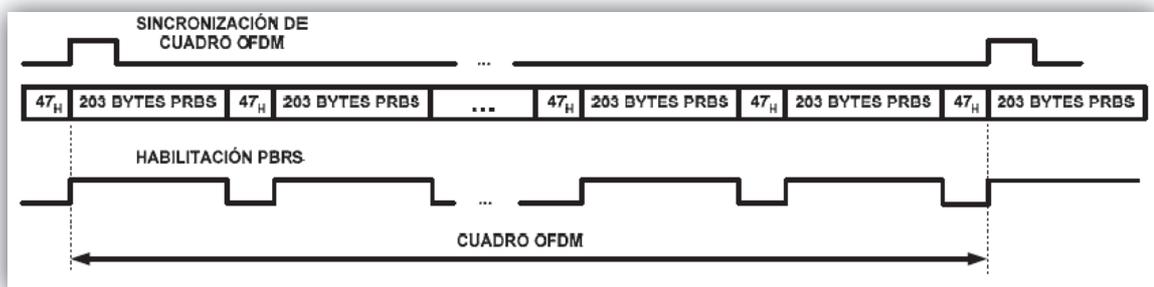


Fuente:[21], página 35.

Figura 2.29. Generador de secuencia PRBS.

El generador PRBS se utiliza tanto para aleatorizar como para recuperar en el receptor el orden original de la información transmitida. Cabe mencionar que el inicio del cuadro se sincroniza con el bit más significativo del segundo byte del TSP (47_H).

De esta manera, el primer bit disponible en la salida del generador PRBS se aplica al bit más significativo del segundo byte del primer TSP del cuadro, al comenzar un cuadro.



Fuente:[21], página 36.

Figura 2.30. Sincronización de cuadro OFDM y señal de habilitación del generador PRBS.

2.2.2.6. Entrelazado de bytes

El entrelazado es una forma de diversidad temporal que dispersa en el tiempo los errores de ráfaga. Mediante esta técnica, se entrelaza una secuencia de bytes antes de ser transmitida por un canal propenso a este tipo de errores. Si un error aparece, la restauración de la secuencia original tiene un efecto equivalente a distribuir los errores a lo largo del tiempo.

Se define la separación S_e como la distancia mínima en el cual los errores ráfaga consecutivos son dispersados en el tiempo, depende de la longitud de la ráfaga y decrece cuando ésta incrementa.

El entrelazado implica el almacenamiento de algunos bytes en elementos de memoria (buffer), lo que produce un cierto retardo (D) en el sistema. El entrelazador

tiene k líneas paralelas que son seleccionadas mediante dos llaves selectoras que operan de manera sincrónica.

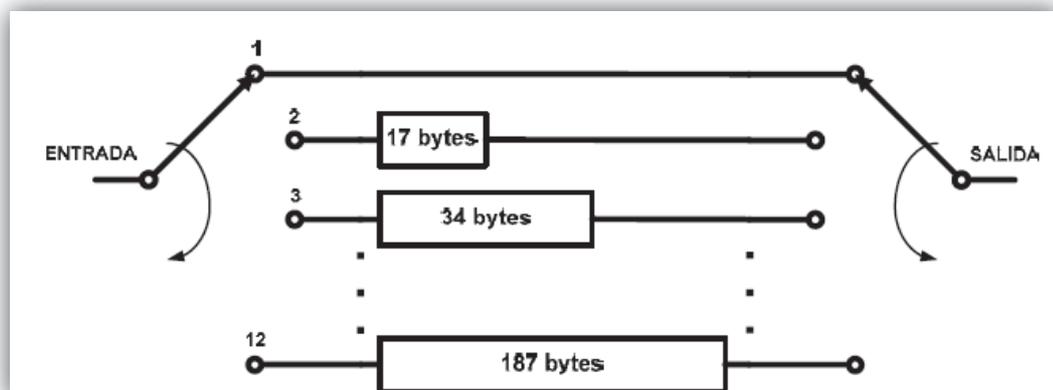
A excepción de la primera línea, todas las líneas contienen celdas de almacenamiento de tamaño un byte cada una. Es decir, la segunda línea contiene A celdas de almacenamiento. La llave de salida del entrelazador extrae un byte por vez.



Fuente:[21], página 37.

Figura 2.31. Entrelazador y desentrelazador de bytes.

El entrelazado de bytes en cada capa jerárquica se aplica para incrementar la eficiencia de codificación Reed Solomon frente a los errores en ráfaga, distribuyéndolos en el tiempo de forma prácticamente aleatoria. En ISDB-Tb se utiliza el entrelazador con los siguientes parámetros: $A=17$ y $k=12$.



Fuente:[21], página 39.

Figura 2.32. Entrelazador de bytes para ISDB-Tb.

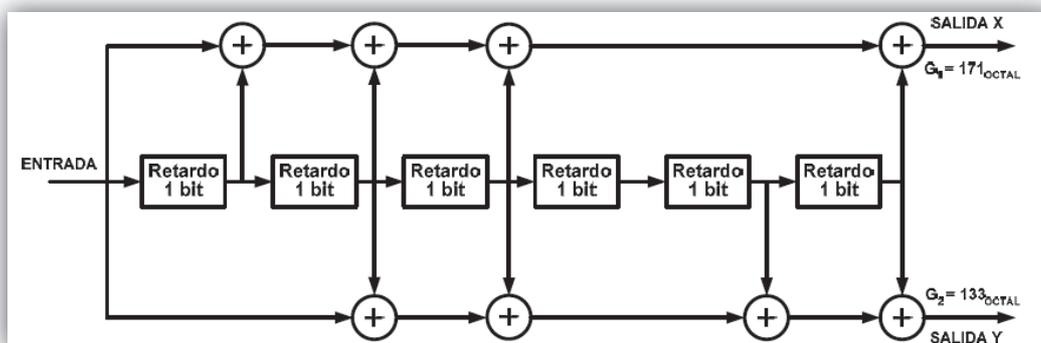
2.2.2.7. Ajuste de retardo

La transmisión jerárquica permite especificar un conjunto de parámetros distintos para cada capa: tasas binarias de transmisión (R), número de segmentos (N_C), tasa de codificación interna (K_I) y esquema de modulación (b_p); lo que conlleva a tener diferencias en los tiempos requeridos para el procesamiento de señales en cada capa. El ajuste de retardo permite la ecualización de los tiempos de tránsito binario de cada capa jerárquica. Esta ecualización se ajusta en el lado del transmisor y debe tener un valor de tal forma que todos los retardos correspondan con un múltiplo entero de la duración de un cuadro OFDM.

2.2.2.8. Codificador Convolutivo

Los datos se someten a un nuevo proceso de codificación tras el entrelazado de bytes. La codificación es convolutiva y se complementa con un proceso llamado “punzonado”, el cual constituye uno de los parámetros configurables del sistema. De acuerdo a la configuración elegida, el coeficiente K_I puede tomar los siguientes valores: $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$ y $7/8$.

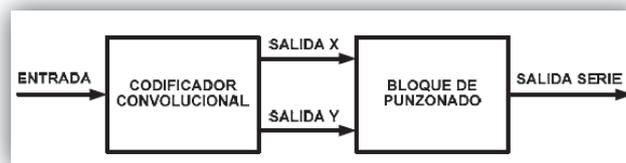
La Figura 2.33 muestra el esquema del codificador convolutivo que se emplea en el sistema ISDB-Tb, el cual tiene una relación $1/2$ con 64 estados y 7 derivaciones ($K=7$).



Fuente:[21], página 43.

Figura 2.33. Entrelazador de bytes para ISDB-Tb con relación $1/2$.

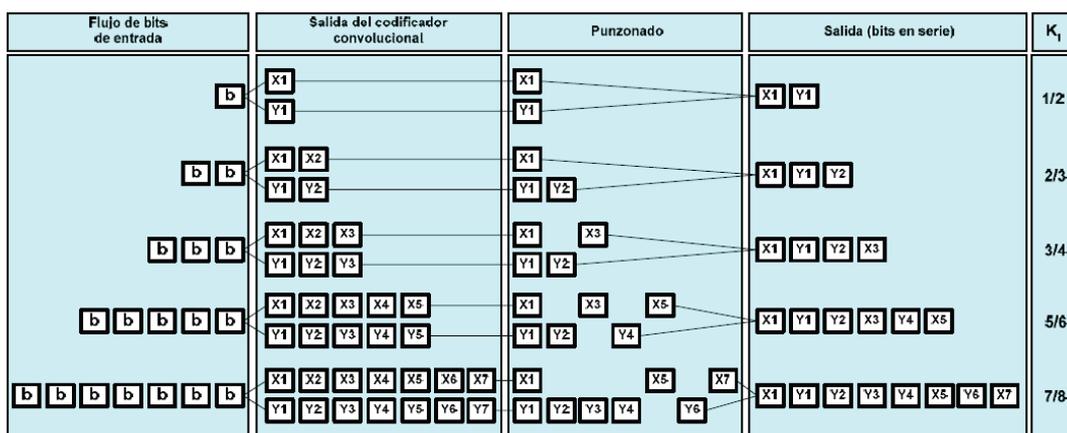
Este codificador distribuye el flujo binario de entrada sobre dos salidas llamadas X y Y. Los sumadores combinan este flujo con los valores binarios obtenidos en las derivaciones colocadas a la salida de las celdas del registro de desplazamiento. Cada par de bits de salida depende de 7 bits de entrada (bit actual más 6 bits almacenados en los registros). Este valor de $k=7$ se conoce como “*longitud de restricción*”. El codificador de relación 1/2 debido a su gran redundancia de datos, facilita la corrección de errores aleatorios pero reduce la tasa binaria de transmisión R a la mitad. Para evitar esta reducción de velocidad, las salidas del codificador convolucional se conectan a un bloque que selecciona (punzonado) solo algunos de los datos presentes en las salidas X y Y, y los convierte en un flujo binario en serie.



Fuente:[21], página 43.

Figura 2.34. Codificador convolucional y bloque punzonado.

La Figura 2.35 ayuda a entender el proceso de punzonado y sus conceptos fundamentales:



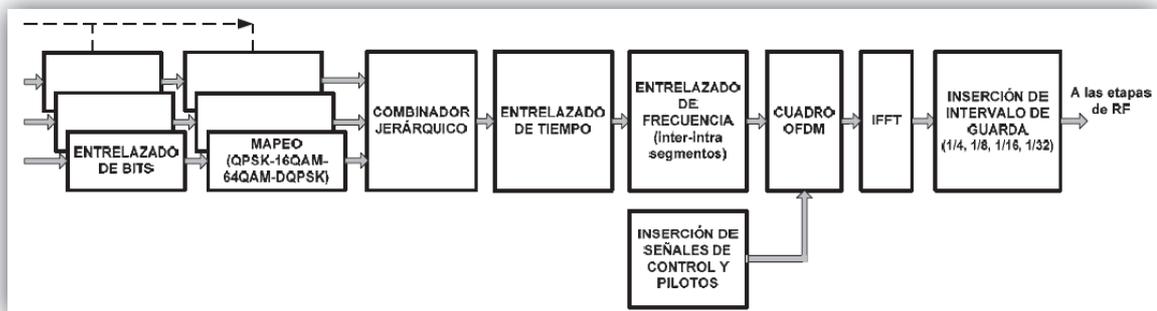
Fuente:[21], página 44.

Figura 2.35. Codificador convolucional, esquema de punzonado y secuencia de salida.

El coeficiente K_1 indica el grado de redundancia de la secuencia transmitida. En la práctica, el valor adecuado de K_1 dependerá del área de cobertura deseada y de la potencia e misión disponible.

2.2.2.9. Modulación[28]

La Figura 2.36 muestra el esquema de la sección de modulación del transmisor ISDB-Tb.



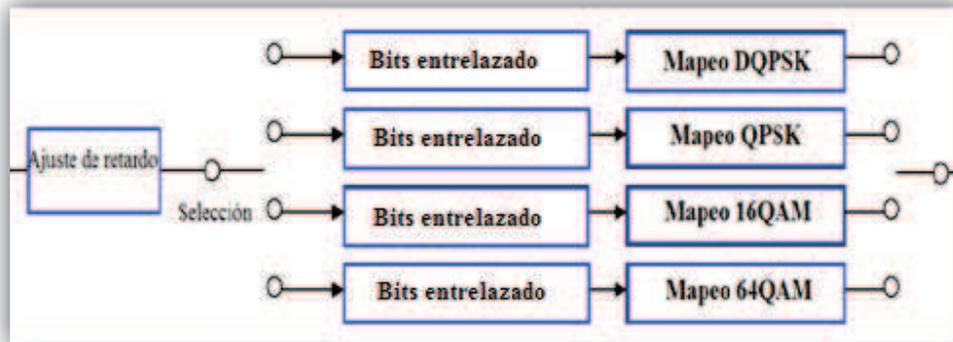
Fuente:[21], página 44.

Figura 2.36. Modulación.

Es importante tomar en cuenta que una mayor cantidad de niveles en la modulación, implica un mayor número de bits eficaces por símbolo, lo que redundaría en una mayor velocidad de transmisión. Sin embargo, estas constelaciones aumentan la probabilidad de ISI (Intersymbol Interference), debido a la proximidad entre los bits en las constelaciones. Esto último exige mayores requisitos de potencia para mantener constante el EVM⁷ (Error Vector Magnitude).

En el proceso de modulación de la portadora, se realiza un intercalado o entrelazamiento de bits (bit interleaving) y un mapeo de bits a símbolos, para cada nivel jerárquico, de forma independiente.

⁷ EVM es la diferencia vectorial entre la posición ideal del símbolo en la constelación y el valor detectado en condiciones de interferencia. El EVM está directamente relacionado con el porcentaje de error de los símbolos.



Fuente: [28], página 10.

Figura 2.37. Configuración del modulador de la portadora.

Por su parte, el mapeo de bits a símbolos consiste en mapear los bytes de la portadora en componentes real e imaginaria que corresponden al número complejo de la constelación ($I + jQ$). Estos números complejos corresponden a una representación en el dominio de la frecuencia y para trasladarlos al dominio del tiempo se requiere la IFFT.

A su vez, el número de bits por portadora OFDM depende de la constelación utilizada, es decir 2 bits por portadora para QPSK, 4 bits por portadora para 16 QAM y 6 bits por portadora para 64 QAM.

2.2.2.10. Combinador Jerárquico

Después de la codificación interna y mapeado, el flujo de datos de cada capa jerárquica ingresa a la etapa en la que se divide en “segmentos”⁸ a cada uno de los símbolos. La asignación se la realiza así:

- Si se utiliza el nivel o capa para recepción móvil, ésta se asigna a un segmento.

⁸ Un segmento de datos es una parte de los datos de un segmento OFDM. Los segmentos de datos constan de 96, 192 y 384 símbolos de portadoras en los Modos 1, 2 y 3, respectivamente.

- Los segmentos restantes se asignan a la capa de modulación (QPSK, 16QAM, 64QAM).
- Los datos que se guardan en los segmentos de datos se leen cíclicamente con el reloj de muestreo IFFT.

2.2.2.11. Entrelazado de tiempo (Time Interleaving)

Este tipo de entrelazamiento distribuye en el tiempo los símbolos presentes a la salida del mapeado de símbolos. Con esto se logra mejorar la robustez en contra del ruido impulsivo (causado por motores de vehículos, encendido de equipos electrodomésticos, entre otros) y mejora notablemente la robustez del sistema en recepciones móviles o portátiles.

El intercalado o entrelazado en tiempo es una forma de diversidad en el tiempo en la cual los símbolos de cada subportadora son mezclados temporalmente. De manera similar a como ocurre en el intercalado o entrelazado de bytes, a cada símbolo consecutivo de la subportadora se le aplica un retardo diferente.

De esta manera, se produce un reordenamiento de los símbolos por cada subportadora, es decir, este reordenamiento se hace en la misma frecuencia. Al final, se introduce un retardo constante para que el retardo total introducido sea un múltiplo de una cantidad determinada de símbolos.

2.2.2.12. Entrelazado de frecuencia (Frequency Interleaving)

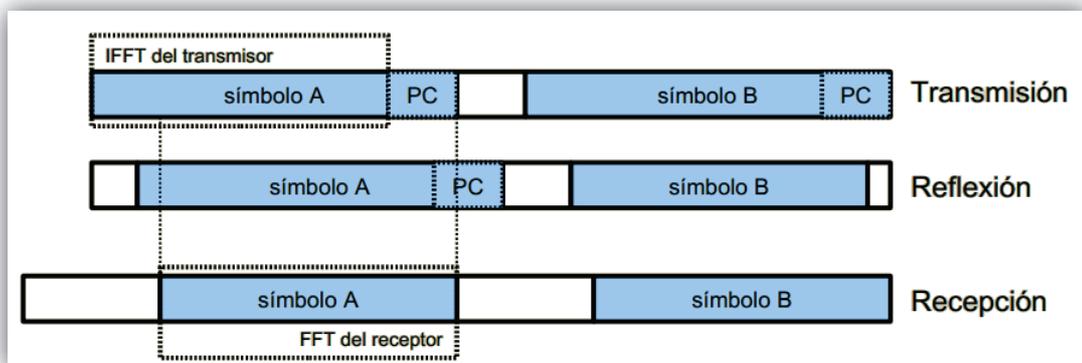
El objetivo es mejorar la robustez del sistema ante la presencia de los desvanecimientos selectivos en frecuencia, causados por los múltiples trayectos de la señal, mejorando el desempeño del sistema en zonas de alta densidad (edificaciones). El proceso de entrelazado en frecuencia mezcla las portadoras entre sí, de manera tal que en cada símbolo OFDM, cada "portadora" quede en una frecuencia distinta. Si una banda de frecuencia es afectada por interferencia, los errores producidos se distribuirán aleatoriamente y no se perderá ningún segmento de forma completa.

La mezcla de portadoras en el entrelazado en frecuencia se hace entre segmentos de modulación, por separado. Este proceso no se aplica a recepción móvil debido a que los receptores sólo están preparados para recibir un solo segmento OFDM.

2.2.2.13. IFFT e intervalo de guarda[30]

La Transformada Inversa Rápida de Fourier se aplica para pasar la señal desde el dominio de la frecuencia al dominio del tiempo. La longitud de la IFFT, para ISDB-Tb, puede ser de 2k, 4k y 8k, dependiendo del modo de transmisión (Modo 1, 2 y 3 respectivamente). Por motivos de eficiencia, las portadoras que no se utilizan se completan con ceros, los cuales, al ser vistos en la frecuencia, no afectan el ancho de banda final de la señal.

Según las configuraciones adoptadas, se inserta un prefijo cíclico (CP = Cyclic Prefix), cuyos valores definidos en la norma son: 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32. Este prefijo es parte del símbolo que se transmite y ayuda a mitigar los problemas de pérdida de ortogonalidad por efectos del ventaneo.



Fuente: [30]

Figura 2.38. Proceso de inserción del CP.

En la Figura 2.38 se observa que el intervalo de guarda (PC) ayuda a mitigar el efecto de las múltiples reflexiones, ya que las copias de la señal que llegan con retraso al receptor se encuentran dentro del PC.

El intervalo de guarda también se puede configurar para ajustar el área de cobertura, dependiendo de la posición de las antenas transmisoras.

2.3. ELECCIÓN DE CUATRO COMBINACIONES DE PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE LAS TASAS BINARIAS DE TRANSMISIÓN UTILIZADAS EN LA NORMA ISDB-Tb [29][31][32][33]

De acuerdo con la norma ISDB-Tb, específicamente en el apartado ABNT1 NBR 15601, los principales parámetros para dimensionar un Sistema de Televisión Digital son los siguientes:

- Modulación de la Portadora
- Tiempo del Símbolo
- Código Convolutional
- Cantidad de portadoras para la transmisión de datos
- Intervalo de Guarda

Anteriormente, se ha realizado una explicación de los conceptos correspondientes a los parámetros: “*Código Convolutional*”, “*Cantidad de Portadoras*” e “*Intervalo de Guarda*”, y, se ha verificado que son magnitudes establecidas a partir de fórmulas, transformadas y operaciones algebraicas. Sin embargo, el estudio de la “*Modulación de la Portadora*” y por ende el “*Tiempo de Símbolo*”, constituye un parámetro amplio y fundamental, pues representa la forma de transmisión de la información tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia.

Además, las modulaciones proveen información como el diagrama de constelación, el cual expone una visualización gráfica de la robustez de la señal.

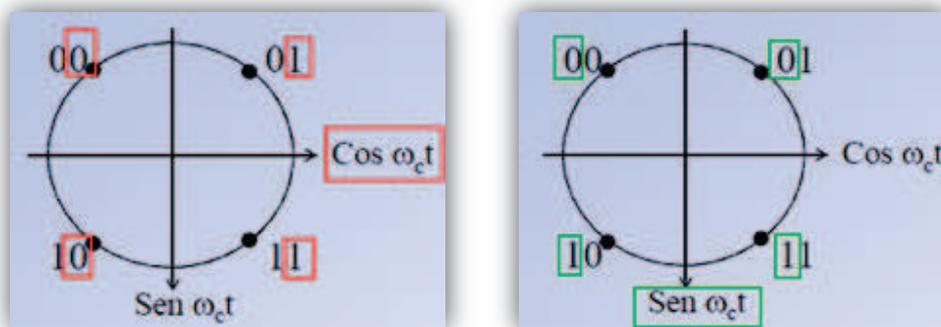
2.3.1. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS MODULACIONES UTILIZADAS EN LA NORMA ISDB-Tb [26][25][31][33][34]

2.3.1.1. Modulación QPSK

La modulación por desplazamiento cuadrifásica QPSK, es una técnica para variar la fase de la onda portadora mediante la aplicación de una señal digital, de modo que pueda llevar una señal en las transmisiones de radio o televisión.

La fase de una onda portadora es una medida de cuán lejos el movimiento de las ondas ha procedido a través de su ciclo, medido en grados o radianes.

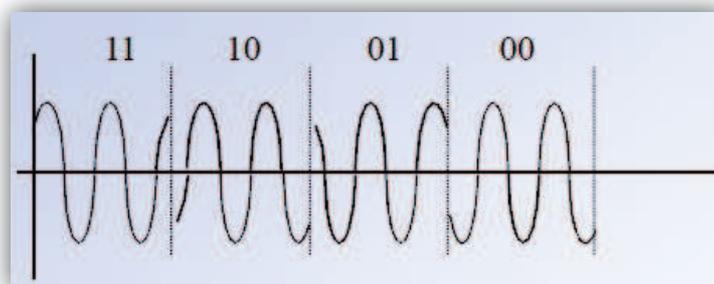
El diagrama de constelación de la señal QPSK muestra cuatro condiciones diferentes que se las puede determinar dependiendo de la polaridad de los ejes coseno y seno de la siguiente manera:



Fuente: [26]

Figura 2.39. Significado de los coeficientes en la constelación QPSK.

A continuación se muestra la representación de cada estado en una modulación QPSK, la cual ilustra la fase inicial y final de cada estado:



Fuente: [26]

Figura 2.40. Fases en la constelación QPSK.

Como se puede observar, el desplazamiento de la fase que se realiza en QPSK, cambia la fase de la onda portadora mediante el uso de datos digitales para cambiar entre dos señales de la misma frecuencia, pero de fase opuesta. En la modulación QPSK la onda portadora se somete a cuatro cambios de fase, correspondientes a 0, 90, 180 y 270 grados de posición dentro de la forma de onda.

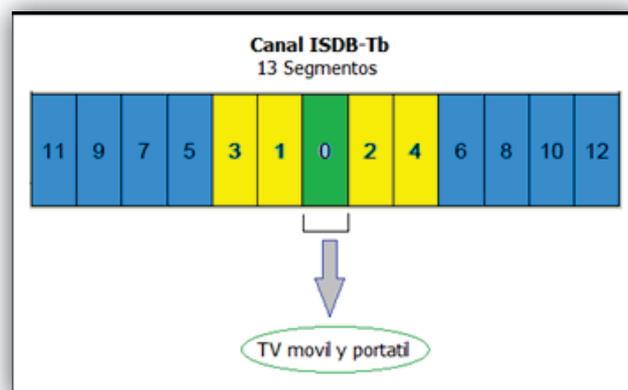
Sobre la base de lo anterior, es importante mencionar que el ancho de banda en QPSK mejora respecto a una modulación BPSK, pues la tasa de cambio de la señal QPSK permite que la onda portadora transmita dos bits de información en lugar de uno y efectivamente duplica el ancho de banda, o capacidad de transmisión, de la onda portadora. Es decir, que con esta modulación se tiene una mejor eficiencia espectral (relación entre la velocidad de transmisión en bits/s y el ancho de banda en Hz), pues se requiere menor ancho de banda para transmitir la misma información que una señal BPSK.

Por otro lado, se debe indicar que la modulación QPSK es una de las más populares técnicas de modulación digital para la comunicación por satélite, incluyendo la difusión de video digital, por satélite y redes de cable debido a que es resistente, fácil de implementar y menos susceptible al ruido que otras técnicas de modulación como se analizó anteriormente. La modulación QPSK también se usa ampliamente en el acceso múltiple de división de código, tecnología digital utilizada en teléfonos

celulares; y, en otras formas de comunicación digital a través de una onda portadora de radiofrecuencia.

Respecto a la norma ISDB-Tb, la modulación QPSK se utiliza en el canal de 13 segmentos, específicamente en el Grupo A denominado "one-seg", ubicado en el segmento medio del canal, caracterizado por lo siguiente:

- Transmisión robusta
- Ideal para transmitir LDTV.
- Utilizado para TV móvil y portátil
- FEC = 2/3
- Intervalo de guarda = 1/4



Fuente: [25]

Figura 2.41. Segmento "One-seg" en el canal ISDB-Tb.

La Figura 2.41 muestra el esquema de transmisión que se utiliza en el estándar ISDB-Tb en que el segmento medio sirve para transmitir TV móvil y portátil con la ayuda de la modulación QPSK y las demás condiciones y características de transmisión ya descritas.

2.3.1.2. Modulación DQPSK[31]

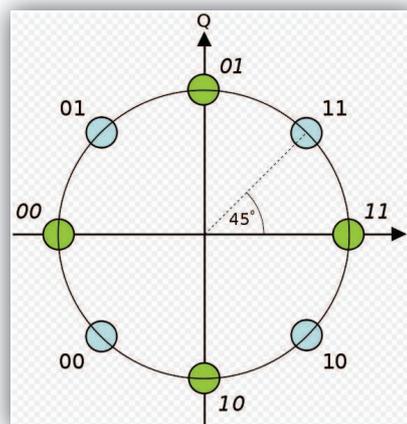
La modulación DQPSK es una variante de la modulación QPSK y consiste en transmitir la información como variaciones de fase con respecto al estado anterior. La letra “D” significa diferencial, es decir depende de una condición anterior, más no de un valor absoluto al transmitir la información en cuestión.

Esta técnica realiza codificación de línea NRZ-S (1L mantiene el estado anterior y 0L cambia el estado anterior) antes de modular.

La modulación DQPSK tiene la ventaja de no requerir portadora síncrona en el extremo receptor y no tiene ambigüedad de fase, es decir no necesita una referencia de portadora para realizar la demodulación de la señal, simplemente del estado anterior.

La señal DQPSK se compone de la misma forma que una señal QPSK, pero con un bloque diferencial que le hace más confiable y fuerte ante posibles errores en una transmisión digital.

El diagrama de constelación de una señal DQPSK es el siguiente:



Fuente: [31]

Figura 2.42. Diagrama doble de constelación para D-QPSK que muestra las dos constelaciones giradas en 45 ° una con respecto a la otra.

En la Figura 2.42 se muestra el diagrama temporal para este esquema de modulación. La construcción de la señal es la misma que en la QPSK tradicional. Los símbolos sucesivos son tomados de las dos constelaciones que forman este esquema. Así, el primer símbolo (marcado como **1 1**) es tomado de la constelación coloreada de azul y el segundo símbolo (**0 0**) proviene de la constelación en verde. Puede notarse que las magnitudes de las ondas **I** y **Q** cambian mientras se hacen cambios de símbolos entre constelaciones, pero la magnitud de la señal total permanece constante.

Las parejas de bits que se agrupan para dar lugar a una modulación DQPSK se muestran acompañados de sus respectivas fases en la siguiente figura:

input b0' b1'	output θ_j
0 0	$\pi/4$
0 1	$-\pi/4$
1 1	$-3\pi/4$
1 0	$3\pi/4$

Fuente: [31]

Tabla 2.1. Combinaciones y fases respectivas DQPSK.

Su distribución sigue la técnica del código de Grey que indica que de una fase a otra solo se puede cambiar el valor de un bit, además se aprecia la ortogonalidad en sus fases lo que le da muy buenas características con respecto a robustez contra errores y muy buena calidad en las señales que se transmiten por el canal inalámbrico que en este caso viene a ser el aire.

Es la modulación más robusta frente al movimiento, por eso es ideal para recepción de señal de excelente calidad en dispositivos móviles y portátiles.

El hecho de ser una modulación diferencial, también puede generar errores ya que en el caso de llegar una fase incorrectamente al receptor, al solo considerar cambios de fase, el siguiente estado también sería erróneo, causando un aumento en el BER de la señal y por ende menor calidad de la misma.

Se utiliza generalmente en el segmento “one-seg” del estándar de televisión digital terrestre ISDB-Tb destinado a la transmisión y recepción de señales LDTV para TV móvil debido a sus velocidades y requerimientos del estándar.

Para elegir el tipo de modulación que se va a utilizar es importante tomar en cuenta la aplicación en la que se va a trabajar. Por ejemplo DQPSK presenta una demodulación fácil y ha sido adoptada para su uso en la técnica TDMA de redes de telefonía celular, utilizados en EE.UU y Japón.

La demodulación de señales DQPSK puede ser lograda de manera más simple que la demodulación QPSK porque no se necesita referencia de fase absoluta. La referencia de fase es tomada de la fase del último bit recibido. Sin embargo para la televisión digital se usa QPSK debido a que es una modulación robusta, de fácil implementación y menos susceptible al ruido.

2.3.1.3. Modulación QAM[34]

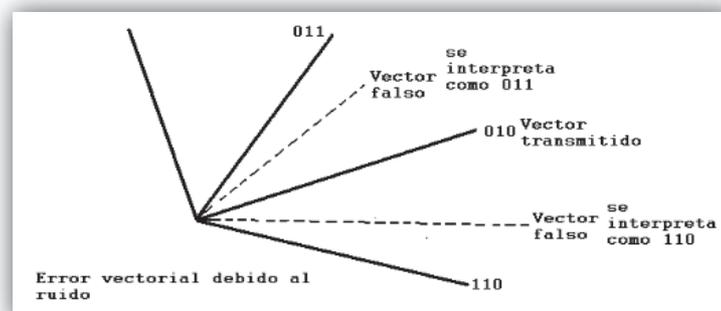
La Modulación de Amplitud en Cuadratura o QAM es una modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida. Se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un único camino. Ya que las portadoras ortogonales ocupan la misma banda de frecuencia y difieren 90° por cada cambio de fase, cada portadora puede ser modulada independientemente, transmitida sobre la misma banda de frecuencia, y separada por demodulación en el receptor.

Tomando el ejemplo de QPSK y asumiendo que es posible codificar cuatro fases diferentes con dos valores de amplitud diferentes, tenemos 8 diferentes combinaciones que pueden codificar tres bits por muestra.

Mediante el uso de varios cambios de fase/amplitud y sus combinaciones, la velocidad de transmisión se incrementa y con esto se puede alcanzar técnicas de modulación con un manejo del espectro más eficiente. Sobre la base de lo anterior, se han desarrollado mayores niveles de modulación, tales como, 16-QAM y 64-QAM, las cuales usan 16 y 64 números diferentes de cambios de fase/amplitud respectivamente. Sin embargo, tales técnicas son más susceptibles al ruido, ya que un mayor número de combinaciones significa que estas combinaciones están más cercanas una de otra y por lo tanto el ruido puede cambiar la señal con mayor facilidad.

La probabilidad de error es la probabilidad de que el receptor se equivoque al identificar los unos y los ceros, esto depende primordialmente del ruido que se agrega a la señal modulada a lo largo del canal de comunicación. Se ha visto que las señales moduladas pueden representarse en forma de vectores. Esto permite visualizar la forma en que el ruido hace que el receptor se equivoque.

En la Figura 2.43, se puede ver con línea gruesa un vector transmitido y los vectores que el receptor espera que lleguen. Con línea de trazos se ha representado la “falsificación” del vector debido al ruido. En algunos casos, el ruido modifica solo la fase o la amplitud de la portadora senoidal y en otros, como en M-QAM el ruido afecta a ambos parámetros. La probabilidad de error se minimiza con el uso de técnicas, como el uso de los códigos Gray.



Fuente: [34]

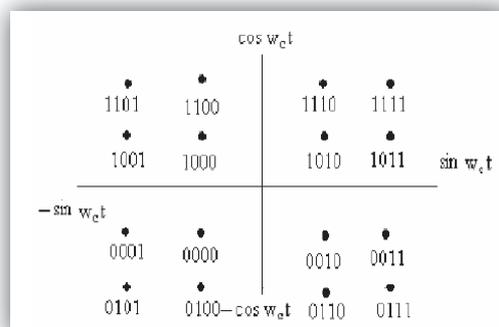
Figura 2.43. Representación de error en QAM.

