



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

**“COMPARATIVA ENTRE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN
DIGITAL ISDB-TB Y DVB-T2 CON CANALIZACIÓN 6MHZ”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORA:

DIANA CAROLINA PAZMIÑO ÁVALOS

Riobamba-Ecuador

2021



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

**“COMPARATIVA ENTRE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN
DIGITAL ISDB-TB Y DVB-T2 CON CANALIZACIÓN 6MHZ”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORA: DIANA CAROLINA PAZMIÑO ÁVALOS

DIRECTOR: ING. JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMÍREZ PhD

Riobamba-Ecuador

2021


@2021, Diana Carolina Pazmiño Avalos.

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

Yo, **DIANA CAROLINA PAZMIÑO AVALOS** declaro ser autor del presente trabajo de titulación es de mi autoría, y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de marzo de 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a central vertical stroke. The name "Diana Pazmiño" is faintly visible within the signature.

Diana Carolina Pazmiño Avalos

1720546538

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, “**COMPARATIVA ENTRE LOS ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL ISDB-TB Y DVB-T2 CON CANALIZACIÓN 6MHZ**”, realizado por la señorita **DIANA CAROLINA PAZMIÑO AVALOS**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA (2021/03/10)
Ing. Pedro Severo Infante Moreira Ph.D PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA	2021/03/10
Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramirez Ph.D DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMIREZ	2021/03/10
Ing. Wilson Oswaldo Baldeón Moreira Msc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	WILSON OSWALDO BALDEON LOPEZ  Firmado digitalmente por WILSON OSWALDO BALDEON LOPEZ Fecha: 2021.11.27 10:41:13 -05'00'	2021/03/10

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado con mucho amor a mi familia, de manera especial a mis hijas Giuliana y Angélica, por ser los pilares más importantes en mi vida, la razón por la cual sigo de pie luchando por mis sueños, a mi padre Milton Pazmiño, por su sacrificio para sacar adelante a sus hijas y por enseñarme a no rendirme jamás, a mi hermana Stephanie por ser mi soporte y fortaleza. A mi querida mamá Hilda por ser la abuela más amorosa del mundo, y estar conmigo apoyándome en todo momento, al igual que mis abuelitos Miguel y Ángel que son mis bellos ángeles en el cielo. A mis queridas amigas Gaby, Marllory por no dejarme decaer y animarme a continuar en la lucha por conseguir mis metas, a Felipe, Daniel, Mayrita, Kathy, Andrés y Washington con quienes tuve la dicha de compartir muchas hermosas experiencias durante el transcurso de mi vida como estudiante politécnica y se convirtieron en mis hermanos, dándome su apoyo siempre.

Carito

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta hermosa etapa de mi vida, a mi padre Milton Pazmiño por su sacrificio, confianza y amor incondicional, a mamá Hilda por su cariño y apoyo en todo momento. A todos mis queridos profesores de manera especial a mi Tutor, el Ing. Jefferson Ribadeneira, quien me brindó su apoyo y conocimiento para poder culminar con éxito el presente trabajo de titulación y obtener mi profesión, y a todos quienes conforman la Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de la ESPOCH.

De corazón, mil gracias.

Carito

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	3
1.1	Formulación del problema.....	3
1.2	Sistematización del problema	3
1.3	Justificación Teórica	3
1.4	Justificación aplicativa.....	3
1.5	Objetivos	4
1.5.1	<i>Objetivo general</i>	4
1.5.2	<i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	Televisión Digital Terrestre	5
2.2	Beneficios de la TDT	6
2.3	Televisión Digital en Ecuador.....	6
2.4	Estándar de Televisión Digital ISDB-Tb	7
2.4.1	<i>Modulación OFDM</i>	8

2.4.2	<i>Intervalo de Guarda</i>	10
2.4.3	<i>Sistema de Transmisión</i>	11
2.4.4	<i>Diagrama de Bloques ISDB-Tb</i>	11
2.5	Estándar DVB-T2	12
2.5.1	<i>Ventajas con respecto a DVB-T</i>	13
2.5.2	<i>Tamaño de la FFT</i>	13
2.5.3	<i>Constelación Rotada</i>	14
2.5.4	<i>Intervalo de Guarda</i>	15
2.5.5	<i>Redes SFN</i>	15

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	17
3.1	Rendimiento ISDB-Tb Y DVB-T2	17
3.1.1	<i>Cálculo de CNR (Relación Señal a Ruido) ISDB-Tb</i>	17
3.1.2	<i>Cálculo de CNR DVB-T2</i>	18
3.2	Capacidad ISDB-Tb y DVB-T2	19
3.2.1	<i>Capacidad ISDB-Tb</i>	19
3.2.2	<i>Capacidad DVB-T2</i>	20
3.3	Cobertura ISDB-Tb y DVB-T2	22
3.3.1	<i>Cálculo de intensidad de campo mínima para ISDB-Tb Y DVB-T2</i>	22
3.3.2	<i>ICS Telecom</i>	23

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	29
4.1	Introducción	29
4.2	Rendimiento de ISDB-TB y DVB-T2 con canalización de 6 MHz	29
4.2.1	<i>Resultados obtenidos con el canal AWGN</i>	30
4.2.2	<i>Resultados obtenidos con CANAL RICE</i>	34

4.2.3	<i>Resultados obtenidos con el canal RAYLEIGH</i>	37
4.3	Ganancia en capacidad de DVB-T2 con respecto a ISDB-Tb	41
4.3.1	<i>Resultados de la capacidad de ISDB-Tb vs DVB-T2 con modulación QPSK</i> ..	42
4.3.2	<i>Resultados de la capacidad de ISDB-Tb vs DVB-T2 con modulación 16 QAM</i>	43
4.3.3	<i>Resultado de la capacidad de ISDB-Tb vs DVB-T2 con modulación 64 QAM</i>	45
4.4	Ganancia en cobertura de DVB-T2 con respecto a ISDB-Tb	46
4.4.1	<i>Escenario con una señal ISDB-Tb de 6MHz de canalizacion y modulación 64 QAM</i>	46
4.4.2	<i>Escenario con una señal DVB-T2 DE 6MHz de canalizacion y modulación 64 QAM</i>	49
CONCLUSIONES		51
RECOMENDACIONES		52
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Parámetros OFDM para un sistema ISDB-Tb a 6 MHz	8
Tabla 2-2: Parámetros de un segmento OFDM en ISDB-Tb a 6MHz	8
Tabla 3-2: Capacidad de los diferentes esquemas de modulación	12
Tabla 4-2: Ángulo de rotación para cada tipo de modulación	14
Tabla 5-2: Intervalos de guarda autorizados por la ETSI	15
Tabla 1-3: Tasa de datos de un único segmento	19
Tabla 2-3: Tasa total de datos para 13 segmentos	20
Tabla 3-3: Valores de <i>CP2</i>	21
Tabla 4-3: Valores de <i>Cdata</i>	21
Tabla 5-3: Valores de <i>CFC</i>	22
Tabla 6-3: Valores definidos para la configuración de la estación de Ecuador Tv con ISDB-Tb a 6 MHz de canalización.....	25
Tabla 7-3: Valores definidos para la configuración de la estación de Ecuador Tv con ISDB-Tb a 6 MHz de canalización.....	26
Tabla 1-4: CNR mínimas para ISDB-Tb en un canal AWGN.....	30
Tabla 2-4: CNR mínimas para DVB-T2 en un canal AWGN	30
Tabla 3-4: Comparacion entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal AWGN modulación QPSK .	31
Tabla 4-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal AWGN modulación 16QAM	32
Tabla 5-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal AWGN modulación 64QAM	33
Tabla 6-4: CNR mínimas para ISDB-Tb en un canal RICE	34
Tabla 7-4: CNR mínimas para DVB-T2 en un canal RICE.....	34
Tabla 8-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal RICE modulación QPSK	35
Tabla 9-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal RICE modulación 64QAM .	36
Tabla 10-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal RICE modulación 64QAM	37
Tabla 11-4: CNR mínimas para ISDB-Tb en un canal Rayleigh.....	38
Tabla 12-4: CNR mínimas para DVB-T2 en un canal Rayleigh	38

Tabla 13-4: Comparativa entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación QPSK	
	38
Tabla 14-4: Comparativa entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación 16 QAM	
	39
Tabla 15-4: Comparativa entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación 64 QAM	
	40
Tabla 16-4: Configuración de los parámetros ISDB-Tb y DVB-T2 para obtener la ganancia en capacidad.	41
Tabla 17-4: Cálculo de la Capacidad (Mbps) de ISDB-Tb con 6 MHz de Canalización.....	42
Tabla 18-4: Cálculo de la Capacidad (Mbps) de DVB-T2 MHz con 6MHz de Canalización ...	42
Tabla 19-4: Comparativa de las capacidades de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación QPSK .	43
Tabla 20-4: Comparativa de las capacidades de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación 16QAM	
	44
Tabla 21-4: Comparativa de las capacidades de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación 64QAM	
	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución a nivel mundial de los Estándares de Televisión Digital	1
Figura 1-2: Diagrama TDT (Televisión Digital Terrestre)	5
Figura 2-2: Espectro de una señal OFDM.....	9
Figura 3-2: Organización del canal Radio Eléctrico.....	9
Figura 4-2: Distribución de Portadoras	9
Figura 5-2: Inserción del Intervalo de Guarda	10
Figura 6-2: Transmisión jerárquica en tres capas	11
Figura 7-2: Diagrama de bloques ISDB-Tb	12
Figura 8-2: Diagrama de constelación rotada 16 QAM.....	15
Figura 1-3: Valores de CNR obtenidos en el simulador T2 Calculator.	18
Figura 2-3: Localización del transmisor de la señal de Ecuador Tv en el cerro Santa Mónica..	24
Figura 3-3: Configuración general del transmisor ISDB-Tb	24
Figura 4-3: Ingreso de coordenadas de la estación Ecuador Tv del cerro Santa Mónica, provincia de Orellana	25
Figura 5-3: Configuración general del transmisor DVB-T2.....	27
Figura 6-3: Selección de la norma ITU R-525/526 como modelo de propagación.....	27
Figura 7-3: Configuración de los parámetros de cobertura para ISDB-Tb.....	27
Figura 1-4: Patrón de Radiación del Transmisor de Ecuador Tv – ISDB-Tb	47
Figura 2-4: Configuración de la intensidad de campo mínima para ISDB-Tb	47
Figura 3-4: Cobertura de la señal de Ecuador Tv – ISDB-Tb canalizado a 6 MHz.....	48
Figura 4-4: Cobertura de la señal de Ecuador Tv – ISDB-Tb canalizado a 6 MHz vista desde Google Earth.	48
Figura 5-4: Configuración de la intensidad de campo mínima para DVB-T2.....	49
Figura 6-4: Patrón de Radiación señal DVB-T2	49
Figura 7-4: Cobertura de la señal de Ecuador Tv – ISDB-Tb canalizado a 6 MHz.....	50
Figura 8-4: Cobertura de la señal de Ecuador Tv – DVB-T2 canalizado a 6 MHz vista desde Google Earth.	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Espectro de la señal OFDM con distinto número de portadoras	13
Gráfico 2-2: Espectro de la señal OFDM con distinto número de portadoras	14
Gráfico 1-3: Curva BER vs CNR.....	18
Gráfico 1-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal AWGN modulación QPSK.....	31
Gráfico 2-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal AWGN modulación 16 QAM.....	32
Gráfico 3-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal AWGN modulación 64 QAM.....	33
Gráfico 4-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal RICE modulación QPSK	35
Gráfico 5-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal RICE modulación 16 QAM	36
Gráfico 6-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal RICE modulación 64 QAM	37
Gráfico 7-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación QPSK.....	39
Gráfico 8-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación 16QAM.....	40
Gráfico 9-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación 64QAM.....	41
Gráfico 10-4: Comparativa capacidad vs tasa de codificación de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación QPSK.....	43
Gráfico 11-4: Comparativa capacidad vs tasa de codificación de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación 16QAM	44
Gráfico 12-4: Comparativa capacidad vs tasa de codificación de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación 64QAM	45
Gráfico 13-4: Diferencias entre las ganancias en capacidades para QPSK, 16QAM y 64QAM para DVB-T2 e ISDB-Tb.....	46

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3: Fórmula para calcular la capacidad de celdas por cada frame	22
Ecuación 2-3: Fórmula de la potencia de ruido a la entrada del receptor	22
Ecuación 3-3: Fórmula de la potencia mínima a la entrada del receptor	22
Ecuación 4-3: Fórmula de la Abertura efectiva de la antena	22
Ecuación 5-3: Fórmula de la mínima dfp en la ubicación de recepción	22
Ecuación 6-3: Fórmula de la mínima intensidad de campo equivalente en la ubicación de rec.22	
Ecuación 7-3: Fórmula de la mínima intensidad de campo	23

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ATSC.	Advance television system commite
AWGN	Additive white gaussian noise
CNR.	Carrier to noise ratio
DTMB.	Digital terrestrial multimedia broadcasting
DVB-T2.	Digital video broadcasting terrestrial.
FFT.	Fast fourier transformade
ISDB-Tb.	Integrated service digital broadcasting terrestrial
LDPC.	Low density parity check
OFDM.	Orthogonal frecueny division multiplexing
QAM.	Quadrature amplitude modulation
SFN.	Single frecueny network
TDT.	Televisión digital terrestre

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo investigativo fue realizar la comparación entre los estándares de Televisión Digital ISDB-Tb y DVB-T2 con canalización 6MHz, teniendo como antecedente que nuestro país se acogió en el 2010 a la televisión ISDB-Tb como el estándar apropiado, mientras que en Colombia se escoge a DVB-T2, siendo la primera vez que dicho estándar se utiliza con 6Mhz de canalización, misma que es propia de los países de América Latina. Para lo cual se efectuó la acción comparativa tanto en rendimiento, capacidad y cobertura de dichos estándares, mediante simulaciones en software profesional y cálculos en los canales AWGN, Rice y Rayleigh, y simulación de cobertura con el software ICS Telecom, además se realizó un análisis comparativo de los mismos en los modos de transmisión que presenta cada estándar. Con la finalidad de determinar el rendimiento de los dos estándares de televisión digital y hacer la comparativa entre los valores y determinar que señal es más robusta se efectuó el cálculo de CNR de ISDB-Tb y DVB-T2. Se concluyó que DVB-T2 es mucho más robusto, presenta mayor capacidad y cobertura a diferencia de ISDB-Tb, siendo esto una ventaja al momento de realizar transmisiones en tiempo real y mejora el nivel de recepción de la señal. Se recomienda considerar la robustez que presenta DVB-T2 con respecto a ISDB-Tb al momento del despliegue de las redes de TDT, para que se pueda garantizar un óptimo servicio en la frontera con Colombia, evitando posibles interferencias.

Palabras claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA> <ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL> <MODOS DE TRANSMISIÓN> <TRANSMISIÓN TELEVISIVA DIGITAL> <ICS TELECOM (SOFTWARE)>.



Firmado electrónicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA

2100-DBRA-UPT-2021


2021-11-15

SUMMARY

The objective of this research work was to make a comparison between the ISDB-Tb and DVB-T2 Digital Television standards with 6MHz channeling, having as a precedent that our country welcomed ISDB-Tb television on March 26, 2010 as the appropriate standard, meanwhile in Colombia DVB-T2 is chosen, being the first time that this standard is used with 6Mhz of channeling, which is typical of Latin American countries, for which the comparative action was carried out in terms of performance, capacity and coverage of mentioned standards, through simulations in professional software and calculations in the AWGN, Rice and Rayleigh channels, and simulation of coverage with the ICS Telecom software, in addition, a comparative analysis of them was carried out in the transmission modes presented by each standard. In order to determine the performance of the two digital television standards and make a comparison between the values and determine which signal is more robust, the CNR calculation of ISDB-Tb and DVB-T2 was carried out. It was concluded that DVB-T2 is much more robust, has greater capacity and coverage unlike ISDB-Tb, this being an advantage when transmitting in real time, and improves the reception level of the signal. It is recommended to consider the robustness that DVB-T2 presents with respect to ISDB-Tb at the time of the deployment of DTT networks, so that an optimal service can be guaranteed on the border with Colombia, avoiding possible interferences.

Keywords: <INTEGRATED SERVICES DIGITAL BROADCASTING (ISDB-Tb)>, <DIGITAL VIDEO BROADCASTING TERRESTIAL (DVB-T2)>, <RICE CHANNEL>, <AWGN CHANNEL>, <RAYLEIGH CHANNEL>, <CAPACITY>, <COVERAGE>, <PERFORMANCE>.

WILSON
GONZALO
ROJAS
YUMISACA



Firmado digitalmente
por WILSON
GONZALO ROJAS
YUMISACA
Fecha: 2021.11.19
18:32:36 -05'00'

Lic. Wilson G. Rojas
NOMBRE Y FIRMA PROFESOR

INTRODUCCIÓN

La televisión es sin duda alguna uno de los servicios más utilizados en la actualidad. Desde sus inicios en 1924 hasta la presente fecha, ha experimentado una serie de modificaciones tanto en sus equipos como en los modos que permiten la transmisión de audio y video. El cambio de sistema analógico a digital es sin lugar a duda una de las revoluciones en telecomunicaciones más importantes de la década, permitiendo así mejorar la calidad de servicio de la misma. Ecuador aún presenta un porcentaje considerable de transmisión analógica pese a haber iniciado en el 2018 el proceso de migración a Televisión Digital y tiene previsto finalizar en el 2023. (Mintel, 2012)

TDT (Televisión Digital Terrestre) brinda una mejor calidad de la señal debido al incremento de robustez, resolución y nitidez, hace un mejor uso del espectro radioeléctrico por la posibilidad de hacer redes SFN (Redes de Frecuencia Única), la mismas que permiten crear una red de transmisores que funcionan en una misma frecuencia, sin interferirse, aprovechando de mejor manera el ancho de banda establecido (6Mhz). Surge para dar solución a los dos grandes inconvenientes que presentaba la televisión analógica que es la cantidad de ruido e interferencia.

Existen cuatro tecnologías para transmisión de TDT: Advance Television System Commite (ATSC) que se utiliza en los Estados Unidos, Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting (DTMB) que esta implementada en China, Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T/T2) el estándar que esta implementado en Europa e Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial (ISDB-T/Tb) que se encuentra en Japón, Brasil. En la Figura 1 se puede observar la distribución a nivel mundial de cada tecnología.