La importancia de este sistema de modulación se debe a la gran cantidad de aplicaciones asociadas a ella:

- Es empleada por módems para velocidades superiores a los 2400 bps (por ejemplo V.22 bis y V.32).
- Es la modulación empleada en una gran cantidad de sistemas de transmisión de televisión, microondas y satélites.
- Es la base de los módems ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) que trabajan en el bucle de abonado, a frecuencias situadas entre 24KHz y 1104KHz, pudiendo obtener velocidades de hasta 9 Mbps, modulando en QAM con diferentes portadoras.

a) Modulación 16-QAM[32]

16-QAM es un tipo de modulación en cuadratura que transmite 16 estados de modulación, siguiendo el principio de la modulación QAM, que transporta la información tanto en la amplitud (ASK) como en la fase (PSK) de la portadora, variando simultáneamente ambos parámetros. Como se observa en la Figura 2.44, la constelación está codificada con base en el código Gray, de esta forma se logra que cada punto de la constelación sólo cambie en un bit con respecto a cualquier punto adyacente, así la probabilidad de error disminuye, ya que si se modifica el valor de amplitud, fase o ambos el símbolo sólo contendrá un bit erróneo.

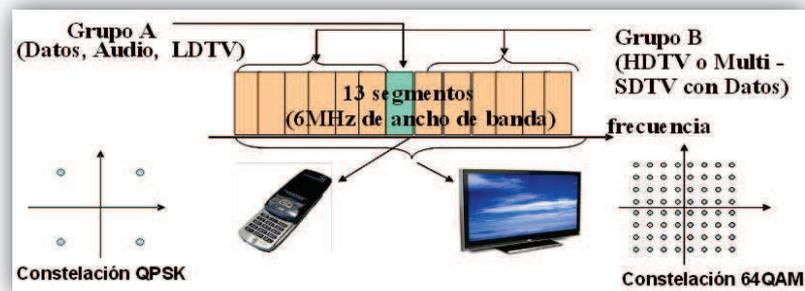


Fuente: [32]

Figura 2.44. Constelación 16QAM.

Por otro lado, el estándar ISDB-Tb permite tener varios tipos de modulación para la transmisión de la señal de Televisión Digital dependiendo del uso que se le va a dar a cada uno de los 13 segmentos.

Como se puede apreciar en la Figura 2.45, la modulación 16-QAM se la puede utilizar en los segmentos que conforman el Grupo B para transmitir varios canales de TV con datos e incluso uniendo todo el grupo se puede enviar señales de TV en Alta Definición (HDTV), lo cual genera una transmisión eficiente en el ancho de banda de 6 MHz asignado por el órgano regulador del espectro radioeléctrico en el país.



Fuente:[33].

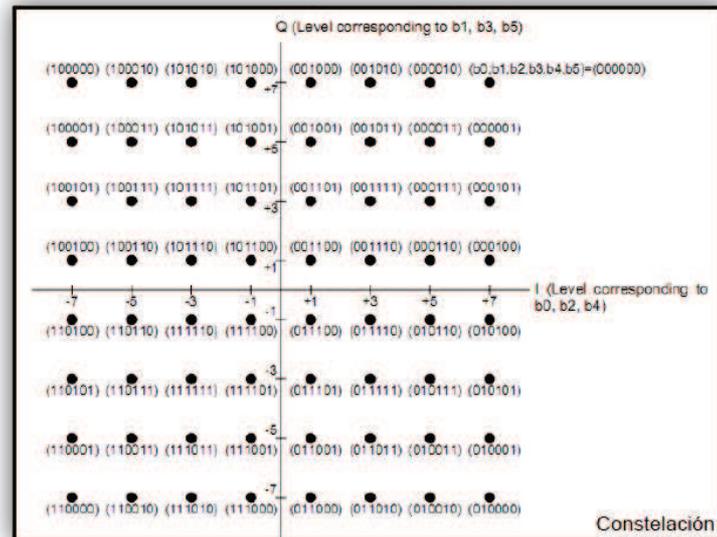
Figura 2.45. Diferentes aplicaciones en un canal ISDB-Tb.

b) Modulación 64-QAM

La modulación 64-QAM es un tipo de modulación multinivel muy eficiente debido a que transmite 6 bits por estado, esto la hace muy útil en ambientes de transmisión de datos de alta velocidad y gran capacidad en el volumen de información enviada.

Se basa en la transmisión de datos en un eje I y en un eje en cuadratura Q que se tiene en una modulación QAM común, pero tiene la particularidad de llevar 3 bits en cada eje dando como resultado el transporte de 6 bits de información.

La constelación de 64-QAM es la siguiente:



Fuente: [31]

Figura 2.46. Constelación y coeficientes 64-QAM.

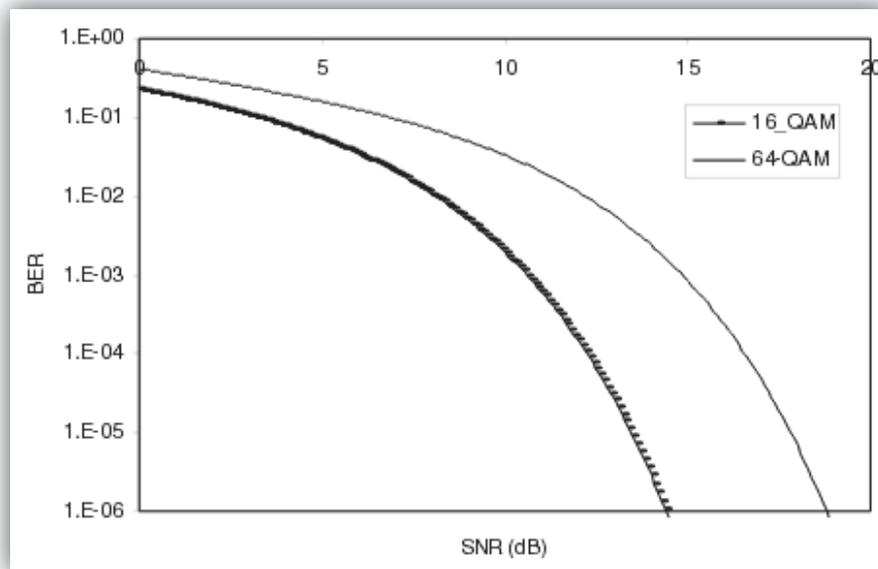
Esta técnica de modulación digital es principalmente usada para enviar datos sobre el canal downstream en redes de cable coaxial. Es una técnica muy eficiente, soporta velocidades de transmisión arriba de 28 Mbps sobre un canal simple de 6 MHz. Aunque es susceptible a señales de interferencia, lo que hace que no sea usado en el canal upstream, ya que es muy sensible al ruido.

La modulación 64-QAM tiene una gran ventaja con respecto a modulaciones de orden inferior, está es la velocidad de transmisión que se logra al enviar 6 bits por símbolo con esta modulación.

Sin embargo, al incrementar los bits por símbolo se requieren sistemas de detección más sensibles, capaces de detectar y diferenciar los diferentes valores de amplitud y fase recibidos. Otro punto que afecta a las modulaciones QAM de orden superior es la susceptibilidad que tienen al ruido.

Entre mayor es el orden de modulación más susceptible es al ruido, por lo tanto, si se quiere una transmisión con una tasa de errores pequeña se requiere una relación señal a ruido cada vez más grande a medida que el orden de modulación aumenta.

En la Figura 2.47 se muestra la probabilidad de error para modulaciones 16-QAM y 64-QAM en función a la relación señal a ruido.



Fuente: [34]

Figura 2.47. BER en función de SNR en QAM

2.3.2. CONSTRUCCIÓN DE LA TABLA “TASA DE DATOS DE UN ÚNICO SEGMENTO” DE LA NORMA ISDB-TB[21]

La tasa de transmisión (R) se puede calcular para los distintos valores de intervalos de guarda y esquemas de modulación, basándose en la siguiente ecuación:

$$R \text{ bps} = \frac{b_p L}{T_s} \quad (2.12)[21]$$

dónde:

b_p = número de bits por símbolo transmitido en una portadora

L = cantidad de portadoras

T_s = tiempo de símbolo

$$T_s = T_U + T_G$$

$$\Delta = \frac{T_G}{T_U}, \Delta = \text{Intervalo de Guarda}$$

Para proporcionar un valor efectivo de la tasa de transmisión es indispensable considerar los coeficientes de corrección necesarios, que son consecuencia de los sistemas de codificación empleados.

El agregar un intervalo de guarda para proteger los datos reduce la velocidad de transferencia neta del sistema, por lo que la ecuación 2.13 se la expresa de la siguiente manera:

$$R \text{ bps} = K_O K_I \frac{b_p L_D}{T_s} \quad (2.13)[21]$$

dónde:

K_O = es un valor fijo igual a $K_O = \frac{188}{204}$ y depende de la codificación externa. El valor de 188 y 204 corresponde al número de bytes de cada paquete después de una multiplexación.

K_I = puede tomar los valores 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8, y depende de la codificación interna (código convolucional).

L_D = portadoras disponibles para la transmisión de datos por segmento.

$L = 13L_D$ Se multiplica por 13 segmentos del canal de 6 MHz

Aplicando la Ecuación 2.13 a todas las combinaciones posibles de esquemas de modulación e intervalos de guarda permitidos en la norma ISDB-Tb, en la Tabla 2.2 se presentan las diferentes posibilidades de tasas de datos en kbps.

Modulación de la portadora	Código convolucional	Número de TSP transmitidos por cuadro	Tasa de datos ^a kbps			
			Intervalo de guarda 1/4	Intervalo de guarda 1/8	Intervalo de guarda 1/16	Intervalo de guarda 1/32
DQPSK	1/2	12/24/48	280,85	312,06	330,42	340,43
	2/3	16/32/64	374,47	416,08	440,56	453,91
	3/4	18/36/72	421,28	468,09	495,63	510,65
QPSK	5/6	20/40/80	468,09	520,10	550,70	567,39
	7/8	21/42/84	491,50	546,11	578,23	595,76
16QAM	1/2	24/48/96	561,71	624,13	660,84	680,87
	2/3	32/64/128	748,95	832,17	881,12	907,82
	3/4	36/72/144	842,57	936,19	991,26	1021,30
	5/6	40/80/160	936,19	1 040,21	1 101,40	1 134,78
	7/8	42/84/1 68	983,00	1 092,22	1 156,47	1 191,52
64QAM	1/2	36/72/144	842,57	936,19	991,26	1 021,30
	2/3	48/96/192	1 123,43	1 248,26	1 321,68	1 361,74
	3/4	54/108/216	1 263,86	1 404,29	1 486,90	1 531,95
	5/6	60/120/240	1 404,29	1 560,32	1 652,11	1 702,17
	7/8	63/126/252	1 474,50	1 638,34	1 734,71	1 787,28

^a Esa tasa de datos representa la tasa de datos (bits) por segmento para parámetros de transmisión:
tasa de datos (bits) = TSP transmitidos x 188 (bytes/TSP) x 8 (bits/byte) x 1/longitud del cuadro.

TSP= Transport Stream Packet

Fuente: [29], página 10.

Tabla 2.2. Tasa de datos de un único segmento.

Como se observa en la Tabla 2.2, el estándar ISDB-Tb es un sistema flexible, puesto que puede ser configurado con distintos parámetros de codificación de canal y de modulación, incluso hasta tres distintos niveles jerárquicos en el mismo ancho de banda de transmisión. Esto le permite adaptarse a distintas situaciones como la de transmisión en alta definición a dispositivos fijos o con menor calidad, aunque con mayor robustez, a dispositivos móviles, pudiendo hacerlo incluso simultáneamente.

Las tasas de transmisión de la Tabla 2.2, resultan relevantes para el planificador o para el operador que va a emitir una señal digital, debido a que la calidad de la recepción y la calidad de imagen (así como la cantidad de servicios que puedan integrar el múltiplex) están relacionadas con los parámetros y con la tasa de bits.

Por ejemplo, en el caso de trabajar con un planificador exigente, quien espera una señal fuerte que se vea hasta en las peores condiciones posibles, es preciso utilizar una modulación QPSK, código convolucional 1/2 e intervalo de guarda 1/4, obteniendo una tasa de bits de 3,651 Mbps. Por el contrario, si el planificador desea obtener la máxima tasa de bits posible que es 23,234 Mbps deberá transmitir con modulación 64QAM, código convolucional 7/8 e intervalo de guarda 1/32, estando mucho más expuesto a ruido o interferencia.

2.3.3. DETERMINACIÓN DE LAS COMBINACIONES DE PARÁMETROS MAS UTILIZADOS EN EL PAÍS[17][29]

Para determinar las combinaciones de parámetros más utilizados en el Ecuador, se debe tomar en cuenta tanto las señales que ya están al aire; así como las que se utilizaron para realizar las pruebas para la adopción del estándar de televisión digital; sin embargo, también es indispensable tomar en cuenta las velocidades de transmisión que ofrece el estándar ISDB-Tb.

El objetivo de establecer las combinaciones más utilizadas en el país, es tomar como base el trabajo y avances que se han logrado respecto a la televisión digital; y con ello partir de una premisa que independientemente de que sea mejor o no; constituye la realidad en la que se encuentra la televisión digital en el Ecuador. Posteriormente, se utilizarán dichas combinaciones, para las pruebas de cobertura y para el análisis que determinará los parámetros técnicos a considerar, para definir una adecuada señal digital.

2.3.3.1. Análisis de las tasas de transmisión del estándar ISDB-Tb

Como se puede visualizar en la Tabla 2.2, el estándar ISDB-Tb ofrece una amplia gama de tasas de transmisión, las cuales presentan las siguientes características:

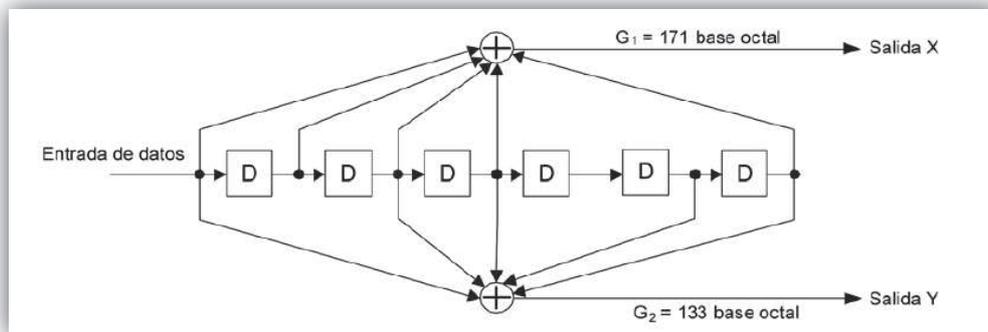
- Un sistema robusto, exigente y con menor probabilidad de errores de transmisión, se obtiene con una modulación QPSK, intervalo de guarda 1/4 y

codificación interna $1/2$; sin embargo, la velocidad de transmisión disminuye notablemente.

- La mejor tasa de transmisión es 1787,28 Kbps; sin embargo, ésta se produce en un sistema poco exigente con una modulación 64 QAM, intervalo de guarda $1/32$ y codificación interna $7/8$.
- La mejor tasa de transmisión, es decir la más veloz, está diagonalmente opuesta a la tasa de transmisión más lenta y se puede verificar que en la mayor parte de los casos, la velocidad aumenta y disminuye de acuerdo a dicho sentido diagonal.
- La tasa de transmisión de la combinación 16QAM, $1/4$, $5/6$ (Modulación, Intervalo de guarda, código interno) es la misma que la combinación 64QAM, $1/8$, $1/2$. De igual manera, la tasa de transmisión de la combinación 16QAM, $1/32$, $3/4$ (Modulación, Intervalo de guarda, código interno) es la misma que la combinación 64QAM, $1/32$, $1/2$.

Lo anterior no conlleva a que el efecto y características producidas en la transmisión de datos, sea la misma para ambas combinaciones de parámetros, a pesar de que tengan la misma velocidad. Esto es, debido a que el efecto de tener un intervalo de guarda de $1/2$ reduce el riesgo de retardos, ecos y reflexiones de propagación, en mayor porcentaje que utilizar un intervalo de guarda de $1/8$.

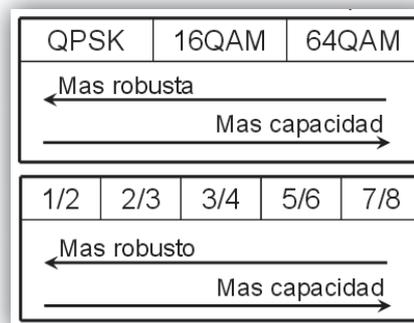
Por su parte, una modulación robusta permite un mejor aprovechamiento del canal de comunicación, lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea. Por otro lado, un adecuado código convolucional asegura la confiabilidad del receptor. En el caso del código $1/2$ se dice que por cada bit de datos que ingresa, se transmite 1 bit de información y un bit de código, la Figura 2.48 ilustra de una mejor manera lo mencionado.



Fuente: [29], página 20.

Figura 2.48. Circuito de codificación del código convolucional con profundidad k de 7 y tasa de codificación $1/2$.

Por lo anterior, se puede observar que el código convolucional fluctúa desde un valor mínimo de $1/2$, siendo éste el más confiable, hasta un valor máximo de $7/8$, valor menos confiable. A manera de resumen, lo anterior se visualiza en la siguiente figura:



Fuente:[35]

Figura 2.49. Modulación y código interno - robustez vs capacidad.

2.3.3.2. Parámetros utilizados por la SUPERTEL para realizar pruebas previas a la adopción de la norma ISDB-Tb

La Superintendencia de Telecomunicaciones en su "INFORME PARA LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN EL ECUADOR", describe las pruebas que realizó con los equipos provistos por los promotores de cada estándar de televisión digital, excepto como se había

mencionado, el estándar ATSC. Para el efecto se utilizó un ancho de banda de 6 MHz, y los parámetros de configuración para el estándar SBTVD fueron los siguientes:

ESTÁNDAR	SBTVD	
	2 HD	One - Seg
Tipo de señales	2 HD	One - Seg
Número de portadoras	8K	8K
Intervalo de guarda	1/8	1/8
Compresión	MPEG 4	MPEG 4
Esquema de Modulación	QPSK	64 QAM
FEC	3/4	1/2
Time Interleave	0,2seg	0,4seg
Tasa de transmisión	8 Mbps	220 Kbps
Potencia de operación	500 W	500 W
Marca TX	TOSHIBA	TOSHIBA

Fuente: [17], página 29.

Tabla 2.3. Parámetros de operación de los estándares.

Como se puede observar, para las pruebas con el estándar SBTVD, se explotó el hecho de que el estándar permite transmisión jerárquica; por ejemplo, servicios fijos y móviles, pueden ser manejados en la transmisión de un solo canal. Se observa también que para one-seg se utilizó un sistema más robusto y para HD un sistema con más capacidad.

Es importante indicar que la SUPERTEL, en el mencionado informe, indica que el estudio del impacto socioeconómico y las pruebas prácticas para la adopción del estándar fueron recomendaciones e información provista por los promotores de los estándares, los cuales se basaron en las experiencias de los países que para ese entonces ya habían adoptado la norma.

2.3.3.3. Combinaciones de parámetros de las señales digitales que actualmente se transmiten en el Ecuador

La Superintendencia de Telecomunicaciones, hasta el mes de julio de 2013, tenía bajo su potestad la base de datos denominada “Sira-TV”, la cual entre otras cosas almacena la información correspondiente de las estaciones transmisoras de televisión analógica y digital del Ecuador.

En la Figura 2.50, se puede apreciar el listado de canales digitales del país.

Frecuencia Tx	M/R	Provincia	Categoría	Nombre Estación	Area Servida	Estado Actual
27	M	GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRES	TELEAMAZONAS GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	Autorización Tempora
29	M	GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRES	CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	GUAYAQUIL	Autorización Tempora
33	M	GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRES	CANAL UNO	GUAYAQUIL	Autorización Tempora
35	M	GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRES	TV+ (TEVEMAS)	GUAYAQUIL	Autorización Tempora
39	M	GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRES	TELEVISION SATELITAL	GUAYAQUIL	Autorización Tempora
41	M	GUAYAS	TELEVISION DIGITAL TERRES	COSTANERA (RTU)	GUAYAQUIL	Autorización Tempora
23	M	MANABI	TELEVISION DIGITAL TERRES	OROMAR	MANTA	Autorización Tempora
25	M	MANABI	TELEVISION DIGITAL TERRES	CAPITAL TV	PORTOVIEJO	Autorización Tempora
26	M	PICHINCHA	TELEVISION DIGITAL TERRES	ECUADOR TV	QUITO, SANGOLQUI, M	Autorización Tempora
30	M	PICHINCHA	TELEVISION DIGITAL TERRES	TELEVISION DEL PACIFICO	QUITO	Autorización Tempora
32	M	PICHINCHA	TELEVISION DIGITAL TERRES	TELEAMAZONAS	QUITO	Autorización Tempora
34	M	PICHINCHA	TELEVISION DIGITAL TERRES	TELESISTEMA	QUITO	Autorización Tempora
36	M	PICHINCHA	TELEVISION DIGITAL TERRES	TELEVISORA NACIONAL	QUITO	Autorización Tempora
39	M	PICHINCHA	TELEVISION DIGITAL TERRES	TELEVISION SATELITAL	QUITO	Autorización Tempora
41	M	PICHINCHA	TELEVISION DIGITAL TERRES	TELESUCESOS	QUITO	Autorización Tempora
43	M	PICHINCHA	TELEVISION DIGITAL TERRES	46 UHF ABC (RTU)	QUITO	Autorización Tempora
45	M	PICHINCHA	TELEVISION DIGITAL TERRES	CANAL UNO	QUITO	Autorización Tempora
23	M	TUNGURAHUA	TELEVISION DIGITAL TERRES	UNIMAX	AMBATO	Autorización Tempora
24	M	SANTO DOMIN	TELEVISION DIGITAL TERRES	TELEATAHUALPA (RTU)	SANTO DOMINGO DE L	Autorización Tempora
24	M	SANTA ELENA	TELEVISION DIGITAL TERRES	ESPOL TV		Autorización Tempora

Fuente Sira TV, SUPERTEL.

Figura 2.50. Canales de TV digital registrados en el Sira TV.

En base a dicha base de datos y a la información proporcionada por los funcionarios de la SUPERTEL, se construyó la Tabla 2.4:

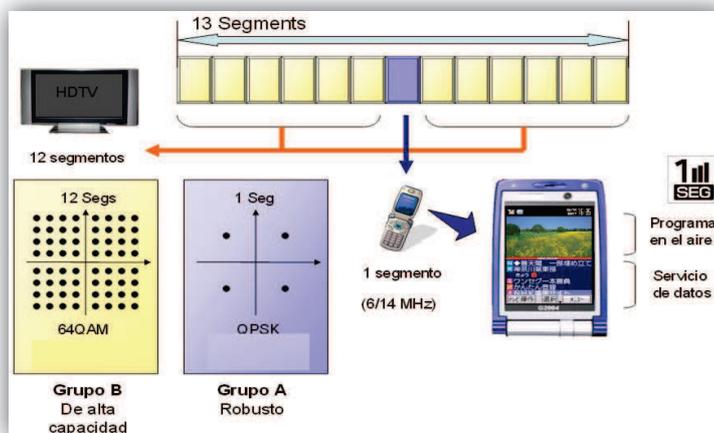
Canal	Modulación	Código Convolutacional	Intervalo de Guarda
Ecuavisa (36)	64 QAM QPSK	2/3 2/3	1/8
Teleamazonas (32)	64 QAM QPSK	2/3 2/3	1/16
Ecuador TV (26)	64 QAM QPSK	3/4 2/3	1/16
Telesucesos (41)	64 QAM QPSK	2/3 2/3	1/8

Tabla 2.4. Combinaciones de parámetros utilizados por las estaciones de Tx⁹.

Como se puede observar, los cuatro canales que transmiten señales digitales en el país presentan sistemas de modulación parecidos. En cuanto al código convolutacional e intervalo de guarda, varían unos de otros.

Esto se debe a que los valores de dichos parámetros, se eligen tomando en cuenta la aplicación en la que va a trabajar, por ejemplo en el caso de trabajar con equipos de recepción fijos, que transmitan señales en HD, tales como televisores, es recomendable elegir una modulación de alta capacidad, y si se desea utilizar dispositivos móviles para la recepción de la señal digital es preciso trabajar con modulaciones robustas, tal como se muestra en la Figura 2.51.

⁹ Los datos que contiene esta tabla fueron proporcionados por la Superintendencia de Telecomunicaciones.



Fuente:[35]

Figura 2.51. Aplicaciones y modulación en una transmisión jerárquica.

Finalmente y sobre la base de lo analizado, se puede mencionar que las combinaciones más utilizadas en el Ecuador son las siguientes:

Modulación	Código Convolutcional	Intervalo de Guarda
QPSK	2/3	1/16
QPSK	2/3	1/8
64QAM	3/4	1/16
64QAM	3/4	1/8

Tabla 2.5. Combinaciones de parámetros más utilizados.

Una vez definidas las combinaciones de parámetros más utilizados en Ecuador para la transmisión de señales digitales, es menester enfatizar que éstas serán las primeras combinaciones utilizadas para realizar las pruebas de cobertura y la elección de los parámetros técnicos que definirán una buena calidad de la señal digital en territorio ecuatoriano; debido a que se está tomando como base la experiencia y el trabajo que se han venido realizando, es decir se está partiendo de la realidad que vive el Ecuador, respecto a la televisión digital.

2.4. REFERENCIAS

- [17] SUPERTEL (2010). «Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Ecuador», Consultado el 19 de enero de 2012.
- [19] <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/television-digital-terrestre-en-el-ecuador/>, Último acceso: 25 de enero de 2012.
- [20] PÉREZ GARCÍA, Néstor (2013).«*Gestión del Espectro Radioeléctrico. Tema 1, Generalidades: Parte 2*», Universidad de Los Andes, Mérida – Venezuela, Consultado el 26 de enero de 2012.
- [21] PISCIOTTA, Néstor Oscar.*Sistema ISDB-Tb*, CIADE-IT, Universidad Blas Pascal, Primera Parte, Consultado el 2 de febrero de 2012.
- [22] MENDES, Luciano; SILVEIRA, Juliano; FAGIANI, Anderson (2011).*Sistema Brasileño de TV Digital*, Santiago, Chile: Inatel, Consultado el 10 de febrero de 2012.
- [23] SUÁREZ, Carlos; JIMÉNEZ, Leonardo; PARRADO, Joaquín.«*Documento Modulación Multiportadora OFDM*», Universidad Distrital España, Consultado el 20 de febrero de 2012.
- [24] <http://es.wikipedia.org/wiki/MPEG-2>, Último acceso: 5 de marzo de 2012.
- [25] PÉREZ, Tania (2012).*Apuntes de Clase y Material Complementario, Televisión Digital*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Consultado el 16 de marzo 2012.
- [26] HIDALGO LASCANO, Pablo (2012).*Apuntes de Clase y Material Complementario, Modulación Digital*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Consultado el 23 de marzo de 2012.
- [27] OCHOA DOMÍNGUEZ, J; MIRELES, J; COTA, J (2007).*Descripción del nuevo estándar de video H.264 y Comparación de su Eficiencia de Codificación con otros Estándares*, Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de la Ciudad Juárez, México http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432007000300004&script=sci_arttext&lng=pt, Consultado el 28 de marzo de 2012.

- [28] PÉREZ GARCÍA, Néstor (2013). *Gestión del Espectro Radioeléctrico para TV Digital, Tema 2, Bases Técnicas: Parte 1*, Mérida - Venezuela: Universidad de los Andes, Consultado el 5 de enero de 2013.
- [29] ABNT (2007). *Televisión Digital Terrestre - Sistema de Transmisión*, Brasil: ABNT NBR 15601:2007, Consultado el 8 de febrero de 2012.
- [30] <http://www.inti.gov.ar/electronicaeinformatica/utc/pdf/ISDBT-2011.pdf>, Último acceso: 11 de noviembre de 2013.
- [31] DE CESARE, Pablo; MARCHI, Edgardo; CERVETTO, Marcos (2011). *Introducción a la TV Digital. Estándar ISDB-T*, Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Consultado el 7 de abril de 2012.
- [32] <http://www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/teoria/Trasmdigital.pdf>, Último acceso: 11 de abril de 2012.
- [33] TAKAHASHI, Yasuo (2007). *ISDB-T seminario técnico en Argentina*, Sección 3: "Sistema de transmisión", Japón, Consultado el 13 de noviembre de 2013.
- [34] http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/LTesis_Ximema_Christian.pdf, Último acceso: 17 de noviembre de 2013.
- [35] http://www.dibeg.org/news/2009/0907Bolivia_ISDB-T_seminar/presentation3.pdf, Último acceso: 18 de noviembre de 2013.

CAPÍTULO 3

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD

3.1. TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE[36]

3.1.1. PRUEBAS SUBJETIVAS - PERCEPCIÓN DEL USUARIO

A groso modo, la evaluación subjetiva modela el comportamiento de cierto fenómeno o tendencia. Para el caso particular de las señales de televisión, la evaluación subjetiva de imagen y sonido puede ser aplicada considerando los 5 niveles establecidos en la recomendación UIT-R BT.500.

3.1.1.1. Recomendación UIT-R BT.500[36]

Esta recomendación señala que los métodos de evaluación subjetiva determinan la calidad de funcionamiento de los sistemas de televisión, a través de mediciones que anticipan de manera más directa las reacciones de quienes podrían ver los sistemas probados.

Es decir, que no es posible caracterizar totalmente la calidad de funcionamiento de un sistema digital solamente mediante evaluaciones subjetivas, por lo que es necesario mediciones objetivas.

Según la Recomendación UIT-R BT.500, existen dos clases de evaluaciones subjetivas. *“En primer lugar, hay evaluaciones que determinan la calidad de funcionamiento de sistemas bajo condiciones óptimas, las que típicamente se denominan evaluaciones de calidad. En segundo lugar, hay evaluaciones que determinan la capacidad de los sistemas de mantener la calidad en condiciones*

*noóptimas que se relacionan con la transmisión o emisión. Éstas se denominan típicamente evaluaciones de degradación*¹⁰.

Para iniciar con las pruebas subjetivas es necesario seleccionar el material a utilizarse, la Recomendación UIT-R BT.500 ha tomado una serie de planteamientos para establecer las clases de material de pruebas requeridas en las evaluaciones de imágenes de televisión. Con este propósito, la Recomendación ha definido la Tabla 3.1 en donde se describen los problemas de evaluación y de materiales de prueba típicos utilizados para abordar los diferentes problemas.

Problema de evaluación	Material utilizado
Calidad de funcionamiento global con material de uso habitual	General, «crítico pero no en exceso»
Capacidad, aplicaciones críticas (por ejemplo, contribución, postprocesamiento, etc.)	Diverso, incluido el material muy crítico para la aplicación probada
Calidad de funcionamiento de sistemas «adaptables»	Material muy crítico para el esquema «adaptable» utilizado
Identificar puntos débiles y posibles mejoras	Crítico, material con propiedades específicas
Identificar factores en los que se aprecia variación en los sistemas	Amplia gama de material muy abundante
Conversión entre diferentes normas	Crítico por diferencias (por ejemplo, frecuencia de trama)

* Se sobreentiende que todos los materiales de prueba deberían poder formar parte de los programas de televisión. En los Apéndices 1 y 2 al Anexo 1 se pueden obtener mayores directrices para la selección de materiales de prueba.

Fuente: [36], página 7.

Tabla 3.1. Selección del material de prueba.

3.1.1.2. Pruebas subjetivas realizadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones [17]

Para la elaboración del *“Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Ecuador”*, la SUPERTEL utilizó en sus pruebas subjetivas, la Recomendación UIT-R BT.500, *“Metodología para la evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión”*.

¹⁰ Recomendación UIT-R BT.500, *“Metodología para la evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión”* página 2.

En dicho informe, se utilizaron dos métodos de evaluación: “*De estímulo único*” y “*De apreciación por categorías de adjetivos*”. El primer método consiste en presentar una secuencia de imágenes a las que el evaluador otorga una calificación subjetiva; y, en el segundo método, los observadores asignan a una imagen o secuencia de imágenes una categoría elegida, entre un conjunto de categorías, que se definen en términos semánticos. Para éste último se definió las categorías descritas en la Tabla 3.2:

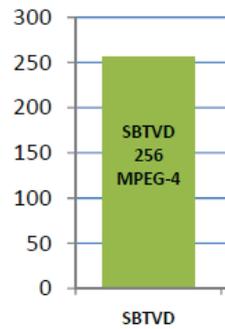
GRADO	CALIDAD	DETERIORO	DEFINICIÓN
5	Excelente	Imperceptible.	Recepción sin fallas.
4	Bueno	Perceptible, pero no molesto.	Recepción con fallas que no motivan al evaluador cambiar de canal.
3	Regular	Ligeramente molesto.	Recepción con fallas, por lo cual el evaluador no está conforme, pero considera que se puede esperar un intervalo de tiempo sin cambiar de canal.
2	Pobre	Molesto.	Recepción con fallas que motiva al evaluador cambiar de canal.
1	Malo	Muy molesto.	No hay señal

Fuente: [17], página 31.

Tabla 3.2. Escalas de calidad y degradación del UIT-R.

La SUPERTEL consideró que los evaluadores se seleccionen de varias universidades del país, con diferentes especializaciones, sin que necesariamente sean expertos en evaluar calidad de la imagen de televisión, a fin de que sus criterios se aproximen al común de los usuarios. Posterior a la realización y evaluación de las pruebas subjetivas, la Superintendencia de Telecomunicaciones llegó a los siguientes resultados:

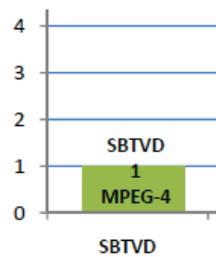
- Evaluaciones subjetivas en puntos fijos, tanto exteriores como interiores:



Fuente: [17], página 44.

Figura 3.1. Resultados en puntos fijos.

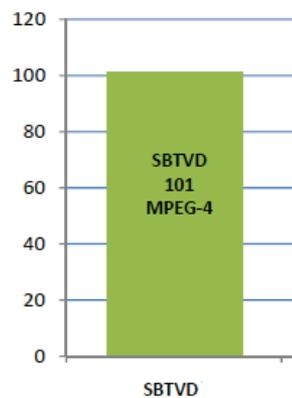
- Evaluaciones subjetivas para recepción móvil:



Fuente:[17], página 44.