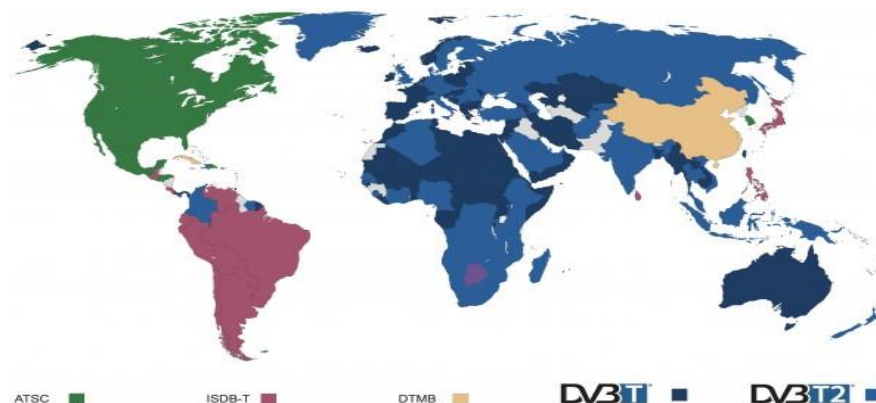


Figura 1: Distribución a nivel mundial de los Estándares de Televisión Digital

Fuente: (Fuentes, 2012)

Los estándares que se usan en Sudamérica son ISDB-Tb que está implementado en Ecuador y DVB-T2 en Colombia, en los cuales se centrará el presente trabajo de investigación.

El 26 de marzo del 2010, luego de varias pruebas de campo, el Ecuador decidió utilizar el estándar japonés con modificaciones brasileñas ISDB-Tb, conformando así la lista de los 11 países que utilizan este tipo de tecnología de TDT en América Latina. Sin embargo, nuestro vecino país Colombia, optó por DVB-T2, generando gran expectativa en la coexistencia de dichos estándares en condiciones de frontera.

Cabe mencionar que el estándar DVB-T2 siempre se ha utilizado con 8MHz de canalización, la misma que es usada en Europa y por primera vez será utilizado con canalización 6MHz en Colombia.

El presente estudio se realiza con la finalidad de comparar el rendimiento y capacidad del estándar ISDB-Tb con respecto a DVB-T2 en canalizaciones de 6 MHz.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Formulación del problema

Nuestro país no dispone de un análisis comparativo sobre DVB-T2 con respecto a ISDB-Tb, además de desconocer el comportamiento del estándar DVB-T2 con 6 MHz de canalización. Por tanto, es adecuado realizar un estudio comparativo entre las tecnologías mencionadas con canalización 6MHz, puesto que en la frontera de Ecuador con Colombia dichos estándares deben coexistir. Si se realiza un despliegue de las redes de los dos países sin ninguna coordinación, pueden ocurrir interferencias, las cuales serían más críticas para el país que tiene la tecnología menos robusta.

1.2 Sistematización del problema

¿Qué comportamiento presenta el estándar europeo DVB-T2 con canalización 6 MHz?

¿Cuáles son las condiciones de convivencia de DVB-T2 con el estándar japonés con modificaciones brasileñas ISDB-Tb?

¿DVB-T2 ofrece ganancia en Cobertura o capacidad con respecto a ISDB-Tb?

1.3 Justificación Teórica

El estándar ISDB-Tb fue adoptado para operar en Ecuador con 6MHz de canalización, presenta portadoras OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) menos separadas en comparación con 8MHz, por lo que sería más susceptible al efecto Doppler.

El estándar DVB-T2 históricamente ha utilizado 8MHz de canalización, por primera vez será utilizado con canalización 6MHz en Colombia, el ruido en un canal de 8MHz será mayor que en un canal con 6Mhz, por lo que la señal a 6 MHz podría ser más susceptible al ruido. DVB-T2 usa nuevos métodos de codificación, mejorando así la cobertura con respecto a ISDB-Tb.

1.4 Justificación aplicativa

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación serán de gran ayuda para el despliegue de redes de Televisión Digital Terrestre en el país. Para lo cual se presentan los resultados de la comparativa entre el rendimiento de ISDB-Tb y DVB-T2 con canalización 6 MHz, dado que anteriormente DVB-T2 se ha utilizado solo con canalización de 8Mhz. Además,

se presentan los valores de ganancia en capacidad y ganancia en cobertura de DVB-T2 con respecto a ISDB-Tb, estos resultados son especialmente útiles al momento de la implementación de transmisores en las zonas fronterizas, donde estos dos estándares deben convivir.

1.5 Objetivos

1.5.1 *Objetivo general*

Realizar la comparativa entre los estándares de Televisión Digital ISDB-Tb y DVB-T2 con canalización 6MHz.

1.5.2 *Objetivos específicos*

- Determinar el rendimiento de ISDB-Tb y DVB-T2 con canalización 6 MHz.
- Determinar la ganancia en capacidad de DVB-T2 con respecto a ISDB-Tb
- Determinar la ganancia en cobertura entre DVB-T2 con respecto a ISDB-Tb

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Televisión Digital Terrestre

Los radioenlaces de TDT ocupan el mismo ancho de banda (6MHz) que los canales usados por la televisión analógica con la diferencia de que poseen gran capacidad para transmitir un número variable de programas de televisión. Un programa está conformado por audio y video, La TDT representa una mejora en la recepción de la señal televisiva optimizando de mejor manera el espectro radioeléctrico.

El proceso de digitalización lo realiza el convertor A/D, el mismo que comprime, almacena y transporta la señal.

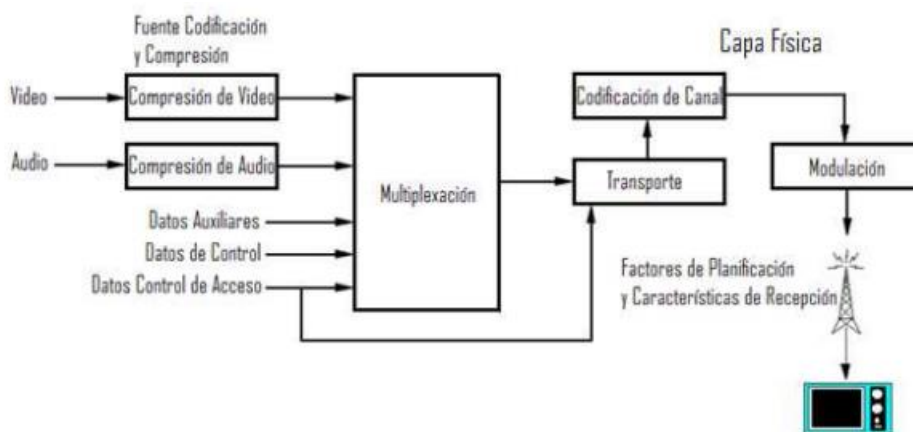


Figura 1-2: Diagrama TDT (Televisión Digital Terrestre)

Fuente: (Mariño, 2010)

En la figura 1-2 se puede apreciar el diagrama de TDT. En la primera etapa que es la codificación de la fuente hace uso de técnicas adecuadas de compresión, así como métodos para reducir la velocidad de la tasa de bits, siendo las más utilizadas MPEG2 (Moving Picture Experts Group versión 2) y MPEG4 (Moving Picture Experts Group versión 4). La segunda etapa que es la multiplexación y transporte divide el flujo de datos en paquetes de información, una vez identificados los paquetes de audio, video, datos, y auxiliares, se multiplexan en una sola trama que transporta la información. La tercera etapa que es la codificación del canal, que introduce códigos de corrección y protección ante errores introducidos por el canal, se efectúa la forma de onda de las señales para que puedan pasar por la etapa de modulación para finalmente poder ser transmitida. (Mariño, 2010)

2.2 Beneficios de la TDT

Una de las ventajas más importantes es sin lugar a duda la posibilidad de acceder a múltiples programas dentro de la señal de una misma estación (multiprogramación) en una alta calidad, la recepción de alertas de emergencia, permitiendo así que la televisión se sume a los dispositivos que entregan a la población mensajes que ayudan a salvar vidas, A todos estos beneficios se le suman el hecho de trabajar con redes de única frecuencia (SFN) que requieren menor potencia de transmisión, sonido multicanal, aumenta la oferta de programas y servicios multimedia y uno de los más importantes mejora la calidad de imagen y sonido. (MINTEL, 2012)

2.3 Televisión Digital en Ecuador

El Ecuador empieza a regular la concesión de canales de televisión el 5 de diciembre de 1959, fecha en la que se atribuye el nacimiento legal del servicio de televisión en el país constituyéndose en uno de los servicios favoritos de telecomunicaciones en el país, el mismo que ha ido mejorando día tras día, hasta llegar a la digitalización de dicha señal. La TDT es de gran importancia en países en vías de desarrollo ya que permite disminuir las brechas sociales. El 18 de Octubre del 2007, el Presidente de la República delegó a la SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones) actualmente ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones) el análisis para definir en estándar de TDT adecuado para el país entre DVB-T e ISDB-Tb, las pruebas con los equipos se llevaron a cabo el 09 de diciembre de 2009 con ISDB-Tb y el 11 de febrero de 2009 con DVB-T. (Alulema, 2012)

Del informe presentado por la SUPERTEL se desplegaron las siguientes conclusiones:

- DVB-T e ISDB-Tb presentaban rendimientos similares en áreas pobladas.
- El sistema ATSC es inadecuado dado su pobre rendimiento en condiciones multicamino.
- ISDB-Tb tiene mejor rendimiento en condiciones indoor, presenta ventajas de rendimiento frente a ruido y mayor flexibilidad en recepción móvil.

Por tales motivos, el 26 de Marzo del 2010, Ecuador decide adoptar el estándar de TDT ISDB-Tb. Actualmente, el Ecuador cuenta con 82 operadoras de televisión. (Alulema, 2012)

2.4 Estándar de Televisión Digital ISDB-Tb

ISDB-Tb es un conjunto de normas creadas en Japón con modificaciones Brasileñas para transmisión de radio y televisión digital que actualmente se está implementando en un gran número de países. Además, el estándar contempla la recepción de televisión digital en dispositivos móviles, la cual se denomina One-Seg, ARIB (Asociación de Industrias y Negocios de Radiodifusión) es la entidad encargada tanto de la creación como del mantenimiento de dicho estándar. (Fuentes, 2012 pág. 27)

ISDB-Tb es un estándar de TDT pensado para la aplicación en canales de 6, 7 y 8MHz, emplea “modulación” COFDM (Coded Multiplexación por división ortogonal de frecuencia). Es importante en este punto aclarar que, si bien COFDM se puede interpretar como una técnica de multiplexación, en el ámbito de las transmisiones de TDT es común referirse a ella como una técnica de modulación. Por tanto, en el presente documento se referirá a ella como “*modulación OFDM*”. Dicha modulación posee 204 símbolos por cada cuadro. Otra característica importante es el uso del servicio de banda angosta One Seg. ISDB-Tb contempla tres modos de operación, que son caracterizados por el tamaño de la FFT (Fast Fourier Transform) utilizada en la generación de la señal OFDM, y que tienen directa relación con el número de subportadoras utilizadas. Dichos modos de operación son:

- FFT 2K equivale al Modo 1
- FFT 4K equivale al Modo 2
- FFT 8K equivale al Modo 3 (Fuentes, 2012 pág. 28)

En la tabla 1-2 se muestra los parámetros principales del espectro de la señal para un sistema ISDB-Tb canalizado a 6Mhz. Por otro lado, ISDB-Tb es un estándar de espectro segmentado, debido a que se divide todo el espectro disponible (en este caso 6 MHz) en 14 segmentos, de los cuales 13 se utilizan para la generación de la señal OFDM. Estos segmentos OFDM deben convertirse en señales de transmisión OFDM mediante la FFT, el segmento presenta las características señaladas en la tabla 2-2.

Los datos transmitidos deben utilizar MPEG-4 TS (Transport Stream). Es necesario recalcar que la señal ISDB-Tb añade un offset en frecuencia, por lo la frecuencia de la señal de transmisión debe desplazarse en 142.857 KHz en relación de la frecuencia central. (Fuentes, 2012 pág. 28)

Tabla 1-2: Parámetros OFDM para un sistema ISDB-Tb a 6 MHz

Parámetros	Modo 1 (2K)	Modo 2(4K)	Modo 3(8K)
Nº de segmentos	13	13	13
Ancho de banda del segmento	428,57 kHz	428,57 kHz	428,57 kHz
Banda UHF	5,575 MHz	5,573 MHz	5,572 MHz
Nº de portadoras	1405	2809	5617
Duración de los símbolos activos	252 μ s	504 μ s	1008 μ s
Separación de portadoras	Bws/108 = 3,968 kHz	Bws/216 = 1,984 kHz	Bws/432 = 0,992 kHz
Duración del intervalo de guarda	63; 31,5; 15,75;	126; 63; 31,5;	252; 126; 63;
Duración total de los símbolos	315; 283,5;	628; 565; 533,5;	1260; 1134;
Nº de símbolos OFDM	204	204	204
Entrelazado interno	0; 380; 760;	0; 190; 380; 760	0; 95; 190; 380

Fuente: (Ribadeneira, 2012 pág. 11)

Tabla 2-2: Parámetros de un segmento OFDM en ISDB-Tb a 6MHz

Parámetros	Modo 1 (2K)	Modo 2(4K)	Modo 3(8K)
Separación entre frecuencias portadoras	250/63 kHz	125/63 kHz	125/126 kHz
Nº de portadoras (QPSK, 16QAM, 64QAM)	Total	108	216
	Datos	96	192
	SP	9	18
	CP	0	0
	TMCC	1	2
	AC1	2	4
	AC2	0	0
Símbolos por cuadro	204	204	204
Tamaño del símbolo efectivo	252 μ s	504 μ s	1008 μ s
Longitud del cuadro	64,26 ms (1/4)	128,52 ms (1/4)	257,04 ms (1/4)
Frecuencia de muestreo IFFT	512/63 MHz	512/63 MHz	512/63 MHz
Entrelazado interno	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8		

Fuente: (Ribadeneira, 2012 pág. 12)

2.4.1 Modulación OFDM

La modulación OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) se define como un sistema que emplea un número considerable de portadoras ortogonales entre sí a distintas frecuencias, cada una transporta una porción de la información que se requiere transmitir (se reparte el flujo de bits entre las diversas portadoras existentes). (Vergés, 2010 pág. 10).

Como se aprecia en la figura 2-2, la modulación OFDM hace uso del dominio del tiempo y del dominio de la frecuencia para el uso de un canal con intervalos de tiempo en los que las condiciones se mantienen estables. El dominio de la frecuencia divide al canal en una cierta cantidad de sub-bandas de reducida anchura (subportadoras), mientras que el dominio del tiempo divide al canal en pequeños intervalos de tiempo (Símbolo OFDM). (Guedes, 2016)

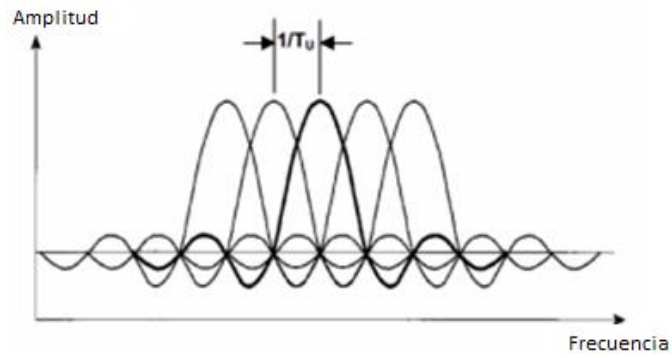


Figura 2-2: Espectro de una señal OFDM

Fuente: (Ribadeneira, 2012 pág. 8)

Como se observa en la figura 3-2 y 4-2, cada sección de la partición frecuencia/tiempo se usa para colocar una portadora específica. Durante cada intervalo de tiempo, las portadoras son moduladas con bits de datos codificados, el número de bits que serán transmitidos por cada una de las portadoras depende del tipo de modulación utilizada. (Pisciotta, 2010 pág. 3)

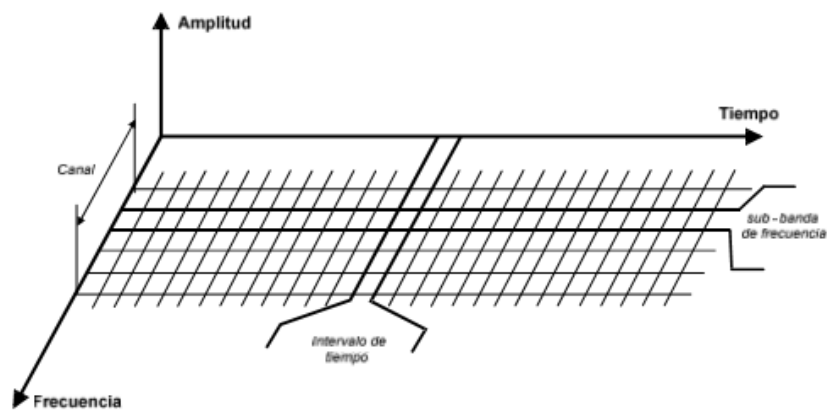


Figura 3-2: Organización del canal Radio Eléctrico

Fuente: (Pisciotta, 2010)

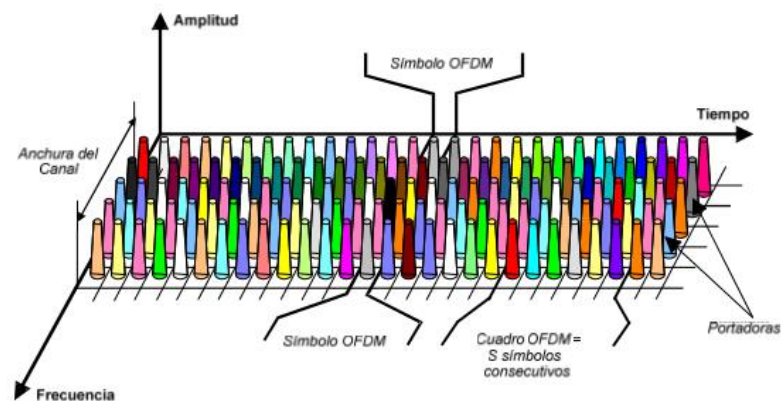


Figura 4-2: Distribución de Portadoras

Fuente: (Pisciotta, 2010)

2.4.1.1 Ventajas de OFDM

Permite la utilización de redes SFN en áreas extensas o reducidas, facilita la corrección de errores al receptor, lo que permite que la modulación sea robusta frente a las interferencias co-canal. También presenta robustez frente a las diferencias de retardo debido al efecto multicamino y mejora la eficiencia espectral. (Pisciotta, 2010).