Figura 3.2. Resultados para recepción móvil.

- Evaluaciones subjetivas para recepción portátil:



Fuente: [17], página 45.

Figura 3.3. Resultados para recepción portátil.

Es menester indicar que la SUPERTEL definió “*Criterios de ponderación para las mediciones y evaluaciones*”, en donde se establecen porcentajes de impacto a cada medición y evaluación. Para el caso de las pruebas subjetivas se estableció el 40% de ponderación respecto del total de criterios de evaluación. De esta manera se puede mencionar que las pruebas subjetivas son muy importantes a la hora de medir una buena calidad de señal.

Para el presente proyecto de titulación, se tomó como base las pruebas subjetivas realizadas por la SUPERTEL, con la finalidad de enfocarse en los aspectos técnicos (objetivos) de la transmisión de señales digitales. Es decir, se considera que la norma ISDB-Tb es la más adecuada para la transmisión de señales digitales en el país, sin que el usuario perciba una gran diferencia entre las distintas señales transmitidas.

Este hecho se puede corroborar con las señales que ya están operando en Ecuador y que en los siguientes numerales del presente capítulo, serán descritas adecuadamente, pues serán objeto de prueba.

3.1.2. ANÁLISIS TEÓRICO [21][37]

A continuación, se realiza el cálculo *del “tiempo de retardo de las señales reflejadas”* de las combinaciones de parámetros más utilizados para la transmisión de señales digitales, vistos en el numeral 2.3.3.3.

Este cálculo se lo realiza debido a que el tiempo de retardo de las señales reflejadas trae consigo una condición importante que se debe considerar para prevenir que exista interferencia en el receptor y pérdidas en la relación señal a ruido, $T_U \gg T_G \geq t_r$. Teniendo clara esta condición, se puede obtener el valor del tiempo útil de símbolo y el tiempo de guarda mediante la utilización del Teorema de Shannon:

$$C \text{ bps} = AB * \log_2 \left(1 + \frac{C}{N} \right)^{11} \quad (3.1) [21]$$

dónde:

C = Capacidad de transmisión máxima del canal.

$\frac{C}{N}$ = Relación portadora-ruido.

El valor C/N puede variar entre 3 dB con canal Gaussiano, alta redundancia de bits y QPSK a un máximo de 28 dB con canal Rayleigh, baja redundancia de bits y 64 QAM. Es decir, el valor C/N depende del tipo de modulación digital y de la tasa de codificación interna que se emplee, además del tipo de canal que se considere.

En la Tabla 3.3 se muestra la relación portadora-ruido (C/N) requerida según el esquema de modulación y la tasa de codificación interna utilizados para transmitir señales digitales.

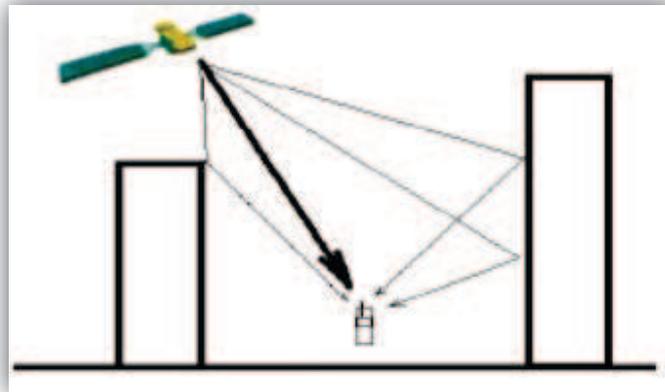
Esquema de modulación	Tasa de codificación interna				
	dB				
	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
DQPSK	6,2	7,7	8,7	9,6	10,4
16QAM	11,5	13,5	14,6	15,6	16,2
64QAM	16,5	18,7	20,1	21,3	22,0

Fuente: [37], página 69.

Tabla 3.3. Parámetros de transmisión y tasa de C/N requerida.

ISDB-Tb se transmite en un canal tipo Rice como se muestra en la Figura 3.4, que viene caracterizado por la existencia de visión directa entre emisor y transmisor. El nivel de potencia de un canal Rice está por encima del nivel de las señales multitrayecto recibida.

¹¹ Se utiliza C/N ya que considera portadoras de datos y portadoras piloto.



Fuente: [38]

Figura 3.4. Canal Rice.

De esta manera se aplicará el teorema de Shannon en diferentes condiciones para verificar los parámetros mínimos necesarios para obtener una buena transmisión.

A continuación, se explicará para el caso de la peor condición, pero se presentarán los cálculos para las combinaciones de parámetros más utilizados para la transmisión de señales digitales:

Peor Condición

Con una modulación 64 QAM, la señal no puede ser receptada a grandes distancias ya que los puntos en la constelación se encuentran más unidos y son más sensibles al ruido, por ello la relación señal a ruido (S/N) mínima a cumplirse es más alta que la requerida al modular las portadoras utilizando una menor cantidad de puntos en la constelación. Esta modulación es la menos robusta.

El código convolucional con tasa de codificación interna 7/8 representa la peor condición ya que cada 7 bits de datos se inserta uno de redundancia, por ende utiliza la menor cantidad de bits de protección.

El intervalo de guarda $\Delta = 1/32$ al ser el menor valor resulta ser la peor condición.

Ejemplo de Cálculo

ISDB-Tb define un sistema de transmisión de banda segmentada, divide los 6 MHz asignados en 14 segmentos (N_s), de los cuales 13 se destinan a la transmisión de portadoras OFDM y el segmento restante, se divide en dos bandas de guarda (uno por encima y otro por debajo de los límites de los 13 segmentos).

Condiciones:

$$\begin{aligned}
 AB &= N_s * AB_{segmento} = 13 * 428,57KHz = 5,571MHz & \Delta &= \frac{1}{32} \\
 \text{Modulación} &= 64 \text{ QAM} & t_r &= T_G \\
 \text{Código Convolutivo} &= \frac{1}{2} & C_N &= 16,5 \text{ dB } 45 \text{ veces}
 \end{aligned}$$

Utilizando la Ecuación 3.1 se obtiene lo siguiente:

$$C \text{ bps} = 5,571 \text{ Mbps} * \log_2 1 + 45 = 30,77 \text{ Mbps} \quad (3.2)$$

Calculando la tasa de datos:

$$R \text{ bps} = \frac{b_p * L}{T_s} \quad (3.3) [21]$$

dónde:

b_p = Número de bits por símbolo transmitidos en una portadora, con modulación 64 QAM son 6 bits.

$$\frac{L}{T_s} = \frac{30,77 \text{ Mbps}}{6} = 5,128 \times 10^6 \text{ } 1_s \quad (3.4)$$

Por lo que se necesitan 6 portadoras por cada μs que tenga de duración total un símbolo. Mediante las siguientes ecuaciones se calcula el número de portadoras en función del T_G :

$$T_s = T_U + T_G \quad (3.5)[21]$$

$$T_U = \frac{T_G}{\Delta} \quad (3.6)$$

Remplazando (3.5) y (3.6) en (3.4):

$$\frac{L}{\frac{T_G}{\Delta} + T_G} = 5,128 \times 10^6 \text{ }^1 \text{ }_S \quad (3.7)$$

$$L = 5,128 \times 10^6 \text{ }^1 \text{ }_S * 33T_G \quad (3.8)$$

A continuación se calcula el número de portadoras mediante:

$$L = N_s * L_s + 1 = 13 * 108 + 1 = 1405 \quad (3.9) \text{ [21]}$$

dónde:

L_s = Número de portadoras por segmento.

Se debe tener en cuenta que se necesita una portadora adicional a las L necesarias para la transmisión y el número de portadoras que define el estándar es 108 por segmento.

Al reemplazar (3.9) en (3.8) se obtiene t_r :

$$1404 = 5,128 \times 10^6 \text{ }^1 \text{ }_S * 33t_r$$

$$t_r = 8,3 \text{ } \mu\text{S} \quad (3.10)$$

Calculando la distancia que recorre la señal reflejada respecto del punto más lejano se tiene:

$$t_r = \frac{2d}{c} \quad (3.11) \text{ [21]}$$

$$d \text{ km} = \frac{0,3 t_r \text{ } \mu\text{S}}{2} = \frac{0,3 * 8,3}{2} = 1,245 \text{ km} \quad (3.12)$$

Otros valores constantes para cualquier modulación que se pueden calcular son los siguientes:

$$\Delta f = \frac{ABsegmento}{L_S} = \frac{428,54 \text{ KHz}}{108} = 3,968 \text{ KHz} \quad (3.13) [21]$$

$$T_U = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{3,968 \times 10^8} = 252 \mu s \quad (3.14) [21]$$

Realizando una tabla de los resultados obtenidos de las cuatro modulaciones elegidas se tiene lo siguiente:

ESQUEMA DE MODULACIÓN	Tasa de Codificación Interna				
	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
QPSK $\Delta = 1/16$	$t_r = 11,47 \mu s$ $d = 1,721 \text{ km}$	$t_r = 10,56 \mu s$ $d = 1,584 \text{ km}$	$t_r = 9,35 \mu s$ $d = 1,403 \text{ km}$	$t_r = 8,57 \mu s$ $d = 1,286 \text{ km}$	$t_r = 8,27 \mu s$ $d = 1,241 \text{ km}$
QPSK $\Delta = 1/8$	$t_r = 5,91 \mu s$ $d = 0,887 \text{ km}$	$t_r = 5,44 \mu s$ $d = 0,816 \text{ km}$	$t_r = 4,82 \mu s$ $d = 0,723 \text{ km}$	$t_r = 4,41 \mu s$ $d = 0,662 \text{ km}$	$t_r = 4,26 \mu s$ $d = 0,639 \text{ km}$
64 QAM $\Delta = 1/8$	$t_r = 30,41 \mu s$ $d = 4,562 \text{ km}$	$t_r = 26,89 \mu s$ $d = 4,034 \text{ km}$	$t_r = 25,08 \mu s$ $d = 3,762 \text{ km}$	$t_r = 23,71 \mu s$ $d = 3,557 \text{ km}$	$t_r = 22,95 \mu s$ $d = 3,442 \text{ km}$
64 QAM $\Delta = 1/16$	$t_r = 16,09 \mu s$ $d = 2,414 \text{ km}$	$t_r = 14,24 \mu s$ $d = 2,136 \text{ km}$	$t_r = 13,27 \mu s$ $d = 1,991 \text{ km}$	$t_r = 12,55 \mu s$ $d = 1,883 \text{ km}$	$t_r = 12,15 \mu s$ $d = 1,823 \text{ km}$

Tabla 3.4. Parámetros de transmisión y tiempos de retardo resultantes.

Como se puede observar en la Tabla 3.4, existen diversos valores para los tiempos de retardo de la señal reflejada con sus respectivas distancias, los cuales fluctúan desde $t_r = 4,26 \mu s$ y $d = 0,639 \text{ km}$, hasta $t_r = 30,41 \mu s$ y $d = 4,562 \text{ km}$.

Por otro lado, es preciso señalar que el tiempo de retardo introducido por el procesado de señales de audio y vídeo, en cualquier sistema de televisión, es conocido como latencia.

La latencia es una consecuencia ineludible producida por el uso de tecnologías digitales involucradas en la creación del video y por lo tanto es un aspecto que degrada e introduce errores en la transmisión, mientras mayor sea el tiempo de latencia.

En la Tabla 3.5 se puede observar que la menor distancia recorrida por la señal reflejada es de 0,816 Km y corresponde a una señal digital con modulación QPSK, código convolucional 2/3 e intervalo de guarda 1/8. Este resultado muestra que a menor distancia recorrida de la señal reflejada, se tendrá mayor cantidad de señales que interfieren con la señal digital principal, provocando mayor probabilidad de errores. En base a este análisis, una señal digital con modulación 64 QAM, código convolucional 5/6 e intervalo de guarda 1/8 resulta ser la más adecuada, ya que tiene menor probabilidad de que las señales interferentes provoquen errores en la transmisión.

Modulación	Código Convolucional	Intervalo de Guarda	Tiempo de retardo de la señal reflejada	Distancia recorrida por la señal reflejada	Mejores Condiciones
QPSK	2/3	1/8	5,44 μ s	0,816 Km	4
QPSK	2/3	1/16	10,56 μ s	1,584 Km	3
64 QAM	3/4	1/16	13,27 μ s	1,991 Km	2
64 QAM	5/6	1/8	23,71 μ s	3,557 Km	1

Tabla 3.5. Orden de los parámetros considerados mejor condición.

Como se observa en la Tabla 3.5, el valor igual a 1 del ítem “Mejores Condiciones” se puede considerar como la combinación de parámetros más adecuada para la transmisión de la señal digital en el Ecuador.

3.1.3. SOFTWARE ICS TELECOM: ELECCIÓN DEL MODELO DE PROPAGACIÓN Y DETERMINACIÓN DE PATRONES DE RADIACIÓN [39]

Para simular las diferentes señales digitales, se utilizó el software denominado “ICS TELECOM” proporcionado por la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador.

ICS Telecom es un software capaz de modelar cualquier tipo de red de radio frecuencia a partir de 10 KHz hasta 450 GHz. Adicionalmente, permite al usuario llevar a cabo la administración técnica del espectro electromagnético sobre una serie

de tecnologías, tales como: Sistemas Aeronáuticos, Emisión de Televisión y Radio, Redes Marítimas, Satélites, etc.

ICS Telecom considera la geografía del medio y algunos factores que influyen en la propagación de ondas (difracción, pérdidas, etc.), para realizar el cálculo de la propagación de señales. Este software suministra información de altimetría y diferentes tipos de atenuación mediante una estructura de capas.

Las capas de interés que se utilizan para estimar el área de cobertura y desarrollar distintos cálculos en los sistemas de televisión, tanto analógica como digital, son los siguientes:

- Elevación digital (*.GEO): Contiene la información DEM¹² (Modelo de Elevación Digital), la cual proporciona una descripción de alturas del terreno geográfico.
- Archivo Imagen (*.IMG): Son imágenes geo referenciales que corresponden al terreno descrito en el archivo DEM.
- Archivo Clutter¹³ (*.SOL): Según el tipo de zona dentro del mapa proporciona información sobre atenuación, incluyendo la altura de los obstáculos presentes en cada terreno.

Búsqueda de sitios

ICS Telecom cuenta con numerosas metodologías que ayudan a localizar la mejor posición para colocar estaciones. Los parámetros que se consideran son la altura a la cual se va a colocar la base más potente (y si la misma debe estar sobre el techo de un edificio), el número de puntos de prueba y la altura de los puntos especificando si estarán sobre el nivel de la tierra o el mar, según la situación geográfica.

¹² **DEM** corresponde a un modelo digital o a una representación en 3D de la superficie de un terreno creado a partir de los datos de elevación del terreno.

¹³ **Clutter** es un archivo que contiene los códigos de ocupación de suelo del área geográfica.

Estaciones

Las metodologías para colocar una estación sobre el mapa son las siguientes:

- Ingresando las coordenadas del lugar de forma manual verificando que toda información debe ser ingresada en grados-minutos-segundos (4DMS, Degree-Minute-Second).
- Importando la información de una lista creada en Excel en formato ASCII (.csv).

3.1.3.1. Modelos de Propagación

La aplicación de modelos de propagación implica muchos tipos de restricciones: complejidad algorítmica, requisitos de memoria, creatividad del autor, etc. Por esta razón, no siempre es posible tener un modelo nominal implementado. A continuación, se menciona de manera resumida los tipos de modelos de propagación que existen y se escoge uno de ellos para simular las señales digitales de distintas estaciones de TV digital.

- **Modelos geométricos (determinísticos)**

Estos modelos proporcionan una estimación derivada directamente del perfil del trayecto, en muchos de los casos, utilizan las propiedades de la geometría de Fresnel. Para este fin, en el ICS Telecom se lleva a cabo la descomposición de la pérdida de propagación:

$$L_{prop} = L_{fsd} + L_d + L_{sp} + L_{gas} + L_{rain} + L_{clut} + L_{model} \quad (3.15)$$

dónde:

L_{fsd} = pérdida por distancia en el espacio libre,

L_d = pérdida por difracción,

L_{sp} = pérdida por sub-trayecto,

L_{gas} = atenuación causada por los gases atmosféricos

L_{rain} = atenuación causada por hidrometeoros¹⁴,

L_{clut} = atenuación del clutter,

L_{model} = atenuación específica sin clasificar que se deriva de la selección del modelo.

Los modelos geométricos son los siguientes:

- Fresnel
- Método de Wojnar
- ITU-R P.525/526

Cabe indicar que un modelo geométrico toma en cuenta la curvatura de la Tierra.

- **Modelos estadísticos**

Estos modelos fueron diseñados para proporcionar estimaciones sin el uso de un modelo de elevación digital (DEM), se basan en la medición y dependen de la geometría sólo en un sentido más restrictivo. Los parámetros básicos son la altura efectiva de la antena, el tiempo y/o la variabilidad el sitio y el tipo de suelo. Se tiene que:

$$L_d = L_{sp} = L_{gas} + L_{rain} = L_{clut} = 0$$

L_{model} : asigna todos los posibles términos de atenuación excepto la pérdida del espacio libre.

Los modelos estadísticos son los siguientes:

- ITU-R P.370-7,
- ITU-R P.452

No es posible establecer una división específica del modelo, ya que el mismo asigna sus propios componentes de atenuación.

¹⁴ Los hidrometeoros son concentraciones de agua o partículas de hielo que pueden depositarse en la superficie de la Tierra o existir en la atmósfera.

- **Modelos mixtos**

Tratan de tomar ventaja de las técnicas de modelización tanto geométricas como estadísticas. Los modelos mixtos son los siguientes:

- Okumura,
- Vienna Agreement 1993
- Harry Wong's FCC '98
- UIT-R P-1546

3.1.3.2. Subdivisión de modelos en base a sus referencias

Las referencias de un modelo son el o los método(s) que han sido considerados y aplicados en el desarrollo del modelo. En base a esto, se podrá elegir un modelo de propagación adecuado para simular áreas de cobertura de los sistemas de transmisión de TV digital. Estas referencias permiten dividir a los modelos de la siguiente manera:

- **Modelos con referencias completas**

Estos modelos aplican métodos que se han publicado en libros, revistas científicas o recomendaciones. Dentro de esta categoría se ubican los siguientes:

- Okumura
- ITU-R P.370-7
- ITU-R P.525/526
- Harry Wong's FCC '98
- ITU-R P.452

- **Modelos con referencias parciales**

Estos modelos aplican métodos que se han publicado pero continúan en estudio y pueden ser modificados por sus autores o cuyas referencias no son completas. Dentro de esta categoría se ubican los siguientes:

- Vienna Agreement 1993
- Método de Wojnar
- Fresnel
- UIT-R P-1546

3.1.3.3. Elección modelo de propagación

Para la elección del modelo de propagación se tiene en consideración dos aspectos: primero que sean modelos con referencias completas ya que de esta manera se afirma que se encuentran correctamente sustentados, y segundo que utilicen métodos publicados en recomendaciones técnicas de la IUT-R.

Los modelos que cumplen con estos dos aspectos se describen en la siguiente tabla:

Modelo	Recomendaciones UIT-R
ITU-R P.370-7	P.370-7: Curvas de propagación en ondas métricas y decimétricas para la gama de frecuencias comprendidas entre 30 y 1000MHz.
ITU-R P.452	P.452-14: Procedimiento de predicción para evaluar la interferencia en microondas entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a los 0,7 GHz.
ITU-R P.525/526	P.525-2: Cálculo de la atenuación en el espacio libre. P.526-11: Propagación por difracción

Tabla 3.6. Modelos con referencias completas basados en recomendaciones ITU-R.

De entre los modelos expuestos en la Tabla 3.6, se descarta el modelo ITU-R P.370-7 debido a que la recomendación en la cual se basa el modelo fue suprimida el 22 de octubre de 2001, así como el modelo ITU-R P.452 debido a que es aplicable a evaluación de interferencias en microondas entre estaciones en frecuencias desde los 700 MHz a los 50 GHz. De esta manera, se escoge el modelo de propagación ITU-R P.525/526.

El modelo ITU-R P.525/526 se deriva de las recomendaciones ITU-R P.525-2 y ITU-R P.526-11. En este modelo se calcula la atenuación en el espacio libre, difracción y

la atenuación por sub-trayecto mediante el método de cilindro en cascada o el método máscara redonda.

Ocupación del suelo

Las propiedades del clutter o de la capa de ocupación del suelo se pueden definir en el software ICS Telecom. El clutter modifica la altitud local del DTM (Mapa Digital del Terreno, suelo) siguiendo las siguientes reglas para los primeros diez códigos:

Código de Clutter	Modificación de Altitud
0.- Rural	Ninguna
1.- Suburbano	+6m
2.- Urbano 8m	+8m
3.- Urbano 15m	+15m
4.- Urbano 30m	+30m
5.- Bosque	+12m
6.- Hídrico	Ninguna
7.- Urbano 50m	+50m
8.- Rural Boscoso	+4m
9.- Carreteras/Techos	Ninguna

Tabla 3.7. Modificación de altitud de acuerdo al código de clutter.

Los términos de atenuación L_{clut} de la ITU se dividen en cuatro bandas:

Términos de atenuación de la ITU L_{clut} [dB]				
Código de clutter	$f \leq 40\text{MHz}$	$40 < f \leq 160\text{ MHz}$	$160 < f \leq 450\text{ MHz}$	$f > 450\text{ MHz}$
0	3	5	7	9
1	9	12	15	18
2	19	22	25	28
3	22	25	28	31
4	25	28	31	34
5	27	27	27	27
6	0	0	0	0
7	29	32	32	38
8	3	5	5	9
9	0	0	0	0

Tabla 3.8. Términos de atenuación de la ITU.

Debido a que el clutter que posee la Superintendencia de Telecomunicaciones es de tipo poblacional, es decir, no define la ocupación del suelo, en este proyecto se trabaja con el término de atenuación $L_{clutter} = 0$.

3.1.3.4. Configuración de los sistemas de transmisión de TV digital en el Software ICS Telecom

Se utiliza el software ICS Telecom con el objetivo de determinar el área de cobertura principal de cada sistema de transmisión. Para esto se consideran las características técnicas del sistema de transmisión.

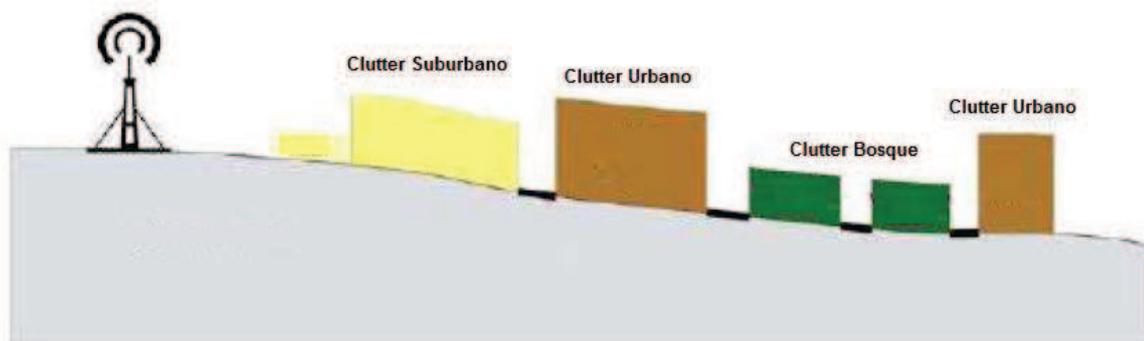
Cabe resaltar, que el software ICS Telecom debe contar con un mapa digital para poder realizar la configuración de un sistema de transmisión de TV digital.

- **DEM (Modelo de Elevación Digital)**

Para obtener una cobertura, mediante un software de simulación de sistemas de telecomunicaciones, se necesita un mapa cartográfico cuya resolución puede variar.

La Superintendencia de Telecomunicaciones posee un DEM de resolución media, es decir, describe el terreno con una precisión de 30m.

Los datos de resolución media contienen información de tipo estadístico de la ocupación del suelo de los edificios (no presenta la altura real) semejante a lo que se observa en la Figura 3.5. Es así, que los DEM de resolución media se usan exclusivamente para predecir la cobertura de sistemas en donde la recepción de la señal se da en ambiente exterior más no interior. De esta manera, se justifica el uso del DEM de 30m para este proyecto.



Fuente: [39], página 95.

Figura 3.5. Tipos de terreno de un DEM.

Como se mencionó anteriormente, el clutter al ser de tipo poblacional (toda la ciudad de Quito se encuentra en un solo tipo de ocupación del suelo) no es exacto. Por esta razón, para este proyecto se anula la influencia del clutter, lo cual implica que no existirán atenuaciones debidas al tipo de suelo. Se debe tener presente que los niveles de intensidad de campo eléctrico obtenidos en la simulación serán mayores a los medidos en la práctica, debido a esta consideración.

- **Características técnicas de los sistemas de transmisión de TV digital**

Los parámetros técnicos que considera el software ICS Telecom para configurar los sistemas de transmisión de TV digital que operan en el Cerro Pichincha y que sirven a la ciudad de Quito se exponen en la Tabla 3.9. Estos parámetros técnicos se encuentran de acuerdo a lo especificado en los parámetros técnicos expuestos en los contratos de concesión de frecuencia¹⁵ y a lo encontrado en las inspecciones realizadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones.

¹⁵ La concesión de frecuencia se otorga al aprobar los estudios de ingeniería, realizando las modificaciones pertinentes al estudio en caso de que hayan sido necesarias. Los parámetros que se ratifican en los contratos de concesión y el más actual de los contratos modificatorios son los que se utilizan en este proyecto. Esta información se encuentra registrada en el sistema SIRA TV de la SUPATEL y es la referencia de este proyecto en conjunto con los parámetros encontrados en las inspecciones técnicas realizadas a cada sistema de transmisión de TV digital.

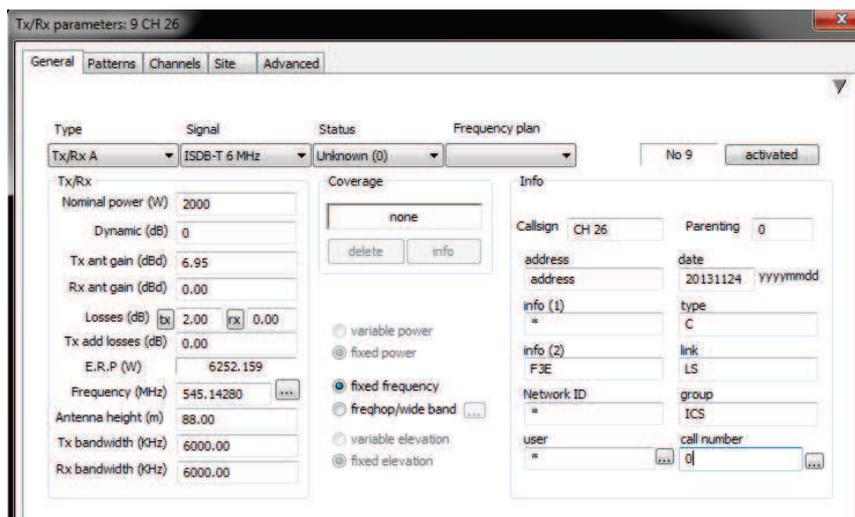
En cuanto al sistema radiante se refiere, únicamente interesa la ganancia del arreglo en dBd y el tipo de polarización. Se consideran pérdidas máximas en la línea de transmisión, conectores, etc. de 2 dB.

PARÁMETROS		CH 26	CH 32	CH 36	CH 41
Tipo de señal		ISDB-T	ISDB-T	ISDB-T	ISDB-T
Frecuencia (MHz)		545,1428	581,1428	605,1428	635,1428
Potencia de salida del transmisor (W)		2000	4000	1000	1200
Ancho de Banda (KHz)		6000	6000	6000	6000
Altura de la antena de transmisión (m)		88	40	36	30
Sistema Radiante	Ganancia (dBd)	6,95	8,2	9,6	12,77
	Polarización	Horizontal	Horizontal	Paneles UHF	Horizontal
Coordenadas del transmisor	Latitud	00°10'00,6"S	00°09'51"S	00°10'01"S	00°10'04"S
	Longitud	78°31'30"W	78°31'19"W	78°31'23"W	78°31'27"W

Tabla 3.9. Datos técnicos ingresados en el ICS Telecom para los transmisores que operan en la ciudad de Quito.

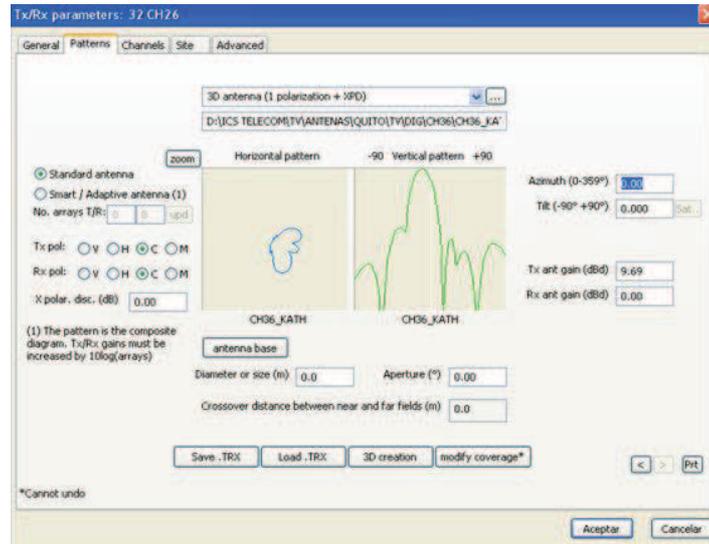
• Configuración de los transmisores

Para configurar los transmisores en el software ICS Telecom se ingresan los datos correspondientes a cada transmisor en la ventana denominada *Tx/Rx parameters*, como ejemplo se toma el canal 26.



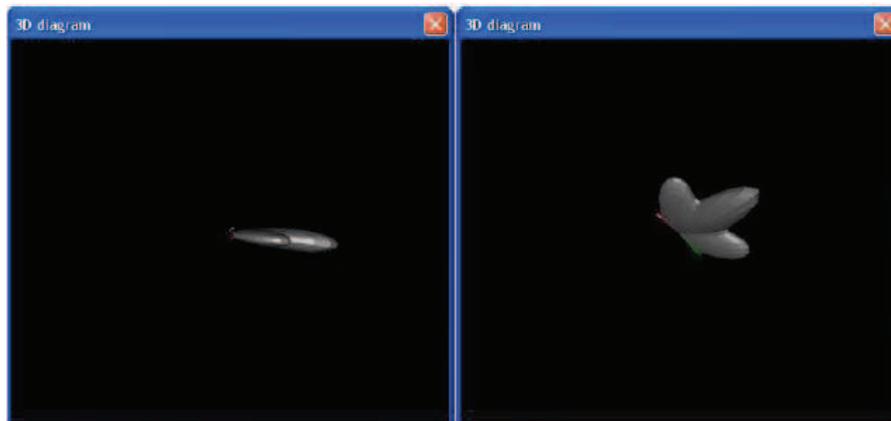
Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.6. Ingreso de parámetros en la ventana Tx/Rx parameters.



Fuente: ICS Telecom.

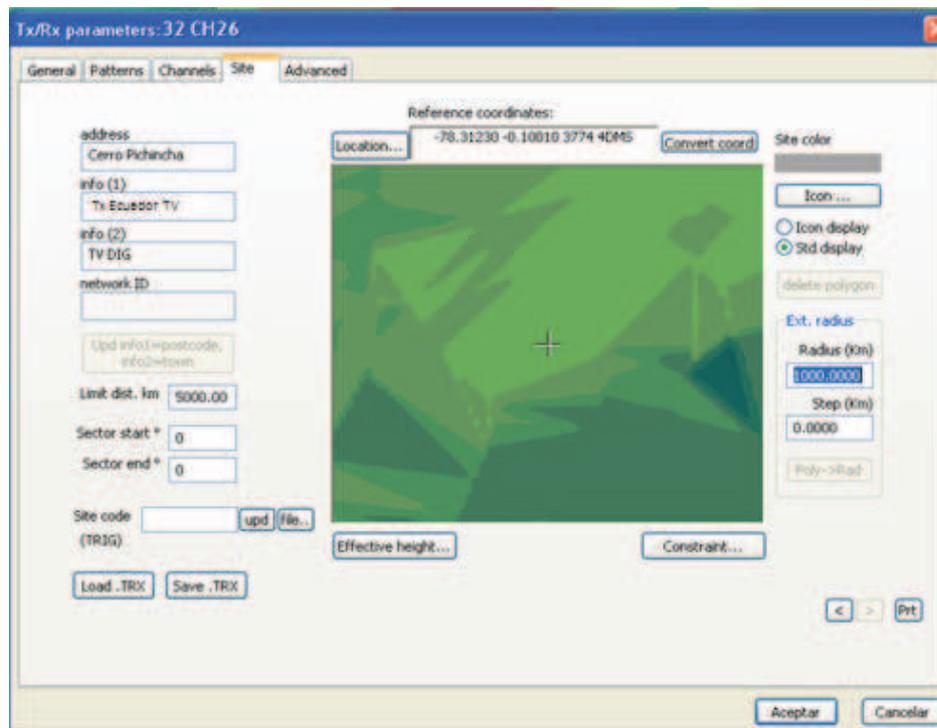
Figura 3.7. Ingreso de parámetros en la pestaña Patterns de la ventana Tx/Rx parameters.



Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.8. Visualización del patrón de radiación tridimensional.