2.4.2 Intervalo de Guarda

El intervalo de guarda es una extensión del tiempo total en que se transmite un símbolo, introduce inmunidad a los retardos, ecos y reflexiones de propagación, utiliza varias portadoras para transmitir la información. En redes MFN (Redes de múltiple Frecuencia) se utiliza con la finalidad de contrarrestar los efectos multicamino. En redes SFN su objetivo es disminuir la interferencia entre los transmisores que utilizan la misma frecuencia. (Pisciotta, 2010 pág. 6)

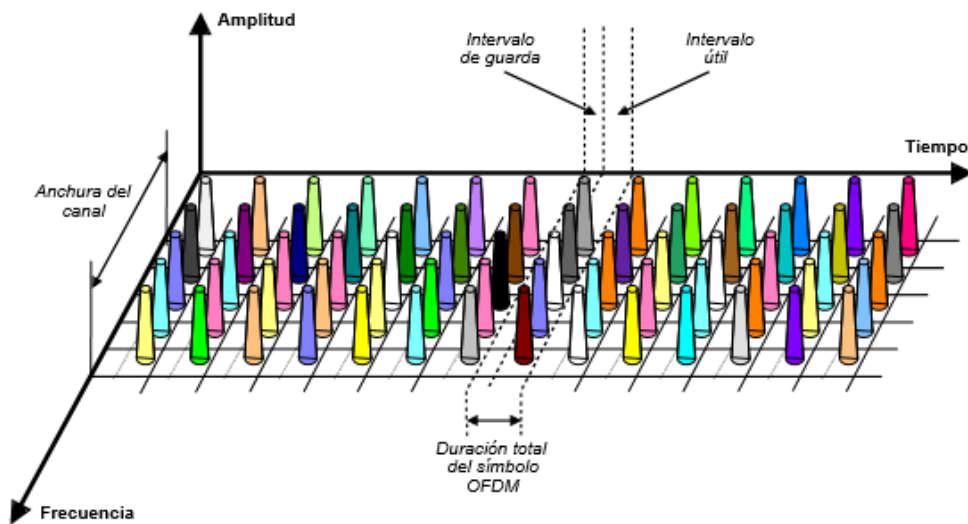


Figura 5-2: Inserción del Intervalo de Guarda

Fuente: (Pisciotta, 2010)

En la figura 5-2 se aprecia la inserción del intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo OFDM, este periodo de tiempo es una repetición de una porción final del símbolo OFDM al inicio del mismo.

2.4.3 Sistema de Transmisión

ISDB-Tb organiza la información a transmitir en tres capas jerárquicas diferentes denominadas A, B, y C como muestra la figura 6-2, esta función es de gran importancia y es la razón por la que el canal ha sido dividido en segmentos, convirtiéndolo de esta forma en un sistema de banda segmentada. (Pisciotta, 2010 pág. 9)

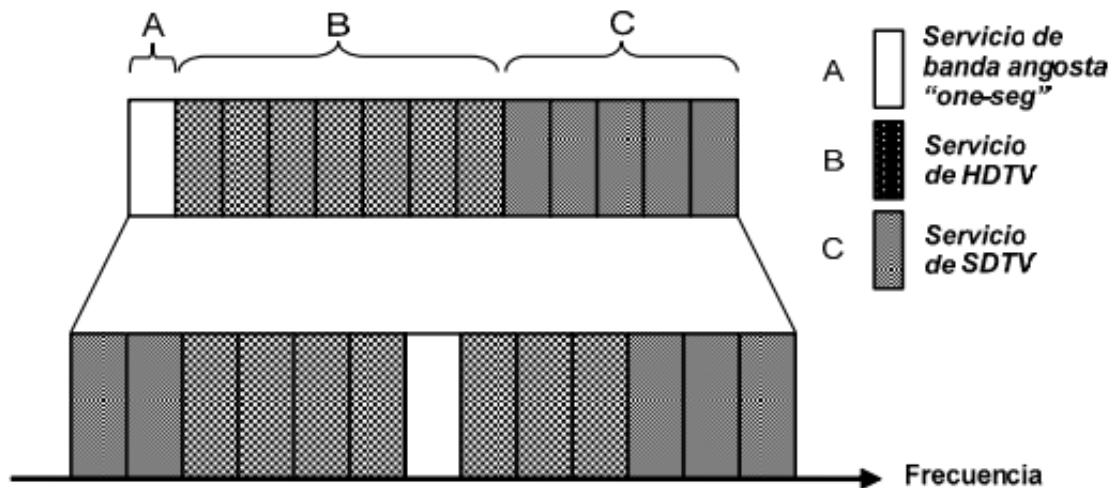


Figura 6-2: Transmisión jerárquica en tres capas

Fuente: (Pisciotta, 2010)

Cada una de las capas está conformada por uno o más segmentos OFDM, tantos como el ancho de banda del servicio necesite para su correcto funcionamiento, el segmento central puede ser utilizado para recepción parcial, este servicio tiene como finalidad la transmisión para dispositivos móviles y se denominación One Seg. (Pisciotta, 2010 pág. 26)

2.4.4 Diagrama de Bloques ISDB-Tb

El diagrama de bloques de ISDB-Tb consta de 4 bloques, uno de entrada, codificación del canal, modulación y radiofrecuencia como se observa en la figura 7-2. El bloque de codificación de canal es el encargado de añadir la protección necesaria a los bits de datos, el bloque de modulación realiza el mapeo de bits, combinaciones de capas A, B y C, entrelazados en frecuencia y tiempo e inserción del intervalo de guarda. (Pisciotta, 2010 pág. 27)

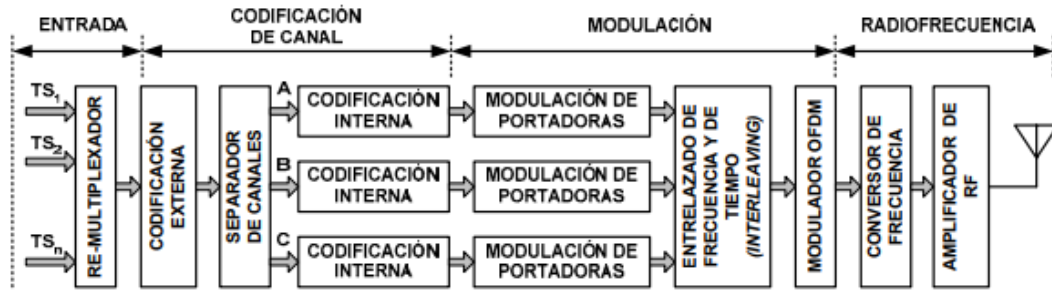


Figura 7-2: Diagrama de bloques ISDB-Tb

Fuente: (Pisciotta, 2010)

2.5 Estándar DVB-T2

DVB-T2 es la extensión DVB-T, ideado para la transmisión de televisión digital terrestre, el sistema transmite audio y video digital comprimido, es un sistema óptimo para la transmisión de señales de televisión en HD, mejora su desempeño y permiten alcanzar capacidades de transmisión mayores así como aumentar su área de cobertura. (Ribadeneira, 2012 pág. 14)

Posee 6 valores distintos de FFT configurables:

- 1K (anchos de banda de 1.7MHz, banda II y L)
- 2k,4k,6k y 16K (depende de la robustez frente al efecto Doppler)
- 32K (Altas tasas de datos en T2) (Fuentes, 2012 pág. 14)

Al incluir tamaños grandes de FFT se permite la reducción de las interferencias de canal adyacente. DVB-T2 utiliza modulación OFDM con 68 símbolos por cuadro, para evitar la interferencia entre símbolos utiliza intervalos de guarda 1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128. Utiliza modulación QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM con 2, 4, 6 y 8 bits por símbolo (Fuentes, 2012 pág. 20), lo cual establece una ganancia en capacidad con respecto a QPSK como se puede ver en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Capacidad de los diferentes esquemas de modulación

Modulación	Ganancia en capacidad
QPSK	0%
16-QAM	100%
64-QAM	200%
256-QAM	300%

Fuente: (Ribadeneira, 2012)

2.5.1 Ventajas con respecto a DVB-T

DVB-T2 es la extensión del estándar europeo DVB-T presentando grandes mejoras con respecto a su predecesor. Sin embargo, no fue creado con el afán de reemplazarlo sino de garantizar su coexistencia en el mercado durante algún tiempo. (Fuentes, 2012 pág. 20)

Fuentes Muela en su publicación (2010) manifiesta que DVB-T2 y presenta un 30% más de capacidad, ofrece mayor tasa de bits para la transmisión de señales HD y ofrece más parámetros de configuración con el fin de ajustarse a la mayoría de posibles escenarios de despliegue.

2.5.2 Tamaño de la FFT

DVB-T2 incluye tamaños de FFT más grandes 16K, 32K que mejoran el rendimiento de las redes SFN, mientras que 1K y 4K mejoran el rendimiento en movilidad, por lo que DVB-T2 posee 6 modos de tamaño de FFT configurables 1K, 2K, 4K, 8K, 16K, y 32K. Como se aprecia en la figura 8-1 el hacer uso de tamaños grandes de FFT garantiza la reducción de interferencias de canal adyacente, gracias a la rápida caída del espectro que esto genera. (Fuentes, 2012 pág. 21)

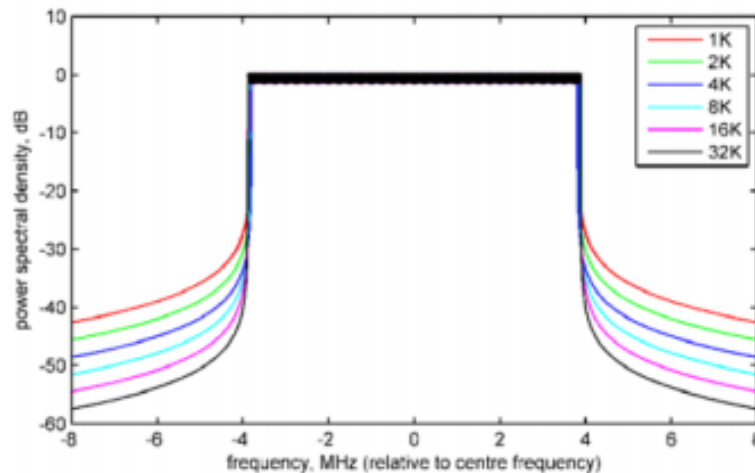


Gráfico 1-2: Espectro de la señal OFDM con distinto número de portadoras

Fuente: (Fuentes, 2012)

Para tamaños mayores a 8K, y con la finalidad de evitar interferencias de canal adyacente, se hace uso del modo de portadora extendido, el mismo que modifica el factor de roll – off en los extremos del espectro y propicia una caída más abrupta de espectro, lo que aumenta la capacidad de datos, en el gráfico 2-2 se puede apreciar que la caída del modo 32K es más abrupta que del modo 2K.

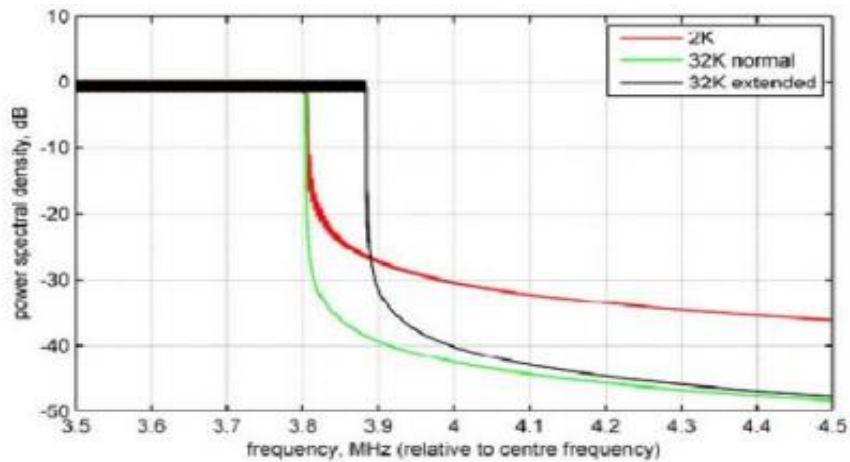


Gráfico 2-2: Espectro de la señal OFDM con distinto número de portadoras

Fuente: (Fuentes, 2010).

2.5.3 Constelación Rotada

DVB-T2 ofrece la opción de rotar los puntos de la constelación en un determinado ángulo, con la finalidad de que los símbolos puedan re-construirse a partir de un único eje de la constelación, de forma que, si se llega a afectar el valor del otro eje durante la transmisión, este se pueda recuperar gracias a que cada componente I, Q contiene la información suficiente del símbolo. El objetivo de la rotación también es que tanto I como Q no dependan entre sí (Fuentes, 2012 pág. 23)

El principal beneficio de las constelaciones rotadas es mejorar la robustez de la señal en canales con desvanecimientos selectivos en tiempo y frecuencia, generando mayor ganancia con constelaciones de orden bajo (QPSK, 16-QAM) y tasas de codificación elevadas (3/4, 5/6, 7/8). (Fuentes, 2012 pág. 23)

Cada modulación presenta un ángulo determinado de rotación para la constelación, el mismo que se aprecia en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Ángulo de rotación para cada tipo de modulación

Modulation	QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM
Φ (degrees)	29,0	16,8	8,6	atan (1/16)

Fuente: (Fuentes, 2012)

Haciendo uso de los parámetros mencionados, se presenta como ejemplo el diagrama de constelación rotada de la modulación 16 QAM que se puede ver en la figura 8-2.

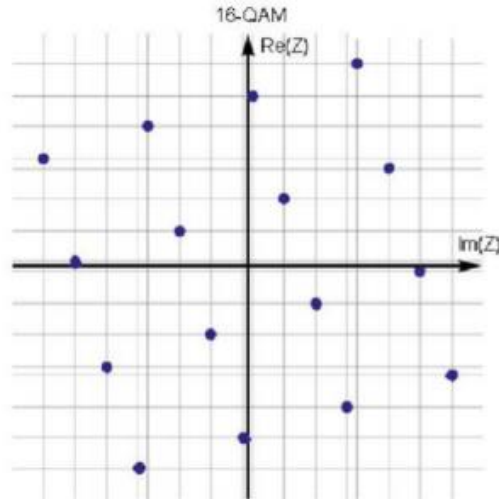


Figura 8-2: Diagrama de constelación rotada 16 QAM

Fuente: (Fuentes, 2012)

2.5.4 Intervalo de Guarda

DVB-T2 utiliza nuevos intervalos de guarda con respecto a su predecesor DVB-T. Sin embargo, según la ETSI 302 755 (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones), no todos están permitidos. En la Tabla 5-2 se observa los intervalos autorizados dependiendo del tamaño de la FFT.

Tabla 5-2: Intervalos de guarda autorizados por la ETSI

FFT size	Guard interval fraction (Δ/T_U)						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	256T	1 024T	2 048T	2 432T	4 096T	4 864T	NA
16K	128T	512T	1 024T	1 216T	2 048T	2 432T	4 096T
8K	64T	256T	512T	608T	1 024T	1 216T	2 048T
4K	NA	128T	256T	NA	512T	NA	1 024T
2K	NA	64T	128T	NA	256T	NA	512T
1K	NA	NA	64T	NA	128T	NA	256T

Bandwidth	1,7 MHz	5 MHz	6 MHz	7 MHz	8 MHz	10 MHz (see note)
Elementary period T	71/131 μ s	7/40 μ s	7/48 μ s	1/8 μ s	7/64 μ s	7/80 μ s
NOTE:	This configuration is only intended for professional applications and is not expected to be supported by domestic receivers.					

Fuente: (Fuentes, 2012)

2.5.5 Redes SFN

Este tipo de redes hace uso de una única frecuencia para difundir la información cubriendo grandes áreas con una frecuencia central común. Presenta no solamente eficiencia en frecuencia, sino también en potencia debido a que utiliza varias señales de diferentes transmisores con la misma información, y esto a su vez permite que la potencia de cada transmisor sea menor. Es

necesario que las emisiones estén sincronizadas para aprovechar las ventajas de La OFDM, esto es que todas las señales que llegan dentro del intervalo de guarda son señales constructivas (Rodríguez, 2012)

2.5.5.1 *Ventajas de SFN*

Las redes SFN presenta las siguientes ventajas:

- Ganancia Interna, lo que permite una menor potencia de transmisión
- Probabilidad de localización elevada
- Ofrece cobertura en zonas de sombra
- Uso eficiente del espectro
- Se requiere un reducido número de canales para realizar la cobertura de una determinada área
- Mejora la relación S/N. (Rodríguez, 2012)

2.5.5.2 *Desventajas de SFN*

Cada uno de los elementos de la red SFN necesitan un proceso de sincronización, se debe respetar una distancia mínima entre los transmisores que utilicen la misma frecuencia y la red no puede dividirse. (Rodríguez, 2012)

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla los mecanismos, fórmulas y normativas utilizadas para el análisis de los objetivos planteados en el proyecto de Tesis, el mismo que consta de tres etapas, la primera se realiza el cálculo de CNR de ISDB-Tb y DVB-T2, con la finalidad de determinar el rendimiento de los dos estándares de televisión digital y hacer la comparativa entre los valores y determinar que señal es más robusta.

La segunda etapa consta del cálculo de la capacidad de ISDB-Tb y DVB-T2 para poder verificar el estándar que otorga mayor capacidad, y como tercera etapa se realiza simulaciones de cobertura con un software profesional de simulación para ISDB-Tb y DVB-T2, una vez obtenidas las simulaciones, se comparará que señal es la que más cobertura presenta.

3.1 Rendimiento ISDB-Tb Y DVB-T2

3.1.1 Cálculo de CNR (Relación Señal a Ruido) ISDB-Tb

Para obtener los valores de CNR en ISDB-Tb, se tomó como base las simulaciones realizadas por Manuel Fuentes Muela en su publicación (Fuentes, 2012), el mismo que manifiesta para valores de CNR bajos, las tasas de BER (Bit Error Rate) son altas, y conforme a como sigue creciendo la CNR, el valor del BER decrece y permite que los datos recibidos tengan menos errores, debido a que la señal supera al nivel de ruido existente. Esta relación CNR vs BER se puede observar en el gráfico 1-3.

Cada uno de los valores calculados de CNR son los exactos para que la señal de ISDB-Tb pueda ser correctamente demodulada y decodificada en recepción, es decir que el BER experimento sea menor a 2×10^{-4} , valor establecido en la ITU 1368-8.