En la pestaña Site se ingresan las coordenadas de la ubicación del transmisor en formato 4DMS (Degrees-Minutes-Seconds). Los dígitos antes del punto son los grados, los dígitos después del punto son los minutos y los últimos dígitos son los segundos. El signo “-” antes de cada coordenada significa que el punto se encuentra al oeste de Greenwich y al sur de Ecuador.



Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.9. Ingreso de parámetros en la pestaña Site de la ventana Tx/Rx parameters.

3.1.3.5. Determinación de la cobertura de señal de los sistemas de transmisión de TV digital [40]

Una vez que se conocen las características técnicas del sistema de transmisión, se procede con la configuración de los transmisores en el software ICS Telecom y mediante el modelo de propagación (ITU-R P.525/526) elegido se determina la cobertura de cada transmisor.

Para ejecutar la simulación y obtener la cobertura de los sistemas de TV digital se debe tomar en consideración lo siguiente:

- a) Definir el valor *Grid Step* en 1 para que sean considerados todos los píxeles que contiene el archivo en los cálculos de simulación.

- b) La intensidad del campo eléctrico mínima que se utilizará durante la simulación es de 60dBuV/m ¹⁶ y la antena de recepción de referencia será un dipolo de media onda con impedancia $75\ \Omega$ y la unidad de referencia dBu.
- c) Definir la distancia límite hasta la que se realizarán los cálculos de nivel de intensidad eléctrico. En este proyecto se ha utilizado el siguiente criterio:

$$E = \frac{\sqrt{30PIRE}}{D} \quad (3.16) \quad [40]$$

dónde:

E = Intensidad de campo eléctrico [V/m]

$PIRE$ = Potencia Isotrópica Radiada Efectiva [W]

D = Distancia desde el transmisor [m]

Asumiendo el valor $E = 60\text{dBuV/m} = 0,001\text{ V/m}$ como un límite de nivel de intensidad de campo eléctrico y despejando D de la ecuación 3.16, se tiene:

$$D = \frac{\sqrt{30PIRE}}{0,001} [m] = \sqrt{30PIRE} [km] \quad (3.17)$$

Tomando como ejemplo el canal 26, la distancia D se determina de la siguiente manera:

¹⁶ Intensidad de campo eléctrico mínima en función de las bandas de frecuencia IV y V establecidas por la SUPERTEL.

Transmisor CH 26	
Potencia Nominal	$P_{tx} = 2 \text{ Kw}$
Ganancia de la antena de transmisión en el eje principal	$G_{tx} = 6,95 \text{ dBd} + 2,15 \text{ dB} = 9,10 \text{ dBi}$
Pérdida del patrón de radiación	$D_{tx} = 0 \text{ Db}$ (Se asume que no existe pérdida)
Pérdidas de transmisión	$L_{tx} = 2 \text{ dB}$
Potencia Isotrópica Radiada Efectiva	
$PIRE = P_{Tx} 10^{(G_{Tx} - D_{Tx} - L_{Tx})/10}$	
$PIRE = 2 \text{ Kw} * 10^{(9,1 - 0 - 2)/10} = 10,26 \text{ Kw}$	
Distancia desde el transmisor	
$D = \sqrt{30PIRE} = \sqrt{10 * 10,26} = 10,13 \text{ km}$	

Tabla 3.10. Cálculo de la distancia desde el transmisor.

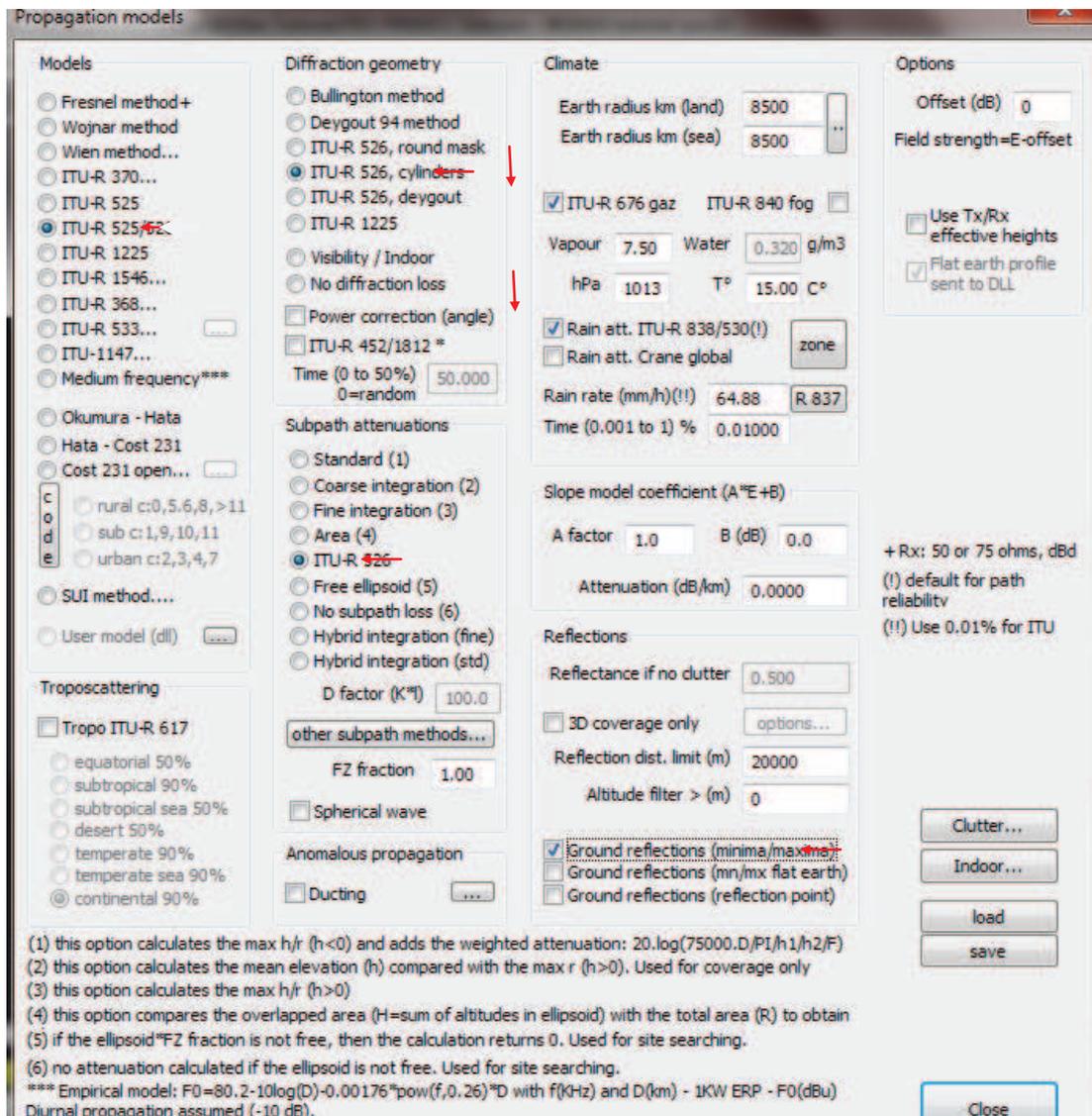
Utilizando el ejemplo de cálculo de la Tabla 3.10 para cada uno de los transmisores se tiene:

	CH 21	CH 25	CH 26	CH 27	CH 32	CH 36	CH 41	CH 47
distancia [km]	10,13	19,31	10,13	16,54	16,54	9,72	15,33	7,16

Tabla 3.11. Distancia desde el transmisor para cada canal.

En base a lo anterior, se utiliza una distancia límite de 20 Km para este proyecto.

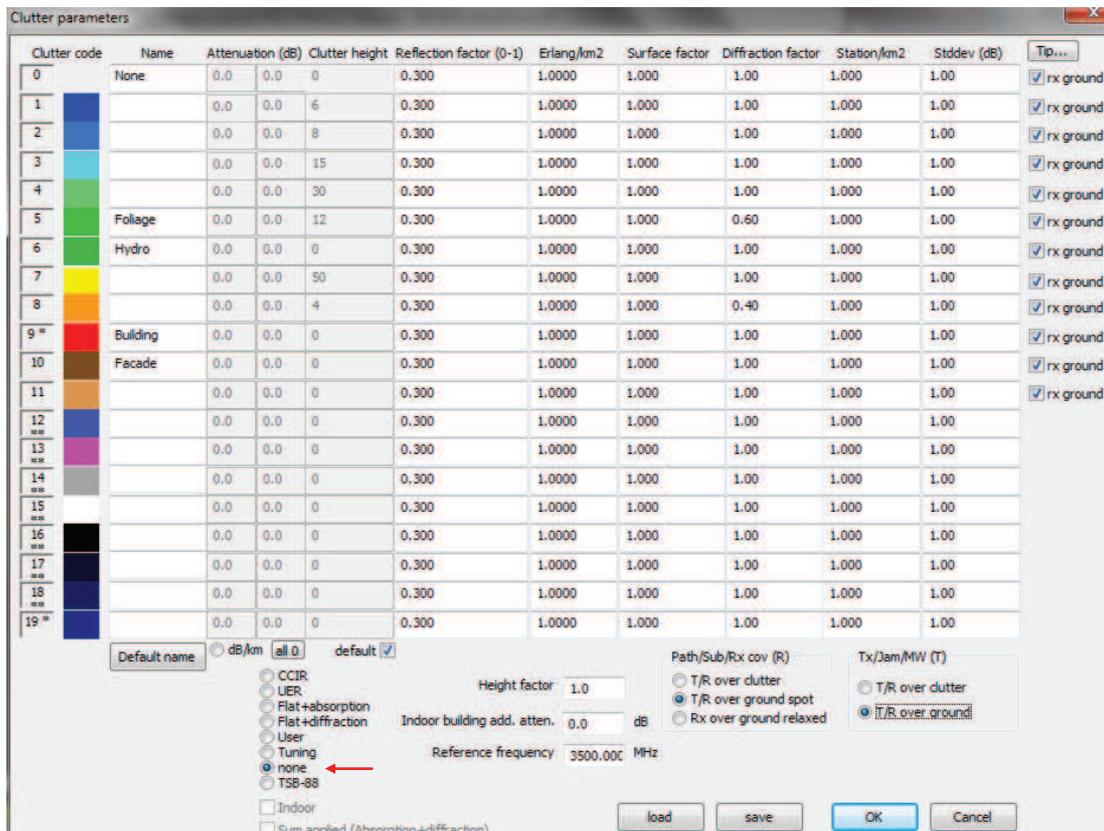
Como se muestra en la Figura 3.10, se selecciona el modelo de propagación elegido ITU-R P.525/P.526 y otros parámetros que influyen en la propagación.



Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.10. Selección del modelo de propagación.

Se debe verificar que en la opción clutter, todos los parámetros se encuentren desactivados ya que en este proyecto se suprimió el uso de la capa clutter, como se muestra en la Figura 3.11.



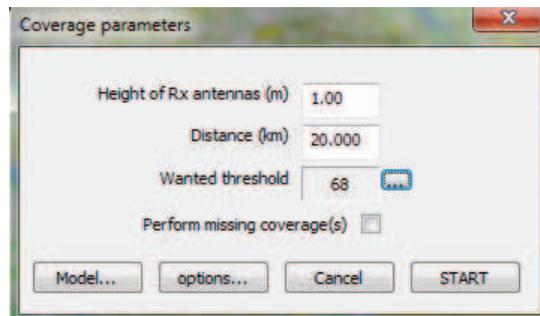
Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.11. Establecimiento de los parámetros del clutter.

El software ICS Telecom para determinar el área de cobertura de un transmisor, realiza una serie de cálculos en base a todos los parámetros definidos; desplegando la cobertura correspondiente.

La altura general para las antenas de recepción tiene un valor de 1m. Cabe recalcar, que no todas las antenas de recepción tendrán esta altura por lo que se deberá setear con el valor real de cada antena.

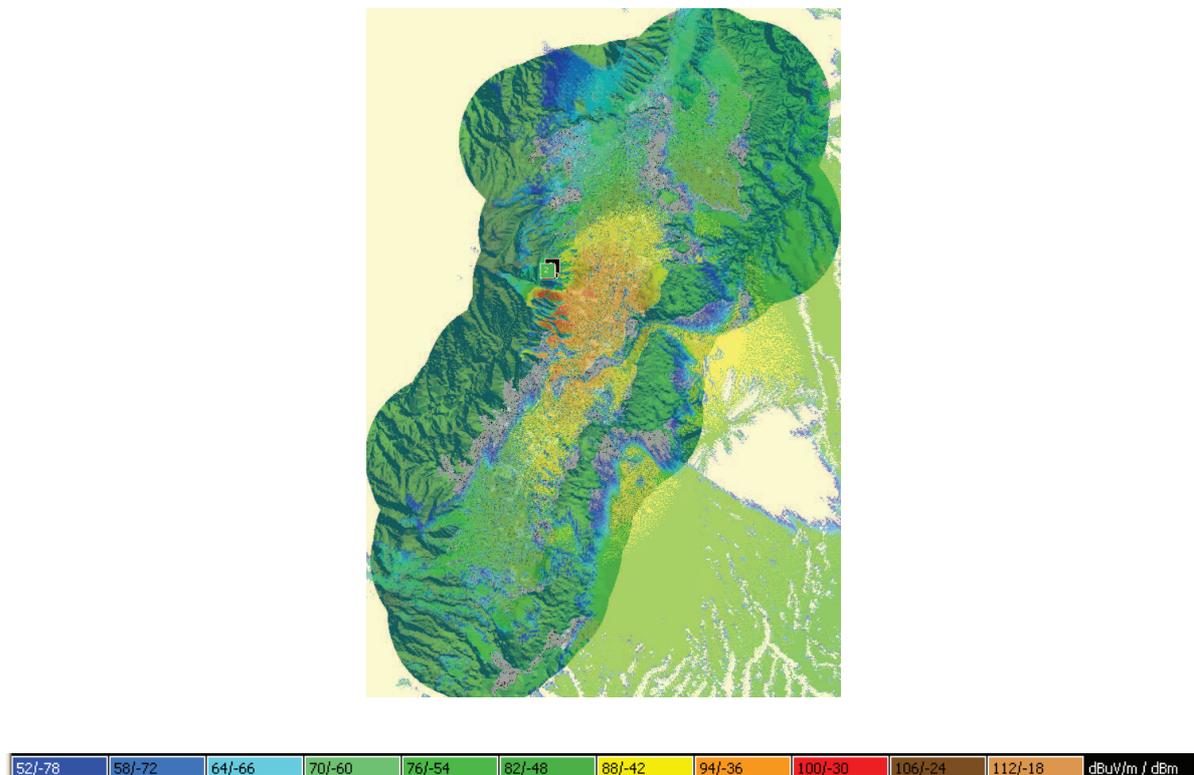
Los valores de distancia y threshold son definidos automáticamente en base al modelo de propagación, tal como se muestra en la Figura 3.12.



Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.12. Ventana de parámetros de cobertura.

Finalmente, se obtiene el área de cobertura principal del canal 26 operante en la ciudad de Quito que se muestra en la Figura 3.13. El rango de valores de intensidad de campo eléctrico que se encuentra en una región se puede observar en la paleta correspondiente a la simulación.

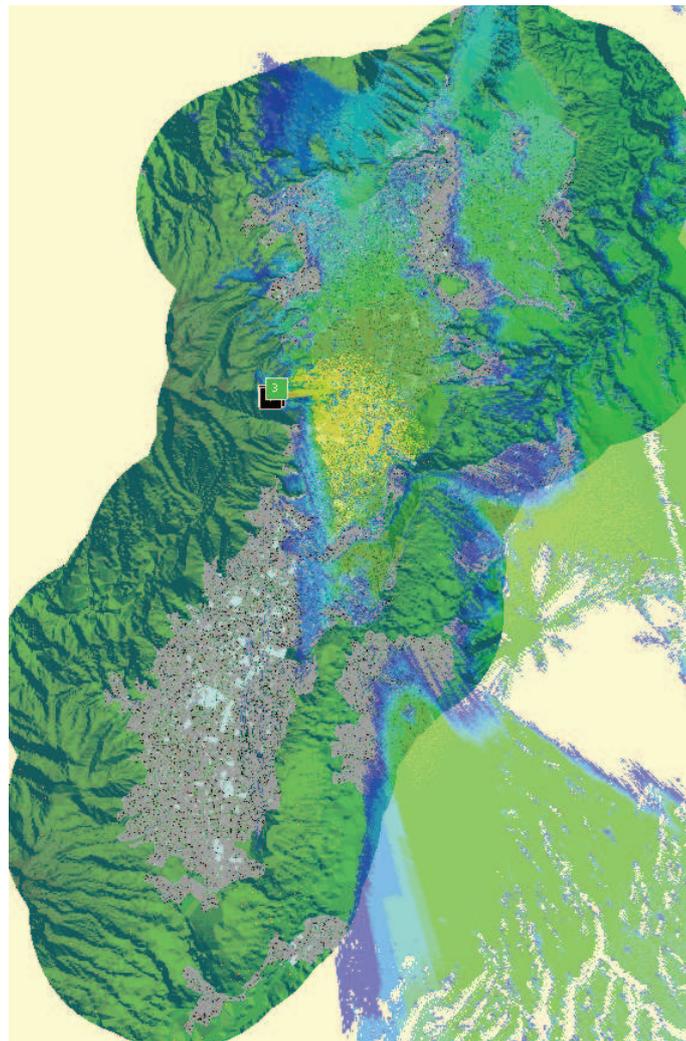


Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.13. Área de cobertura principal del canal 26.

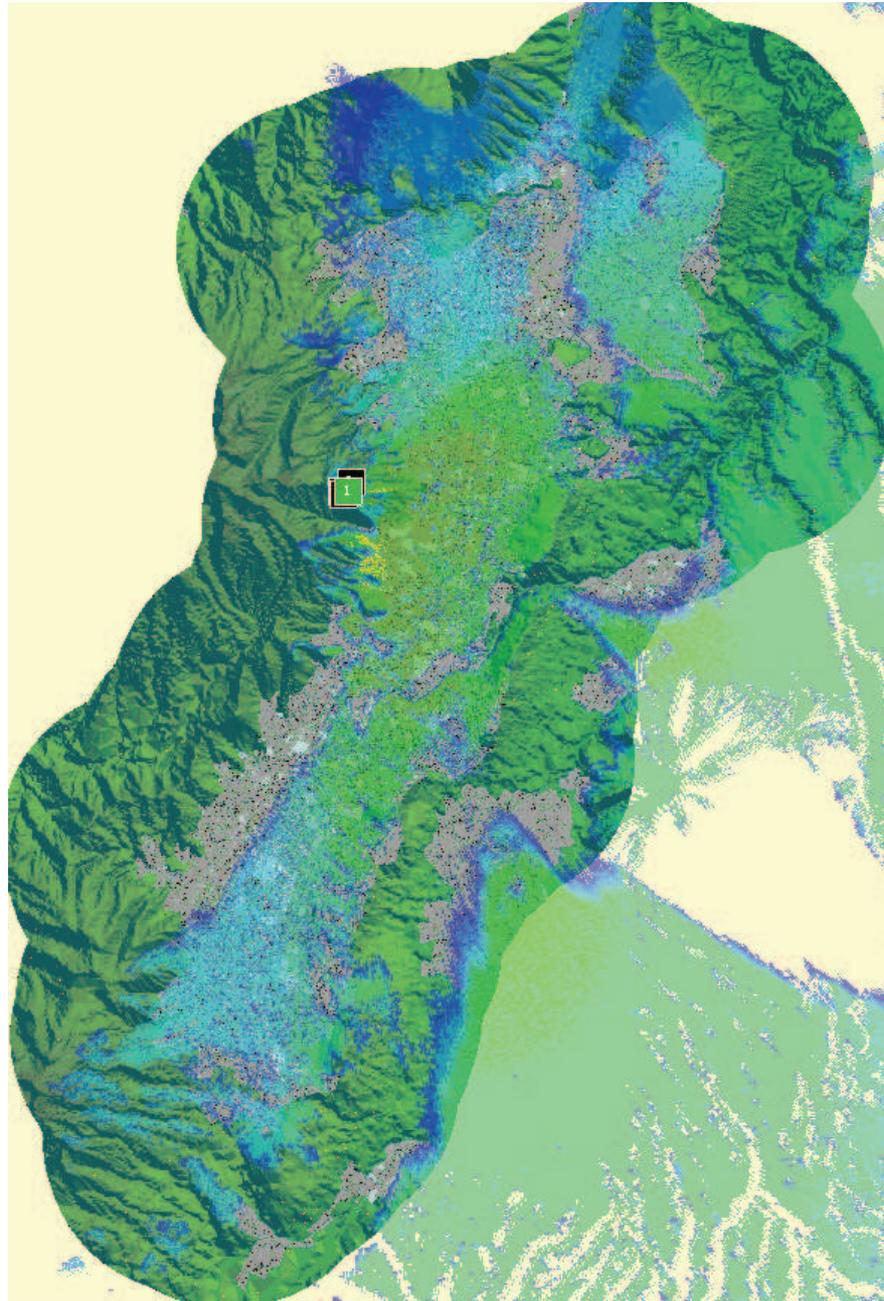
3.1.3.6. Área de cobertura principal de los canales de TV digital que operan en el Cerro Pichincha

En este apartado se presenta el área de cobertura principal obtenida para los canales de TV digital abierta que operan en el Cerro Pichincha que sirven a la ciudad de Quito.



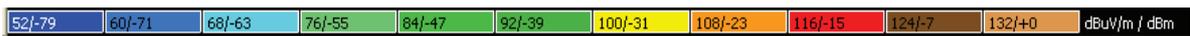
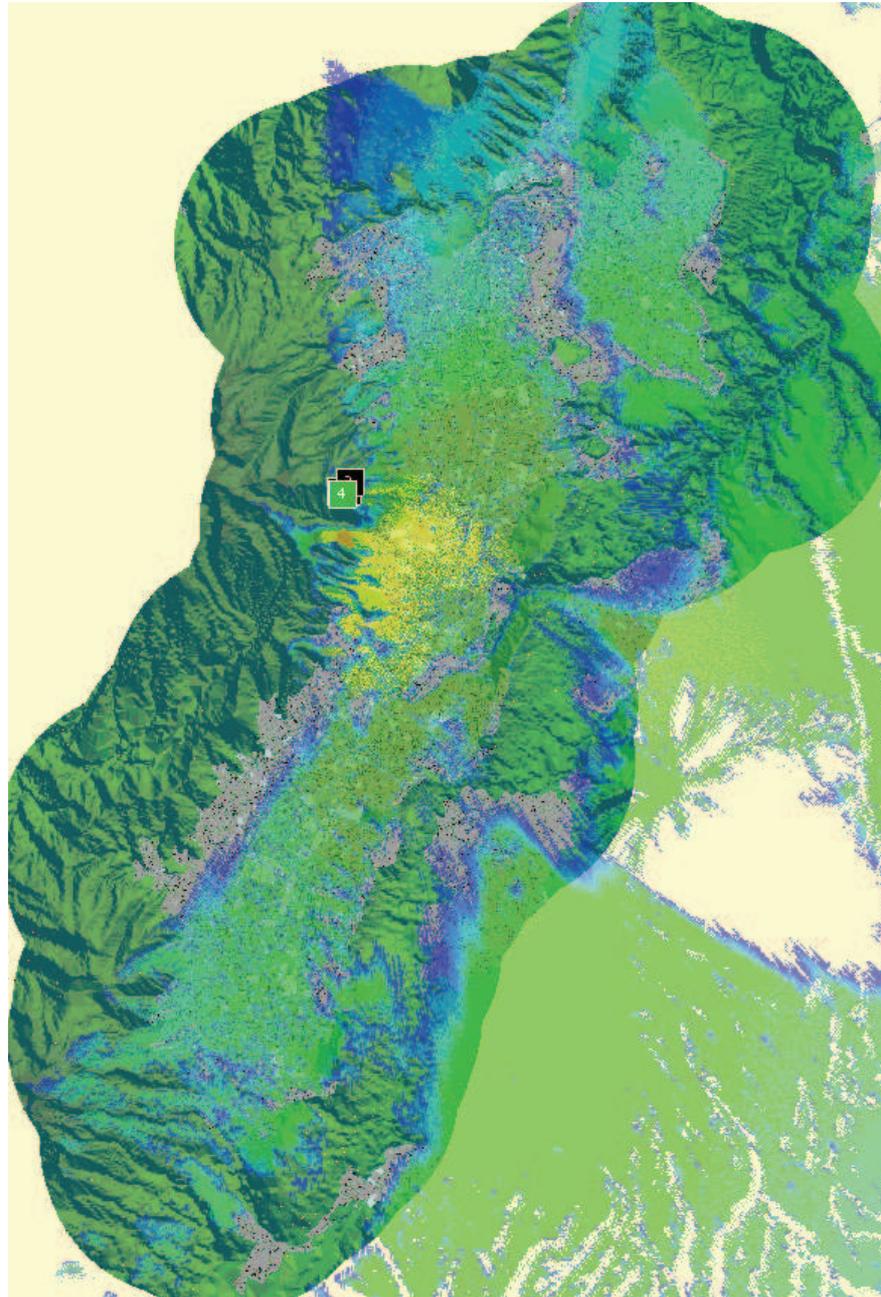
Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.14. Área de cobertura principal del canal 32.



Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.15. Área de cobertura principal del canal 36.



Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.16. Área de cobertura principal del canal 41.

3.1.3.7. Análisis de las áreas de cobertura

Una vez obtenidas las áreas de cobertura de los canales de TV digital abierta que operan en Quito, se puede realizar un análisis con la información que se muestra en la paleta de colores para un umbral de recepción de 60dBuV/m (Figura 3.15).



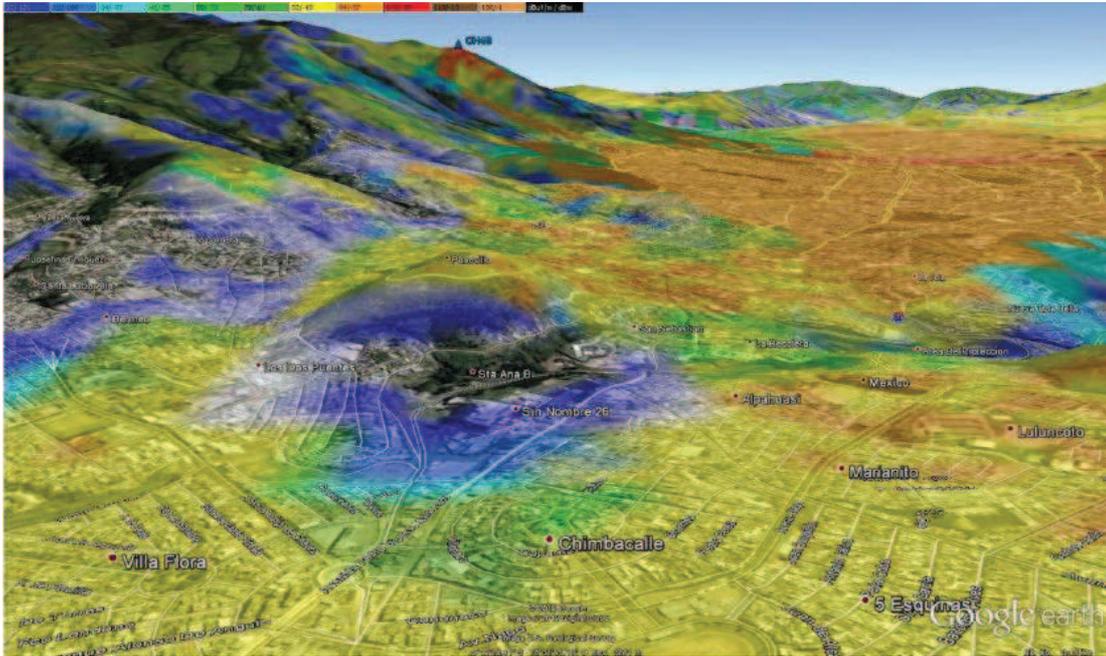
Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.17. Paleta de colores para un umbral de recepción de 60dBuV/m.

En la Figura 3.17, el valor que se muestra antes del signo “/” es el valor del nivel de intensidad de campo eléctrico en dBuV/m asignado a ese color específico. El valor más bajo que se muestra en la paleta es 52dBuV/m, lo que indica que ese valor es el umbral de recepción. Entonces, cuando se observe en la imagen del área de cobertura el color azul intenso, significará que esa zona se encuentra en el umbral de recepción definido, y las zonas con un color diferente serán superiores al umbral y corresponderán al nivel de intensidad de campo eléctrico que especifique la paleta.

Una zona de sombra es aquella en donde no existe color alguno; es decir, su nivel de intensidad de campo eléctrico se encuentra por debajo del umbral de recepción definido. En otras palabras, estas zonas se encuentran fuera del área de cobertura principal del transmisor.

Para entender de mejor manera lo expuesto, a continuación se muestra la cobertura en la zona que comprende los dos puentes y sus alrededores. En la Figura 3.18 se muestra el área de cobertura del canal 26 para un umbral de recepción de 10 dBuV/m y en la Figura 3.19 se muestra la cobertura para un umbral de recepción de 74 dBuV/m.



Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.18. Área de cobertura del canal 26 (umbral de recepción 10 dBuV/m).



Fuente: ICS Telecom.

Figura 3.19. Área de cobertura del canal 26 (umbral de recepción 74 dBuV/m).

En base a las figuras anteriores se puede determinar lo siguiente:

- De la Figura 3.18, se puede observar que se tiene mayor cobertura puesto que presenta menos zonas de sombra en comparación a la Figura 3.19. El nivel de intensidad de campo eléctrico de las zonas de sombras es inferior o igual a 10 dBuV/m.
- De la Figura 3.19, se observa que la cobertura oscila entre 86 dBuV/m y 92 dBuV/m. Las zonas de sombra son mayores en comparación a la Figura 3.18 puesto que se requiere mayor nivel de intensidad de campo eléctrico.

Este análisis permite interpretar las imágenes de cobertura que se muestran en el numeral 3.1.3.6 y que corresponden a cada uno de los canales de TV digital abierta que operan en el Cerro Pichincha. Si se superpone la imagen de cobertura en el mapa del programa Google Earth, es posible evaluar regiones específicas de forma más detallada.

3.1.4. MEDICIONES DE SEÑALES DIGITALES RECIBIDAS CON EQUIPOS ESPECIALIZADOS[41]

3.1.4.1. Importancia de obtener mediciones de señales reales de televisión digital [42]

La obtención de valores reales a través de mediciones de señales digitales, constituyen un procedimiento apropiado e imprescindible para la evaluación de la calidad de señal transmitida, puesto que es la prueba más evidente y fehaciente sobre la calidad de las señales en un sistema de transmisión.

Al respecto, es importante señalar que en base a la experiencia de varios países de Latinoamérica, las pruebas prácticas constituyeron el pilar fundamental para elegir la norma adecuada con la cual se implementaría la Televisión Digital Terrestre. Las pruebas prácticas requieren de señales que estén transmitiéndose en tiempo real y de equipos especializados, los cuales deben poseer la capacidad de captar dichas

señales y evaluarlas, de tal manera que se pueda realizar un control en la calidad de la señal.

Es preciso señalar que hasta mayo de 2013, el país contaba con apenas tres canales de televisión nacional en formato digital, a saber: Ecuavisa, Ecuador TV y TC Televisión. Al respecto, el diario “EL COMERCIO”, en su edición del 10 de mayo de 2013 publicó: *“Ecuavisa transmite desde ayer su programación en señal digital y se suma a Ecuador TV y TC Televisión, las cuales también cuentan con esta tecnología japonesa que fue adaptada por Brasil para los países latinoamericanos. Para el tercer trimestre de este año se espera que las otras 23 estaciones inicien su operación. (...) Iván Bernal, catedrático de la Escuela Politécnica Nacional (Quito), explica que la experiencia con la televisión digital es similar a la que ya se tiene hoy con el servicio de televisión pagada, ya que se puede acceder a la sinopsis de las películas, horarios, etc. (...) La señal digital en el país convivirá con la analógica hasta el 2018, que es el plazo máximo para que todas las estaciones migren a la nueva tecnología”*; sin embargo, según las bases de datos de la SUPERTEL, hasta octubre de 2013 se registran 26 canales de televisión digital con autorización temporal de funcionamiento.

Por otro lado, la Superintendencia de Telecomunicaciones como Organismo Técnico de Control de las Telecomunicaciones, cuenta con equipos especializados para realizar pruebas sobre las señales transmitidas dentro del espectro radioeléctrico del territorio ecuatoriano. Dos de estos equipos son el R&S ETL y el R&S ETH de la casa Rohde&Schwarz.

3.1.4.2. Equipos especializados

a) R&S®ETL TV Analyzer/Receiver

Este equipo permite analizar las características de transmisión de las señales de televisión tanto analógica como digital, de acuerdo a parámetros técnicos establecidos para su funcionamiento. Además contiene los generadores para crear señales analógicas de video, señales de audio y TS (transportstreams) de MPEG-2.

El analizador tiene la capacidad de trabajar con varios estándares de TV-digital incluido el ISDB-Tb.



Fuente: [41]

Figura 3.20. Analizador R&S ETL.

El equipo presenta una solución que permite analizar y generar señales tanto digitales como analógicas en un solo dispositivo. Esto es importante, pues en el Ecuador a pesar del inminente cambio global a televisión digital, las redes analógicas todavía están operativas y están siendo instaladas. Algunas están siendo modernizadas con nuevos transmisores para lograr una mejor cobertura, mientras que otras están en proceso de transición a una operación digital.