Los valores obtenidos presentan la siguiente configuración:

- 13 segmentos en capa B
- IG: 1/4

- 5 frames
- FFT 8K
- I:0 (sin entrelazado temporal)

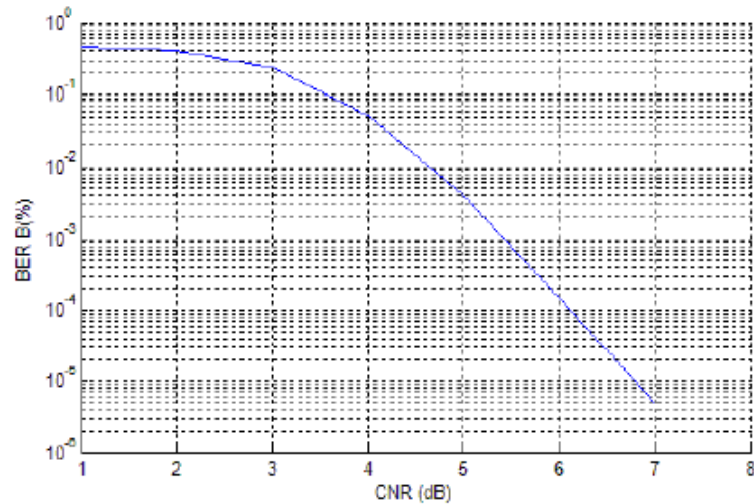


Gráfico 1-3: Curva BER vs CNR

Fuente: (Fuentes, 2012)

3.1.2 Cálculo de CNR DVB-T2

Para el cálculo de la CNR de DVB-T2, se utiliza un software profesional de simulaciones “T2 Calculator with SFN” como se puede verificar en la figura 1-3, configurado a 6MHz de canalización.

Const	C R	BITRATE*				AWGN*			F1*			P1*			Qd
		T2	T1	Delta		T2	T1	Delta	T2	T1	Delta	T2	T1	Delta	
QPSK	1/2	6,37 Mbps	5,53 Mbps	+0,84 Mbps	+15%	1,0 dB	3,5 dB	+2,5 dB	1,2 dB	4,1 dB	+2,9 dB	2,0 dB	5,9 dB	+3,9 dB	1,7
	3/5	7,65 Mbps				2,3 dB			2,5 dB			3,6 dB			3,2
	2/3	8,55 Mbps	7,37 Mbps	+1,18 Mbps	+16%	3,1 dB	5,3 dB	+2,2 dB	3,4 dB	6,1 dB	+2,7 dB	4,9 dB	9,6 dB	+4,7 dB	4,5
	3/4	9,58 Mbps	8,30 Mbps	+1,29 Mbps	+16%	4,1 dB	6,3 dB	+2,2 dB	4,4 dB	7,2 dB	+2,8 dB	6,2 dB	12,4 dB	+6,2 dB	5,7
	4/5	10,23 Mbps				4,7 dB			5,1 dB			7,1 dB			6,6
16QAM	5/6	10,68 Mbps	9,22 Mbps	+1,46 Mbps	+16%	5,2 dB	7,3 dB	+2,1 dB	5,6 dB	8,5 dB	+2,9 dB	7,9 dB	15,6 dB	+7,7 dB	7,5
	7/8		9,68 Mbps									9,2 dB			17,5 dB
	1/2	12,80 Mbps	11,06 Mbps	+1,74 Mbps	+16%	6,0 dB	9,3 dB	+3,3 dB	6,2 dB	9,8 dB	+3,6 dB	7,5 dB	11,8 dB	+4,3 dB	7,2
	3/5	15,37 Mbps				7,6 dB			7,8 dB			9,3 dB			9,0
	2/3	17,11 Mbps	14,75 Mbps	+2,36 Mbps	+16%	8,9 dB	11,4 dB	+2,5 dB	9,1 dB	12,1 dB	+3,0 dB	10,8 dB	15,3 dB	+4,5 dB	10,4
	3/4	19,23 Mbps	16,59 Mbps	+2,64 Mbps	+16%	10,0 dB	12,6 dB	+2,6 dB	10,4 dB	13,4 dB	+3,0 dB	12,4 dB	18,1 dB	+5,7 dB	12,1
	4/5	20,52 Mbps				10,8 dB			11,2 dB			13,6 dB			13,4
	5/6	21,35 Mbps	18,44 Mbps	+2,92 Mbps	+16%	11,4 dB	13,8 dB	+2,4 dB	11,8 dB	14,8 dB	+3,0 dB	14,5 dB	21,3 dB	+6,8 dB	14,4
	7/8		19,36 Mbps									15,7 dB			23,6 dB
	1/2	19,17 Mbps	16,59 Mbps	+2,57 Mbps	+16%	9,9 dB	13,8 dB	+3,9 dB	10,2 dB	14,3 dB	+4,1 dB	11,9 dB	16,4 dB	+4,5 dB	11,8
	3/5	23,03 Mbps				12,0 dB			12,3 dB			14,0 dB			13,9
	2/3	25,66 Mbps	22,12 Mbps	+3,54 Mbps	+16%	13,5 dB	16,7 dB	+3,2 dB	13,8 dB	17,3 dB	+3,5 dB	15,6 dB	20,3 dB	+4,7 dB	15,5

Figura 1-3: Valores de CNR obtenidos en el simulador T2 Calculator.

Realizado por: (Pazmiño Diana,2021)

3.2 Capacidad ISDB-Tb y DVB-T2

3.2.1 Capacidad ISDB-Tb

Los valores de la capacidad de ISDB-Tb según la norma brasileña ABNT NBR 15601 vienen establecidos por las tablas 1-3 y 2-3

Tabla 1-3: Tasa de datos de un único segmento

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	312,08	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	488,09	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.

Fuente: (ABNT, 2007)

Los valores que se tomaron como referencia para la comparativa son los datos para 13 segmentos, con un ancho de banda de 6MHz, modulación QPSK, modo 3 (8k), código convolucional 2/3 e intervalo de guarda 1/8.

Tabla 2-3: Tasa total de datos para 13 segmentos

Modulación de la portadora	Código convolucional	Número de TSP transmitidos (Modos 1/ 2/ 3)	Tasa de datos Mbps			
			Intervalo de guarda 1/4	Intervalo de guarda 1/8	Intervalo de guarda 1/16	Intervalo de guarda 1/32
DQPSK	1/2	156/312/624	3,651	4,056	4,295	4,425
	2/3	208/416/832	4,868	5,409	5,727	5,900
QPSK	3/4	234/468/936	5,476	6,085	6,443	6,638
	5/6	260/520/1040	6,085	6,761	7,159	7,376
	7/8	273/546/1092	6,389	7,099	7,517	7,744
16QAM	1/2	312/624/1248	7,302	8,113	8,590	8,851
	2/3	416/832/1664	9,736	10,818	11,454	11,801
	3/4	468/936/1872	10,953	12,170	12,886	13,276
	5/6	520/1040/2080	12,170	13,522	14,318	14,752
	7/8	546/1092/2184	12,779	14,198	15,034	15,489
64QAM	1/2	468/936/1872	10,953	12,170	12,886	13,276
	2/3	624/1248/2496	14,604	16,227	17,181	17,702
	3/4	702/1404/2808	16,430	18,255	19,329	19,915
	5/6	780/1560/3120	18,255	20,284	21,477	22,128
	7/8	819/1638/3276	19,168	21,298	22,551	23,234

NOTA En esta tabla, los mismos parámetros se especifican para todos los 13 segmentos. La tasa total de datos durante la transmisión jerárquica varía dependiendo de los parámetros de configuración jerárquica. El volumen transmitido por los 13 segmentos es igual a la suma de todos los volúmenes de datos transmitidos por esos segmentos, que puede ser determinado de acuerdo con la Tabla 4.

Fuente: (ABNT, 2007)

3.2.2 Capacidad DVB-T2

Para el cálculo de la capacidad, se tomó en cuenta la especificación técnica ETSI TS 102 831 V1.1.1, la misma que menciona que para el cálculo de la capacidad de DVB-T2 son necesarios algunos parámetros tales como:

- Tamaño de la FFT (Fast Fourier Transforme)
- Intervalo de guarda
- Patrón Piloto
- Ancho de banda
- Tonos de reserva (TR)

- Uso de SISO o MISO
- Frames
- La medida del frame T2 en los símbolos OFDM (L_F)
- Code rate utilizado para PLPs y L_{1PS}
- Modulación |
- Número de PLPs que afecta el monto de L_{1PSD}

El tamaño de la FFT, intervalo de guarda, patrón piloto, ancho de banda y el uso de SISO, MISO puede afectar a los siguientes parámetros:

- N_{P2}
- El número de datos en la celda por:
 - Símbolos C_{P2} que podemos verificar en la tabla 3-2
 - Data Simbol C_{data} que lo encontramos en la tabla 4-2.
 - Simbolos C_{FC} que se muestra en la tabla 5-2

Tabla 3-3: Valores de C_{P2}

FFT	C_{P2}	
	SISO	MISO
1K	558	546
2K	1118	1098
4K	2236	2198
8K	4472	4398
16K	8944	8814

Realizado Por: Pazmiño Diana, 2021 en base a la bibliografía

Tabla 4-3: Valores de C_{data}

FFT Size	C_{data} (no tone reservation)								TR cells	
	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8		
1 K	764	768	798	804	818				10	
2 K	1522	1 532	1 596	1 602	1 632		1 646		18	
4 K	3 084	3 092	3 228	3 234	3 298		3 328		36	
8 K	Normal	6 208	6 214	6 494	6 498	6 634		6 698	6 698	72
	Extende d	6 296	6 298	6 584	6 588	6 728		6 788	6 788	72
16 K	Normal	12 418	12 436	12 988	13 002	13 272	13 288	13 416	13 406	144
	Extende d	12 678	12 698	13 262	13 276	13 552	13 568	13 698	13 688	144
32 K	Normal		24 886		26 022		26 592	26 836	26 812	288
	Extende d		25 412		26 572		27 152	27 404	27 376	288

NOTE: An empty entry indicates that the corresponding combination of FFT size and pilot pattern is never used.

Fuente: (ETSI, 2010)

Tabla 5-3: Valores de C_{FC}

FFT Size	C_{FC} (no tone reservation)								TR cells
	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8	
1 K	402	654	490	707	544				10
2 K	804	1 309	980	1 415	1 088		1 396		18
4 K	1 609	2 619	1 961	2 831	2 177		2 792		36
8 K	Normal	3 218	5 238	3 922	5 662	4 354		5 585	72
	Extended	3 264	5 312	3 978	5 742	4 416		5 664	72
16 K	Normal	6 437	10 476	7 845	11 324	8 709	11 801	11 170	144
	Extended	6 573	10 697	8 011	11 563	8 893	12 051	11 406	144
32 K	Normal		20 952		22 649		23 603		288
	Extended		21 395		23 127		24 102		288

NOTE: An empty entry indicates that frame-closing symbols are never used for the corresponding combination of FFT size and pilot pattern. In this case the number of data cells in the last symbol is C_{data} .

Fuente: (ETSI, 2010)

Para realizar el cálculo de la capacidad en las celdas por cada frame se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{tot} = N_{p2} \times C_{p2} + (L_{data} - 1) \times C_{data} + C_{fc} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Donde $C_{fc} = C_{data}$ para los casos que no se utiliza ningún símbolo de cierre del frame.

3.3 Cobertura ISDB-Tb y DVB-T2

3.3.1 Cálculo de intensidad de campo mínima para ISDB-Tb Y DVB-T2

Para calcular el E_{min} (Intensidad de campo mínimo) necesario, tomaremos en cuenta la siguiente fórmula establecida por la recomendación UIT-R-BT.2033-1.

$$P_n = F + 10 \log_{10}(kT_0B) \quad \text{Ecuación 2-3}$$

$$P_{sh} = \frac{C}{N} + P_n \quad \text{Ecuación 3-3}$$

$$A_a = G + 10 \log(1,64\lambda^2/4\pi) \quad \text{Ecuación 4-3}$$

$$\varphi_{min} = P_{sh,min} - A_a + L_F \quad \text{Ecuación 5-3}$$

$$E_{min} = \varphi_{min} + 120 + 10 \log(120\pi) \quad \text{Ecuación 6-3}$$

$$E_{min} = \varphi_{min} + 145,8$$

Ecuación 1-3

Siendo:

P_n	Potencia de ruido a la entrada del receptor (dB)
F	Factor de ruido del receptor (dB)
k	Contante de Boltzman ($k = 1,38 \times 10^{-23} (J/K)$)
T_0	Temperatura absoluta ($T_0 = 290 (K)$)
B	Ancho de banda de ruido del receptor
$P_{sh,min}$	Mínima potencia a la entrada del receptor (dBW)
$\frac{C}{N}$	Relación señal/ruido de RF en el receptor requerida por el sistema (dB)
A_a	Abertura efectiva de la antena (dB)
G	Ganancia de la antena con respecto al dipolo de media onda (dBd)
λ	Longitud de onda de la señal (m)
φ_{min}	Mínima dfp en la ubicación de recepción (dB(W/m ²))
L_F	Pérdidas en el alimentador (dB)
E_{min}	Mínima intensidad de campo (dB($\mu V/m$))

El campo mínimo destinado para ISDB-Tb según la resolución del ARCOTEL en 2015 manifiesta que es de 51 dB $\mu V/m$, mientras que el valor destinado para DVB-T2 según el convenio binacional es de 42 dB $\mu V/m$.

3.3.2 ICS Telecom

ICS Telecom es un software profesional de simulación de radiocomunicaciones basado en mapas digitales de terreno, que genera simulaciones más precisas y reales. En el caso del presente trabajo de titulación, se realizó la simulación de la cobertura de ISDB-Tb y DVB-T2 con 6 MHz de canalización.

Como primer punto se cargó el mapa de Ecuador en ICS Telecom y se creó un transmisor, se escogió el transmisor de Ecuador Tv situado en la Provincia de Orellana en el cerro Santa Mónica como se detalla en la figura 2-3. La elección de este transmisor se debe a estar cerca de la frontera por lo que no se ha establecido aún una planificación de TDT, y puede llegar a tener interferencias

con otras tecnologías, por lo que se trata con el presente estudio de obtener datos que puedan ser de gran ayuda al momento de realizar la planificación correspondiente.

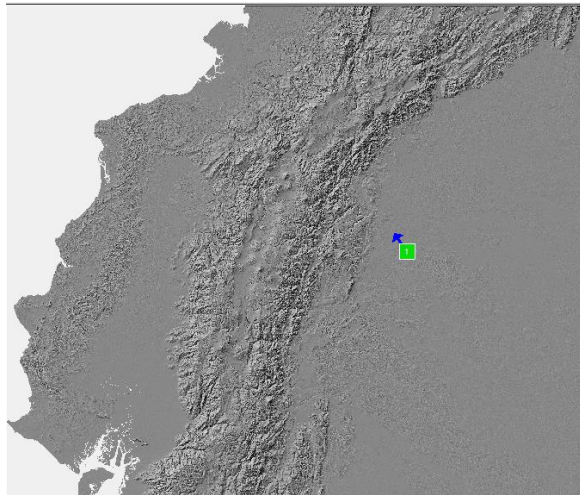


Figura 2-3: Localización del transmisor de la señal de Ecuador Tv en el cerro Santa Mónica

Realizado por: Diana Pazmiño. 2021

3.3.2.1 Parámetros ISDB-Tb

Para la simulación de la cobertura de un transmisor ISDB-Tb, se utilizó la configuración que se muestra en la tabla 6-2 y figuras 4-2 y 5-2. Los mismos corresponden a los parámetros de entrada al simulador, como salida se obtiene la huella de cobertura del transmisor en cuestión.

Tx/Rx parameters: 45 ECUADOR TV

General Patterns Channels Site Advanced

Type: Tx/Rx A (0) Signal: ISDB-T 6 MHz Status: Unknown (0) Frequency plan: No 45 activated

Tx/Rx

Nominal power (W): 4102.04
Dynamic (dB): 0
Tx ant gain (dBi): 0.00
Rx ant gain (dBi): 0.00
Losses (dB): tx 0.00 rx 0.00
Tx add losses (dB): 0.00
E.I.R.P (W): 4102.04
Frequency (MHz): 545.00000
Antenna height (m): 37.00
Tx bandwidth (kHz): 6000.00
Rx bandwidth (kHz): 6000.00

Coverage

ITU526
delete info

variable power
 fixed power
 freqhop/wide band
 variable elevation
 fixed elevation

Info

Callsign: ECUADOR TV Parenting: 0
address: CERRO SANTA MONICA date: 20210303
info (1): EMPRESA PUBLICA DE type: C
info (2): PUERTO SAN FRANCISCO link:
Network ID: ECUADOR TV group:
user: call number: 0

Comment:
SQL record 0 Ctrl+Enter: change line

Aceptar Cancelar

Figura 3-3: Configuración general del transmisor ISDB-Tb

Realizado por: Diana Pazmiño. 2021

Tabla 6-3: Valores definidos para la configuración de la estación de Ecuador Tv con ISDB-Tb a 6 MHz de canalización

Parámetros	Valores establecidos
Signal	ISDB-Tb 6MHz
Potencia Nominal	4102.04W
Dynamic	0 Db
Ganancia de la antena Tx	0 dBi
Ganancia de la antena Rx	0 dBi (recepción fija en interiores)
Perdidas en Rx	0 dB
Frecuencia	545 MHz
Altura de la antena	37 m
Ancho de banda	6 MHz
Coordenadas	-76.57261 y -0.30097
Localización	Cerro Santa Mónica, Orellana

Realizado por: Diana Pazmiño. 2021

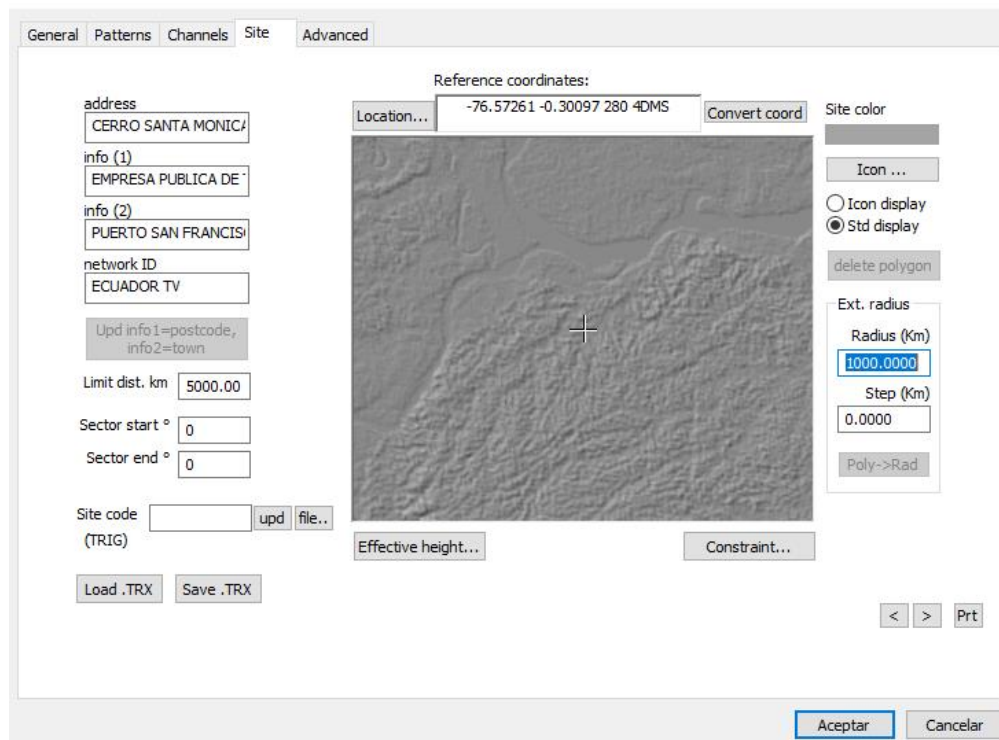


Figura 4-3: Ingreso de coordenadas de la estación Ecuador Tv del cerro Santa Mónica, provincia de Orellana

Realizado por: Diana Pazmiño. 2021

3.3.2.2 Parámetros DVB-T2

Para la simulación de DVB-T2 Se utilizó la misma configuración de la estación de televisión Digital ECUADOR TV, con la variación de la señal que sería en este caso DVB-T2 6MHz como se puede ver en la Tabla 7-3. Además, se utilizó el campo mínimo de recepción definido para el modo de transmisión del estándar ($42 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$).