El equipo R&S ETL mide varias características de la señal de TV digital, además que permite la medición de los parámetros involucrados en las diferentes capas jerárquicas de transmisión, en el caso del estándar ISDB-Tb. Algunos de dichos parámetros son los siguientes:

- MER (Modulation Error Ratio)
- BER before Viterbi
- BER before RS (Reed Solomon)
- PER (Packet Error Ratio)
- BER after RS (Reed Solomon)
- Packet Errors
- MPEG TS Bit Rate

Es importante indicar que cuando se mide el BER, éste puede presentar varios valores dependiendo del instante en que se mida; es así que el “BER antes de Viterbi”, es el medido a la salida del demodulador (señal bruta, tal como se recibe); y el “BER después de Viterbi” VBER mide la señal corregida de errores. El VBER al ser una señal corregida tiene un valor máximo generalmente es 1×10^{-8} ¹⁷.

Lo propio sucede con el BER (Reed Solomon), donde Reed-Solomon es un código cíclico no binario que protege los datos contra errores transmitidos sobre un canal de comunicaciones. Este tipo de código pertenece a la categoría FEC (Forward Error Correction), es decir, corrige los datos alterados en el receptor y para ello utiliza unos bits adicionales que permiten esta recuperación a posteriori.

Rango de frecuencia	FM (radio)	500 kHz a 3 GHz 75 MHz a 110 MHz
Se muestra el nivel promedio de ruido (DANL)	50 MHz a 3 GHz, preamplificador apagado 500 MHz, preamplificador ON, preselector DE 3 GHz, preamplificador ON, preselector EN	≤ -140 dBm (1 Hz) típ. -166 DBm (1 Hz) típ. -161 DBm (1 Hz)
Nivel	casi libre de errores para los estándares digitales en función de los modos de transmisión T-DMB/DAB con R & S [®] ETL-B203 preselector, preamplificador EN	-90 DBm a $+10$ dBm -92 dBm
Modulación inherente tasa de error (MER)	nivel de la señal ≥ -30 dBm, $f \leq 1,3$ GHz DTMB	≥ 40 dB, típ. 46 dB ≥ 34 dB
Vídeo S / N	modo de TV analógica	≥ 60 dB
Datos generales		
Dimensiones	W x H x D y con mango	409 mm x 158 mm x 465 mm (16,1 in x 6,2 in x 18,3 in)
Peso	sin opciones	<9 kg ($<19,8$ libras)

Fuente: [41]

Tabla 3.12. Características técnicas del equipo R&S ETL.

¹⁷ Valor obtenido del “Curso Cisco CCNA Online”, Capacityacademy.com/Cisco CCNA.
<http://www.adslzone.net/posts172626-0.html>

b) R&S®ETH TV-HandHeld

El analizador de TV portátil **R&S ETH**, ofrece las funciones de un analizador de TV, de espectro y de redes en un único equipo compacto y de peso reducido. Es ideal para aplicaciones móviles tales como la instalación y mantenimiento de transmisores de baja potencia ubicados en lugares remotos. Además, el equipo es una herramienta práctica para los operadores de redes que necesitan realizar medidas de cobertura en campo, en lugares públicos o en el interior de edificios.



Fuente: Manual del R&S®ETH Handheld TV Analyzer

Figura 3.21. Analizador R&S ETH.

Entre las principales características de este equipo se pueden mencionar las siguientes:

- Análisis de señales ISDB-Tb estándar brasileño, en el rango de 30 MHz a 3 GHz o superior.
- Detección automática de los modos de ISDB-Tb: Modo 1 (2K), Modo 2 (4K) y Modo 3 (8K)
- Detección Automática de la Modulación: QPSK, 16 QAM, 64 QAM, DQPSK y visualización de sus diagramas de constelación.

- Detección y análisis de parámetros de cada capa jerárquica.
- Análisis de mediciones de MER y BER
- Medición de la relación señal a ruido.
- Análisis de patrón de eco dentro del intervalo de guarda.
- Medición directa de intensidad de campo eléctrico (dBuV/m).
- Nivel de rango de entrada entre -76 dBm a +10 dBm
- Capacidad de realización de drive test de sistemas de televisión con formato brasileño ISDB-Tb
- GPS integrado al sistema de Drive Test.
- Grabación de datos en la memoria interna del equipo y directamente en medio de almacenamiento externo.

3.2. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TDT

Sobre la base del estudio realizado hasta este punto, se ha evidenciado que existen varios aspectos, consideraciones y parámetros que definen la calidad de la señal en un sistema de transmisión. De ahí que a continuación se analizan varios parámetros técnicos que definen la calidad y características de una señal digital.

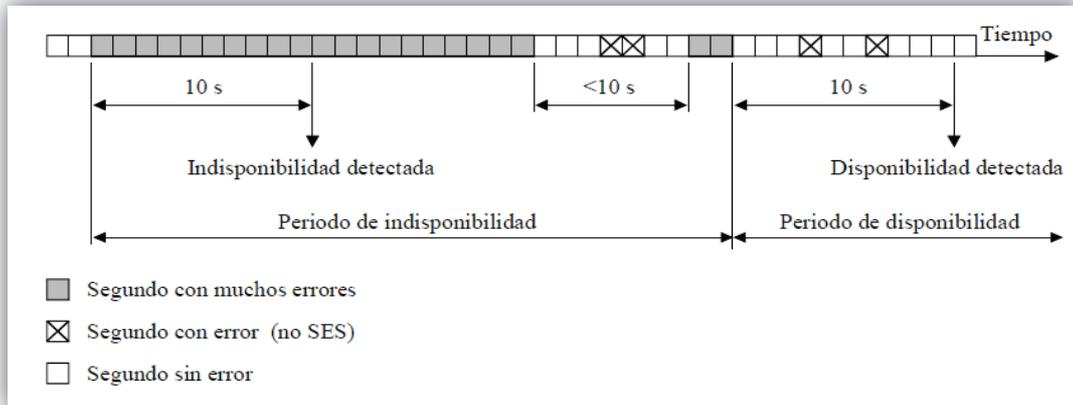
3.2.1. DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA[43]

La disponibilidad de un sistema describe la calidad de la transmisión digital con relación al tiempo. En este sentido, la Recomendación UIT-TG.826, Anexo A “*Criterios de entrada y salida con respecto al estado de indisponibilidad*”, establece:

3.2.1.1. Criterios para un solo sentido

Un período de tiempo de indisponibilidad comienza con el primero de diez eventos (1 evento = 1 segundo) SES (severely errored second, segundo con muchos errores) consecutivos. Estos diez segundos (siempre es 10 segundos) se consideran parte del tiempo de indisponibilidad. Un nuevo período de disponibilidad comienza con el

primero de diez eventos no SES consecutivos. Estos diez segundos se consideran que forman parte del tiempo de disponibilidad. La Figura 3.22 ilustra esta definición:

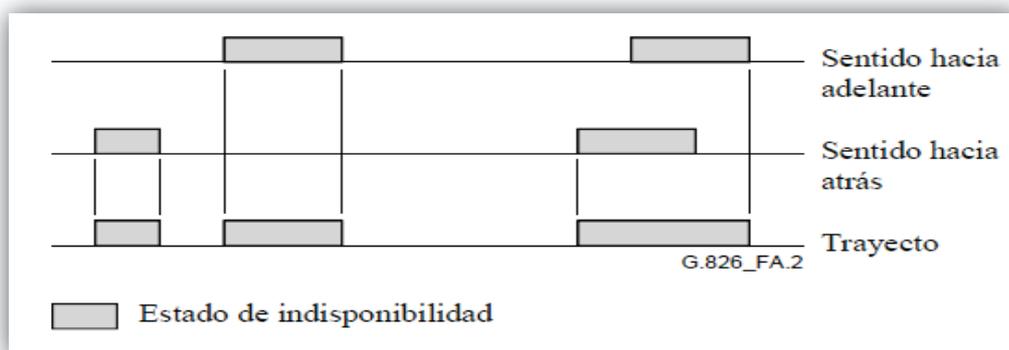


Fuente: [43], página 13.

Figura 3.22. Determinación del tiempo de indisponibilidad.

3.2.1.2. Criterio para un trayecto o una conexión bidireccional

Un trayecto o una conexión bidireccional se encuentra en estado de indisponibilidad si uno o ambos sentidos están en el estado de indisponibilidad. Esto se muestra en la Figura 3.23:



Fuente: [43], página 13.

Figura 3.23. Estado de indisponibilidad de un trayecto o una conexión.

Para un mejor entendimiento, en la Recomendación UIT-TG.826 se definen los siguientes ítems:

- **Segundo con errores** (ES, errored second): Período de un segundo con uno o más bloques con errores o por lo menos con un defecto.
- **Segundo con muchos errores** (SES, severely errored second): Período de un segundo que contiene $\geq 30\%$ de bloques con errores o por lo menos un defecto. SES es un subconjunto de ES.

Los segundos con muchos errores consecutivos pueden ser precursores de períodos de indisponibilidad, especialmente cuando no se utilizan procedimientos de restablecimiento/protección. Los períodos de segundos con muchos errores consecutivos que persisten durante T segundos, donde $2 \leq T < 10$ (algunas entidades operadoras de red denominan estos eventos "fallos") pueden tener una repercusión importante sobre el servicio, por ejemplo, la desconexión de servicios conmutados.

3.2.2. DISPONIBILIDAD DE ENLACE[44]

La disponibilidad del enlace describe la calidad a largo plazo de un enlace especificado en una cadena de transmisión digital. Se utiliza como un parámetro de calidad de servicio en los contratos entre los operadores de red y proveedores de programas.

La pérdida de señal no está incluida en la disponibilidad del enlace debido a que la pérdida de la señal puede haber ocurrido antes del enlace especificado.

3.2.3. REGISTRO DE EVENTOS DE ERROR

Este registro describe los errores permanentes que posteriormente pueden ser utilizados para localizar posibles fuentes de errores. De esta manera, los eventos pueden utilizarse como una medida de la "disponibilidad del sistema".

El tiempo absoluto de pérdida en caso de pérdida de sincronización o señal, se registra junto con la duración de la pérdida o el tiempo de recuperación de la misma. Se recomienda una resolución de tiempo predeterminado de 1 segundo para esta medición, pero otros intervalos de tiempo pueden ser apropiados dependiendo de la aplicación.

El registro de errores puede almacenar como mínimo los últimos 1 000 eventos de error. Debe preverse para poder acceder a toda la información de error una forma adecuada para el procesamiento de datos adicional.

3.2.4. FLUCTUACIÓN DE FASE (JITTER)

El jitter a un cambio indeseado y abrupto de la propiedad de una señal provoca que algunos paquetes lleguen demasiado pronto o tarde para poder entregarlos a tiempo, esto puede afectar tanto a la amplitud como a la frecuencia y la situación de fase. El jitter es la primera consecuencia de un retraso de la señal y ocurre generalmente cuando el reloj está directamente sincronizado a partir de un reloj inestable.

Específicamente, el “jitter” es la diferencia entre el tiempo esperado para la ocurrencia de un evento y el tiempo en que dicho evento realmente ocurre. Este retraso puede representar un grave problema puesto que el reloj de los datos no es transmitido habitualmente con dichos datos, por lo que el exceso de “jitter” en la señal de datos del transmisor provocará errores de recuperación de los datos en el extremo receptor.

3.2.5. ISI

La ISI representa la interferencia inter-símbolo, que consiste en un “jitter” determinístico dependiente de los datos. En un sistema de transmisión digital, este fenómeno se manifiesta mediante ensanchamientos temporales, y el consecuente solapamiento, de pulsos individuales hasta el punto de que el receptor puede no distinguir correctamente entre cambios de estado, por ejemplo entre elementos

individuales de la señal. A partir de un cierto umbral, la ISI puede comprometer la integridad de los datos recibidos.

En otras palabras, se puede mencionar que la ISI es la energía procedente de la señal en uno o más intervalos de modulación que interfieren con la recepción de la señal en otro intervalo de modulación.

La interferencia entre símbolos se produce debido a inexactitudes de sincronización, insuficiente ancho de banda, distorsión de amplitud o distorsión de fase y por la distorsión multitrayectoria.

3.2.6. RF / IF POTENCIA DE LA SEÑAL[44]

La potencia de la señal o potencia deseada se define como la potencia media de la señal seleccionada. Se debe tener cuidado para limitar la medida del ancho de banda de la señal deseada. Cuando se utiliza un analizador de espectro o un receptor calibrado, se debe integrar la potencia de la señal dentro del ancho de banda nominal de la señal.

3.2.7. POTENCIA DE RUIDO

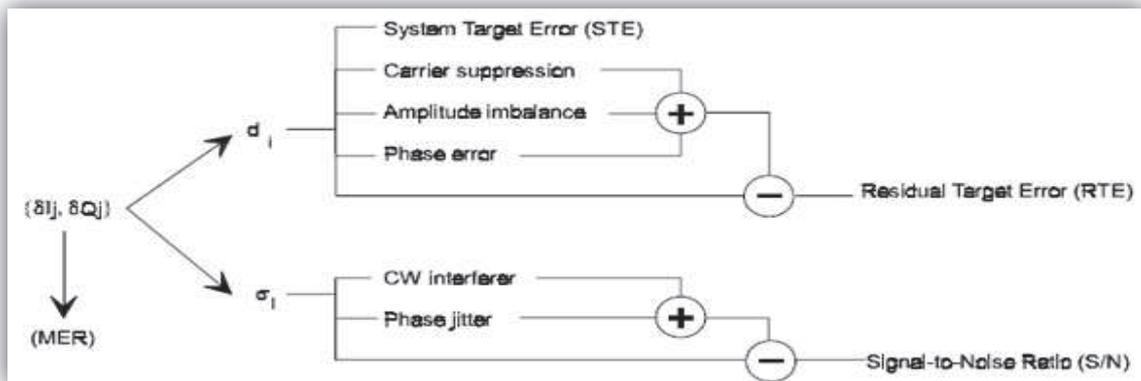
El ruido es un deterioro significativo en una red de transmisión. La potencia de ruido (potencia media), o de potencia no deseada, se mide con un analizador de espectro. De igual manera, una estimación se obtiene a partir del diagrama IQ (en servicio). El nivel de ruido se especifica utilizando ya sea el ancho de banda ocupado de la señal, que es igual a la velocidad de símbolo.

3.2.8. ANÁLISIS DE LA SEÑAL IQ

Para realizar este análisis se asume lo siguiente:

- Un diagrama de constelación de M símbolos.
- Una muestra de N puntos, donde N es lo suficientemente superior a M para entregar la medida exacta deseada.

- Las coordenadas de cada punto j de los datos recibidos siendo $I_j + \delta I_j$, $Q_j + \delta Q_j$ donde I y Q son las coordenadas de un punto de símbolo ideal; y, δI_j y δQ_j son las diferencias formadas por el vector error de un punto de datos.



Fuente: [44], página 27.

Figura 3.24. Relación entre los parámetros que describen diferentes distorsiones IQ.

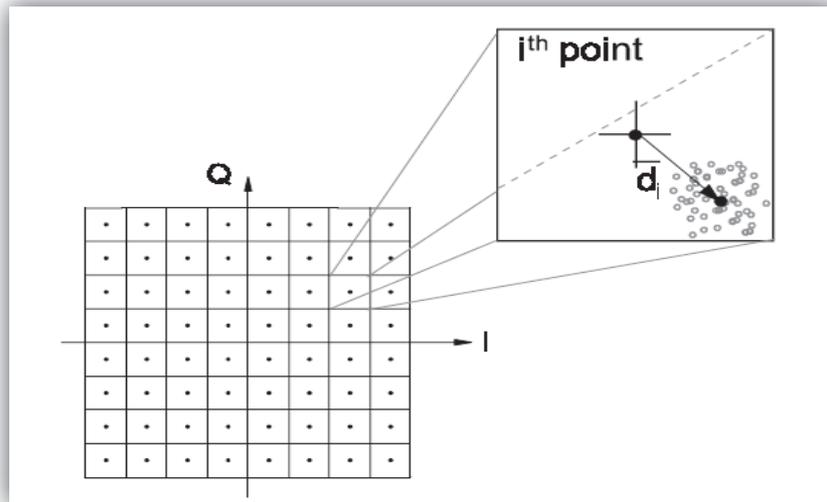
La relación de modulación de error (MER) y la magnitud del vector de error (EVM) se calcula a partir de todos los puntos de datos N , sin ningún cálculo previo correspondiente a los símbolos con M puntos.

A partir de esta definición se pueden encontrar los siguientes parámetros que sirven para definir la calidad de una señal:

3.2.9. SYSTEM TARGET ERROR (STE)

El desplazamiento de los centros de las nubes de su punto de símbolo ideal, en un diagrama de constelación, reduce la inmunidad al ruido del sistema e indica la presencia de tipos especiales de distorsiones como: desequilibrio de amplitud, error de cuadratura (QE) y distorsiones no lineales. El error del sistema objetivo (STE) muestra la distorsión general presente en los datos originales recibidos por el sistema.

La distancia d_i entre el punto del símbolo teórico y el punto correspondiente a la media de la nube de este símbolo en particular, es conocida como vector objetivo de error (Target Error Vector, TEV), tal como se muestra en la Figura 3.23.



Fuente: [44], página 29.

Figura 3.25. Definición del TEV (Target Error Vector).

3.2.10. PORTADORA RESIDUAL (CARRIER SUPPRESSION)

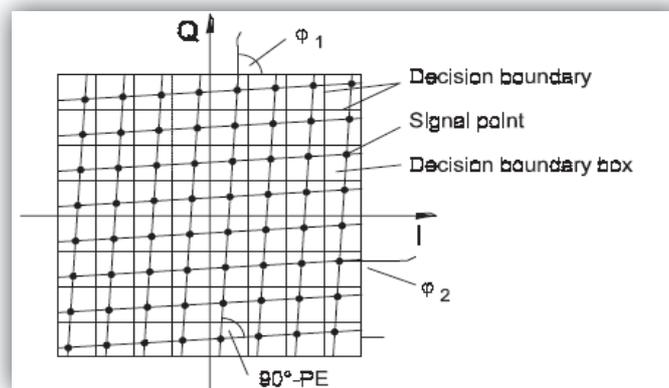
Una portadora residual es una señal no deseada añadida a una señal modulada, por lo general a una señal MQAM. Esta anomalía se produce por un desplazamiento de los niveles continuos de las señales moduladoras I o Q o por diafonía de la portadora en el modulador.

3.2.11. DESEQUILIBRIO DE AMPLITUD (AI)

El desequilibrio de amplitud se produce cuando la diferencia entre los puntos del diagrama de constelación se parecen más a un rectángulo que a un cuadrado. Cada punto está desplazado en la misma proporción respecto a cada eje. Esto crea un vector de error en cada eje para cada símbolo. El promedio de la potencia resultante en el gráfico IQ es 34 dB debajo de la potencia de señal.

3.2.12. ERROR DE CUADRATURA (QE)

Las fases de las dos portadoras que alimentan a los moduladores I y Q deben ser ortogonales. Si su diferencia de fase no es de 90° se genera una distorsión típica del diagrama de constelación. El receptor usualmente alinea su fase de referencia de tal manera que el error de 90° ($\Delta\phi$) esté igualmente repartido entre ϕ_1 y ϕ_2 .



Fuente: [44], página 31.

Figura 3.26. Distorsión del diagrama de constelación resultante del error de cuadratura.

Para calcular el error de cuadratura se utiliza la siguiente expresión:

$$QE = \frac{180^\circ}{\pi} \phi_1 - \phi_2 \quad (3.18) \quad [44]$$

3.2.13. RESIDUAL TARGET ERROR (RTE)

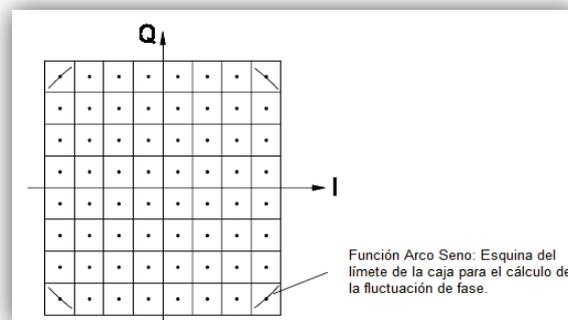
El error residual de destino es un subconjunto de las distorsiones medidas como un error de sistema objetivo (STE), es decir, es un conjunto de distorsiones que no presentan error de cuadratura, desequilibrio de amplitud e influencia de portadoras de supresión.

3.2.14. FLUCTUACIÓN DE FASE

La fluctuación de fase se produce cuando los bits de una señal llegan un poco antes o después de lo esperado, es decir existe una falla de sincronización de reloj entre el

origen y el destino. Este tipo de inestabilidad, eventualmente, puede causar pérdidas de señales que resultan en pérdida de datos. Usando un oscilador para modular una señal digital genera una incertidumbre de muestreo en el receptor, ya que la regeneración de la portadora no puede seguir las fluctuaciones de fase.

En el argumento de la función arco seno, la desviación estándar de la fluctuación de fase (P_J) hace referencia a la distancia desde el centro de la esquina del límite de la caja al centro de la señal QAM.



Fuente: [44], página 32.

Figura 3.27. Posición de la sección del arco en el diagrama de constelación para definir la fluctuación de fase (64-QAM).

3.2.15. RELACIÓN PORTADORA-RUIDO C/N

Esta relación se expresa generalmente en decibelios y es el cociente entre la potencia de la portadora de una señal y la potencia de ruido.

El ruido es una señal indeseable, natural e inevitable dentro de un sistema de telecomunicaciones que contribuye al deterioro de la señal a la salida de un receptor.

Esta relación brinda una medida de la calidad de una señal en un sistema determinado y depende tanto del nivel de señal recibida como la del ruido total. Al momento de diseñar sistemas, la relación señal a ruido debe tener un valor tan elevado como sea posible.

3.2.16. PATRÓN DE ECO

Esta medición muestra el perfil del eco del canal de transmisión. Los ecos pueden ser causados por reflexiones de la señal en los edificios. Incluso los transmisores que se encuentran operando en una red de frecuencia única también pueden ser afectados por ecos.

3.2.17. MER (Modulation Error Ratio/Tasa de Error de Modulación)[45]

La tasa de error de modulación, conocida por sus siglas inglesas como MER, es una medida utilizada para cuantificar el rendimiento de una señal modulada digital en un sistema de comunicaciones, utilizando una modulación digital (por ejemplo QAM y QPSK).

La MER define un factor que informa de la exactitud de una constelación digital. Esta es una herramienta cuantitativa que permite valorar cómo debe ser una buena señal modulada digital y puede ser expresada en dB o en tanto por ciento. Analíticamente, para el caso de los decibelios se puede hallar como:

$$MER \text{ dB} = 10 \log_{10} \frac{P_{señal}}{P_{error}} \quad (3.19) \quad [46]$$

dónde:

P_{error} = error cuadrático medio

$P_{señal}$ = valor cuadrático medio de la señal transmitida.

Es decir, la MER (expresada en dB) es una función de la proporción entre la amplitud del vector de un símbolo y la amplitud del vector de cambio de la posición del símbolo en la constelación.

En otras palabras, el símbolo en la constelación, debe estar en un cierto punto pero, debido a algunos problemas (ejemplo: ruido de fase de oscilador local, compresión del amplificador de potencia, etc.), se cambia ligeramente.

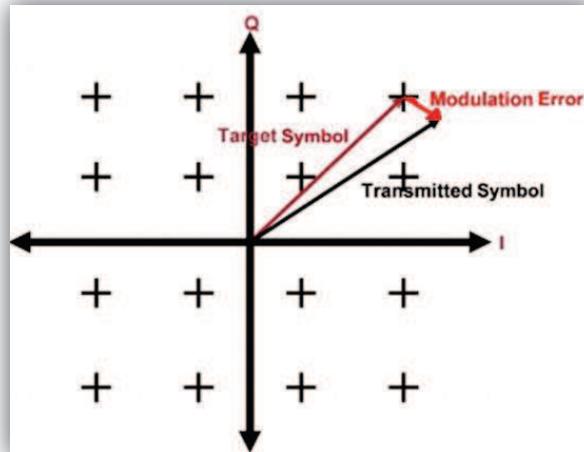
De forma análoga a lo expuesto, la MER se puede expresar en porcentaje, de la siguiente manera:

$$MER \% = \frac{P_{error}}{P_{señal}} * 100\% \quad (3.20) \quad [46]$$

Por otro lado, la MER puede definirse gráficamente, como el "esparcimiento" de puntos respecto al valor esperado. La diferencia entre esos valores se aprecia observando la separación entre dos vectores: uno señalando a un punto ideal de la constelación (vector ideal), y el otro señalando desde un punto medido hacia el punto ideal (vector de error), es decir la MER indica la precisión de la constelación generada por el transmisor.

La MER es una medida directa de la calidad de la modulación y tiene vinculación con la tasa de error de bit (BER). Es un parámetro útil que sirve para medir la calidad de la comunicación extremo a extremo de la red, aunque por sí mismo, la MER brinda poca información sobre el tipo de problemas y anomalías presentes en la transmisión. Es importante indicar que entre más alto el MER, más precisa la constelación generada por el transmisor y más bajos los errores en los receptores que demodulan la señal.

La Figura 2.44 ilustra una constelación 16-QAM. La señal modulada digitalmente en 16-QAM tendría toda su referencia de símbolos exactamente en los mismos 16 puntos de la constelación en el tiempo. Sin embargo, en realidad, las interferencias provocan que la mayoría de los puntos de aterrizaje de los símbolos se extiendan un poco respecto de los puntos de referencia ideales de los símbolos. Además se muestra el vector para un símbolo en blanco, el símbolo ideal que se quiere transmitir. Debido a una o más deficiencias, el vector del símbolo transmitido (o vector del símbolo recibido) es un poco diferente que el ideal.



Fuente: [45].

Figura 3.28. Representación gráfica del vector transmitido vs el vector objetivo.

El error de modulación es la diferencia vectorial entre el vector objetivo del símbolo ideal y el vector de símbolo transmitido. Esto es:

$$\text{Modulation error} = \text{Transmitted symbol} - \text{Target symbol}$$

Si un diagrama de constelación se utiliza para representar los puntos de aterrizaje de un símbolo dado en el tiempo, la pantalla resultante forma una pequeña "nube" de los puntos de llegada de símbolos en lugar de un solo punto.

La MER por ende se define también como:

$$MER = 10 * \log \frac{\text{Potencia media del simbolo}}{\text{Error Promedio}} \quad (3.21) [46]$$

Por lo tanto, mientras mayor sea esta relación, mejor es la modulación y mejor la calidad en la transmisión de la señal modulada.

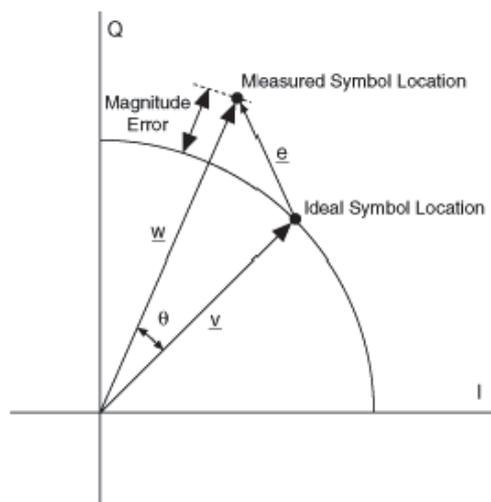
En efecto, la MER es una medida de la dispersión de los puntos de los símbolos de una constelación.

3.2.18. EVM (Error Vector Magnitude) [47]

La magnitud del vector de error (EVM¹⁸) es una relación, en porcentaje, entre la magnitud del símbolo original y la magnitud de error promedio de los símbolos recibidos, el cual cuantifica el rendimiento de un radio digital transmisor o receptor.

Es decir, este parámetro cuantifica la desviación de los símbolos transmitidos a partir de su posición ideal, sin tomar en cuenta el ruido o interferencias que pueden presentarse. De esta manera, este parámetro permite conocer la calidad de modulación.

Como se observa en la Figura 3.29, el vector w ubica la posición del símbolo medido por el demodulador y la ubicación del símbolo ideal está dada por el vector v . Por lo tanto, la diferencia entre los vectores de símbolo real e ideal ($e=w-v$) determinan el vector de error resultante.



Fuente: [47].

Figura 3.29. Representación gráfica EVM.

¹⁸La magnitud del EVM se obtiene calculando el valor pico, RMS o promedio del conjunto de datos recibidos.
 $EVM = \text{Magnitud RMS del error} / \text{Magnitud RMS de símbolos}$

EVM o magnitud del vector de error da una idea de la calidad de la señal modulada. Esta señal modulada se origina cuando los bits se asignan a los símbolos en un plano complejo en sistemas de modulación como QPSK, 16-QAM, 64-QAM, etc. También se le conoce como RCE (Error Relativo de la Constelación).

La ecuación para el cálculo de EVM es la siguiente:

$$EVM = \frac{\sqrt{(I_2 - I_1)^2 + (Q_2 - Q_1)^2}}{P_1} \quad (3.22) \quad [47]$$

Cuando, $P_1 = I_1 + j * Q_1$ es el vector símbolo ideal de referencia y $P_2 = I_2 + j * Q_2$ es el símbolo de medición.

Este parámetro expresado en decibelios se define como:

$$EVM_{dB} = 20 * \log_{10} (EVM_{RMS}) \quad (3.23) [47]$$

3.2.19. BER (Bit Error Rate)

La tasa de bits errados (BER) es el cociente entre el número de bits errados y el número total de bits transmitidos durante un intervalo de tiempo determinado.

$$BER = \frac{\text{Número de Bits Errados}}{\text{Número de Bits Transmitidos}} \quad (3.24) \quad [44]$$

El número de bits errados es el número de bits recibidos de un flujo de datos sobre un canal de comunicación, que han sido alterados debido a diferentes señales internas o externas provenientes de dicho medio, pudiendo ser señales de ruido, interferencias, distorsión, etc.

El BER es un parámetro clave para la evaluación de las señales digitales, pues cuando los datos se transmiten a través de cualquier sistema, hay una posibilidad de que se introduzcan errores que afecten la calidad de la señal digital. Si se introducen errores en los datos, entonces la integridad de la señal digital puede verse comprometida. Como resultado de ello, es necesario evaluar la calidad de la señal digital, por lo que la medición del BER ofrece una forma ideal de lograrlo.

A diferencia de otros parámetros de evaluación, el BER evalúa tanto el inicio como el final de la trayectoria de la señal digital, es decir, evalúa incluso el rendimiento del sistema (transmisor, receptor, medio) que transmite la señal digital. De esta manera, el BER permite probar el rendimiento real de un sistema en funcionamiento.

Si el medio entre el transmisor y el receptor es bueno, y la relación señal a ruido es alta, entonces la tasa de error será muy pequeña, posiblemente insignificante y no teniendo ningún efecto notable sobre el sistema global. Sin embargo, si el ruido puede ser detectado, entonces hay probabilidad de que la tasa de error de bits tenga que ser considerada, lo cual es muy usual en cualquier sistema de transmisión.

3.2.20. PR (Packet Ratio)

El packet ratio es un sistema de comunicación digital que consiste en el envío de señales digitales mediante pequeños paquetes que luego son re-ensamblados en un mensaje completo en el destino final.

3.2.21. PER (Packet Error Ratio) [48]

Teóricamente, la PER es el número de paquetes de datos recibidos incorrectos dividido para el número total de paquetes recibidos. Un paquete se declara incorrecto si al menos tiene un bit erróneo en su estructura, por lo que el estudio del BER aplica para el PER.

El valor esperado del PER se denomina probabilidad de un paquete con error p_p , que para un número de paquetes de datos de N bits se puede expresar de la siguiente manera:

$$p_p = 1 - 1 - p_e^N \quad (3.25) \quad [48]$$

Donde p_e es el número de paquetes que presentan al menos un bit errado.

La tasa de error de paquetes (PER) se utiliza para probar el rendimiento de una transmisión pues es la relación en porcentaje, del número de paquetes de prueba no

recibidos correctamente respecto del número de paquetes de prueba totales que se envían.

Cada paquete contiene una FCS (Frame Check Sequence)¹⁹ de 16 bits, la cual proporciona información sobre el paquete. Si se logra decodificar el paquete y los controles FCS (la información que se transmite por el FCS coincide con las características del paquete), entonces el paquete es recibido con éxito, es decir mientras más paquetes se reciban con éxito, menor será el valor del PER y, por lo tanto, mayor el rendimiento del sistema.

3.2.22. COMPARATIVA ENTRE LA MER Y EL EVM

El parámetro de medición que está estrechamente relacionado con la MER es la magnitud del vector de error (EVM). El EVM se expresa normalmente como una medición lineal en tanto por ciento; y, la MER como una medida logarítmica en dB. Tomando en cuenta este aspecto y el hecho de que mediciones lineales son más fáciles de manejar que las medidas logarítmicas, el EVM se ha tomado como referencia para expresar varios datos de la señal digital, es así que el EVM tiene una relación lineal con el diagrama de constelación de la señal digital.

Como se ha evidenciado, la MER y el EVM se relacionan gráficamente por medio del diagrama de constelación, por lo tanto, a fin de identificar de mejor manera la relación que existe entre la MER y el EVM, primero se debe calcular la relación entre la potencia pico de la constelación y la potencia promedio de la constelación.

La potencia pico de la constelación es la magnitud del símbolo QAM más exterior elevado al cuadrado. Su fórmula para una constelación QAM se expresa de la siguiente manera:

¹⁹ El **Frame Check Sequence** es un conjunto de bits adjuntos al final de la trama Ethernet utilizado para verificar la integridad de la información recibida mediante una "secuencia" de verificación de trama incorrecta, también conocido como CRC o checksum.

$$P_{peak} = 2(\overline{M} - 1)^2 \quad (3.26) \quad [49]$$

dónde:

- M es el número de puntos en la constelación (M = 4, 16, 64, 256, etc.)