Tabla 7-3: Valores definidos para la configuración de la estación de Ecuador Tv con ISDB-Tb a 6 MHz de canalización

Parámetros	Valores establecidos
Signal	DVB-T2 6MHz
Potencia Nominal	4102.04W
Dynamic	0 dB
Ganancia de la antena Tx	0 dBi
Ganancia de la antena Rx	0 dBi (recepción fija en interiores)
Perdidas en Rx	0 dB
Frecuencia	545 MHz
Altura de la antena	37 m
Ancho de banda	6 MHz
Coordenadas	-76.57261 y -0.30097
Localización	Cerro Santa Mónica, Orellana
Nombre de la estación	Ecuador TV

Realizado por: Diana Pazmiño. 2021

3.3.2.3 Simulación de la cobertura

Una vez configurados los parámetros respectivos, se simula la cobertura que presenta la señal de ISDB-Tb y DVB-T2 cada una con 6MHz de canalización. Se toma como modelo de propagación la norma ITU R 525/526 como se muestra en la figura 5-3.

Para el análisis se consideró recepción fija en exteriores, dado que es el tipo de recepción mayoritaria en Sudamérica, por lo que se considera 10m de la altura de la antena, y la distancia a simular fue de 20Km. Se configura el umbral para ISDB-Tb que según la normativa del ARCOTEL es de $51 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ como se ve en la Figura 6-3.

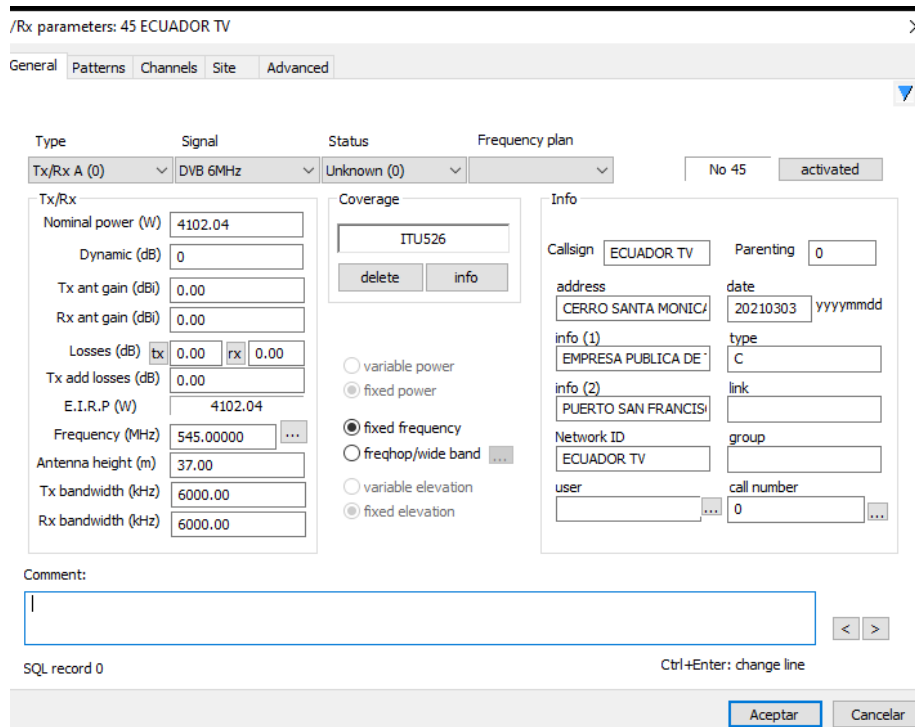


Figura 5-3: Configuración general del transmisor DVB-T2

Realizado por: Diana Pazmiño. 2021

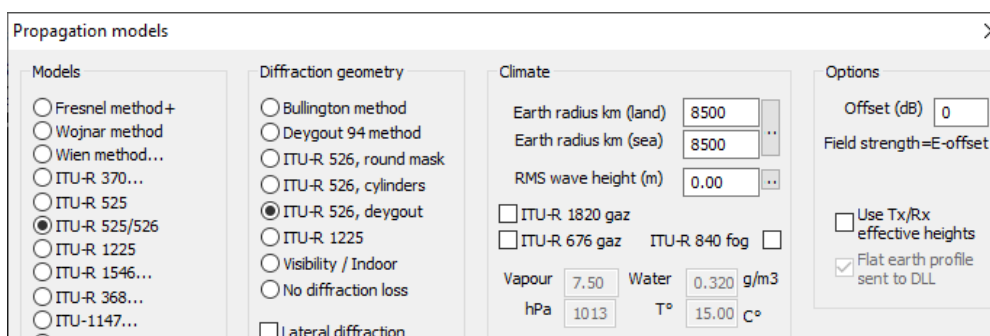


Figura 6-3: Selección de la norma ITU R-525/526 como modelo de propagación

Realizado por: Diana Pazmiño. 2021

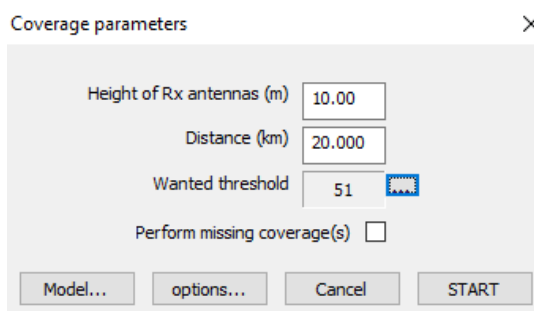


Figura 7-3: Configuración de los parámetros de cobertura para ISDB-Tb

Realizado por: Diana Pazmiño. 2021

Para el caso de DVB-T2, se considera los mismos parámetros a excepción del umbral de recepción, que en este caso sería $42 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ (Figura 8-3).

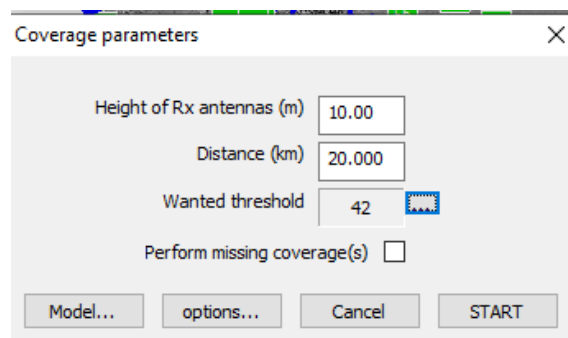


Figura 8-3: Configuración de los parámetros de cobertura para DVB-T2

Realizado por: Diana Pazmiño. 2021

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Introducción

En el presente capítulo se explica los resultados obtenidos para el cumplimiento de los tres objetivos planteados, el primero basándome en el cálculo de CNR tanto de ISDB-Tb y DVB-T2, con los cuales se verificó que estándar tiene mejor rendimiento con 6MHz de canalización.

El segundo objetivo hace referencia al cálculo de la capacidad de los estándares mencionados, con la cual se obtuvo la ganancia en capacidad.

El tercer objetivo se enfoca en el desarrollo de simulaciones de cobertura de los dos estándares de Televisión Digital Terrestre mediante un software de simulación profesional, el mismo que mostró la ganancia en cobertura.

4.2 Rendimiento de ISDB-TB y DVB-T2 con canalización de 6 MHz

Para la realización del presente objetivo se tomó en cuenta las CNR mínimas obtenidas mediante simulaciones, para que tanto la señal de ISBD-Tb y DVB-T2 pueda transmitirse y ser correctamente demoduladas y decodificadas en el receptor.

Es necesario recordar que al momento de escoger la modulación necesaria para la transmisión de las señales se debe considerar que mientras más bajo sea el orden de modulación i.e. QPSK menor valor será el mínimo de CNR para una correcta recepción, el mismo efecto sucede con la tasa de codificación., Es decir, se puede escoger modulaciones de orden menor cuando la relación CNR es baja, y modulaciones de mayor orden en condiciones de CNR elevadas (Fuentes, 2012 pág. 86).

Se analizó tanto en el canal AWGN (Additive white Gaussian noise), RICE (modela la recepción en exteriores) y RAYLEIGH (modela la recepción en interiores), se obtuvo la CNR mínima para cada constelación y code rate, y posteriormente se comparó los resultados obtenidos en ISBD-Tb y DVB-T2 con la finalidad de ver que estándar tiene mejor rendimiento.

4.2.1 Resultados obtenidos con el canal AWGN

El canal AWGN se caracteriza por ser uno de los canales básicos para la prueba de sistemas de comunicaciones, añadiendo únicamente ruido blanco a la señal. Mediante simulaciones, se obtuvo los resultados de CNR mínima para ISDB-Tb y DVB-T2 para cada una de las constelaciones y Code Rate, Tablas 1-4 y 2-4.

Tabla 1-4: CNR mínimas para ISDB-Tb en un canal AWGN

RESULTADOS ISDB-Tb CANAL AWGN (dB)				
	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{6}$
QPSK	4,15	5,56	6,7	7,7
16 QAM	9,1	11,6	12,9	13,7
64 QAM	13,8	16,85	18,15	19,7

Realizada por: Diana Pazmiño, 2021

Tabla 2-4: CNR mínimas para DVB-T2 en un canal AWGN

RESULTADOS DVB-T2 CANAL AWGN (dB)				
	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{6}$
QPSK	1	3,1	4,1	5,2
16 QAM	6	8,9	10	11,4
64 QAM	9,9	13,5	15,1	16,8

Realizada por: Diana Pazmiño, 2021

Tabla 3-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal AWGN modulación QPSK

RESULTADOS ISD-Tb vs DVB-T2 CANAL AWGN (dB) MODULACIÓN QPSK			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB- T2	dB's de Diferencia
1/2	4,15	1	3,15
2/3	5,56	3,1	2,46
3/4	6,7	4,1	2,6
5/6	7,7	5,2	2,5

Realizada por: Diana Pazmiño, 2021

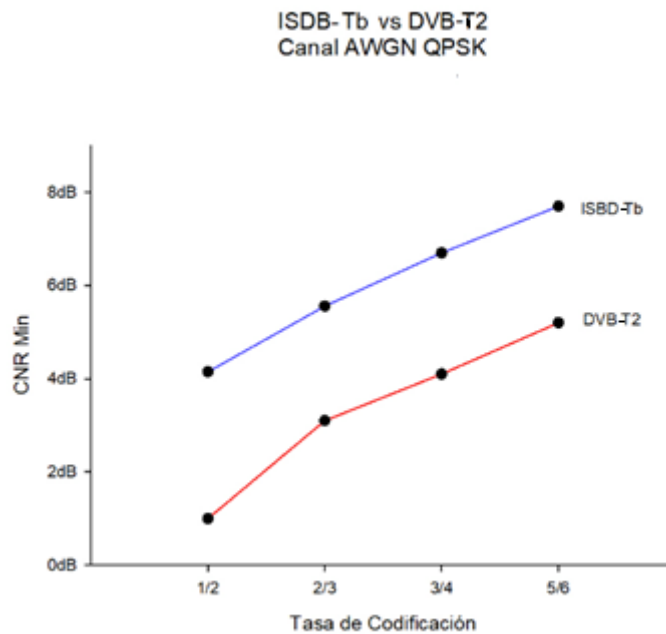


Gráfico 1-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal AWGN modulación QPSK

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Como se puede apreciar en la tabla 3-4 y en el gráfico 1-4, se compara la robustez de ISDB-Tb y DVB-T2 para modulación QPSK. Se puede notar que ISDB-Tb necesita 3 dB más de CNR para poder alcanzar un correcto funcionamiento en comparación con DVB-T2. Por lo que, en términos de robustez, la señal DVB-T2 es mucho más robusta que ISDB-Tb en un canal AWGN con modulación QPSK.

Tabla 3-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal AWGN modulación 16QAM

RESULTADOS ISDB-Tb vs DVB-T2 CANAL AWGN (dB) MODULACIÓN 16 QAM			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	dB's de Diferencia
1/2	9,1	6	3,1
2/3	11,6	8,9	2,7
3/4	12,9	10	2,9
5/6	13,7	11,4	2,3

Realizada por: Diana Pazmiño, 2021

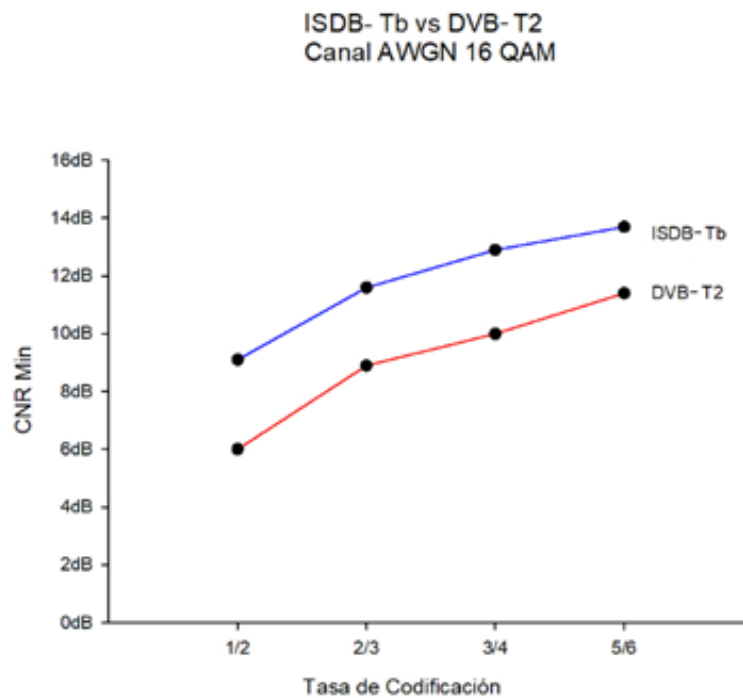


Gráfico 2-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal AWGN modulación 16 QAM

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Analizando el gráfico 2-4, y con los valores detallados en la tabla 4-4, ISDB-Tb necesita 3dB más para poder garantizar su buen funcionamiento a diferencia de DVB-T2, por lo que en un canal AWGN con modulación 16 QAM, DVB-T2 continúa presentando mayor robustez en su señal a diferencia de ISDB-Tb.

Tabla 5-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal AWGN modulación 64QAM

RESULTADOS ISDB-Tb vs DVB-T2 CANAL AWGN (dB) MODULACIÓN 64 QAM			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	dB's de Diferencia
1/2	13,8	9,9	3,9
2/3	16,85	13,5	3,35
3/4	18,15	15,1	3,05
5/6	19,7	16,8	2,9

Realizada por: Diana Pazmiño, 2021

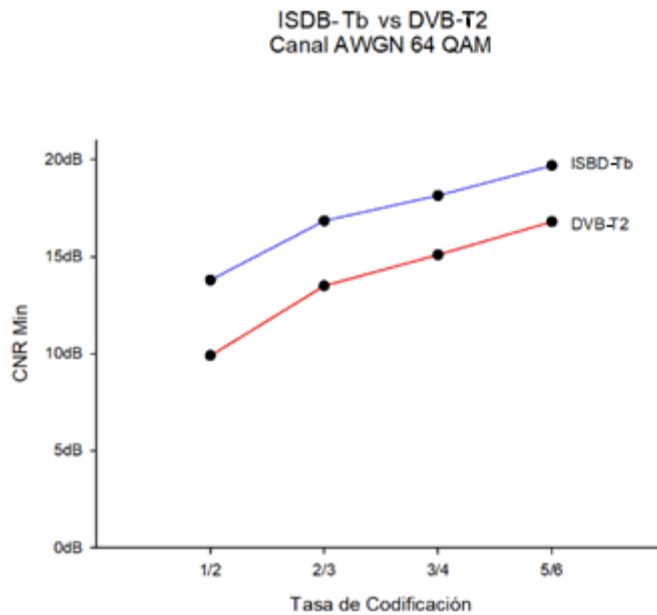


Gráfico 3-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal AWGN modulación 64 QAM

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

En el gráfico 3-4 y en la tabla 5-4 se verifica que DVB-T2 requiere una CNR 3 dB menor a ISDB-Tb para garantizar su correcto funcionamiento, por lo que en un canal AWGN con modulación 64 QAM, DVB-T2 sigue siendo el estándar que presenta mayor robustez en su señal transmitida.

4.2.2 Resultados obtenidos con CANAL RICE

El canal Rice se utiliza para modelar comunicaciones al aire libre y en espacios abiertos en la cual la contribución por línea de visión directa sea la dominante, este es el caso de recepción fija en exteriores de TDT. Este canal modela ya un canal más realista, el cual es propenso a interferencias multi camino por lo que la BER (Bit Error Rate) se ve afectada. En las simulaciones realizadas los valores mínimos de CNR obtenidos tanto para ISDB-Tb y DVB-T2 son representados en las Tablas 6-4 y 7-4.

En los datos mostrados en la tabla 8-4 y como se puede apreciar en el gráfico 4-4, ISDB-Tb requiere aproximadamente 5dB más para garantizar su funcionamiento a diferencia de DVB-T2, por lo que en un canal Rice con modulación QPSK, DVB-T2 sigue siendo el estándar que presenta mayor robustez en su señal.

Tabla 6-4: CNR mínimas para ISDB-Tb en un canal RICE

RESULTADOS ISDB-Tb CANAL RICE (dB)				
	1/2	2/3	3/4	5/6
QPSK	6,23	8,1	9,15	10,44
16 QAM	11,61	14,12	15,62	16,78
64 QAM	17,34	19,33	21,06	22,06

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Tabla 7-4: CNR mínimas para DVB-T2 en un canal RICE

RESULTADOS DVB-T2 CANAL RICE (dB)				
	1/2	2/3	3/4	5/6
QPSK	1,2	3,4	4,4	5,6
16 QAM	6,2	9,1	10,4	11,8
64 QAM	10,2	13,8	15,4	17,2

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Tabla 8-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal RICE modulación QPSK

RESULTADOS ISDB-Tb vs DVB-T2 CANAL RICE (dB) MODULACIÓN QPSK			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	dB's de Diferencia
1/2	6,23	1,2	5,03
2/3	8,1	3,4	4,7
3/4	9,15	4,4	4,75
5/6	10,44	5,6	4,84

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

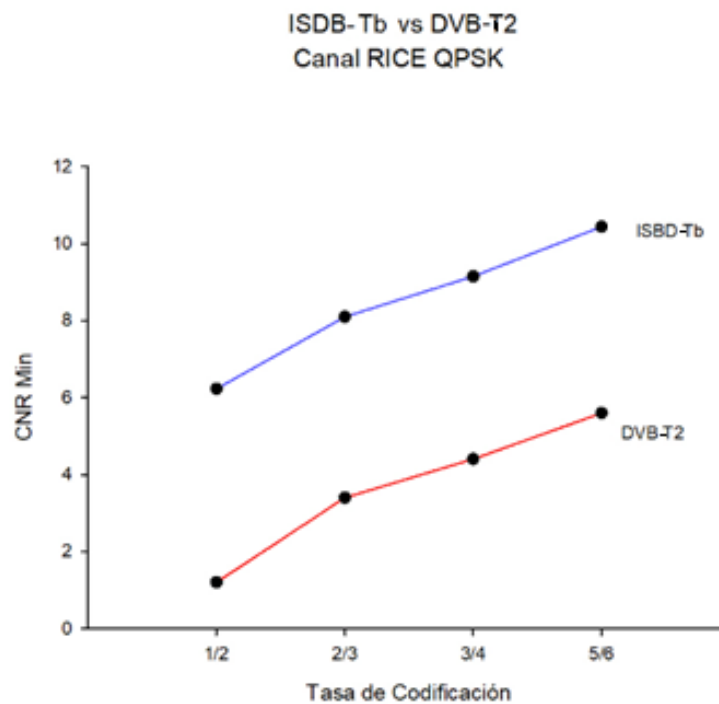


Gráfico 4-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal RICE modulación QPSK

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Por otra parte, para una modulación 16QAM los datos presentados en la tabla 9-4 y en el gráfico 5-4 se puede verificar que ISDB-Tb en promedio requiere 6dB más de CNR para garantizar su rendimiento en comparación a DVB-T2. Por tanto, para un canal Rice con modulación 16QAM, DVB-T2 sigue siendo el estándar que predomina en cuanto a robustez de la señal.

Tabla 9-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal RICE modulación 64QAM

RESULTADOS ISDB-Tb vs DVB-T2 CANAL RICE (dB) MODULACIÓN 16 QAM			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	dB's de Diferencia
1/2	11,61	6,2	9,91
2/3	14,12	9,1	5,02
3/4	15,62	10,4	5,22
5/6	16,78	11,8	4,98

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

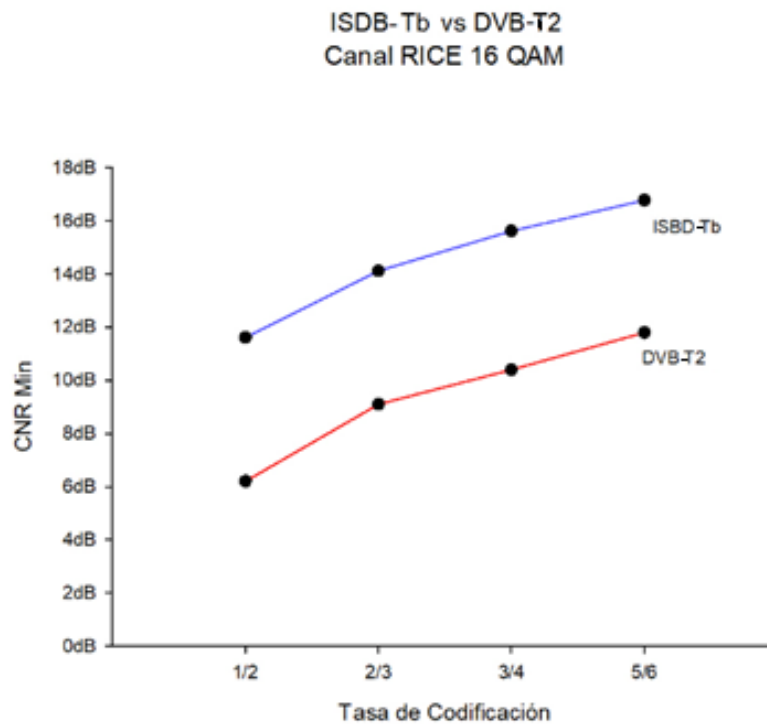


Gráfico 5-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal RICE modulación 16 QAM

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Utilizando una modulación 64QAM en la tabla 10-4 y en el gráfico 6-4 se aprecia que en promedio ISDB-Tb requiere 5 dB más de CNR que DVB-T2 para su correcto funcionamiento, por lo que en un canal RICE con modulación 64QAM, ISDB-Tb continúa en desventaja con respecto a DVB-T2 en lo que se refiere a robustez de la señal.

Tabla 10-4: Comparación entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal RICE modulación 64QAM

RESULTADOS ISDB-Tb vs DVB-T2 CANAL RICE (dB) MODULACIÓN 64 QAM			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	dB's de Diferencia
1/2	17,34	10,2	7,14
2/3	19,33	13,8	5,53
3/4	21,06	15,4	5,66
5/6	22,06	17,2	4,86

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

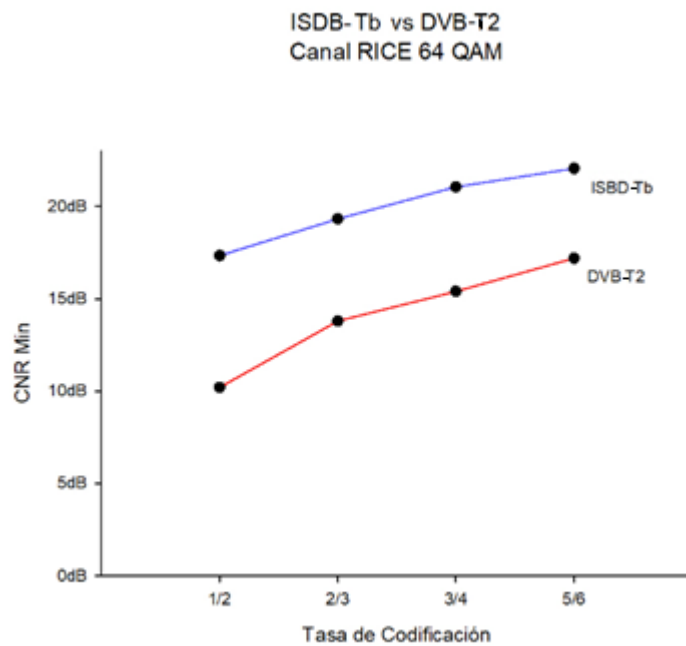


Gráfico 6-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal RICE modulación 64 QAM

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

4.2.3 Resultados obtenidos con el canal RAYLEIGH

El canal Rayleigh se caracteriza por ser un canal con varias reflexiones y no dispone de línea de visión directa. Por tanto, en comunicaciones móviles es utilizado para caracterizar la recepción en entornos indoor. Los valores mínimos para ISDB-Tb y DVB-T2 obtenidos mediante simulaciones se presentan en las Tablas 11-4 y 12-4.

Tabla 11-4: CNR mínimas para ISDB-Tb en un canal Rayleigh

RESULTADOS ISDB-Tb CANAL RAYLEIGH (dB)				
	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{6}$
QPSK	7,89	10,67	11,72	14,92
16 QAM	13,11	15,25	17,85	20,74
64 QAM	18,8	21,09	22,82	25,65

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Tabla 12-4: CNR mínimas para DVB-T2 en un canal Rayleigh

RESULTADOS DVB-T2 CANAL RAYLEIGH (dB)				
	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{6}$
QPSK	2	4,9	6,2	7,9
16 QAM	7,5	10,8	12,4	14,5
64 QAM	10,2	13,8	15,4	17,2

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Al comparar el rendimiento para QPSK, se verifica que ISDB-Tb requiere 5dB más de CNR que DVB-T2 (Tabla 13-4 y en el gráfico 7-4.), por lo que en un canal Rayleigh con modulación QPSK el estándar más robusto es DVB-T2.

Tabla 13-4: Comparativa entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación QPSK

RESULTADOS ISDB-Tb vs DVB-T2 CANAL RAYLEIGH (dB) MODULACIÓN QPSK			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	dB's de Diferencia
$\frac{1}{2}$	7,89	2	5,89
$\frac{2}{3}$	10,67	4,9	5,77
$\frac{3}{4}$	11,72	6,02	5,7
$\frac{5}{6}$	14,92	7,09	7,83

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

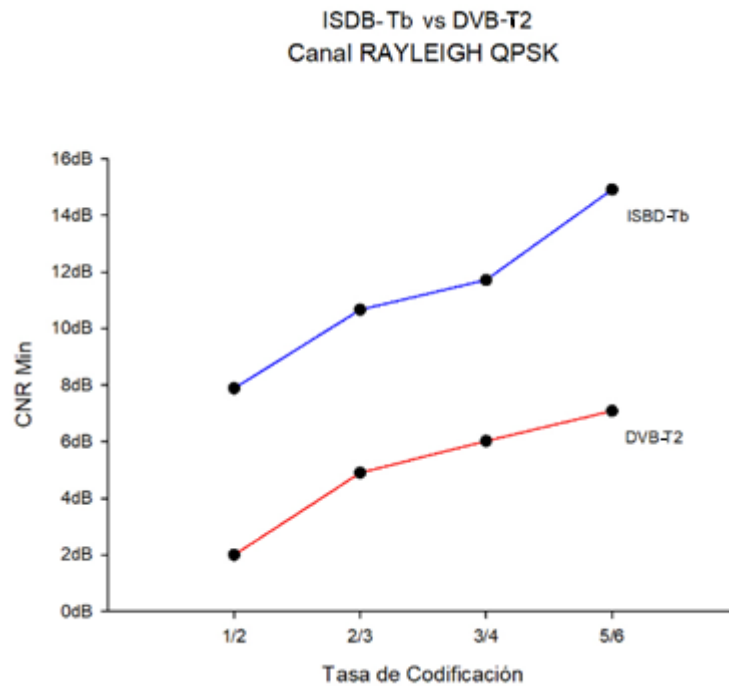


Gráfico 7-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación QPSK

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Similar resultado se obtiene al verificar el rendimiento para 16 QAM. En la tabla 14-4 y gráfico 8-4 se puede observar que la señal de ISDB-Tb requiere aproximadamente 5 dB más de CNR para su funcionamiento en comparación con DVB-T2. Por lo tanto, en un canal Rayleigh con 16QAM, el estándar que predomina es DVB-T2.

Tabla 14-4: Comparativa entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación 16 QAM

RESULTADOS ISDB-Tb vs DVB-T2			
CANAL RAYLEIGH (dB) MODULACIÓN 16 QAM			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	dB's de Diferencia
$\frac{1}{2}$	13,11	7,5	5,61
$\frac{2}{3}$	15,25	10,8	4,45
$\frac{3}{4}$	17,85	12,4	5,45
$\frac{5}{6}$	20,74	14,5	6,24

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

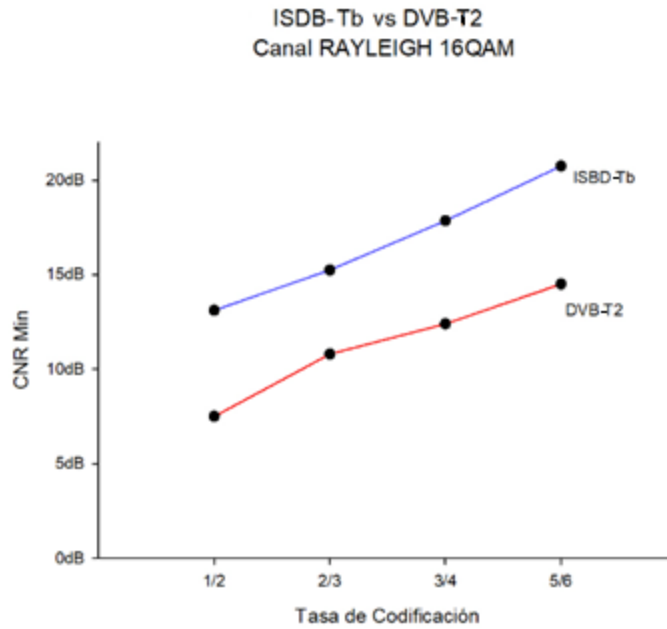


Gráfico 8-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación 16QAM

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

En la Tabla 15-4 y gráfico 9-4 se observa que DVB-T2 en un canal Rayleigh con modulación 64QAM tiene una señal más robusta que ISDB-Tb Siendo que ISDB-Tb requiere de 5dB más de CNR para poder alcanzar un correcto funcionamiento.

Tabla 15-4: Comparativa entre ISDB-Tb vs DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación 64 QAM

RESULTADOS ISDB-Tb vs DVB-T2 CANAL RAYLEIGH (dB) MODULACIÓN 64 QAM			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	dB's de Diferencia
1/2	18,8	10,2	7,14
2/3	21,09	13,8	5,53
3/4	22,82	15,4	5,66
5/6	25,65	17,2	4,86

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

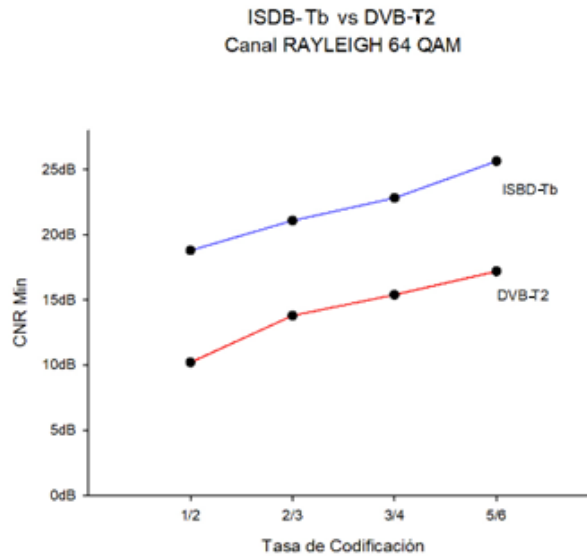


Gráfico 9-4: Comparación CNR min vs tasa de codificación entre ISDB-Tb y DVB-T2 en un canal Rayleigh modulación 64QAM

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Analizando los datos obtenidos tanto en las tablas como en los gráficos, se determinó que DVB-T2 brinda una señal mucho más robusta que ISDB-Tb, por lo que lo convierte en el estándar con mejor rendimiento, soportando canales con mayor interferencia y mejorando la recepción de la señal bajo condiciones adversas del canal. La mejora en robustez de DVB-T2 se debe principalmente al uso de LDPC (Low density parity check) para detección y corrección de errores.

4.3 Ganancia en capacidad de DVB-T2 con respecto a ISDB-Tb

Para el cumplimiento del segundo objetivo, se realizó el cálculo de las capacidades tanto de ISDB-Tb como de DVB-T2 mediante software de simulación mencionado en el Capítulo II del presente documento, y considerando un modo de transmisión equivalente en ambas tecnologías (Ver tabla 16-4).

Tabla 16-4: Configuración de los parámetros ISDB-Tb y DVB-T2 para obtener la ganancia en capacidad.

Configuración ISDB-Tb	Configuración DVB-T2
Bandwidth: 6MHz	Bandwidth: 6MHz
Carrier mode: 8k	Carrier mode: 8k
Intervalo de Guarda: 1/8	Intervalo de Guarda: 1/8
	Duración del Frame: 250ms

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Una vez configurados los simuladores, se realizó el cálculo para los 3 tipos de modulaciones (QPSK, 16 QAM y 64 QAM), y tasas de codificación (1/2, 2/3, 3/4, 5/6), obteniendo los resultados detallados en las tablas 17-4 y 18-4:

Tabla 17-4: Cálculo de la Capacidad (Mbps) de ISDB-Tb con 6 MHz de Canalización

CAPACIDAD DE ISDB-Tb CON 6MHz DE CANALIZACIÓN				
	1/2	2/3	3/4	5/6
QPSK	4,06 Mbps	5,41 Mbps	6,09 Mbps	6,76 Mbps
16 QAM	8,11Mbps	10,82 Mbps	12,17 Mbps	13,52 Mbps
64 QAM	12,17 Mbps	16,23 Mbps	18,26 Mbps	20,28 Mbps

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Tabla 18-4: Cálculo de la Capacidad (Mbps) de DVB-T2 MHz con 6MHz de Canalización

CAPACIDAD DE DVB-T2 CON 6MHz DE CANALIZACIÓN				
	1/2	2/3	3/4	5/6
QPSK	4,89 Mbps	6,56 Mbps	7,35 Mbps	8,19 Mbps
16 QAM	9,82 Mbps	13,13 Mbps	14,75 Mbps	16,38 Mbps
64 QAM	14,70 Mbps	19,69 Mbps	22,11 Mbps	24,62 Mbps

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

4.3.1 Resultados de la capacidad de ISDB-Tb vs DVB-T2 con modulación QPSK

La modulación QPSK es más robusta en comparación de 16 QAM y 64 QAM. Una vez comparados los datos, se obtuvo la ganancia en capacidad que tiene DVB-T2 frente a ISDB-Tb como se puede verificar en la tabla 19-4 y gráfico 10-4, el estándar DVB-T2 presenta mayor capacidad de transmisión frente a ISDB-Tb, obteniendo una media en ganancia en capacidad de 1,17 Mbps para modulación QPSK y similar tasa de codificación.