Por ejemplo, para una modulación 16 QAM, los ejes de cuadratura toman los valores de -3, -1, 1, 3 y, por lo tanto, la potencia pico sería $2(4-1)^2 = 3^2 + 3^2 = 18$

La potencia promedio de la constelación (promediada por igual entre todos los símbolos de la constelación) es la siguiente:

$$P_{av} = \frac{2}{3}(M - 1) \quad (3.27) \quad [49]$$

Por ejemplo, para 16 QAM, la potencia promedio de la constelación es $(2/3)(16-1) = 10$. Es importante hacer notar que este resultado es igual a la potencia de uno de los puntos de la constelación.

Por lo tanto, la relación entre la potencia pico de la constelación y la potencia promedio de la constelación, es una medida adimensional, expresada de la siguiente manera:

$$MTA = \frac{P_{peak}}{P_{av}} = 3 \frac{(\overline{M}-1)^2}{M-1} \quad (3.28) \quad [49]$$

Según CISCO en su paper "*Digital Transmission: Carrier-to-Noise Ratio, Signal-to-Noise Ratio, and Modulation Error Ratio*" los valores típicos de la relación analizada, se muestran en la Tabla 3.13:

Modulación (Diagrama de Constelación)	Relación entre la potencia pico de la constelación y la potencia promedio de la constelación (dB)
QPSK y BPSK	0
16-QAM y 8-QAM DS-	2,55
64-QAM y 32-QAM DS-	3,68
256-QAM y 128-QAM DS-	4,23
1024-QAM y 512-QAM DS-	4,50
Límite para el infinito QAM	4,77

Fuente: [49], página 29.

Tabla 3.13. Relación entre la potencia pico y la potencia promedio de la constelación.

A continuación se puede convertir los valores de EVM a MER usando la siguiente expresión:

$$\%EVM = 100 \times 10^{-MER_{dB} + MTA_{dB} / 20} \quad (3.29) \quad [49]$$

dónde:

- $\%EVM$ es la magnitud del vector de error (por ciento).
- MER_{dB} es la relación de error de modulación (dB).
- MTA_{dB} es máxima y promedio proporción constelación (dB).

Como se puede observar, las mediciones MER y EVM están estrechamente relacionadas y pueden ser calculados uno a partir del otro.

3.2.23. COMPARATIVA ENTRE EL BER Y EL PER [50]

Para comprender la relación entre el BER y el PER, en primera instancia se debe explicar brevemente lo que es el FEC.

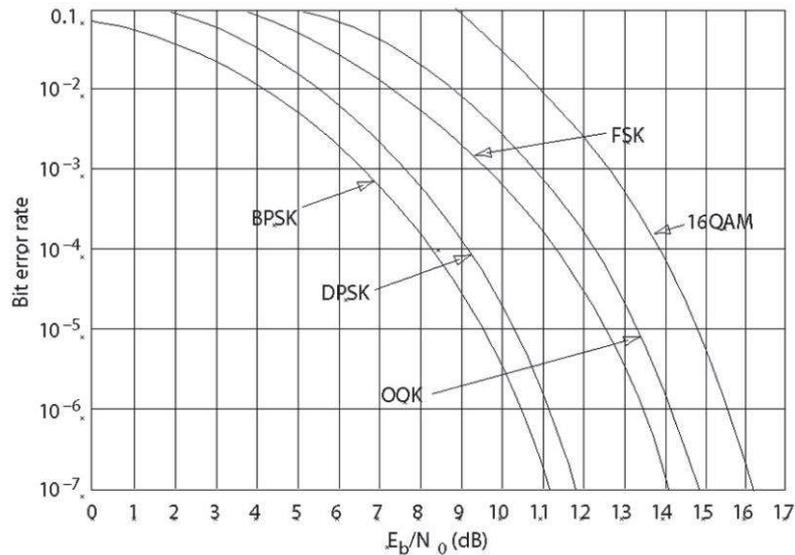
- *FEC (Forward Error Correction)*: es un sistema que a través de la transmisión de datos redundantes permite a un receptor corregir errores que se generen durante la propagación de la señal. Los algoritmos de FEC usados tradicionalmente son el algoritmo Viterbi y el algoritmo Reed Solomon (ambos concatenados uno detrás del otro).

Los parámetros técnicos BER y PER, son medidas que permiten evaluar la calidad de la señal digital. Con los sistema de transmisión tradicionales, generalmente se usaba el BER como medida de calidad de señal, sin embargo desde el comienzo de la transmisión de señales digital, se comenzó a usar PER como parámetro de medida, dado que se considera que representa más fielmente los errores en la señal digital recibida.

Dado que el PER es el número de paquetes de datos recibidos incorrectos dividido para el número total de paquetes recibidos, es importante indicar que un paquete se declara incorrecto si al menos tiene un bit erróneo en su estructura, por lo que el estudio del BER aplica para el PER.

3.2.24. RELACIÓN ENTRE BER Y E_b/N_0

La figura 3.30 muestra las curvas que relacionan el BER y E_b/N_0 para diferentes códigos de protección. La codificación sólo es eficaz, después de que la curva correspondiente haya cortado a la curva sin protección. Todos los valores de E_b/N_0 inferiores a este corte, se manifiestan como una sobrecarga de bits y no se obtiene protección.



Fuente: [51].

Figura 3.30. Relación entre la probabilidad de error bit (BER) y la relación señal a ruido (E_b/N_0).

La ganancia de codificación (GC) es la diferencia en dB entre E_b/N_0 sin codificación y con codificación.

3.3. OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TDT [29][46]

Para determinar los parámetros técnicos, es importante tomar en cuenta que éstos incluyan todos los aspectos estudiados hasta el presente subcapítulo; y también, es imprescindible realizar mediciones, para obtener valores que servirán de análisis y soporte para la elección de los parámetros considerados como principales, es decir los que siempre se deben medir para realizar el análisis de la calidad de una señal digital.

3.3.1. CRONOGRAMA DE MEDICIONES

Para realizar las mediciones de los parámetros técnicos, se estableció en primera instancia un cronograma de pruebas, el cual se muestra a continuación:

Fecha	Equipo	Lugar	Canal	Asesoría
02-Jul-13	ETL	Cerro Pichincha	Teleamazonas (32)	Técnicos ROHDE&SCHWARZ
18-Jul-13	ETL	SUPERTEL 9 de Octubre y Berlín	Supertel	Técnicos de la SUPERTEL
			Ecuavisa (36)	
22-Nov-13	ETH	SUPERTEL Amazonas y Gaspar de Villarroel	Teleamazonas (32)	Técnicos de la SUPERTEL
			Ecuavisa (36)	
23-Nov-13	ETH	Parque Bicentenario	Ecuador TV (26)	Técnicos de la SUPERTEL
			Teleamazonas (32)	
			Ecuavisa (36)	
			Telesucesos (41)	

Tabla 3.14. Cronograma de mediciones.

3.3.2. PREPARACIÓN DE EQUIPOS Y ESCENARIO DE APLICACIÓN

3.3.2.1. Escenarios de aplicación

Para la realización de las mediciones se escogieron dos ambientes de aplicación para cada equipo: pruebas tanto en ambientes cerrados como al aire libre, con el objetivo de comparar los valores de los parámetros en los dos casos; puesto que en ambientes cerrados puede existir difracción de la señal y por lo tanto se puede producir el efecto “digital cliff”.

El efecto digital cliff (abismo digital) es el resultado de la pérdida repentina de la recepción de la señal digital. A diferencia de la recepción de señal analógica, cuya potencia de señal se ve reducida gradualmente por las interferencias; la señal digital muestra un estrecho abismo en cuanto a la calidad de señal, dentro del cual la imagen se visualiza en forma pixelada. Fuera de dicho abismo, la señal recibida es perfecta o no existe. Este efecto se produce con más frecuencia en ambientes cerrados.

Los escenarios escogidos fueron los siguientes:

- **Ambientes cerrados:** Las mediciones se realizaron dentro de las oficinas de las diferentes sucursales de la SUPERTEL, como se visualiza en la Figura 3.31. Es importante indicar que también se realizaron mediciones en los subsuelos de cada instalación.



Figura 3.31. Medición de parámetros en ambiente cerrado.

- **Ambientes abiertos:** Estas mediciones se ejecutaron al aire libre en dos sitios, a saber: el Cerro Pichincha y la “*Feria Internacional del Libro Quito 2013*”, tal como se observa en la Figura 3.32.



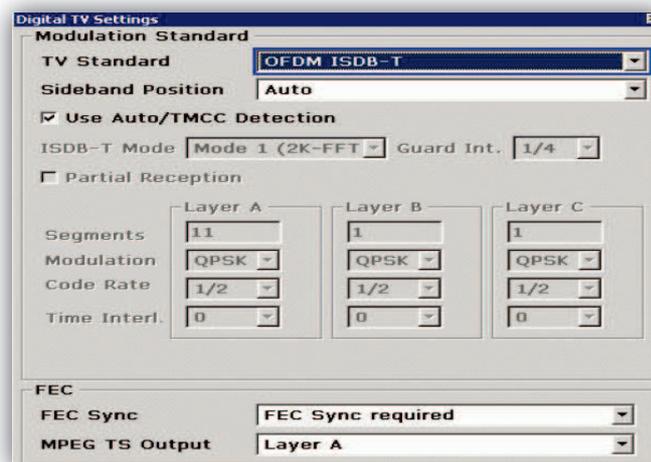
Figura 3.32. Medición de parámetros en ambiente abierto.

3.3.2.2. Preparación del equipo R&S®ETL

Para el encendido del equipo R&S®ETL se requiere lo siguiente:

- Fuente de poder, ya sea ésta energía eléctrica o una batería
- Antena o cable para la recepción de señales de televisión digital.

Posteriormente, cuando el equipo entra en funcionamiento, es posible configurar el sistema para obtener mediciones específicas, conforme ciertos parámetros deseados, tales como FEC, modos, intervalos de guarda, número de segmentos, tipo de modulación, etc. Sin embargo, es importante indicar que el estándar de televisión a utilizarse, siempre debe ser ingresado en el equipo.



Fuente: Equipo R&S®ETL, SUPERTEL.

Figura 3.33. Pantalla de configuración del equipo R&S®ETL

Como se observa en la Figura 3.33, se ingresó “OFDM ISDB-T” en la opción “TV Standard” del R&S-ETL.

Posteriormente, es recomendable elaborar una tabla de canales, la cual debe contener el plan de frecuencias de una red de televisión. Normalmente, cada estándar tiene sus propias normas relativas al plan de frecuencias, es decir, las ubicaciones de los canales y los anchos de canal. En las mediciones realizadas, se

elaboró la tabla de canales con los canales Ecuavisa y Supertel, con lo que el equipo estuvo listo para las mediciones respectivas.

3.3.2.3. Preparación del equipo R&S®ETH

Para la puesta en marcha del equipo R&S®ETH se requiere lo siguiente:

- Fuente de poder, ya sea ésta energía eléctrica o una batería.
- Antena o cable para la recepción de señales de televisión digital.

Posteriormente, cuando el equipo entra en funcionamiento, para realizar mediciones de señales digitales, es preciso ingresar al equipo los siguientes datos:

- Estándar de las señales digitales a ser probadas.
- Frecuencia de operación de los canales que se encuentran transmitiendo señales digitales de TV.

En el panel de botones se presiona “F1” y se ingresa el estándar a utilizarse, posteriormente se presiona el botón “FREQ” y se ingresa la frecuencia de operación del canal. Lo anterior, se observa en la Figura 3.34.



Figura 3.34. Ingreso de parámetros en el equipo R&S®ETH.

De esta manera, el equipo se encuentra listo para realizar mediciones de señales digitales.

3.3.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES ANALIZADAS

Una vez que los escenarios y los equipos a utilizarse están listos para la realización de mediciones, es importante seleccionar y conocer las características operativas de las señales a ser estudiadas. En la Tabla 3.15 se visualiza los canales (señales digitales) y sus parámetros operativos²⁰ respectivos:

PARÁMETROS	Ecuador TV CH 26		Teleamazonas CH 32		Ecuavisa CH 36		telesucesos CH 41		SUPERTEL	
	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
Capa	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
Modulación	64 QAM	QPSK	64 QAM	QPSK	64 QAM	QPSK	64 QAM	QPSK	64 QAM	QPSK
Código Convolutacional	3/4	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	3/4	2/3
Intervalo de Guarda	1/16		1/16		1/8		1/8		1/16	
Clase de Estación	Servicio Público		Comercial Privada		Comercial Privada		Comercial Privada		Servicio Público	
Ubicación	Cerro Pichincha		Cerro Pichincha		Cerro Pichincha		Cerro Pichincha		Cerro Pichincha	
PER (Potencia Efectiva Radiada) [dBd]	6101,4		18710		6918,31		14300		1600	
Potencia Video [w]	6101,4		18710		6918,31		14300		1600	
Potencia Audio [w]	610,14		1871		691,83		1430		160	
Potencia Equipo [w]	2000		4000		1000		1200		3600	
Altura Torre [m]	88		40		36		30		30	
Ganancia [dB]	6,95		8,2		9,6		12,77		12,77	

Tabla 3.15. Parámetros de los canales de TV digital.

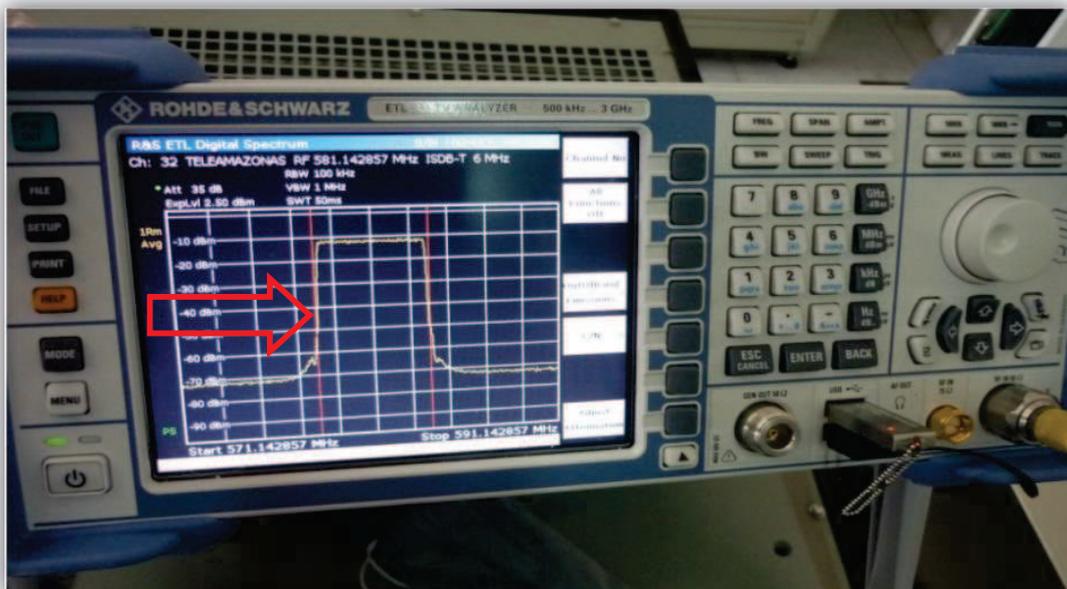
²⁰ Información extraída de la Base de Datos Sira -Tv y de los archivos internos de la SUPERTEL.

3.3.4. EJECUCIÓN DE MEDICIONES DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS

3.3.4.1. Mediciones con el equipo R&S®ETL

Los siguientes pasos, describen las mediciones realizadas en un canal (Teleamazonas), transmitiendo una señal digital; es preciso indicar que para el canal de la Supertel, se siguieron los mismos pasos:

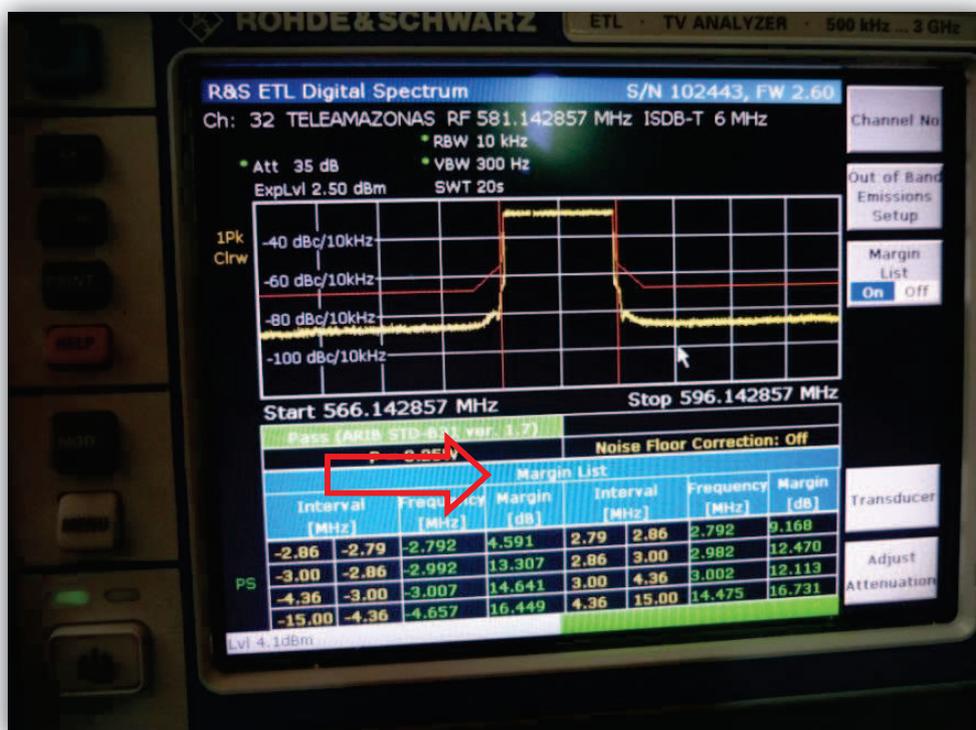
- a) Se escogió la frecuencia a ser medida de la tabla de frecuencias ingresada, en este caso se seleccionó la frecuencia 581.142857 (MHz), perteneciente al canal TELEAMAZONAS.
- b) Se presionó la tecla "Mode" y se escogió la opción "Digital Spectrum" y una vez que el equipo realizó el análisis correspondiente, se visualizó el espectro de la señal demodulada, esto se realizó con el objetivo de comprobar si la señal estaba operante y conveniente para realizar mediciones. En la Figura 3.35 se observa la representación de cada frecuencia contenida en la señal digital y su intensidad; operantes en un ancho de banda de 6 MHz.



Fuente: Equipo R&S®ETL, SUPERTEL.

Figura 3.35. Señal demodulada - Teleamazonas.

- c) Se eligió la opción “*Spectrum/Out-of-Band Emissions/Margin List*”, y se escogió “*On*”, con ello el equipo permite visualizar la mayor densidad de potencia, así como su desplazamiento, para cada intervalo de la máscara del espectro. Si la densidad de potencia es menor que el valor de la máscara del espectro, entonces el límite es positivo y esto se muestra en color verde, caso contrario se muestra en color rojo. Si todos los límites son positivos, la medición aparece como “*Passed*” (Aprobado); y, si al menos un margen es negativo entonces la medida total se visualiza como “*Failed*” (Error).



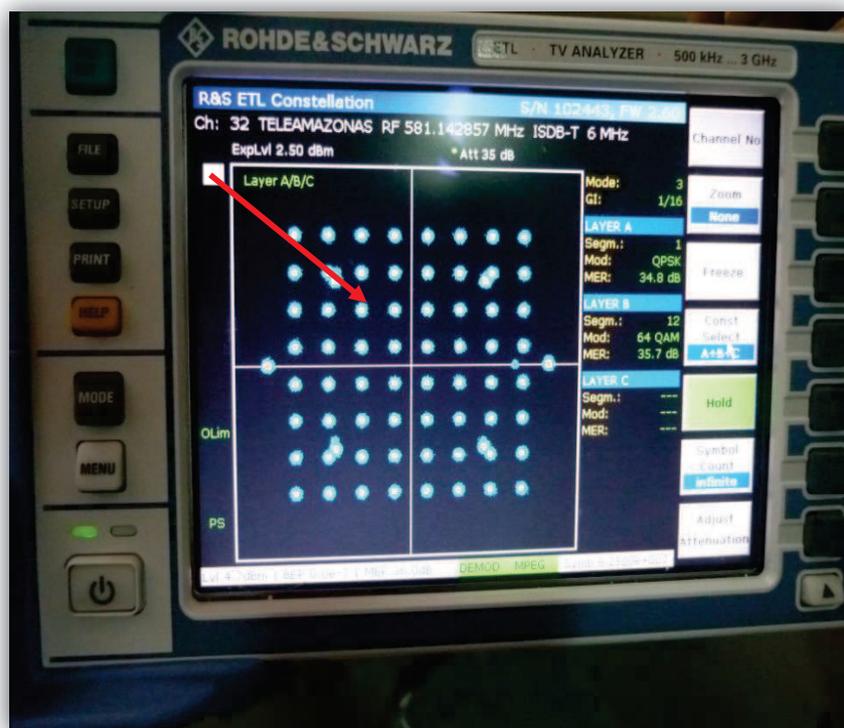
Fuente: Equipo R&S®ETL, SUPERTEL.

Figura 3.36. Límites de la señal demodulada - Teleamazonas.

En la Figura 3.36, se observa que la densidad de potencia de la señal, es mayor que la máscara del espectro, por ello se pinta en color rojo, sin embargo esto no afecta a la señal pues el usuario tiene la percepción de

captar la imagen. Lo anterior se comprobó, ya que mientras se realizaban las pruebas, la imagen en la televisión se veía sin problemas.

- d) Se siguió la siguiente ruta “MEAS/Modulation Analysis/Const Diagram”, y se presionó “Enter”. Esta medida muestra el diagrama de constelación de la señal demodulada. Debido a que el estándar ISDB-Tb define una señal multiportadora, se muestra únicamente la constelación de la portadora seleccionada. Las características del diagrama de constelación se despliegan gráficamente en los ejes I/Q. Es importante indicar que la probabilidad de ocurrencia de puntos en el plano complejo I/Q está representado por diferentes colores.



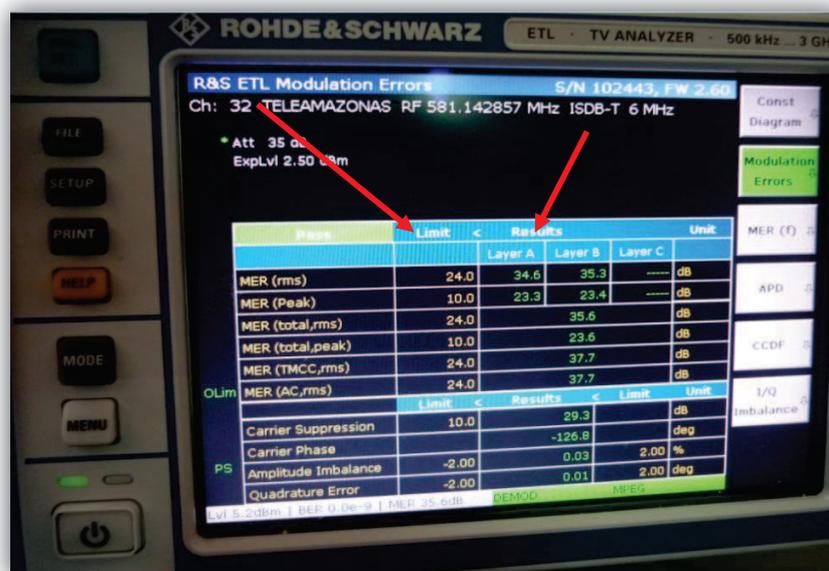
Fuente: Equipo R&S®ETL, SUPERTEL.

Figura 3.37. Diagrama de constelación de la señal demodulada Teleamazonas.

En la Figura 3.37, se muestra la constelación de la señal digital con portadora modulada QPSK, es decir para la capa A de la transmisión jerárquica. Como

se observa, los puntos que están en el centro de color anaranjado muestran el punto ideal para el diagrama de constelación; y, los puntos turquesas alrededor son la "dispersión" de puntos respecto al valor esperado.

- e) Se ingresó a la siguiente opción: "Modulation Analysis/Modulation error" con la finalidad de que el equipo muestre los errores que se pueden generar en la transmisión de las señales de televisión digital según el estándar ISDB-Tb, y que compare los valores obtenidos con los límites calculados por el equipo mismo. En caso que los parámetros den resultados que no pasen la verificación, el equipo los muestra en caracteres de color rojo, y por su parte los parámetros cuyos resultados superan los controles, aparecen con caracteres verdes, como lo muestra la Figura 3.38.



Fuente: Equipo R&S®ETL, SUPERTEL.

Figura 3.38. Errores en la transmisión de la señal demodulada Teleamazonas.

El equipo calcula los límites inferiores de la MER y obtiene las medidas correspondientes de la señal digital. Como se observa, dichas medidas no bajaron de los límites inferiores, por lo que éstas se pintaron en verde. Es

preciso indicar que respecto al MER rms y peak, los valores obtenidos de la señal digital superan los límites inferiores con al menos 10 dB tanto para la capa A como la B de la transmisión jerárquica. Lo anterior confirma que los valores obtenidos de la señal digital fueron bastante buenos, lo cual fue corroborado con la imagen que se transmitía en ese momento en el canal Telemazonas.

- f) Se ingresó a la opción “Means/Digital Overview” del equipo ETL con la finalidad de observar varios valores de los parámetros y algunas características de la señal.



Fuente: Equipo R&S®ETL, SUPERTEL.

Figura 3.39. Parámetros técnicos para el control de la señal digital.

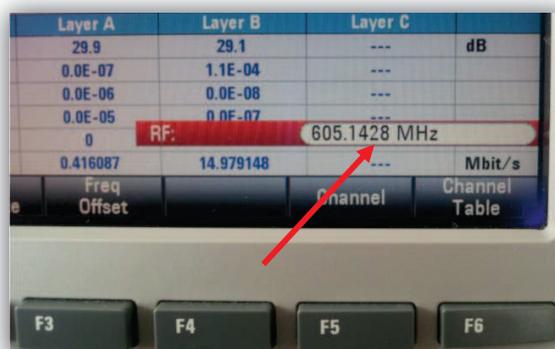
Como se visualiza en la Figura 3.39, el equipo muestra las características de la señal digital de Telemazonas y los valores medidos para la MER, PER, BER y MPEG TS Bitrate. Además es importante indicar que el valor de la MER está en verde, lo que demuestra que éste no bajó del límite propuesto por el equipo. Con esta prueba, se pudo comprobar que la señal digital analizada es

buena pues técnicamente, no sobrepasó los límites de equipo y subjetivamente, las siete personas²¹ que miraban televisión indicaron que la señal era “buena”.

3.3.4.2. Mediciones con el equipo R&S®ETH

Con el equipo ETH se realizaron varias mediciones en diferentes días y horarios; y, los canales analizados fueron Ecuavisa, Teleamazonas, Ecuador TV y Telesucesos. A continuación se describen los pasos que se siguieron para obtener las mediciones correspondientes al canal Ecuavisa.

- a) Se presionó la tecla “MODE” y en la pantalla se eligió la opción “Standar”; se presionó “ENTER”. Se digitó el estándar en ISDB-Tb.
- b) Se presionó la tecla “MODE” y posteriormente la tecla “FREQ” del panel de botones; se ingresó la frecuencia central en la que opera la estación de televisión, en este caso se ingresó 605,1428 MHz, como se visualiza en la Figura 3.40.

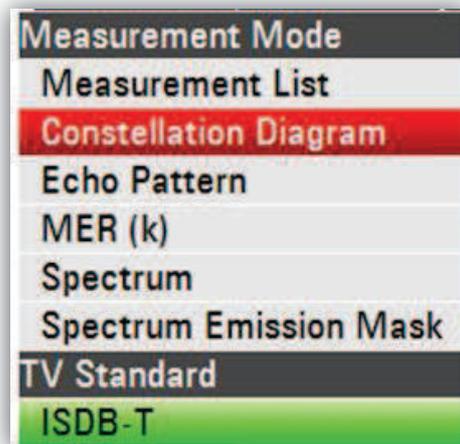


Fuente: Equipo R&S®ETH, SUPERTEL.

Figura 3.40. Ingreso de radio frecuencia del canal Ecuavisa.

²¹ Los televidentes fueron funcionarios de la SUPERTEL, a saber: Ing. Ivonne Vásquez (ivasquez@supertel.gob.ec), Ing. Maribel Fuertes (gfuertes@supertel.gob.ec), Ing. Alejandro Rueda (arueda@supertel.gob.ec), Ing. Crystian Díaz (cdiaz@supertel.gob.ec), Daniela Aguirre (daguirre@supertel.gob.ec), Maritza Moreno (mmoreno@supertel.gob.ec) y Sergio Chamorro (schamorro@supertel.gob.ec).

- c) Se presionó la tecla “MEANS” seguida de “F1”, con lo cual apareció el menú que se observa en la Figura 3.41.



Fuente: Equipo R&S®ETH, SUPERTEL.

Figura 3.41. Menú de opciones de mediciones del equipo ETH.

El equipo ETH provee seis opciones de mediciones, a saber: Measurement List, Constellation Diagram, Echo Pattern, MER (k), Spectrum y Spectrum Emission Mask.

Es importante indicar que la última opción, es decir “Spectrum Emission Mask”, tiene que ver con el modelo de espectro mínimo que debe cumplir el transmisor, por lo que esta opción no fue tomada en cuenta.

- d) Se escogió la opción “*Measurement List*” y se obtuvo las mediciones constantes en la Figura 3.42.

ISDB-T Meas List <No Profile> 23/11/13 11:25			
RF Preselection	RF 605.1428 MHz Band --- Channel Table --- Gain Control / RF Attenuation Auto Low Distortion / 20 dB		
Measurement Parameter			
Level	71.10 dB μ V	Crest Factor	11.76 dB
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)		
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	32.1 dB
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	15.0 dB
RF Offset	41.9 Hz	MER TMCC	32.8 dB
Symbol Rate Offset	-0.1 ppm	MER AC	32.9 dB
	Layer A	Layer B	Layer C
MER (Layer,rms)	32.0	31.3	---
BER before Viterbi	0.0E-07	6.7E-05	---
BER before Reed Solomon	0.0E-07	0.3E-08	---
BER after Reed Solomon	0.0E-05	0.0E-07	---
Packet Errors	0	0	---
MPEG TS Bitrate	0.416087	14.979146	---
Meas Mode	Meas Profile	RF Att / Gain Ctrl	Demod Settings
			BER Reset
			TMCC Info

Fuente: Equipo R&S®ETH, SUPERTEL.

Figura 3.42. Medidas de los parámetros pertenecientes al canal Ecuavisa.

Como se puede observar, el equipo ETH provee información relacionada con las características de la señal, tales como estándar, modulación e intervalo de guarda. Además indica los valores de los parámetros MER, BER, Packet Errors y MPEG TS Bitrate.

Mientras se realizaban estas mediciones, se observaba subjetivamente la calidad de la señal digital en el receptor de televisión con sintonizador incluido y pantalla LCD, tal como se muestra en la Figura 3.43.



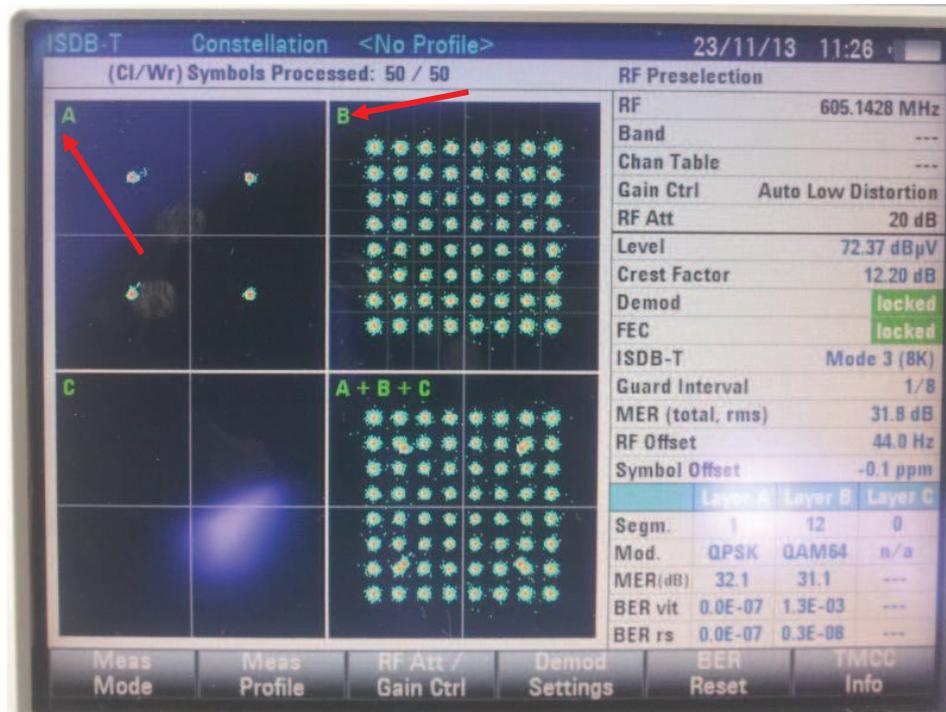
Fuente: Cámara, SUPERTEL.

Figura 3.43. Imagen de televisión de señal analógica vs señal digital del canal Ecuavisa.

Debido a que estas pruebas se realizaron en la “Feria Internacional del Libro – Quito 2013”, en el Centro de Eventos Bicentenario; varios visitantes que acudieron al cubículo de la SUPERTEL expresaron su opinión respecto a la calidad de la señal digital de Ecuavisa.

Es preciso indicar que todos los televidentes aseguraron que la calidad era buena por sí misma y además existía una marcada diferencia entre la señal digital y la señal analógica.

- e) Para navegar por las opciones del equipo ETH se presionó la tecla “MEANS” seguida de “F1”; en este caso se eligió la opción “*Constellation Diagram*”.