Tabla 19-4: Comparativa de las capacidades de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación QPSK

RESULTADOS CAPACIDAD (Mbps)			
ISDB-Tb vs DVB-T2			
MODULACIÓN QPSK			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	Ganancia en capacidad
1/2	4,06 Mbps	4,89 Mbps	0,83 Mbps
2/3	5,41 Mbps	6,56 Mbps	1,15 Mbps
3/4	6,09 Mbps	7,35 Mbps	1,26 Mbps
5/6	6,76 Mbps	8,19 Mbps	1,43 Mbps

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

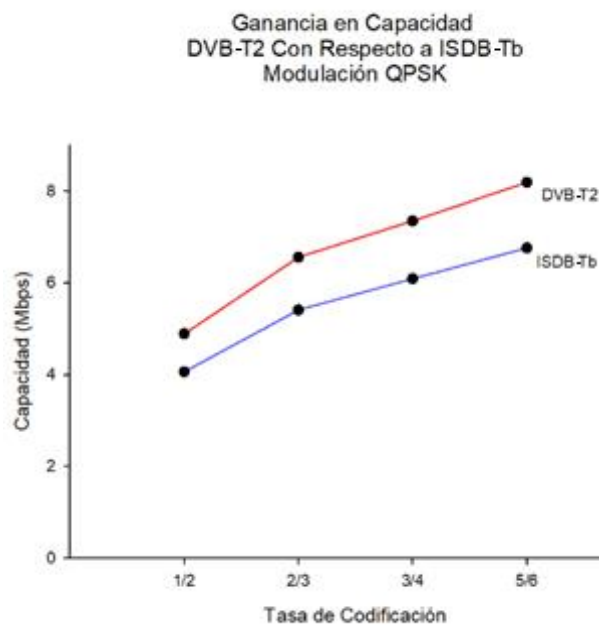


Gráfico 10-4: Comparativa capacidad vs tasa de codificación de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación QPSK

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

4.3.2 Resultados de la capacidad de ISDB-Tb vs DVB-T2 con modulación 16 QAM

Una vez obtenido los datos para 16QAM mediante simulaciones, se procedió a comparar dichos resultados y a obtener la ganancia en capacidad, misma que se detalla en la tabla 20-4 y gráfico 11-4. Se puede verificar que DVB-T2 presenta un promedio de ganancia en capacidad de 2,36

Mbps con respecto a ISDB-Tb, por lo que en DVB-T2 continúa siendo el estándar que domina en términos de capacidad.

Tabla 20-4: Comparativa de las capacidades de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación 16QAM

RESULTADOS CAPACIDAD (Mbps)			
ISDB-Tb vs DVB-T2			
MODULACIÓN 16QAM			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	Ganancia en capacidad
1/2	8,11 Mbps	9,82 Mbps	1,71 Mbps
2/3	10,82 Mbps	13,13 Mbps	2,31 Mbps
3/4	12,17 Mbps	14,75 Mbps	2,58 Mbps
5/6	13,52 Mbps	16,38 Mbps	2,86 Mbps

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

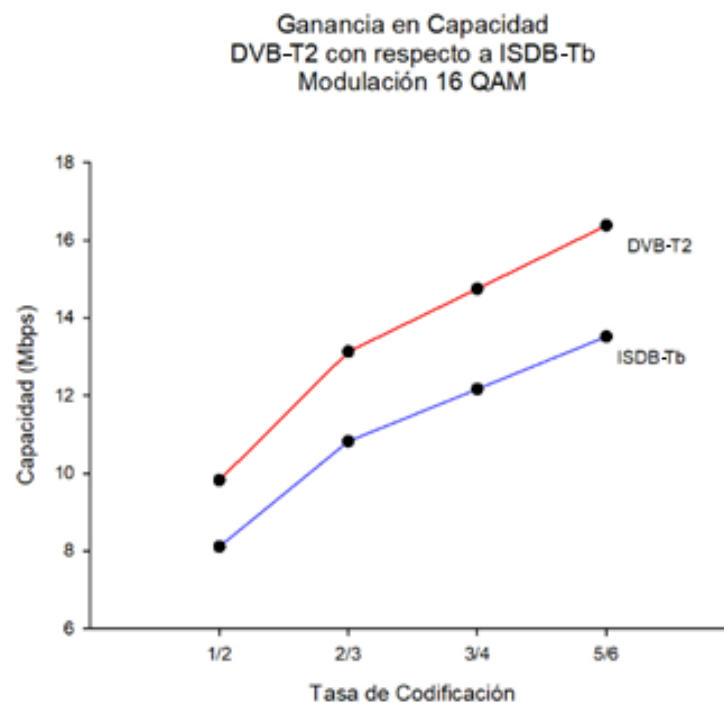


Gráfico 11-4: Comparativa capacidad vs tasa de codificación de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación 16QAM

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

4.3.3 Resultado de la capacidad de ISDB-Tb vs DVB-T2 con modulación 64 QAM

En la tabla 21-4 se detalla los valores obtenidos de capacidad con una modulación 64QAM, así como la ganancia en capacidad que presenta ISDB-Tb vs. DVB-T2. En el gráfico 12-4 se observa que nuevamente DVB-T2 presenta ganancia en capacidad de 3.55Mbps frente a ISDB-Tb.

Tabla 21-4: Comparativa de las capacidades de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación 64QAM

RESULTADOS CAPACIDAD (Mbps) ISDB-Tb vs DVB-T2 MODULACIÓN 64QAM			
Code Rate	ISDB-Tb	DVB-T2	Ganancia en capacidad
1/2	12,17 Mbps	14,70 Mbps	2,53 Mbps
2/3	16,23 Mbps	19,69 Mbps	3,46 Mbps
3/4	18,26 Mbps	22,11 Mbps	3,85 Mbps
5/6	20,28 Mbps	24,62 Mbps	4,34 Mbps

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

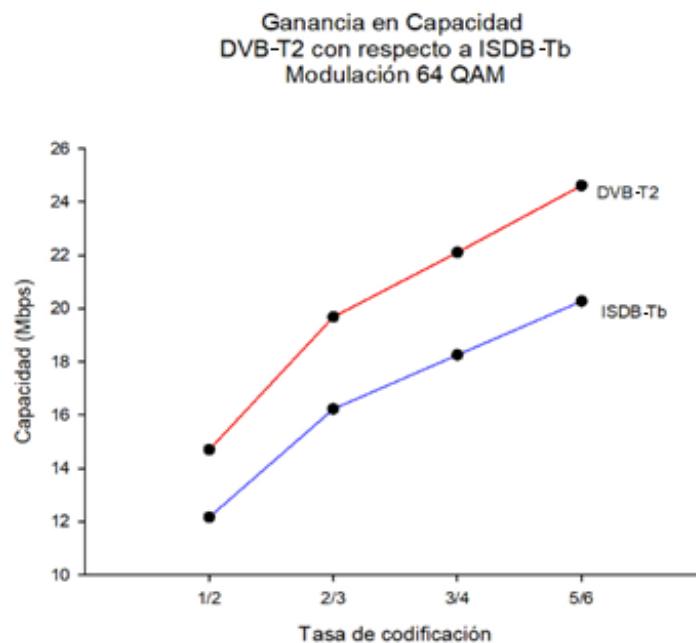
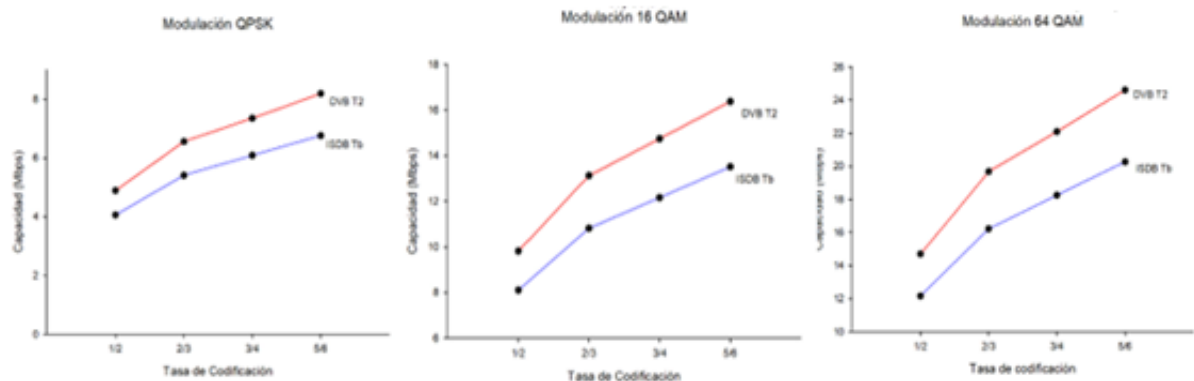


Gráfico 12-4: Comparativa capacidad vs tasa de codificación de ISDB-Tb y DVB-T2 con modulación 64QAM

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Al observar el comportamiento de DVB-T2 e ISDB-Tb con respecto a capacidad, se puede concluir que para las 3 modulaciones comunes de los dos estándares (QPSK, 16QAM y 32QAM), DVB-T2 tiene mayor capacidad de transmisión que ISDB-Tb, por lo cual será posible transmitir mayor cantidad de servicios sea de alta definición o estándar. En el gráfico 13-4 se presenta un compendio de las capacidades para cada tipo de modulación y los 2 estándares. Por otro lado, se debe considerar que DVB-T2 permite modulaciones de hasta 256 QAM permitiendo capacidades de hasta 32.18 Mbps. Mientras la capacidad máxima de ISDB-T es de 23.23 Mbps. Presentando una ganancia en capacidad máxima del 38%.

Gráfico 13-4: Diferencias entre las ganancias en capacidades para QPSK, 16QAM y 64QAM para DVB-T2 e ISDB-Tb



Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

4.4 Ganancia en cobertura de DVB-T2 con respecto a ISDB-Tb

Para el desarrollo del tercer objetivo, se realizó simulaciones utilizando un software profesional de planificación, se tomó como referencia el transmisor de Ecuador TV que se encuentra localizado en el cerro Santa Mónica, provincia de Orellana. Como se explicó en el Capítulo III, la elección del cerro responde a su relativa cercanía con Colombia que utiliza DVB-T2 y porque aún no se ha desplazo transmisiones de TDT en el cerro. Por lo que la información presentada puede ser de utilidad para los operadores de Television y reguladores del Espectro. Se simularon dos escenarios, el primero con una señal ISDB-Tb de 6MHz de canalización y modulación 64QAM y el segundo con una señal DVB-T2 con 6MHz y modulación 64QAM.

4.4.1 Escenario con una señal ISDB-Tb de 6MHz de canalización y modulación 64 QAM

Con los parametros ingresados (Ver capítulo III), se procede a la simulación de la señal de ISDB-Tb. Para la simulación se utilizó el patrón de radiación mostrado en la figura 1-4.

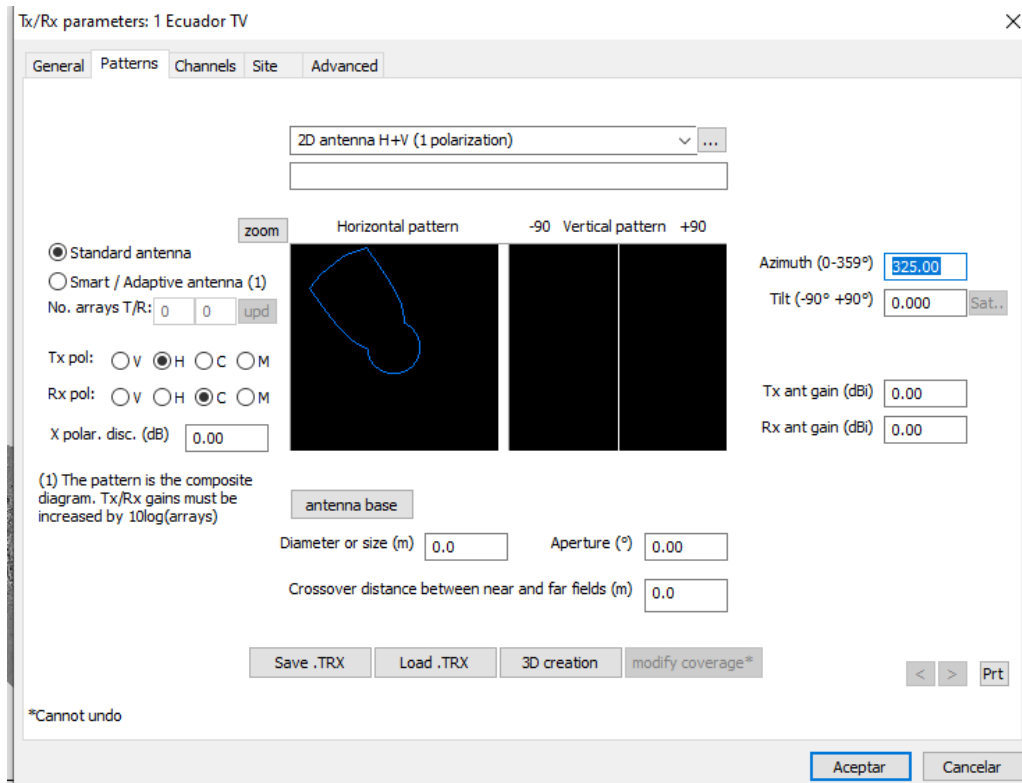


Figura 1-4: Patrón de Radiación del Transmisor de Ecuador Tv – ISDB-Tb

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Una vez que se concluye la configuración, se ingresa la intensidad de campo mínima que para ISDB-Tb es $51 \frac{dB\mu V}{m}$ (figura 2-4), establecida por la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Digital Terrestre que determino la ARCOTEL en el año 2015.

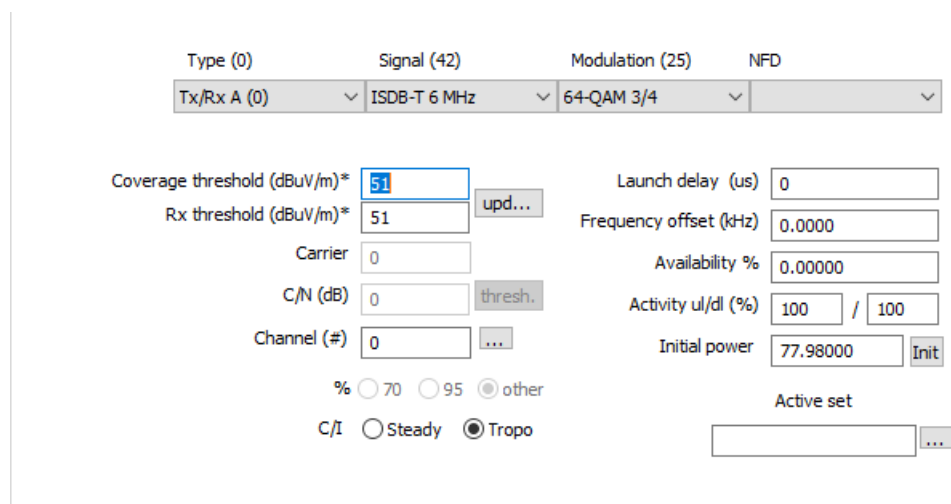


Figura 2-4: Configuración de la intensidad de campo mínima para ISDB-Tb

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Con los datos ingresados, se realizó la simulación de la cobertura de la señal de ECUADOR TV con el estándar ISDB-Tb canalizado a 6 MHz, La huella de cobertura obtenida se puede apreciar en la figura 3-4.

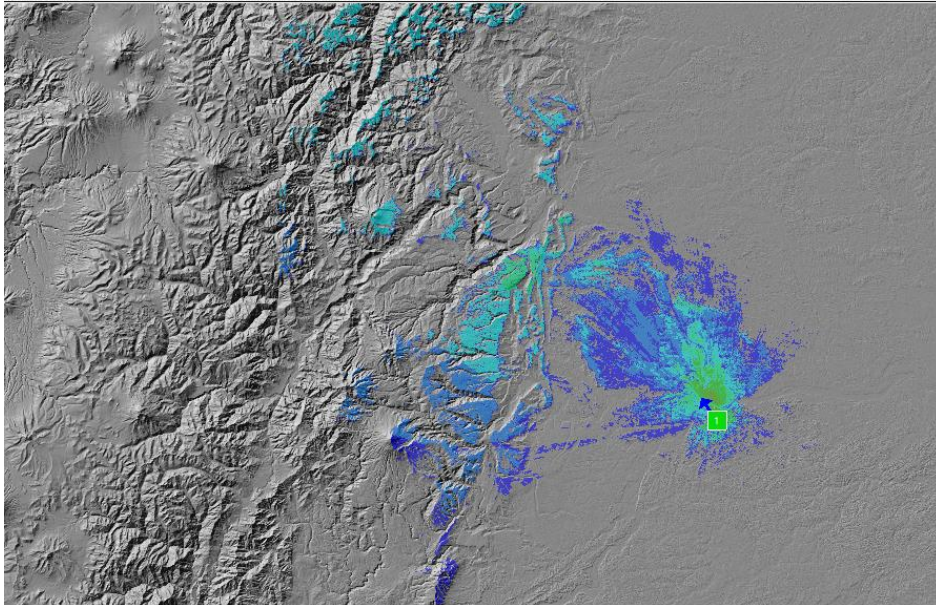


Figura 3-4: Cobertura de la señal de Ecuador Tv – ISDB-Tb canalizado a 6 MHz

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Se exportó el archivo simulado a Google Earth, obteniendo los datos de cobertura que se muestra en la figura 4-4, en la que se puede apreciar que la señal tiene una excelente cobertura en Francisco de Orellana y parte de las ciudades aledañas.