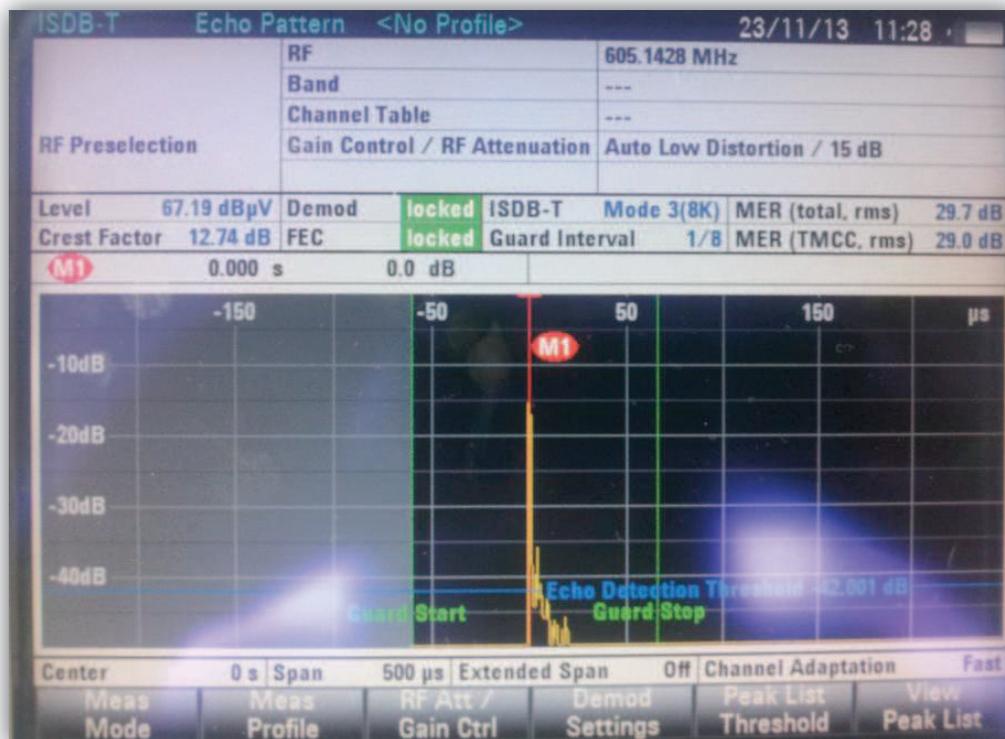


Fuente: Equipo R&S®ETH, SUPERTEL.

Figura 3.44. Diagrama de constelación de la señal digital del canal Ecuavisa.

En la Figura 3.44, se visualiza el diagrama de constelación de la señal digital modulada con QPSK y 64QAM en las capas A y B respectivamente de la transmisión jerárquica. Como se observa, los puntos que están en el centro de color anaranjado muestran el punto ideal para el diagrama de constelación; y, los puntos turquesas alrededor son la "dispersión" de puntos respecto al valor esperado. Es menester indicar que el equipo ETH provee la posibilidad de sumar los diagramas de constelación y lo muestra con el título "A+B+C", sin embargo es evidente que para este caso, la capa C no está utilizada para la transmisión por lo que ésta no aporta a la suma de las constelaciones.

- f) Se escogió la opción "Echo Pattern" del menú inicial, con la finalidad de observar el comportamiento de las réplicas de la señal digital analizada.



Fuente: Equipo R&S®ETH, SUPERTEL.

Figura 3.45. Comportamiento de las señales replicadas a partir de la señal digital Ecuavisa.

Como se puede observar en la Figura 3.45, las réplicas de la señal digital van perdiendo potencia (dB) a medida que transcurre el tiempo (μs). El equipo ETH genera un umbral de 42,001 dB, a partir del cual la potencia de las señales replicadas es mínima. Este comportamiento obedece a la realimentación por difracción de la señal, la cual es producida por múltiples trayectorias de la misma.

- g) Del menú principal se escogió la opción “MER (k)”, con el objetivo de observar la curva del MER rms.



Fuente: Equipo R&S®ETH, SUPERTEL.

Figura 3.46. Valor RMS de la señal digital de Ecuavisa.

Como se visualiza en la Figura 3.46, el valor rms para la MER es de 31.8 dB; este valor es importante debido a que provee información estadística de un determinado número de medidas de la MER, tomadas a través del tiempo. Lo anterior sucede debido que la raíz de la media de los cuadrados (RMS) es simplemente una forma matemática de describir una onda periódica en términos de su potencia (dB).

- h) Se eligió la opción "Spectrum" del menú principal, con la finalidad de visualizar el espectro de la señal demodulada de Ecuavisa.



Fuente: Equipo R&S®ETH, SUPERTEL.

Figura 3.47. Espectro de la señal digital de Ecuavisa.

En la Figura 3.47, se visualiza el espectro de la señal digital de Ecuavisa, el cual es bastante uniforme. Se observa que el equipo ETH provee información de potencia en los puntos en los cuales inicia y termina el espectro (6 MHz).

Estos puntos de inflexión se denominan hombro inferior y hombro superior, para este caso se obtuvo los valores de 4.9 dB y 38,5 dB respectivamente. También es posible obtener la relación C/N 38,7 (dB), la cual es obtenida únicamente al final del hombro superior.

3.3.5. ANÁLISIS Y TABULACIÓN DE LAS MEDICIONES DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS

Mediante los equipos ETL y ETH se realizaron mediciones en diferentes días y horarios, con el objetivo de ampliar el campo de pruebas y obtener valores variados que colaboren con la determinación de los parámetros técnicos principales a ser medidos para establecer la calidad de una señal digital.

Una vez realizadas las diversas mediciones, se tabuló los datos resultantes, los cuales se encuentran constantes en las Tablas 3.16 para el equipo ETL y 3.17 para el equipo ETH.

Parámetros	SUPERTEL		Teleamazonas CH 32	
	Layer A QPSK	Layer B 64 QAM	Layer A QPSK	Layer B 64 QAM
Level (dBm)	4,3		5,1	
Carrier Freq. Offset ²² (Hz)	13,3		13,9	
BER before Viterbi	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸
BER before Reed Solomon	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸
BER after Reed Solomon	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸	10 ⁻⁵	10 ⁻⁷
PER	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸	10 ⁻³	10 ⁻⁵
MPEG TS (Bitrate) (Mbit/s)	0,4406	17,18428	0,4406	17,18428
MER (RMS) (dB)	26,8	27,1	34,6	35,3
MER (PEAK) (dB)	23,7	22,6	23,3	23,4
MER (total, RMS) (dB)	27,8		35,6	
MER (total, PEAK) (dB)	22,6		23,6	
MER TMCC (dB)	35,6		37,7	
MER AC (dB)	35,6		37,7	
Carrier Suppression (dB)	29,3		29,3	
Carrier Phase (grados)	-126,8		-126,8	
Amplitud imbalance (%)	0,03		0,03	
Quadrature Error (grados)	0,01		0,01	

Tabla 3.16. Tabulación de datos obtenidos del equipo ETL.

²²Carrier Frecuencia offset, es la frecuencia contenido entre la velocidad de símbolo recibida y la velocidad de símbolo esperada.

Parámetros	Ecuador TVCH 26		TeleamazonasCH 32		Ecuavisa CH 36		Telesucesos CH 41	
	LAYER A QPSK	LAYER B 64-QAM	LAYER A QPSK	LAYER B 64-QAM	LAYER A QPSK	LAYER B 64-QAM	LAYER A QPSK	LAYER B 64-QAM
Level [dBuV]	58,71		69,88		70,94		60,73	
	63		67,71		71,1		63,27	
	62,36		65,85		68,74		64,52	
Crest Factor [dB]	11,35		10,95		11,73		14,96	
	11,82		10,38		11,76		10,77	
	10,79		10,93		11,71		10,54	
BER after Reed Solomon	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻⁷	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶
	10 ⁻⁴	---	10 ⁻⁵	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻⁷
BER before Reed Solomon	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵
	10 ⁻⁵	---	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵
	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
BER Viterbi	---	10 ⁻³	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	---	10 ⁻⁴
	---	---	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻³
	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻⁷	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵
RF Offset [Hz]	65,3		33,4		41,5		---	
	67,2		33,5		41,9		---	
	67,7		34,1		42,9		---	
C/N [dB]	21		26,1		37,9		22,9	
	27,5		24,6		35,4		24,9	
	23,5		32,8		37,8		26,5	
MER (total, RMS) [dB]	22,1		32,5		31,6		25	
	26,1		31,5		32,1		27,5	
	26,5		29,5		27,9		29	
MER (total, PEAK) [dB]	-6		18,9		5,2		5,1	
	7,9		16,4		15		10	
	7,1		12,2		6,3		11,3	
MER TMCC [dB]	18,2		33,3		32,6		25,7	
	26,9		32,5		32,8		28,3	
	27		30,3		28,4		29,9	
MER AC [dB]	18,9		33,4		32,5		25,8	
	26,8		32,3		32,9		28,3	
	27,1		30,3		28,6		29,9	
MER (layer, RMS) [dB]	26,3	21,5	32,1	31,7	31,7	30,8	26,6	24,2
	27,4	25,3	31,5	30,8	32	31,3	27,8	26,7
	27,6	25,7	30,6	28,6	31,3	27	28,6	28,3
MPEG TS Bitrate	0,4405	17,8428	0,416	14,9791	0,416	14,9791	0,4405	17,8428
	0,4405	17,8428	0,416	14,9791	0,416	14,9791	0,4405	17,8428
	0,4405	17,8428	0,416	14,9791	0,416	14,9791	0,4405	17,8428

Tabla 3.17. Tabulación de datos obtenidos del equipo ETH.

En las Tablas 3.16 y 3.17 se observa que los valores para los parámetros técnicos son diversos y presentan diferentes valores dependiendo de los canales analizados y de los instantes en que el equipo toma las medidas.

Es importante señalar que debido a que en las pruebas realizadas se comprobó técnicamente a través de los equipos ETL-ETH y subjetivamente mediante los televidentes; que las señales digitales analizadas son de calidad aceptable, es conveniente definir umbrales de dichas medidas. Los umbrales sirven para delimitar los valores de los parámetros técnicos de las señales digitales con el objetivo de crear un rango de medidas en las cuales se asegure que la señal digital es de calidad aprobada. En base a las Tablas 3.16 y 3.17 se establecieron umbrales de ciertos parámetros, los cuales se escogieron dependiendo de los valores más pequeños y más grandes de las tablas.

Parámetros	Umbral Inferior	Umbral Superior
BER before Viterbi	10^{-3}	10^{-8}
PER	10^{-3}	10^{-8}
MPEG TS (Bitrate) (Mbit/s)	0,4405	17,8428
MER (total, RMS) (dB)	22,1	35,6
RF Offset [Hz]	33,4	67,7
C/N [dB]	21	37,8

Tabla 3.18. Umbrales de parámetros obtenidos.

En la Tabla 3.18 se observan los umbrales sin tomar en cuenta las modulaciones de las capas jerárquicas, esto se realiza debido a que varias medidas son valores para aplicados para todo el canal y no solo para cierta modulación.

En cuanto a los instantes en que los equipos toman las medidas de los parámetros, se puede visualizar que los parámetros BER y MER toman varios estados, por lo que para el presente análisis se utilizó el BER (before Viterbi) y el MER (rms). Se escogió el valor “before viterbi” porque es lógico analizar la señal pura, antes de cualquier

sistema de corrección de errores que pueda ejecutar un receptor; ya que de esta manera se tendrá un valor más confiable de la naturaleza de la señal. En cuanto al valor “rms”, se puede indicar que éste representa información estadística de un determinado número de medidas de la MER, tomadas a través del tiempo, por lo que es un valor más completo con relación a los otros valores.

Por otro lado, en cuanto a los umbrales del BER, se puede observar que éstos presentan un amplio rango entre ellos, es así que estos valores fluctúan desde 10^{-3} hasta 10^{-8} con lo que se puede indicar que las señales digitales de calidad aceptable, pueden soportar un considerable número de bits recibidos de forma incorrecta respecto al total de bits enviados. Lo mismo sucede con el valores de umbrales correspondientes al parámetro PER.

En cuanto a los valores de MER y C/N se puede apreciar que estos toman valores cercanos entre sí, es así que el umbral inferior para la MER y la C/N es de 22,1 dB y 21 dB respectivamente; lo mismo sucede para los valores de umbral superior. Sobre la base de lo anterior, se puede señalar que mientras mayor es el valor de la MER y la C/N mejor es la calidad de la señal digital.

Finalmente, es importante indicar que mediante los equipos ETL y ETH se realizaron varias mediciones de parámetros técnicos tales como la MER, PER, BER, MPEG TS bitrate, etc.; sin embargo, en ninguno se obtuvo el valor del EVM, por lo que a continuación se presentará la manera de obtener dicho valor. Este parámetro está relacionado estrechamente con la MER, por lo que se puede utilizar la siguiente expresión:

$$\%EVM = 100 \times 10^{-\frac{MER_{dB} + MTA_{dB}}{20}} \quad (3.30)[49]$$

En donde MTA es un valor predefinido, el cual depende de la modulación utilizada. Los posibles valores se mostraron en la Tabla 3.14. A continuación se presenta un ejemplo de cálculo en donde la MER es 35,8 dB y la modulación utilizada es 64-QAM

$$\%EVM = 100 \times 10^{-\frac{35,8 + 3,68}{20}} = 1,06169556$$

Con lo anterior, se puede señalar que la MER y el EVM definen esencialmente lo mismo y se puede obtener uno de ellos a partir del otro.

3.3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y OBTENCIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LA SEÑAL DIGITAL

Las mediciones realizadas y analizadas con los equipos ETL y ETH se ejecutaron únicamente en la ciudad de Quito; sin embargo, estas mediciones pueden representar el comportamiento y calidad de las señales digitales en el Ecuador debido a las siguientes razones:

- Se toma como referencia el proceso realizado por la Superintendencia de Telecomunicaciones al momento de elegir el estándar ISDB-Tb. Mediante la realización de pruebas subjetivas y mediciones de cobertura en la ciudad de Quito, extendieron el análisis para todo el país puesto que el desempeño del estándar no presenta diferencias sustanciales en la resolución de imagen y audio.
- La topografía y climatología de la ciudad de Quito es la más variada en todo el país puesto que presenta elevaciones, edificaciones, lluvias intensas, etc. que provocan la difracción de la señal a transmitir. Debido a esto, si se analiza la cobertura del país se verificará que la ciudad de Quito, es uno de los territorios que presenta mayor zonas de sombra y será más crítico controlar la calidad de la señal digital.

Por otro lado, El CONATEL²³ emitió la Resolución RTV-681-24-CONATEL-2012 el 18 de octubre de 2012, en cuyo Artículo dos establece lo siguiente:

²³ CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador

“Aprobar el Plan Maestro de Transición a la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador, documento que se anexa a la presente Resolución. Para efectos de la operación de canales de televisión que cuenten con autorizaciones temporales para televisión digital terrestre, los medios se sujetarán a la normativa que apruebe el CONATEL, conforme a la propuesta que elaborarán la SENATEL y SUPERTEL”.

Al respecto, es menester señalar que dicho *“Plan Maestro de Transición a la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador”* tiene como objetivo principal establecer las condiciones para el Proceso de Transición a la Televisión Digital Terrestre – TDT en el Ecuador, bajo el estándar de televisión digital ISDB-T INTERNACIONAL. Por lo que en la parte correspondiente se indica que:

“1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. / La introducción del servicio de radiodifusión de TDT tiene los siguientes objetivos específicos: Mejorar la calidad del servicio de televisión abierta en el país (audio, video y servicios adicionales). (...)

CAPÍTULO 2 IMPLEMENTACIÓN. / Los concesionarios o poseedores de títulos habilitantes de televisión abierta podrán acceder a concesiones o habilitaciones de frecuencias para TDT de conformidad con lo prescrito en las normas legales pertinentes y demás normativa emitida por el CONATEL. Estos concesionarios garantizarán que a la fecha del apagón analógico, todas sus estaciones, ofrezcan el servicio de televisión abierta digital, para lo cual deberán haber cumplido con todos los requisitos técnicos y legales que les sean aplicables”
(Subrayado fuera del texto original).

Sobre la base de lo anterior, es indispensable para el país, instituir los principales parámetros técnicos para el control de la calidad de la señal digital, es decir establecer los parámetros técnicos indispensables que se deben medir y analizar, antes de catalogar la calidad de una señal digital como aceptable o no.

Para determinar los principales parámetros técnicos para el control de la calidad de la señal digital, es importante tomar como base las características de una transmisión

digital consideradas en la norma ISDB-Tb, específicamente en el apartado ABNT1 NBR 15601, las cuales se presentan a continuación:

- Modulación de la Portadora
- Tiempo del Símbolo
- Código Convolutivo
- Cantidad de portadoras para la transmisión de datos
- Intervalo de Guarda

Los parámetros técnicos también deben contemplar aspectos como los diagramas de constelación, disponibilidad del sistema y errores producidos en la transmisión.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en el numeral 3.3.5, indican que los valores de los parámetros técnicos fluctúan de manera independiente de la capa jerárquica en la que se encuentren trabajando, es así que en algunos canales el valor de la MER es mayor en la capa A con respecto a la capa B y en otras ocasiones se presenta el caso inverso.

Sobre la base del presente análisis y lo mencionado en el numeral 3.3.5, se han escogido cuatro parámetros para el control de la señal digital, los cuales claramente cumplen con el objetivo de considerar todos los aspectos estudiados en el presente proyecto de titulación y que con la medición de al menos estos cuatro parámetros, se avala que la señal digital será satisfactoria para el usuario.

Los parámetros son los siguientes:

- MER (Modulation Error Ratio/Tasa de Error de Modulación)
- BER (Bit Error Rate)
- PER (Packet Error Ratio)
- C/N (Relación portadora-ruido)

3.4. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS OBTENIDOS Y LOS MEDIDOS EN OTROS PAÍSES PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA SEÑAL DE TDT [49]

Actualmente en normas internacionales, no existen umbrales definidos de los parámetros analizados en el capítulo anterior. Los países que adoptaron la norma ISDB-Tb, se encuentran realizando diversos estudios y pruebas para definir el valor de los parámetros mínimos necesarios, que servirán para transmitir la señal digital de manera confiable y así poder obtener un mecanismo de control de calidad.

Por esta razón, en el presente proyecto se realiza una comparación de los valores de los parámetros obtenidos con el estudio realizado por CISCO, para constelaciones de modulación DOCSIS, en su documento denominado *“Digital Transmission: Carrier-to-Noise Ratio, Signal-to-Noise Ratio, and Modulation Error Ratio”*.

Del documento de CISCO, se puede obtener la Tabla 3.19 con los siguientes valores de parámetros:

Modulación	Umbral inferior de C/N [dB]	Umbral superior de C/N [dB]	MER [dB]
QPSK	7 - 10	40 - 45	18
16 QAM	15 - 18	40 - 45	24
64 QAM	22 - 24	40 - 45	27
256 QAM	28 - 30	40 - 45	31

Fuente:[49].

Tabla 3.19. Valor de parámetros aceptables según CISCO.

Para comparar los valores de los parámetros obtenidos del documento de CISCO, con los valores obtenidos de las mediciones de las señales de TV digital (con los equipos ETH y ETL), se genera la Tabla 3.20. Cabe indicar, que para este fin se toma como ejemplo el canal 32 puesto que todos los canales medidos en el presente proyecto tienen modulación 64 QAM para sus 12 segmentos (Layer B) y QPSK para el segmento one seg (Layer A).

Modulación	Documento CISCO		ETH		ETL
	Umbral bajo de C/N [dB]	MER [dB]	C/N [dB]	Umbral MER [dB]	MER [dB]
QPSK	7 - 10	18	28,65	30,6 - 32,1	34,6
16 QAM	15 - 18	24	---	---	---
64 QAM	22 - 24	27	27,83	28,6 - 31,7	35,3
256 QAM	28 - 30	31	---	---	---

Tabla 3.20. Tabla comparativa documento CISCO y equipos ETH&ETL.

Con los resultados que se observan en la Tabla 3.20, se puede concluir lo siguiente:

- Los valores C/N definidos por CISCO para una modulación QPSK y 64 QAM con respecto al equipo ETH, difieren de gran medida puesto que los umbrales definidos por CISCO se enfocan para una transmisión digital vía cable, en donde el ruido no afecta en gran medida a la señal. El estándar ISDB-Tb debe precisar de mayor relación C/N, ya que así proporciona mejor calidad de recepción.
- Los valores de MER obtenidos de los equipos ETL y ETH son similares ya que ambos miden la misma señal digital. Cabe mencionar, que se observa una pequeña diferencia de 2 a 3 dB debido a que con el equipo ETL se realizó solamente una medición.
- Los valores de MER definidos por CISCO para una modulación QPSK y 64 QAM con respecto a los equipos ETL y ETH, difieren de gran medida puesto que para la transmisión de una señal digital vía terrestre la demodulación de la señal varía constantemente, es decir se tiene en ciertos momentos una constelación digital precisa (sin errores) y en cuestión de instantes puede cambiar a una constelación inexacta, que rebasado cierto límite puede producir el pixelado hasta congelamiento de la pantalla.

3.5. REFERENCIAS

- [17] SUPERTEL (2010).«Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Ecuador», Consultado el 19 de enero de 2012.
- [21] PISCIOTTA, Néstor Oscar.Sistema ISDB-Tb, CIADE-IT, Universidad Blas Pascal, Primera Parte, Consultado el 2 de febrero de 2012.
- [29] ABNT (2007).*Televisión Digital Terrestre - Sistema de Transmisión*, Brasil: ABNT NBR 15601:2007, Consultado el 8 de febrero de 2012.
- [36] UIT-R. BT.500-11 (2002), *Metodología para la evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión*, Consultado el 19 de noviembre de 2012.
- [37] M. LÓPEZ TAFUR (2012), «Cálculo de Cobertura de la Señal de TDT (ISDB-Tb) 2/4»,http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/Curso_Calculo_de_cobertura_TDT_2de4.pdf, Consultado el 20 de noviembre de 2012.
- [38] <http://www.slideshare.net/JuanRafaelVillenPulido/modelo-de-canal-con-distribucion-ricc>, Último acceso: 2 de noviembre de 2013.
- [39] I. SUÁREZ (2012), “*Determinación de cobertura de señal de los sistemas de transmisión de Televisión Abierta Analógica que operan en la ciudad de Quito*”, Consultado el 25 de noviembre de 2013.
- [40] ftp://gic.dsc.ulpgc.es/ETSIT/Antenas_ET SIT/Practicas/Practica_friis.pdf, Último acceso: 18 de noviembre de 2013.
- [41] ROHDE&SCHWARZ ETL TV Analyzer (2010), *Operating Manual*, Munich, Germany: www.rohde-schwarz.com, Consultado el 10 de febrero de 2013.
- [42] COMERCIO, «*Más canales se suman a la TV digital*», http://www.elcomercio.ec/negocios/canales-televisión-digital-Ecuador-tecnología-HD_0_916708366.html, Consultado el 5 de enero de 2013.
- [43] UIT-T-G.826 (2002), *Sistemas y Medis de Transmisión, Sistemas y Redes Digitales*, Consultado el 25 de marzo de 2013.
- [44] ETSI TR 101 290 (1997), *Digital Video Broadcasting; Measurement guidelines for DVB systems*, Francia: EBU-UER, Consultado el 7 de abril de 2013..

- [45] <http://www.cablefax.com/tech/operations/bestpractices/24367.html>,
Último acceso: 15 de mayo de 2013.
- [46] http://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_de_Error_de_Modulaci%C3%B3n,
Último acceso: 15 de noviembre de 2013.
- [47] <http://www.ni.com/white-paper/3652/en/>, Último acceso: 22 de mayo de 2013.
- [48] https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_error_rate, Último acceso: 3 de abril de 2013.
- [49] Cisco (1992-2006), *Digital Transmission: Carrier-to-Noise Ratio, Signal-to-Noise Ratio and Modulation Error Ratio*, USA, Consultado el 1 junio de 2013.
- [50] <http://www.instaladoresdetelecomhoy.com/ber-vs-per-en-dvb-s2/>, Último acceso:
20 de noviembre de 2013.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LAS MEDICIONES DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE UNA SEÑAL TDT EN ECUADOR

Constituye una buena práctica el determinar un orden para la medición de los principales parámetros técnicos para el control de calidad de la señal digital. En general, los procedimientos para la ejecución de cualquier tipo de medición, en este caso, de los parámetros definidos en el presente proyecto, es de suma importancia, pues constituye un plan o método de trabajo que establece una sucesión cronológica de operaciones relacionadas entre sí, que tienen como propósito la realización de una actividad o tarea específica dentro de un ámbito predeterminado de aplicación para la obtención del resultado deseado.

En este respecto, el procedimiento a determinarse debe tomar en cuenta las consideraciones propuestas en el presente proyecto de titulación y los campos de acción en los cuales se va a aplicar dicho procedimiento. En consecuencia, es preciso indicar los posibles escenarios en los cuales se realizarán las pruebas y mediciones, para posteriormente proponer un orden de medición de los parámetros técnicos para el control de calidad de una señal TDT en Ecuador.

4.1. ESCENARIOS DE APLICACIÓN [17]

Una vez que ocurra el apagón analógico en el Ecuador, previsto para el año 2018, la televisión llegará a los usuarios únicamente de manera digital, por lo que los campos de acción en los cuales se desarrollará, al menos serán los que en la actualidad se encuentran proveyendo televisión analógica a los usuarios. A continuación se describen varios escenarios de recepción de televisión.

4.1.1. RECEPCIÓN FIJA

Este escenario se establece cuando la recepción de la señal de televisión digital terrestre se realiza con equipos y antenas que permanecen inmóviles, definiéndose dos modos:

- Exteriores.- La antena se instala en el exterior de una edificación.
- Interiores.- La antena se instala en el interior de una edificación.

4.1.2. RECEPCIÓN PORTÁTIL

En la recepción portátil, los equipos de prueba disponen de una antena incorporada y pueden desplazarse de un lugar a otro.

Es importante indicar que durante la prueba el equipo permanece estático, esto es debido que la portabilidad no necesariamente conlleva movilidad.

4.1.3. RECEPCIÓN PEATONAL

La recepción se realiza con un equipo que se desplaza a una velocidad menor o igual a 5 km/h, sujeto a ligeros movimientos ocasionales y frecuentes.

Esta prueba puede darse con un peatón caminando a paso ligero, quien mientras camina recibe en su equipo portátil la señal de televisión digital.

4.1.4. RECEPCIÓN MÓVIL

La recepción se realiza con un equipo que se desplaza en un automóvil. Para el efecto se utiliza un vehículo en movimiento que en promedio puede viajar a 60 Km/h según las leyes de tránsito vigentes.

Este escenario es bastante complejo, puesto que se requiere que la señal de televisión digital sortee varios inconvenientes, tales como el movimiento acelerado, las pausas agresivas, como las que produce la señal de un semáforo, el ambiente cambiante, etc.

4.2. PARÁMETROS TÉCNICOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE UNA SEÑAL DE TDT EN ECUADOR Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb

Es importante realizar un análisis de la relación entre estándar adoptado ISDB-Tb y los parámetros técnicos para el control de calidad, con la finalidad de establecer un orden adecuado para su medición.

4.2.1. LA MER Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb

La MER es el parámetro que involucra más características de una transmisión digital consideradas en la norma ISDB-Tb, específicamente en el apartado ABNT1 NBR 15601, tales como la modulación de la portadora, el diagrama de constelación y el código convolucional, por lo tanto es un buen parámetro técnico para medir la calidad de la señal de Televisión Digital Terrestre, puesto que permite conocer el error presente en la modulación por el mismo hecho de tener comunicación entre transmisor y receptor con señales moduladas.

Por esta razón, se pone énfasis en este parámetro, ya que al tener un valor óptimo de la MER se tiene la seguridad de tener una transmisión correcta, pero sobre todo se asegura que el receptor podrá captar y obtener la señal con el mínimo de errores. Lo anterior es importante ya que las fases no se encuentran desplazadas de sus puntos de referencia y de esta manera en la demodulación no se desperdician recursos, obteniendo una señal lo más cercana al valor esperado.

Otra característica importante de la MER es que a partir de ella, se puede obtener el parámetro EVM, el cual permite medir la desviación de las fases respecto a una referencia mediante un vector de error. En el estudio de la transmisión de televisión digital terrestre debe ser tomado en cuenta ya que nos indica la calidad de la información transmitida, a la vez que analiza el comportamiento de los diagramas de constelación que presentan los diferentes esquemas de modulación utilizados en las diferentes aplicaciones.

4.2.2. EL BER Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb

El BER es un parámetro fundamental en la calidad de la señal de televisión digital, ya que dependiendo de su valor se establece la calidad en la transmisión dependiendo de la cantidad de bits transmitidos erróneamente.

Los valores de las mediciones del BER son primordiales en el estándar ISDB-Tb ya que estos parámetros deben ser óptimos tanto en transmisión como en recepción. Dependiendo de esto, se pueden tener equipos con determinadas características, generalmente, con valores de BER muy pequeños, como por ejemplo de 10^{-8} . Este parámetro es útil puesto que permite medir la calidad de la señal en cualquier punto de la transmisión en el sistema de TDT implementado.

4.2.3. EL PER Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb

En general en la TDT, el PER establece que si existe una falla en la transmisión, se obliga al sistema a realizar una re-transmisión del paquete, razón por la cual es necesario tener la menor cantidad de errores posibles para poder tener una buena calidad en las aplicaciones del sistema, sobre todo cuando se trata de información en HDTV, que necesita de una alta velocidad, así como una gran capacidad de procesamiento de la señal

El PER considera una menor cantidad de errores, ya que un paquete se supone errado si al menos un bit se encuentra en ese estado.

Respecto al sistema ISDB-Tb, es importante señalar que al trabajar con una transmisión jerárquica, es posible que un bit de una capa este errado y todos los demás estén correctos, en este caso, el PER exige que se transmita toda la información de las capas jerárquicas involucradas.

4.2.4. LA C/N Y EL ESTÁNDAR ISDB-Tb

La C/N es un factor que indica la calidad de la señal digital suministrada al usuario, debido a que con la portadora analógica se demodula la señal digitalmente. Es decir,

que la C/N indica la calidad de la señal de radio frecuencia transportada por el sistema.

4.3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Es preciso señalar que los cuatro parámetros técnicos establecidos pueden ser clasificados de acuerdo a lo que “mide” cada uno, respecto a la señal digital terrestre. Es así, que sobre la base del análisis y a los datos medidos y descritos en el capítulo tres, se pueden clasificar a los parámetros de la siguiente manera:

- Parámetros Técnicos Intrínsecos: Involucran la naturaleza y características propias de la señal digital, tales como la modulación, diagrama de constelación, tiempo de símbolo, MPEG TS Bitrate, etc.
- Parámetros Técnicos Extrínsecos: Abarcan los aspectos externos que afectan la transmisión de la señal digital, tales como el código convolucional, intervalo de guarda, errores en la transmisión, etc.

De acuerdo a la clasificación anterior, es evidente que la MER es el parámetro técnico intrínseco, mientras que el BER, PER y C/N son parámetros técnicos extrínsecos.

Sobre la base de la experiencia de las mediciones realizadas en el capítulo 3, y al presente análisis, se puede establecer un procedimiento para la medición de los parámetros técnicos para el control de la calidad de la señal digital, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las mediciones se realizarán en orden ascendente, desde los parámetros definidos como intrínsecos hasta los definidos como extrínsecos, con el objetivo de considerar todos los aspectos involucrados en la transmisión de la señal digital y en caso de que ésta no cumpla con algún parámetro, se pueda realizar un análisis crítico sobre su calidad.

- Se deben medir al menos los cuatro parámetros técnicos definidos, antes de realizar el análisis de los valores obtenidos.
- A partir de los valores resultantes, se puede calcular el valor del EVM.
- Posteriormente, se pueden recolectar más datos y valores de otros parámetros técnicos, los cuales no están sujetos a un orden en especial.

Sobre la base de lo descrito anteriormente, se establece el siguiente orden para la medición de los parámetros técnicos sobre una señal digital:

- a) Establecimiento del escenario de aplicación y equipo a utilizar
- b) Obtención de las características técnicas de la señal digital a ser medida
- c) Medición del parámetro técnico MER
- d) Medición del parámetro técnico PER
- e) Medición del parámetro técnico BER
- f) Medición del parámetro técnico C/N
- g) Análisis de los valores obtenidos
- h) Cálculo del parámetro EVM
- i) Obtención de otros parámetros técnicos

4.4. EJEMPLO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

Con la finalidad de aplicar el protocolo propuesto en el numeral 4.3, el día 27 de noviembre de 2013, se realizó una prueba del mismo, la cual se describe a continuación:

a) Establecimiento del escenario de aplicación y equipo a utilizar

Las mediciones se realizaron en el edificio matriz de la SUPERTEL ubicado en la 9 de Octubre y Berlín, con los equipos R&S ETH y R&S ETL; específicamente los equipos fueron colocados en el 5 piso del edificio y en la planta baja del mismo, tal como se observa en la Figura 4.1.



Fuente: Cámara SUPERTEL.

Figura 4.1. Escenario de aplicación y equipo de prueba.

b) Obtención de las características técnicas de la señal digital a ser medida

Se escogió el canal denominado comercialmente como Ecuavisa (CH 36) para realizar las mediciones de los parámetros técnicos. Posteriormente se elaboró un cuadro con las características técnicas²⁴ de la señal digital de dicho canal, ubicado

²⁴ Datos proporcionados por los funcionarios de la SUPERTEL y por la base de datos Sira-TV

en el “Cerro Pichincha”. En la Tabla 4.1, se pueden observar las características mencionadas.

Capa/modulación	Código Convolutacional	Intervalo de Guarda	Clase de Estación	PER (Potencia Efectiva Radiada) [dBd]	Potencia Video [w]	Potencia Audio [w]	Potencia Equipo [w]	Altura Torre [m]	Ganancia [dB]
Capa A QPSK	2/3	1/8	Comercial Privada	6918,31	6918,31	691,83	1000	36	9,6
Capa B 64 QAM	2/3								

Tabla 4.1. Características técnicas del canal 36.

c) Medición del parámetro técnico MER

En el equipo ETL, se ingresó la frecuencia central de 605,1428 MHz y se obtuvo los valores del parámetro técnico MER, sin embargo como se visualiza en la Figura 4.2, los valores están bajo el umbral y por lo tanto están marcados con color rojo.



Fuente: Equipo R&S®ETL, SUPERTEL.

Figura 4.2. Parámetros de la señal demodulada MER –Ecuavisa con equipo ETL.

Con la finalidad de solventar este inconveniente pues en la televisión, las imágenes del canal digital Ecuavisa, se visualizaban con normalidad y claridad., fue necesario verificar si la señal efectivamente presentaba aquel valor, o en su defecto era producido debido a que la prueba se estaba realizando en un ambiente cerrado. Para el efecto se realizó la misma prueba con el equipo ETH en la planta baja del edificio, obteniendo lo resultados constantes en la Figura 4.3.

RF Preselection	RF	605.14285 MHz		
	Band	---		
	Channel Table	---		
	Gain Control / RF Attenuation	Auto Low Distortion / 10 dB		
Position:		Latitude ---° --' --.---" N	Longitude ---° --' --.---" E	
Measurement Parameter				
Power	8.61 pW	Crest Factor	11.12 dB	
OFDM Demodulator	locked	FEC Decoder	locked	
ISDB-T Mode	Mode 3 (8K)			
Guard Interval	1/8	MER (total,rms)	31.5 dB	
Sideband Position	normal	MER (total,peak)	6.4 dB	
RF Offset	47.4 Hz	MER TMCC	33.2 dB	
Symbol Rate Offset	0.1 ppm	MER AC	33.1 dB	
	Layer A	Layer B	Layer C	
MER (Layer,rms)	32.5	31.1	---	dB
BER before Viterbi	0.0E-07	7.2E-05	---	
BER before Reed Solomon	0.0E-07	4.8E-08	---	
BER after Reed Solomon	0.0E-05	0.0E-06	---	
Packet Errors	0	0	---	/s
MPEG TS Bitrate	0.416087	14.979148	---	Mbit/s

Fuente: Equipo R&S®ETH, SUPERTEL.

Figura 4.3. Parámetros de la señal demodulada MER –Ecuavisa con equipo ETH.

Como se observa en la Figura 4.3, los valores obtenidos para el parámetro MER con 32,5 dB para la capa A y 31,1 dB para la capa B. Por lo anterior, es preciso indicar que en ambientes cerrados, es posible que exista difracción de la señal lo que conlleva que el MER disminuya.

d) Medición del parámetro técnico PER

En base a la Figura 4.2, se obtuvieron los valores del PER medidos con el equipo ETL, los cuales fueron válidos, debido a que técnicamente estaban pintados de verde

y subjetivamente las imágenes de la televisión se veían claras y con una notable nitidez.

e) Medición del parámetro técnico BER

Por su parte, las mediciones del BER, se realizaron en base a la Figura 4.3.

f) Medición del parámetro técnico C/N

Para la medición del parámetro C/N se utilizó el equipo ETH y se ubicó en la opción "Spectrum". En la Figura 4.4, se puede observar el espectro de la señal demodulada de Ecuavisa y su valor asignado para el parámetro técnico C/N.



Fuente: Equipo R&S®ETH, SUPERTEL.

Figura 4.4. Espectro de la señal demodulada de Ecuavisa.

g) Análisis de los valores obtenidos

Para el análisis de los valores obtenidos se elaboró la Tabla 4.2, la cual se muestra a continuación:

Parámetros	Capa A	Capa B
MER (total, RMS) [dB]	32,5	31,1
PER	10^{-4}	10^{-5}
BER before Viterbi	10^{-7}	10^{-5}
C/N [dB]	35,8	35,8

Tabla 4.2. Valores obtenidos.

Como se observa en la Tabla 4.2, los valores obtenidos, se encuentran dentro de los valores de umbrales definidos en la Tabla 3.19, por lo que se puede indicar que la señal de Ecuavisa, en las presentes mediciones, es una señal digital adecuada.

h) Cálculo del parámetro EVM

Como se había estudiado, el parámetro técnico EVM puede ser calculado a partir del valor de la MER, a continuación se presenta el cálculo realizado para la modulación 64QAM.

$$\%EVM = 100 \times 10^{-\frac{MER_{dB} + MTA_{dB}}{20}}$$

$$\%EVM = 100 \times 10^{-\frac{31,1 + 3,68}{20}} = 1,8238$$

i) Obtención de otros parámetros técnicos

Los equipos ETL y ETH proveen una amplia gama de parámetros técnicos, de los cuales, como se estableció en el presente proyecto, deben ser medidos al menos la

MER, el PER, el BER y la C/N. Sin embargo, para un análisis más detallado y con más elementos de juicio se pueden obtener otros parámetros, tales como los que muestran en la Tabla 4.3.

Parámetros	Capa A	Capa B
BER before Reed Solomon	10^{-7}	10^{-6}
BER after Reed Solomon	10^{-6}	10^{-7}
MPEG TS (Bitrate) (Mbit/s)	0,4161	14,9791
MER TMCC (dB)	33,2	33,2
MER AC (dB)	33,1	33,1

Tabla 4.3. Obtención de otros parámetros técnicos.

Finalmente, es importante indicar que el protocolo de pruebas proporciona un orden para las mediciones realizadas y permite realizar un análisis adecuado de los valores obtenidos.

4.5. REFERENCIAS

- [17] SUPERTEL (2010).«Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Ecuador», Consultado el 19 de enero de 2012.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Para la elección del estándar de televisión digital en el Ecuador, se realizaron mediciones técnicas y subjetivas, en varios puntos de la ciudad de Quito. Los resultados globales de dichas evaluaciones, fueron presentados por la SUPERTEL en base a tres objetivos: cobertura, disponibilidad y calidad. Estos objetivos involucran en gran manera todo el panorama en que se desarrolla la transmisión de la señal digital.
- Existen varios métodos para evaluar la calidad de las señales de televisión digital, sin embargo uno de los métodos eficaces es la evaluación subjetiva, la cual anticipa de manera más directa las reacciones de quienes podrían ser los usuarios y televidentes del producto entregado por dichas señales. En este respecto se comprende que no sería posible caracterizar eficazmente la calidad de funcionamiento de un sistema por medios objetivos y por lo tanto es necesario complementar las mediciones objetivas con mediciones subjetivas.
- La televisión digital terrestre presenta muchas ventajas y mejoras respecto a la televisión analógica. Una de sus características más representativas y que la hace superior a la transmisión analógica es la interactividad, la cual permite al usuario una serie de novedades tales como elegir el ángulo de la cámara en una escena, responder encuestas, realizar la compra de productos, buscar empleo, etc.
- La alta definición HD, no es lo mismo que decir televisión digital. La HD es un formato en el cual se transmite la televisión digital, debido a que existen otros formatos tales como SD, ED y LD (todos digitales).

- El estándar ISDB-Tb trabaja con transmisión jerárquica, es decir que puede proveer servicios para diferentes tipos de recepción en la frecuencia de un solo canal. Las principales innovaciones brasileñas sobre el modelo japonés son tres: *Codificación de audio y video*, pues se usa MPEG-4, *Middleware Ginga* debido a que la norma provee soporte para interactividad, y *Carácter Social* pues el estándar se desarrolla con miras a establecer aplicaciones como gobierno electrónico.
- El estándar ISDB-Tb en la práctica, trabaja con tres tipos de modulación QPSK, 16QAM y 64QAM. La modulación QPSK es la más robusta sin embargo provee poca capacidad respecto a las dos restantes; por su parte la modulación 64QAM proporciona alta capacidad pero es un sistema débil en referencia a QPSK y 16QAM.
- El estándar ISDB-Tb define un código convolucional que fluctúa desde $1/2$ hasta $7/8$. Mientras mayor es el valor del FEC el sistema es más robusto pero tiene menor capacidad; y por su parte mientras menor es el valor del FEC el sistema se vuelve más débil pero provee mayor capacidad, puesto que no se ocupan tantos bits de salida para corrección de errores.
- Las combinaciones de parámetros más utilizados en el Ecuador para realizar pruebas de tipo comercial, son las modulaciones QPSK y 64QAM; el código convolucional $2/3$ y $3/4$; y, el intervalo de guarda de $1/16$. Es importante indicar que QPSK es utilizado generalmente para One-Seg y 64 QAM para la transmisión en HD, pues necesita gran capacidad.
- La cobertura de interés de cada señal digital presentada en este proyecto es la referente al borde de área de cobertura principal ya que en este punto a través de los niveles de intensidad de campo eléctrico, se puede determinar exactamente la cobertura para la transmisión del servicio de TV digital abierta. Es decir, los bordes de área de cobertura, son los puntos críticos a ser analizados.

- Los niveles de intensidad de campo eléctrico que se consideran para el borde de área de cobertura secundaria no garantizan que el servicio de TV digital sea de calidad, puesto que son zonas de sombras en las cuales se puede visualizar la imagen en ciertos instantes siempre y cuando el codificador del receptor pueda recuperar toda la información de la señal transmitida.
- El modelo de propagación ITU-R P.525/P.526 elegido en este proyecto utiliza métodos que se encuentran respaldados y sustentados en recomendaciones técnicas de la ITU-R. Es así, que las predicciones de cobertura de los sistemas de radiodifusión de TV digital que apliquen este modelo proporcionan datos confiables que pueden ser utilizados como comprobación.
- En este proyecto de titulación, se eliminó la influencia del clutter en la predicción de cobertura puesto que la SUPERTEL posee un clutter de tipo poblacional que no se asemeja a la realidad actual, ya que centra a toda la ciudad de Quito en un solo tipo de ocupación de suelo (urbano a 30m de altura sobre el DEM). Por esta razón, las atenuaciones debidas al tipo de suelo no fueron consideradas.
- Un DEM de resolución media es suficiente para obtener la cobertura aproximada de un sistema de radiodifusión digital en ambiente exterior, ya que la influencia del suelo y edificaciones no son determinantes si se habla de señal recibida en ambiente exterior.
- En el software ICS Telecom, al observar el área de cobertura aproximada para cualquier sistema de transmisión se tiene lo siguiente: el color azul intenso, significa que esa zona se encuentra en el umbral de recepción definido, y las zonas con un color diferente son superiores al umbral y corresponderán al nivel de intensidad de campo eléctrico que especifique la paleta. Por otro lado, una zona de sombra es aquella en donde no existe color alguno; es decir, su nivel de intensidad de campo eléctrico se encuentra por debajo del umbral de recepción.

- Existen zonas de sombra donde puede llegar la señal digital, esto se da debido a la difracción de la señal en los diferentes obstáculos como edificios, montañas, etc.
- OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal) es una técnica óptima para evitar la interferencia que normalmente se presenta en un canal inalámbrico por el desvanecimiento de las señales y las condiciones mismas del medio. Es la solución que los sistemas de transmisión adoptan para combatir las señales originadas por múltiples trayectorias. Es ocurre debido a que OFDM utiliza de mejor manera los recursos, puesto que combina la transmisión en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia.
- El intervalo de guarda es un parámetro muy importante para el análisis de calidad en la transmisión de una señal digital ya que aumenta la robustez del sistema frente a interferencias entre símbolos y frente a múltiples trayectorias. Adicionalmente, este parámetro constituye una pérdida en la capacidad de transmisión del canal puesto que limita la velocidad teórica posible de transferencia de datos. Es por ello, que cuanto menor sea la relación de intervalo de guarda mayor será la tasa de transmisión útil y menor la protección de la señal contra múltiples trayectorias. El intervalo de guarda además es útil debido a que se puede configurar para ajustar el área de cobertura dependiendo de la posición de las antenas transmisoras.
- En la modulación una mayor cantidad de niveles jerárquicos implica un mayor número de bits eficaces por símbolo, es decir una mayor velocidad de transmisión. Las constelaciones de cada modulación aumentan la probabilidad de que exista ISI debido a la proximidad entre los bits, por lo que para mantener constante el Vector de Error de Magnitud (EVM) se necesita potencias altas. En el proceso de modulación se realiza un intercalado de bits, lo que produce un retardo de símbolos por portadora. Este tiempo de retardo depende también del tipo de modulación utilizado.

- En el análisis de las señales de televisión, independientemente que sean digitales o analógicas, el estudio del “tiempo de retardo de las señales reflejadas” constituye un factor indispensable a ser tomado en cuenta, para determinar la calidad de la señal. Esto se debe a que el tiempo de retardo de las señales reflejadas trae consigo una condición importante que se debe considerar para prevenir que exista interferencia en el receptor y pérdidas en la relación señal a ruido, esto es que el tiempo útil debe ser mucho mayor al tiempo de guarda y éste igual o mayor que el tiempo de retardo de las señales reflejadas, es decir: $T_U \gg T_G \geq t_r$. En el análisis teórico realizado en el presente proyecto se observó que el tiempo de retardo de las señales reflejadas moduladas con 64 QAM son notablemente mayores a las señales moduladas con QPSK, lo que indica que existirá menos probabilidad de error durante la transmisión debido a que se tiene menos señales interferentes.
- El software ICS Telecom es capaz de modelar cualquier tipo de red de radio frecuencia, permitiendo gestionar técnicamente el espectro electromagnético. Este software considera la geografía del medio y algunos factores que influyen en la propagación de ondas (difracción, pérdidas, etc.). Es menester indicar que en la presente investigación se verificó que independientemente de la modulación, el principal factor que puede influir en la cobertura de una señal, es la potencia de salida que utilice cada estación y los diferentes parámetros de las antenas, tales como la ganancia, patrón de radiación, entre otros.
- Los parámetros que siempre se deben medir para realizar el análisis de la calidad de una señal digital son la MER (Modulation Error Ratio), el BER (Bit Error Rate), el PER (Packet Error Ratio) y el C/N (Relación portadora-ruido). Esto quiere decir, que cuando se midan los parámetros de cierta señal digital, al menos se deben medir los cuatro parámetros técnicos descritos, debido a que éstos involucran en gran manera las características de la señal y de los posibles errores que pueden existir en la transmisión de dichas señales.

- La Tasa de Error de Modulación, conocida por sus siglas inglesas como MER (Modulation Error Ratio), es una medida que involucra varias características de la señal digital, por lo que es utilizada para cuantificar el rendimiento de una señal modulada digitalmente en un sistema de comunicaciones. Esto se debe a que la MER define un factor que informa la exactitud de una constelación digital, gráficamente se puede apreciar por el “esparcimiento” de puntos alrededor del punto deseado o ideal. La MER permite valorar cómo debe ser una buena señal modulada digital.
- La magnitud del vector de error (EVM) es un parámetro que puede ser calculado a partir de la MER, y por lo tanto los dos parámetros técnicos definen esencialmente lo mismo.
- El BER es un parámetro significativo en el estudio de la calidad de una señal digital, puesto que permite medir la calidad de la señal en cualquier punto de la transmisión en el sistema de TDT implementado, debido a que es el cociente entre el número de bits errados y el número total de bits transmitidos durante un intervalo de tiempo determinado. El BER es un parámetro clave, pues cuando los datos se transmiten a través de cualquier sistema, hay una posibilidad de que factores externos tales como ruido, interferencias y distorsión, introduzcan errores que afectan la calidad de la señal digital. A diferencia de otros parámetros de evaluación, el BER evalúa tanto el inicio como el final de la trayectoria de la señal digital, es decir evalúa incluso el rendimiento del sistema (transmisor, receptor, medio) que transmite la señal digital.
- Generalmente, la señal digital existe o no existe. Sin embargo existe un término intermedio causado por el efecto digital cliff (abismo digital), el cual es el resultado de la pérdida repentina de la recepción de la señal digital. A diferencia de la recepción de señal analógica, cuya potencia de señal se ve reducida gradualmente por las interferencias; la señal digital muestra un estrecho abismo en cuanto a la calidad de señal, dentro del cual la imagen se

visualiza en forma pixelada. Fuera de dicho abismo, la señal recibida es perfecta o no existe. Este efecto se produce con más frecuencia en ambientes cerrados, o debido a la reflexión de las señales en los edificios. Es importante mencionar que un caso muy particular puede darse cuando la misma señal llega al receptor con diferente fase y por lo tanto se anula.

- De acuerdo a los valores de las mediciones realizadas, se pudo observar que el canal Ecuavisa tiene mejor calidad de señal digital, seguido por Ecuador Tv, Teleamazonas y finalmente Telesucesos. Esta conclusión se llegó debido a que mientras mayor es valor de la MER, mejor es la calidad de la señal digital, lo mismo sucede con el PER, BER y C/N.
- Actualmente en normas internacionales, no existen umbrales definidos de los parámetros técnicos para el control de la señal digital analizados en el presente proyecto. Los países que adoptaron la norma ISDB-Tb, se encuentran realizando diversos estudios y pruebas para definir el valor de los parámetros mínimos necesarios, que servirán para transmitir la señal digital de manera confiable y así poder obtener un mecanismo para realizar el control de calidad. Por esta razón, se realizó una comparación de los valores de los parámetros obtenidos con el estudio realizado por CISCO, para constelaciones de modulación DOCSIS.
- Los parámetros técnicos para el control de la calidad de la señal digital, se obtuvieron a partir de mediciones realizadas en la ciudad de Quito; sin embargo, el estudio y resultados se pueden extender para el Ecuador, debido a que se tomó referencia el proceso realizado por la Superintendencia de Telecomunicaciones al momento de elegir el estándar ISDB-Tb, mediante el cual las pruebas realizadas en Quito sirvieron para la adopción del estándar en todo el país, puesto que el desempeño de la norma no presenta diferencias sustanciales en la resolución de imagen y audio. Además, la topografía y climatología de la ciudad de Quito es la más variada en todo el país puesto

que presenta elevaciones, edificaciones, lluvias intensas, etc. que provocan la difracción de la señal a transmitir. Debido a esto, si se analiza la cobertura del país se verificará que la ciudad de Quito, es uno de los territorios que presenta mayor zonas de sombra y será más crítico controlar la calidad de la señal digital.

- La televisión vía terrestre TDT posee una gran ventaja sobre la radiodifusión vía satélite y cable puesto que, además de garantizar la continuidad de los transmisores, redes de repetidores de microondas y antenas dipolo receptoras, solamente necesita de un elemento nuevo para cada televisor al momento de transmitir señal digital, a saber: el decodificador COFDM. Por su lado, la TV vía satélite necesita, además del decodificador, antenas parabólicas que aunque sean relativamente numerosas las ya instaladas corresponden a un porcentaje pequeño en relación a los que carecen de ellas; y la TV vía cable conlleva a la instalación de grandes redes de cables en las ciudades.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para la ejecución de las pruebas según los parámetros técnicos establecidos en el presente proyecto de titulación, se siga el protocolo descrito en el capítulo cuatro, debido a éste constituye un plan o método de trabajo que establece una sucesión cronológica de operaciones relacionadas entre sí, que tienen como propósito determinar correctamente la calidad de una determinada señal digital.
- En Ecuador se han realizado varios esfuerzos por mejorar la calidad de la señal de televisión, es así que el país se encuentra en el proceso de transición de la televisión analógica a la televisión digital; la primera fase de la transición a la TDT está prevista para culminarse hasta diciembre de 2016, en las ciudades con mayor población y hasta diciembre de 2018 se realizará el

cambio definitivo a la llamada “*era digital*”. Sin embargo, cabe indicar que si bien es cierto que la calidad de la señal de televisión es importante para los usuarios ecuatorianos, el contenido de la información que se transmita es aún más fundamental, por lo que se recomienda que el Estado ponga hincapié en los proyectos respecto al control del contenido de la programación, especialmente en los horarios familiares.

- Entre una de las principales ventajas que posee la televisión digital, está la interactividad, de ahí que se recomiende que el Estado Ecuatoriano establezca proyectos para socializar el tema con la población, es decir, informar a los ecuatorianos que la TDT no solamente representa mejor calidad de imagen y sonido; sino que presenta ventajas únicas como la interactividad, a través de la cual el usuario participará en los programas que se emitan en televisión, realizar compras o incluso entregar su voto en las elecciones y consultas que se realicen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OLEAS GUZMÁN, AG (2010). *Historia y Evolución de la Televisión*, Documento Electrónico <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/464/3/Capitulo1.pdf>, Consultado el 10 de diciembre de 2011.
- [2] GUERRERO CÓRDOVA, Roberto. *Historia de la televisión en el Ecuador y en la ciudad de Loja*, Documento Electrónico http://www.utpl.edu.ec/blogjorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/roberto_guerrero-historia-de-la-TV-en-Ecuador-y-en-Loja.pdf, Consultado el 13 de diciembre de 2011.
- [3] SUPERTEL, (2011). *Breve Historia de la Televisión*, Documento Electrónico http://www.supertel.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=213:breve-historia-de-la-television-&catid=61:articulos-recomendados&Itemid=311, Consultado el 13 de diciembre de 2011.
- [4] <http://estructuraecuador.wordpress.com/category/historia-de-la-television/>, Último acceso: 14 de diciembre de 2011.
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Televisi%C3%B3n_en_Ecuador, Último acceso: 15 de diciembre de 2011.
- [6] <http://melca.com.ar/archivos/apuntes/Sistemas%20audiovisuales.%20Televisi%C3%B3n%20anal%C3%B3gica%20y%20digital/TL02204C.pdf>, Último acceso: 17 de diciembre de 2011.
- [7] <http://html.rincondelvago.com/imagen-de-television.html>, Último acceso: 17 de diciembre de 2011.
- [8] PÉREZ GARCÍA, Néstor (2013). «*Gestión del Espectro Radioeléctrico para TV Digital. Tema 1, Generalidades: Parte 1*» Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela, Consultado el 8 de enero de 2013.
- [9] SUPERTEL, «*Operación de las estaciones de televisión abierta analógica en canales adyacentes de la banda III VHF*», Quito, Consultado el 19 de octubre de 2013.
- [10] <https://docs.google.com/presentation/d/1Bc3R5I8G8-LSCwFpjxQtmdfGegduA52eLFQPQ2kjSwU/edit?pli=1#slide=id.p10>,

Último acceso: 10 de enero de 2012.

- [11] <http://www.siste.com.ar/serv02.htm>, Último acceso: 10 de enero de 2012.
- [12] <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/179/1/38T00167.pdf>, Último acceso: 16 de noviembre de 2013.
- [13] http://wikitel.info/wiki/Televisi%C3%B3n_de_alta_definici%C3%B3n, Último acceso: 17 de enero de 2012.
- [14] <http://es.wikipedia.org/wiki/Televisi%C3%B3n>;
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Digital_broadcast_standards.svg, Último acceso: 16 de noviembre de 2013.
- [15] http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Canales_de_televisi%C3%B3n_de_Ecuador, Último acceso: 16 de noviembre de 2013.
- [16] <http://www.pcworld.com.ec/la-television-digital-en-ecuador-una-realidad-cercana/>, Último acceso: 16 de noviembre de 2013.
- [17] SUPERTEL (2010). «Informe para la Definición e Implementación de la Televisión Digital Terrestre en Ecuador», Consultado el 19 de enero de 2012.
- [18] <http://es.wikipedia.org/wiki/ISDB-T>, Último acceso: 17 de enero de 2012.
- [19] <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/television-digital-terrestre-en-el-ecuador/>, Último acceso: 25 de enero de 2012.
- [20] PÉREZ GARCÍA, Néstor (2013).«*Gestión del Espectro Radioeléctrico. Tema 1, Generalidades: Parte 2*», Universidad de Los Andes, Mérida – Venezuela, Consultado el 26 de enero de 2012.
- [21] PISCIOTTA, Néstor Oscar.*Sistema ISDB-Tb*, CIADE-IT, Universidad Blas Pascal, Primera Parte, Consultado el 2 de febrero de 2012.
- [22] MENDES, Luciano; SILVEIRA, Juliano; FAGIANI, Anderson (2011).*Sistema Brasileño de TV Digital*, Santiago, Chile: Inatel, Consultado el 10 de febrero de 2012.
- [23] SUÁREZ, Carlos; JIMÉNEZ, Leonardo; PARRADO, Joaquín.«*Documento Modulación Multiportadora OFDM*», Universidad Distrital España, Consultado el

20 de febrero de 2012.

- [24] <http://es.wikipedia.org/wiki/MPEG-2>, Último acceso: 5 de marzo de 2012.
- [25] PÉREZ, Tania (2012). *Apuntes de Clase y Material Complementario, Televisión Digital*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Consultado el 16 de marzo 2012.
- [26] HIDALGO LASCANO, Pablo (2012). *Apuntes de Clase y Material Complementario, Modulación Digital*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Consultado el 23 de marzo de 2012.
- [27] OCHOA DOMÍNGUEZ, J; MIRELES, J; COTA, J (2007). *Descripción del nuevo estándar de video H.264 y Comparación de su Eficiencia de Codificación con otros Estándares*, Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de la Ciudad Juárez, México http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432007000300004&script=sci_arttext&lng=pt, Consultado el 28 de marzo de 2012.
- [28] PÉREZ GARCÍA, Néstor (2013). *Gestión del Espectro Radioeléctrico para TV Digital, Tema 2, Bases Técnicas: Parte 1*, Mérida - Venezuela: Universidad de los Andes, Consultado el 5 de enero de 2013.
- [29] ABNT (2007). *Televisión Digital Terrestre - Sistema de Transmisión*, Brasil: ABNT NBR 15601:2007, Consultado el 8 de febrero de 2012.
- [30] <http://www.inti.gov.ar/electronicaeinformatica/utc/pdf/ISDBT-2011.pdf>, Último acceso: 11 de noviembre de 2013.
- [31] DE CESARE, Pablo; MARCHI, Edgardo; CERVETTO, Marcos (2011). *Introducción a la TV Digital. Estándar ISDB-T*, Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Consultado el 7 de abril de 2012.
- [32] <http://www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/teoria/Trasmdigital.pdf>, Último acceso: 11 de abril de 2012.
- [33] TAKAHASHI, Yasuo (2007). *ISDB-T seminario técnico en Argentina*, Sección 3: "Sistema de transmisión", Japón, Consultado el 13 de noviembre de 2013.
- [34] http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/LTesis_Ximema_Christian.pdf, Último acceso: 17 de noviembre de 2013.

- [35] http://www.dibeg.org/news/2009/0907Bolivia_ISDB-T_seminar/presentation3.pdf, Último acceso: 18 de noviembre de 2013.
- [36] UIT-R. BT.500-11 (2002), Metodología para la evaluación subjetiva de la calidad de las imágenes de televisión, Consultado el 19 de noviembre de 2012.
- [37] M. LÓPEZ TAFUR (2012), «Cálculo de Cobertura de la Señal de TDT (ISDB-Tb) 2/4», http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/Curso_Calculo_de_cobertura_TDT_2de4.pdf, Consultado el 20 de noviembre de 2012.
- [38] <http://www.slideshare.net/JuanRafaelVillenPulido/modelo-de-canal-con-distribucion-ricc>, Último acceso: 2 de noviembre de 2013.
- [39] I. SUÁREZ (2012), “Determinación de cobertura de señal de los sistemas de transmisión de Televisión Abierta Analógica que operan en la ciudad de Quito”, Consultado el 25 de noviembre de 2013.
- [40] ftp://gic.dsc.ulpgc.es/ETSIT/Antenas_ET SIT/Practicas/Practica_friis.pdf, Último acceso: 18 de noviembre de 2013.
- [41] ROHDE&SCHWARZ ETL TV Analyzer (2010), Operating Manual, Munich, Germany: www.rohde-schwarz.com, Consultado el 10 de febrero de 2013.
- [42] COMERCIO, «Más canales se suman a la TV digital», http://www.elcomercio.ec/negocios/canales-televisión-digital-Ecuador-tecnología-HD_0_916708366.html, Consultado el 5 de enero de 2013.
- [43] UIT-T-G.826 (2002), Sistemas y Medis de Transmisión, Sistemas y Redes Digitales, Consultado el 25 de marzo de 2013.
- [44] ETSI TR 101 290 (1997), Digital Video Broadcasting; Measurement guidelines for DVB systems, Francia: EBU-UER, Consultado el 7 de abril de 2013..
- [45] <http://www.cablefax.com/tech/operations/bestpractices/24367.html>, Último acceso: 15 de mayo de 2013.
- [46] http://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_de_Error_de_Modulaci%C3%B3n, Último acceso: 15 de noviembre de 2013.
- [47] <http://www.ni.com/white-paper/3652/en/>, Último acceso: 22 de mayo de 2013.

- [48] https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_error_rate, Último acceso: 3 de abril de 2013.
- [49] Cisco (1992-2006), Digital Transmission: Carrier-to-Noise Ratio, Signal-to-Noise Ratio and Modulation Error Ratio, USA, Consultado el 1 junio de 2013.
- [50] <http://www.instaladoresdetelecomhoy.com/ber-vs-per-en-dvb-s2/>, Último acceso: 20 de noviembre de 2013.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **ABNT:** Asociación Brasileña de Normas Técnicas
- **AC:** Auxiliar Channel
- **A/D:** Analogic/Digital
- **ADSL:** Asymmetric Digital Subscriber Line
- **AI:** Amplitude Imbalance
- **AM:** Amplitude Modulation
- **API:** Application Programing Interface
- **ASCII:** American Standard Code for Information Interchange
- **ASK:** Amplitude Shift Keying
- **ATSC:** Advanced Television System Committee
- **BANDES:** Banco de Desarrollo Social y Económico
- **BER:** Bit Error Rate
- **BPSK:** Bi Phase Shift Keying
- **BST-OFDM:** Band Segmented Transmission-Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- **BTS:** Broadcast Transport Stream
- **CIF:** Common Image Format
- **C/N:** Carrier Noise Relation
- **CNT:** Corporación Nacional de Telecomunicaciones
- **CONARTEL:** Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión
- **CONATEL:** Consejo Nacional de Telecomunicaciones
- **CP:** Continual Pilot
- **CPE:** Equipo Local del Cliente
- **dB:** Decibelio
- **DCT:** Transformada Discreta Coseno
- **DEM:** Modelo de Elevación Digital
- **DMS:** Coordenadas Degrees-Minutes-Seconds
- **DOCSIS:** Data Over Cable Service Interface Specification

- **DQPSK:** Differential Quadrature Phase Shift Keying
- **DTMB:** Digital Terrestrial Multimedia Broadcast
- **DVB-T:** Digital Video Broadcasting-Terrestrial
- **EDTV:** Enhanced Definition Television
- **ENSA:** Editores Nacionales S.A.
- **ES:** Errored Second
- **ETSI:** European Telecommunications Standards Institute
- **EVM:** Error Vector Magnitude
- **FCS:** Frame Check Sequence
- **FDD:** Frecuencia de DivisiónDúplex
- **FEC:** Forward Error Correction
- **FFT:** Fast Fourier Transform
- **FI:** Frecuencia Intermedia
- **FIFO:** First-In First-Out
- **FM:** Frecuencia Modulada
- **HCJB:** Hoy Cristo Jesús Bendice
- **HDTV:** High Definition Television
- **IFFT:** Inverse Fast Fourier Transform
- **IPP:** ISDB-Tb Information Packet
- **ISDB-T:** Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial
- **ISI:** Interferencia Inter Simbólica
- **LDTV:** Low Definition Television
- **MER:** Modulation Error Ratio
- **MIMO:** Multiple-Input Multiple-Output
- **MPEG:** Moving Pictures Experts Group
- **MTA:** Maximum to Average Constellation Ratio
- **NHK:** Corporación Emisora de Japón o Asociación de Radiodifusión de Japón
- **NRZ-S:** Non Return to Zero Space
- **NTSC:** National Television System Committee

- **OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- **OSI:** Open Systems Interconnection
- **PAL:** Phase Alternating Line
- **PAPR:** Peak to Average Power Ratio
- **PDA:** Personal Digital Assistant
- **PER:** Packet Error Ratio
- **La PER:** Potencia Efectiva Radiada
- **PJ:** Jitter Phase
- **PSK:** Phase Shift Keying
- **QAM:** Quadrature Amplitude Modulation
- **QE:** Quadrature Error
- **QPSK:** Quadrature Phase Shift Keying
- **RF:** Radio Frecuencia
- **RMS:** Root Mean Square (Medida de Potencia)
- **RS:** Reed Solomon
- **RTE:** Residual Target Error
- **RTS:** Red Telesistema
- **R&S®ETL:** Rohde&Schwarz ETL
- **SBTVD:** Sistema Brasileño de Televisión Digital
- **SDTV:** Standard Definition Television
- **SECAM:** Séquentiel Couleur Avec Mémoire, Color Secuencial con Memoria
- **SENATEL:** Secretaría Nacional de Telecomunicaciones
- **SES:** Severely Errored Second
- **SFN:** Single Frequency Network
- **SIMO:** Single-Input Multiple-Output
- **SMPTE:** Society of Motion Picture and Television Engineers
- **SNR:** Signal Noise Relation
- **SP:** Scattered Pilot
- **STB:** Set-top Box

- **STE:** System Target Error
- **SUPERTEL:** Superintendencia de Telecomunicaciones
- **TDD:** Time Division Dúplex
- **TDS-OFDM:** Time Domain Synchronization - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- **TDT:** Television Digital Terrestre
- **TEV:** Target Error Vector
- **TMCC:** Transmission Multiplexing Configuration Control
- **TPS:** Transport Stream Packet
- **TS:** Transport Stream
- **TV:** Television
- **UHF:** Ultra High Frecuency
- **UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones
- **VCEG:** Video Coding Experts Group
- **VHF:** Very High Frecuency

ANEXOS