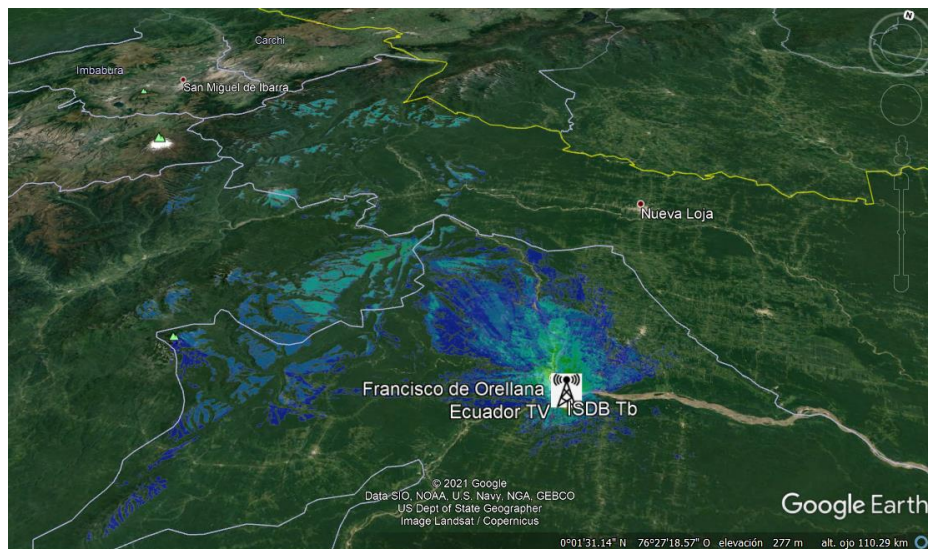


Figura 4-4: Cobertura de la señal de Ecuador Tv – ISDB-Tb canalizado a 6 MHz vista desde Google Earth.

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

4.4.2 Escenario con una señal DVB-T2 DE 6MHz de canalización y modulación 64 QAM

Para la simulación de la señal de DVB-T2, se toma como referencia el mismo transmisor de Ecuador Tv del cerro Santa Mónica en la provincia de Orellana, esta vez el campo mínimo determinado por el convenio binacional que existe entre Ecuador y Colombia es de $42 \frac{dB\mu V}{m}$ como se puede apreciar en la figura 5-4. Se utilizó el mismo patrón de radiación que para ISDB-Tb que se muestra en la figura 6-4.

Type (0)	Signal (41)	Modulation (24)	NFD
Tx/Rx A (0)	DVB 6MHz	64-QAM 2/3 M3	

Coverage threshold (dBuV/m)*	<input type="text" value="42"/>	<input type="button" value="upd..."/>	Launch delay (us)	<input type="text" value="0"/>
Rx threshold (dBuV/m)*	<input type="text" value="42"/>		Frequency offset (kHz)	<input type="text" value="0.0000"/>
Carrier	<input type="text" value="0"/>		Availability %	<input type="text" value="0.00000"/>
C/N (dB)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="thresh."/>	Activity ul/dl (%)	<input type="text" value="100"/> / <input type="text" value="100"/>
Channel (#)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="..."/>	Initial power	<input type="text" value="4102.04004"/> <input type="button" value="Init"/>
<input type="radio"/> 70 <input type="radio"/> 95 <input checked="" type="radio"/> other		Active set <input type="text" value=""/> <input type="button" value="..."/>		
C/I <input type="radio"/> Steady <input checked="" type="radio"/> Tropo				

Figura 5-4: Configuración de la intensidad de campo mínima para DVB-T2

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

2D antenna H+V (1 polarization) <input type="button" value="..."/>	
<input type="button" value="zoom"/>	
<input checked="" type="radio"/> Standard antenna <input type="radio"/> Smart / Adaptive antenna (1) No. arrays T/R: <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="button" value="upd"/> Tx pol: <input type="radio"/> V <input checked="" type="radio"/> H <input type="radio"/> C <input type="radio"/> M Rx pol: <input type="radio"/> V <input type="radio"/> H <input checked="" type="radio"/> C <input type="radio"/> M X polar. disc. (dB) <input type="text" value="0.00"/>	Azimuth (0-359°) <input type="text" value="325.00"/> Tilt (-90° +90°) <input type="text" value="0.000"/> <input type="button" value="Sat"/> Tx ant gain (dBi) <input type="text" value="0.00"/> Rx ant gain (dBi) <input type="text" value="0.00"/>
<input type="radio"/> Horizontal pattern <input type="radio"/> -90 Vertical pattern <input type="radio"/> +90	
[1] The pattern is the composite diagram. Tx/Rx gains must be increased by 10log(arrays)	
antenna base Diameter or size (m) <input type="text" value="0.0"/> Aperture (°) <input type="text" value="0.00"/> Crossover distance between near and far fields (m) <input type="text" value="0.0"/>	
<input type="button" value="Save .TRX"/> <input type="button" value="Load .TRX"/> <input type="button" value="3D creation"/> <input type="button" value="modify coverage*"/>	
<input type="button" value="<"/> <input type="button" value=">"/> <input type="button" value="Pi"/>	

cannot undo

Figura 6-4: Patrón de Radiación señal DVB-T2

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

Una vez configurados los parámetros, Se simuló la cobertura de la señal de ECUADOR TV con DVB-T2 canalizado a 6MHz, obteniendo la huella de cobertura mostrada en la figura 7-4.

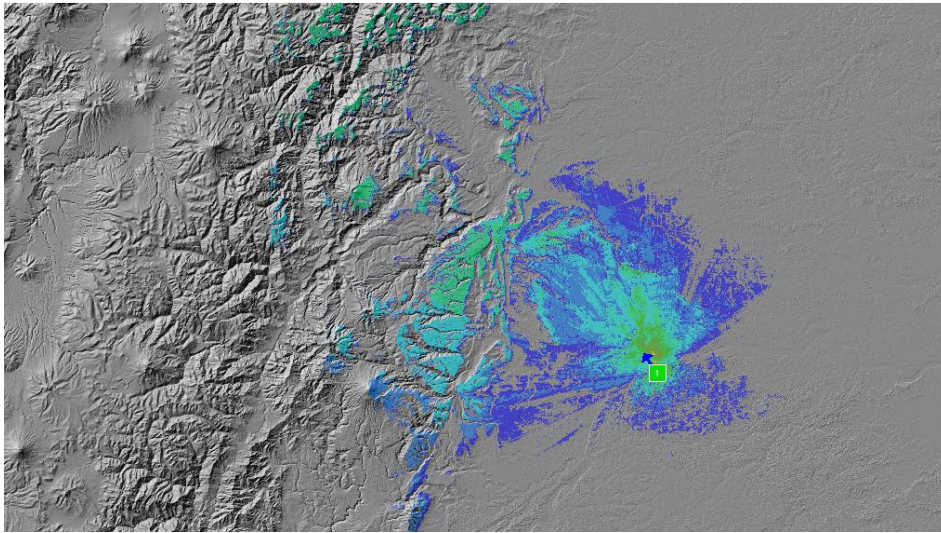


Figura 7-4: Cobertura de la señal de Ecuador Tv – ISDB-Tb canalizado a 6 MHz

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

El archivo simulado fue exportamos a Google Earth, obteniendo como resultado la figura 8-4, se puede observar que la cobertura de DVB-T2 es mayor a la que presenta ISDB-Tb. Configurada en la misma estación y bajo los mismos parámetros. La señal de DVB-T2 presenta aproximadamente un 10% más de cobertura que la señal de ISDB-Tb en Francisco de Orellana. Por lo que, se concluye que DVB-T2 ofrece mayor cobertura que la señal de ISDB-Tb utilizando 6 MHz de canalización.

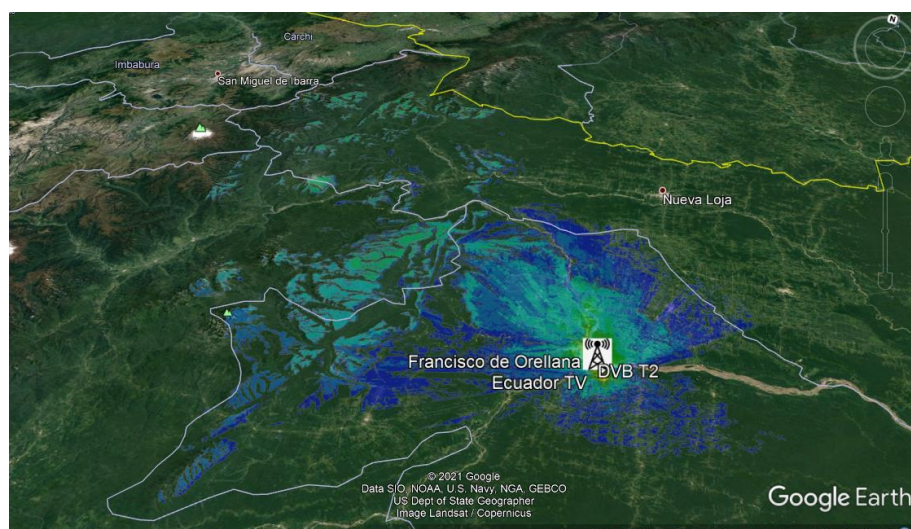


Figura 8-4: Cobertura de la señal de Ecuador Tv – DVB-T2 canalizado a 6 MHz vista desde Google Earth.

Realizado por: Pazmiño Diana, 2021

CONCLUSIONES

- Gracias al estudio realizado, se pudo concluir que el estándar DVB-T2 presenta mayor rendimiento en robustez que ISDB-Tb, requiriendo DVB-T2 3dB menos de CNR para garantizar su adecuado funcionamiento en un canal AWGN utilizando las modulaciones QPSK, 16QAM y 64 QAM, y para un canal RICE y RAYLEIGH requiere 5dB menos DE CNR que ISDB-Tb utilizando las mismas modulaciones.
- La capacidad de DVB-T2 es mucho mayor a la de ISDB-Tb, siendo la diferencia de 1,17Mbps con una modulación QPSK, 2,36Mbps con una modulación 16-QAM y 3,55 Mbps con una modulación 64-QAM. siendo esto una ventaja al momento de realizar transmisiones en tiempo real, y mejora el nivel de recepción de la señal mediante la técnica de constelaciones rotadas. Además, se debe considerar que DVB-T2 permite modulaciones de hasta 256 QAM permitiendo capacidades de hasta 32.18 Mbps. Mientras la capacidad máxima de ISDB-T es de 23.23 Mbps. Presentando una ganancia en capacidad máxima del 38%.
- La cobertura que presenta DVB-T2 es aproximadamente 10% mayor a la de ISDB-Tb, abarcando Francisco de Orellana en su totalidad, con una señal de alta calidad, y zonas de las provincias del Napo y Sucumbios. Esto se debe principalmente al uso de LDPC (Low density parity check) para detección y corrección de errores en DVB-T2.
- DVB-T2 se caracteriza por ser un estándar de televisión digital de gran beneficio, característica que no se pierde al momento de utilizar la canalización de 6MHz en nuestro vecino país Colombia.

RECOMENDACIONES

- Al ser ISDB-Tb un estándar en general menos robusto que DVB-T2, se debe tener especial cuidado en la implementación de transmisores en la frontera con Colombia que utiliza DVB-T2, ya que la señal ISDB-Tb puede verse más afectada que la señal DVB-T2.
- El proceso de transición de televisión analógica a televisión digital debe continuar de manera progresiva, informando a la ciudadanía los beneficios que traerá para el desarrollo del país ya que muchos desconocen la gran variedad de servicios que trae consigo TDT.
- Se debe realizar más estudios acerca de temas relacionados con Televisión Digital Terrestre, con la finalidad de enriquecer nuestro conocimiento acerca de esta hermosa rama de telecomunicaciones.

GLOSARIO

16QAM: Hace referencia a la modulación de amplitud de cuadratura de 16 estados, en la que cada flujo de datos se divide en grupos de 4 bits, y a su vez en subgrupos de 2 bits, codificando cada en 4 niveles de amplitud. (ECURED, 2020)

64QAM: Modulación de amplitud de cuadratura con 64 puntos de modulación, 16 en cada cuadrante de la constelación, lo que permite que cada uno de estos grupos codifique un grupo de 6 bits del flujo digital. (BIRTLH, 2019)

ATSC: Advanced Television Systems Committee, Estándar de televisión digital terrestre de EEUU. (Fuentes, 2012)

AWGN: Es un modelo de canal en el cual, el único impedimento a la comunicación es un ruido blanco añadido con una densidad espectral constante (expresada en W/Hz) y una amplitud de distribución gaussiana, el modelo no tiene en cuenta el *fading* o desvanecimiento, la selectividad en frecuencia, la interferencia o la dispersión no lineal (Fuentes, 2012)

BER: Tasa de error de Bit o bit error rate, es el número de errores de bit, dividido por el número de bits transferidos durante un periodo de tiempo. (Fuentes, 2012)

CNR: Relación señal vs ruido, es lo ideal obtener un CNR alto que garantice el rendimiento del sistema. (Fuentes, 2012)

DVB-T2: Digital Video Broadcasting, es el estándar de TDT utilizado en Europa, surge como una mejora de DVB-T, garantizando mayor rendimiento y cobertura. (ETSI, 2010)

FFT: Fast Fourier Transform, convierte la señal del dominio del tiempo, al dominio de la frecuencia, para poder extraer la información de las subportadoras. (Fuentes, 2012)

ISDB-Tb: Integrated Services of Digital Broadcasting – Terrestrial, estándar de TDT utilizado en la mayoría de países de Sudamérica, se origina en Japón, y en el 2008 Brasil lo modifica (Pisciotta, 2010)

LDPC: Low density parity Check, es un Código utilizado en sistemas de comunicaciones para detectar errores en un canal de comunicación ruidoso, el mismo que garantizara la transmisión correcta del mensaje. (Mehrpouyan, 2018)

ONE-SEG: Es un pequeño segmento para transmitir la señal de televisión en teléfonos celulares. (Muñoz, 2015)

RICE: Es un canal propio de comunicaciones al aire libre y espacios abiertos, se caracteriza por la existencia de visión directa entre el emisor y el transmisor. (Villen, 2012)

TDT: Televisión Digital Terrestre, hace referencia a la nueva tecnología de transmisión de señales de televisión analógicas a digitales. (MINTEL, 2012)

BIBLIOGRAFÍA

ABNT NBR 15604. *Televisión digital terrestre-receptores.* 2018.

ABNT. *Norma Brasileña ABNT NBR 15601.* 2007.

ALULEMA, DARWIN. *La Televisión Digital Terrestre en Ecuador es Interactiva.* Quito : s.n., 2012.

AMALFA, SALVADOR. *Tv digital. Dispositivos, estándares y plataformas de recepción .* Buenos Aires : H.A.S.A, 2008.

ARCOTEL. *Norma Técnica del servicio de tv digital.* Ecuador : s.n., 2015.

BIRTLH. BIRTLH. [en línea] 2019. [consulta: 13 julio 2021]. Disponible en: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ICTV/ICTV02/es_IEA_ICTV02_Contenidos/website_553_modulacin_xqam.html.

CANTOS, LUIGGI. *Simulación del Estándar de Televisión Digital ISDB-Tb Basado en Esquema de Modulación/Demodulación OFDM.* Guayaquil : s.n., 2014.

CARRION, DARWIN. *Diseño de una infraestructura de televisión digital terrestre con el estándar ISDB-Tb. (Trabajo de titulación)(Ingeniería).* [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2017. [Consulta: 2021-06-18]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6164>.

ECURED. *Modulación QAM.* [En línea] 2020. [Consulta: 20 de enero de 2021.] Disponible en: https://www.ecured.cu/Modulaci%C3%B3n_QAM.

ETSI. *Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).* 2010.

Fast Fourier Transform (FFT). **Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.** Bogotá : s.n. Fast Fourier Transform (FFT).

FUENTES, MANUEL. *Evaluación de prestaciones (rendimiento e interferencias)del estándar de Televisión Digital Terrestre ISDB-Tb, mediante simulaciones y mediciones.* Valencia : s.n., 2012.

GUEDES, PAULO. *Comparison of Terrestrial DTV Systems: ISDB-TB and DVB-T2 in 6MHz.* 2016.

JÁCOME, PATRICIO. *Análisis de los estándares de Televisión Digital Terrestre (TDT) y pruebas de campo utilizando los equipos de Comprobación Técnica de la Superintendencia de Telecomunicaciones.*

LUIS A. ALBORNOZ, MARÍA TRINIDAD GARCÍA LEIVA. *La televisión digital terrestre Experiencias nacionales y diversidad en Europa, América y Asia.* Buenos Aires : La Crujía, 2012.

MARIÑO, PAULO ANDRES CAMPOS. *Estudio del estándar de Televisión Digital Terrestre DTMB, y Propuesta de Reglamento para la Prestación de Servicio de Televisión Digital Terrestre en el Ecuador .* Quito : s.n., 2010.

MEHRPOUYAN, HANI. *Multi-Stream LDPC Decoder on GPU of Mobile Devices.* 2018.

MINTEL. 2012. <https://tdtecuador.mintel.gob.ec>. [En línea] 2012.

MINTEL. 2012. TDT Ecuador. [En línea] 2012. [Citado el: 03 de enero de 2021.] <https://tdtecuador.mintel.gob.ec>.

MUÑOZ, JORGE. Estudio de factibilidad para la implementación de un laboratorio de televisión digital terrestre para el laboratorio de networking de la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil (Trabajo de titulación)(Ingeniería). Universidad de Guayaquil. Guayaquil- Ecuador : s.n., 2015.

NIETO, VALERIA. Estudio Técnico Y Económico Para La Implementación Práctica De Un Canal De Televisión Digital Terrestre Con El Estándar Isdb-T Internacional En El Ecuador. [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba- Ecuador. 2012. [Consulta: 2020-12-10]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1945/1/98T00015.pdf>.

RIBADENEIRA, JEFFERSON. *Análisis de Interferencias para la planificación de las redes de TDT en la región andina.* Valencia : s.n., 2012.

RODRIGUEZ, GONZALO. *SFN (Single Frequency Network).* la Paz : s.n., 2012.

onible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/9259/5/98T00214.pdf>.

VALLE, FELIPE. Planificación De Frecuencias De Televisión Digital Terrestre (Tdt) Con Áreas De Adjudicación En El Ecuador [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba- Ecuador. 2018. [Consulta: 2020-12-10]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/9259/5/98T00214.pdf>.

VERGÉS, JOAN. *Planificación de nuevas redes de radiodifusión de TDT y estudio del dividendo digital.* 2010.

VILLEN, JUAN. *Modelo de canal con Distribución RICE.* 2012.

ZAMBRANO, CRISTIAN. Coexistencia de ISDB-TB de Ecuador y DVB-T2 de Colombia en la ciudad de Tulcán (Trabajo de titulación)(Ingeniería). [en línea] Universidad Politecnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2020. [Consulta 2021-07-15]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18388>.